

Capítulo III. LA CALIDAD DEL AGUA Y LA PRODUCTIVIDAD DE UN ESTANQUE EN ACUICULTURA

Horacio Rodríguez Gómez ¹
Eduardo Anzola Escobar ²

INTRODUCCIÓN

La calidad del agua está dada por el conjunto de propiedades físicas, químicas y su interacción con los organismos vivos. Con respecto al cultivo de organismos acuáticos, cualquier característica del agua que afecte de un modo u otro el comportamiento, la reproducción, el crecimiento, los rendimientos por unidad de área, la productividad primaria y el manejo de las especies acuáticas es una variable de calidad de agua. Un estanque con agua de buena calidad producirá más que un estanque con mala calidad; además, es importante tener en consideración que hay diferentes factores que afectan la población de un estanque, pero sólo unos cuantos son posible de tener en cuenta, los cuales deben ser evaluados periódicamente, con el fin de aplicar los correctivos necesarios.

Como uno de los objetivos de la acuicultura es obtener los mejores rendimientos, es necesario conocer las condiciones ecológicas que hay en los estanques y los procesos que allí se realizan.

En este capítulo se analizarán los factores ambientales más importantes que afectan a la comunidad de un estanque y la forma de controlarlos para obtener los mejores rendimientos. De manera arbitraria se han dividido en **tres grupos: Físicos, químicos y biológicos**, pero en la naturaleza no están separados debido a que no se puede separar la producción de oxígeno (químico) con la intensidad de luz (físico); la producción de desechos metabólicos (productos nitrogenados, químico) y éstos a su vez con la densidad y las prácticas de alimentación.

Por otro lado es importante tener en cuenta que el agua para abastecer un estanque puede ser de diferentes fuentes: **manantial, río, embalse, laguna, pozo**, etc. y tanto su calidad como su cantidad varía.

1. EL RECURSO AGUA

El suministro del agua a la tierra se hace a través del ciclo hidrológico en el cual el agua de la atmósfera cae a la superficie en forma de lluvia y de esta manera abastece los depósitos superficiales como los ríos y los lagos, humedece el suelo y carga los acuíferos (estratos subterráneos de suelo permeable o roca). La mayor parte del agua vuelve al mar directamente a través del flujo de agua subterránea costera o a través de las corrientes (quebradas, manantiales, ríos) que se dirigen al mar, completando de esta manera el ciclo hidrológico (Fig.1).

Es importante mencionar que las gotas de agua en la atmósfera se contaminan con diferentes sustancias como grasa originada por la respiración del hombre, animales y las plantas, por las emanaciones de los gases naturales, los humos y gases de fábricas, etc. Dentro de los gases hay unos benéficos como son el CO₂ y el O₂, pero también se enriquece de otros gases contaminantes como el CO, NH₃, SO₂, N₂, y de diversas sustancias orgánicas e inorgánicas y de esta forma el agua que cae a la superficie no llega como agua destilada sino cargada de diferentes compuestos que pueden afectar los reservorios de agua. Es bien conocido principalmente en Europa y Estados Unidos las denominadas lluvias ácidas que son la incorporación de los óxidos de azufre y nitrógeno al agua atmosférica,

1 Biólogo, División de Recursos Acuícolas, INPA, Bogotá. Correo electrónico: horacrod@inpa.gov.co

2 Biólogo, Oficina INPA en San Marcos (Sucre).

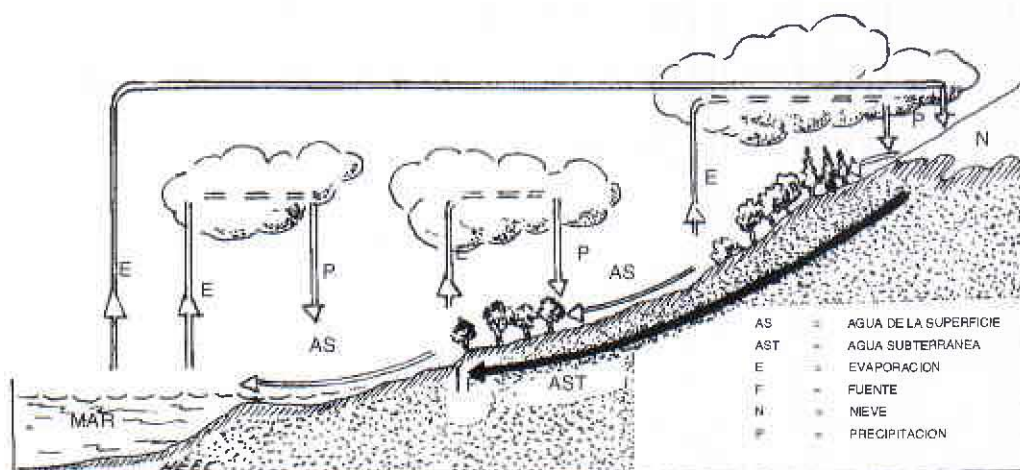


FIGURA 1. Ciclo hidrológico (adaptado de varios autores).

formándose ácido sulfúrico y nítrico que bajan el pH a extremos de 3.5, la cual afecta la vegetación y los reservorios de agua.

El agua que penetra la superficie terrestre va cargada de diferentes gases que en su transcurso van disolviendo minerales según la formación geológica de la región. De esta manera al agua se van incorporando diferentes gases y minerales en solución, de ahí que dos parámetros muy importantes para la acuicultura, como son la alcalinidad y la dureza de determinada fuente de agua son el reflejo de la geología de la región. Adicionalmente el agua va incorporando pesticidas, sustancias químicas, desechos orgánicos de actividades humanas y pecuarias. El agua en superficie y a lo largo de su recorrido (manantial, quebrada, río, laguna, etc) empieza a interactuar con los organismos biológicos, con los nutrientes, el oxígeno, el dióxido de carbono y la energía solar y se inicia el proceso de productividad. El acuicultor debe tener en cuenta que el agua existe en la naturaleza en cantidad limitada y que está distribuida en un modo desigual en el tiempo y en el espacio.

2. FACTORES A CONSIDERAR EN LA ELECCIÓN DE UN CUERPO DE AGUA PARA UN PROYECTO ACUÍCOLA

2.1 ESTADO DE LA CUENCA

Para escoger el lugar donde se proyecte establecer un proyecto acuícola es necesario conocer el estado o problemática de la cuenca. En términos generales los desequilibrios hídricos en una cuenca se generan básicamente por:

- ◆ Mal manejo de los suelos a causa de:
 - Deforestación y quemas
 - Cultivos en pendientes muy pronunciadas
 - Sobre pastoreo de ganado
- ◆ Contaminación por:
 - La industria
 - Actividades agropecuarias (agroquímicos y pesticidas)
 - Vertimientos de aguas negras y residuos agropecuarios
 - Deficiencias en la disposición y tratamiento de residuos líquidos y sólidos

- ◆ Explotación inadecuada de:
 - Yacimientos mineros, etc .
 - Canteras
 - Material de arrastre
- ◆ Obras civiles mal diseñadas
 - Carreteras, caminos y puentes (Se bota la tierra y materiales sobrantes a los ríos y quebradas represándolos y causando sedimentación)
 - En represas y embalses se sedimentan, se regula el caudal de acuerdo con su objetivo y se desvían los cauces
 - Desconocimiento del impacto ambiental de las obras de regulación hídrica

Como consecuencia de la problemática mencionada, la cuenca hidrográfica se degrada y se presentan, entre otros, los siguientes efectos:

- Erosión y aporte de sedimento al agua
- Disminución de caudales
- Deterioro de la calidad del agua
- Sequías
- Crecientes y avalanchas
- Disminución de la productividad natural del agua
- Generación de plagas y enfermedades

3. PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS

Las diferentes variables que intervienen en un estanque como son las relaciones tróficas, biocenosis establecidas, capacidad de reciclaje de los nutrientes, autoproducción y autodepuración de los mismos y los parámetros físico-químicos del agua determinan la variación, cantidad y calidad de los organismos que viven en él. Toda especie tiene un rango óptimo para desarrollarse normalmente, el cual está básicamente dado por la temperatura, oxígeno, tipo y cantidad de nutrientes sólidos disueltos, salinidad, pH, dureza, alcalinidad, etc.

3.1 PARÁMETROS FÍSICOS

3.1.1 Temperatura

La temperatura rige algunos parámetros físicos, químicos y biológicos, tales como la evaporación y la solubilidad de los gases. Dentro de los biológicos están los procesos metabólicos como la respiración, nutrición, actividad de las bacterias en la descomposición de la materia orgánica, etc; de ahí la necesidad de conocer y evaluar los cambios de temperatura del agua. Es importante considerar que los peces no tienen capacidad propia para regular su temperatura corporal y ésta depende del medio acuático en que viven.

Según Welch (1952) hay dos grupos de factores que afectan la temperatura del agua:

AUMENTA LA TEMPERATURA DEL AGUA	REDUCE LA TEMPERATURA DEL AGUA
<ul style="list-style-type: none"> • Radiación solar y del cielo • Calor atmosférico • Condensación de vapor de agua • Conducción de calor del fondo • Calor de reacciones químicas • Calor de fricción producido por movimiento de las partículas del agua 	<ul style="list-style-type: none"> • Radiación devuelta • Conducción de calor a la atmósfera. • Conducción de calor al fondo • Evaporación.

La conductividad de calor depende de las diferencias de temperatura y del área de contacto entre el agua y el aire. El viento aumenta esa área y además crea turbulencia, mezcla los estratos y dispersa el calor absorbido a través de la columna de agua.

Como es lógico en un estanque la radiación del sol y del cielo corresponden a la principal fuente de energía calórica; ésta es absorbida por el agua y se convierte en calor, por consiguiente cualquier factor que influya sobre la penetración de los rayos solares (por ejemplo materia en suspensión) afectará el calentamiento del agua, lo cual causará diferencias térmicas entre los estanques en un mismo sitio y a su vez afecta la composición del planctón, la distribución de los organismos en la columna de agua y la productividad del estanque.

Por lo general los estanques para acuicultura son poco profundos y no se presentan diferencias marcadas de temperatura en la columna de agua, debido a que la brisa puede mezclar el agua y distribuir la temperatura absorbida. En cambio en lagos grandes y profundos existe una marcada diferencia entre la capa superficial y el fondo (Fig. 2). En las regiones tropicales se presenta un patrón de estratificación diario, durante el cual las capas superficiales que absorben la energía solar se calientan y forman una capa definida, por la noche las capas superficiales pierden calor y alcanzan la misma temperatura de las capas inferiores y se mezclan.

La temperatura influye sobre la biología de los peces e invertebrados, condicionando la maduración gonadal, el tiempo de incubación de las ovas, el desarrollo larval, la actividad metabólica y el ritmo de crecimiento de larvas, alevinos y adultos. Por lo general las reacciones químicas y biológicas se duplican cada vez que hay un aumento de 10°C de temperatura, por lo tanto un organismo acuático consume el doble de la cantidad de oxígeno a 30°C que a 20°C. Es necesario tener en cuenta cómo se relaciona la temperatura con los otros procesos:

- ◆ El aumento de temperatura disminuye la concentración de oxígeno disuelto (ver oxígeno).
- ◆ Temperaturas altas y pH básico, favorecen que el amoníaco se encuentre en el agua en su forma tóxica.
- ◆ En el tiempo y grado de descomposición de la materia orgánica presente en el estanque. Es así como el consumo de oxígeno, causado por la descomposición de la materia orgánica, se incrementa a medida que aumenta la temperatura, restándole de esta manera el oxígeno disponible para los organismos presentes en el estanque.
- ◆ A mayor temperatura los fertilizantes se disuelven más rápidamente, los herbicidas son más efectivos, por ejemplo la rotenona se degrada más rápidamente y los tratamientos químicos en los estanques son afectados por la temperatura.
- ◆ A cada especie de pez hay que proporcionarle su rango de temperatura óptima para que realice normalmente sus procesos metabólicos y fisiológicos. De ahí que exista una clasificación en peces de aguas frías, como la trucha que son los que habitan aguas con temperaturas menores de 18°C; los de aguas templadas, por ejemplo la carpa, que se desarrollan mejor en agua entre 18° y 24°C, pero resiste aguas frías y finalmente los de aguas cálidas como la mojarra plateada, cachamas, camarón de agua dulce y el bagre, que habitan y se desarrollan óptimamente en aguas superiores a los 25°C.
- ◆ Los peces presentan poca tolerancia a los cambios bruscos de temperatura. Por esta razón hay que evitar el traslado de organismos de un lugar a otro cuando existe marcada diferencia y en tal caso hay que proceder a la aclimatación que consiste en dejar la bolsa en que se traen dentro del estanque hasta que se igualen las temperaturas, para luego hacer la liberación de estos.
- ◆ De otro lado cuando los organismos no están en su rango óptimo de temperatura, no comen, obteniéndose pérdida económica por gasto de concentrado y poco crecimiento.

3.1.2 Salinidad

En aguas continentales la salinidad corresponde a la concentración de todos los iones disueltos en el agua. Cuando la composición relativa de las sales es más o menos constante, la concentración total puede ser estimada de acuerdo con la concentración del ión dominante. Lo más usual para referirse a salinidad es el contenido de cloruros. La presión osmótica del agua se incrementa proporcionalmente con la salinidad y las diferentes especies de organismos acuáticos soportan la salinidad de acuerdo con sus requerimientos de presión osmótica.

Una de las formas más prácticas para determinar la concentración de todos los iones en el agua es evaluando la capacidad que tiene esta para conducir la corriente eléctrica, ya que a medida que aumenta la concentración de iones es mayor la conductividad.

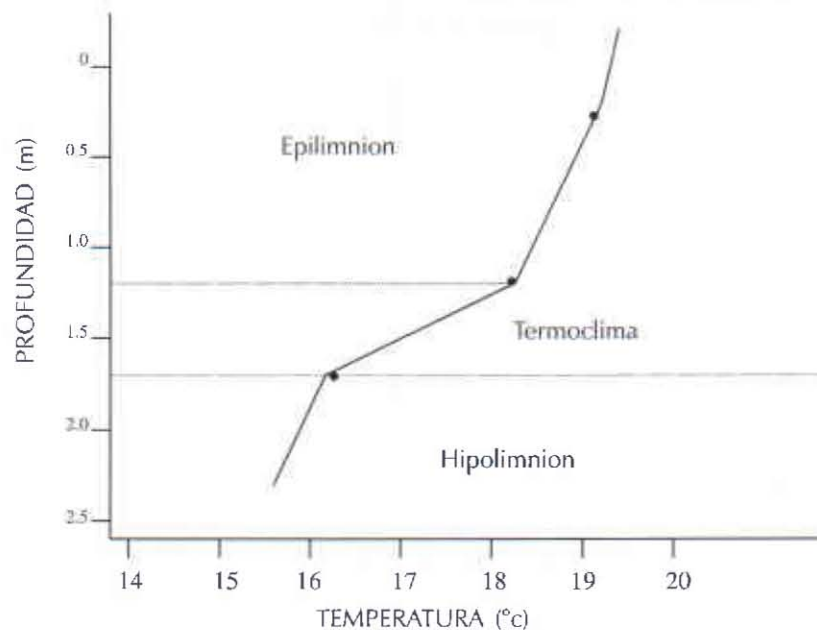


FIGURA 2. Estratificación térmica en el embalse del Sisga, en el año 1985

La gran mayoría de sólidos disueltos que hay en aguas naturales se originan por el contacto del agua con las rocas y el suelo. Cuando el agua lluvia percola a través de las diferentes capas del suelo va disolviendo y a la vez captando todo tipo de sustancias. Hopher (sin fecha) menciona que los factores que determinan la composición de los minerales disueltos son: el clima, la geología local, la topografía, la biología del agua y el tiempo; de la interacción entre esos cinco factores se puede establecer una variedad de concentraciones y de composiciones de sólidos disueltos en el agua.

La forma más eficiente de determinar la cantidad de sales inorgánicas es mediante la conductividad relativa del agua. Esa conductividad está directamente relacionada con la concentración de iones y se expresa en microhm/cm. Como la conductividad cambia con la temperatura, es necesario conocer la temperatura del agua durante la determinación.

Existe una gran diferencia de concentración total de sales disueltas como también de sus proporciones. Sin embargo, la gran mayoría está integrada por los siete siguientes iones: calcio, magnesio, sodio, potasio, carbonatos (bicarbonatos), sulfatos y cloruros.

Por lo general el agua de las áreas de alta precipitación, donde los suelos son lavados constantemente, tienen una baja salinidad (150 a 250 mg/l). En zonas de poca lluvia donde la evaporación es mayor que la precipitación, la salinidad del agua está en un rango de 500 a 2500 mg/l. El agua de pozos profundos tiene valores altos de salinidad que generalmente está dada por la concentración de iones de sulfatos. En la tabla 1 se presenta la concentración máxima de salinidad que soportan algunas especies para su normal crecimiento.

3.1.3 Luz

Es bien conocido que los vegetales son los productores primarios de materia orgánica por medio del proceso fotosintético, cuando reciben luz solar, de ahí el gran papel que juega el sol en los procesos biológicos.

Cuando la intensidad de la luz es muy alta (80 kiloluz) se presenta una marcada disminución de la actividad de la fotosíntesis, aparentemente debido a que la radiación ultravioleta afecta los cloroplastos.

TABLA 1. Concentración máxima de salinidad que permite el crecimiento normal de algunas especies cultivadas. (Tomado de Boyd y Lichtkoppler, 1979)

ESPECIE	SALINIDAD (mg/lit)
<i>Ctenopharingodon idella</i> (carpa herbívora)	12000
<i>Cyprinus carpio</i> (carpa común)	9000
<i>Hypophthalmichthys molitrix</i> (carpa plateada)	8000
<i>Ictalurus punctatus</i> (bagre de canal)	11000
<i>Oreochromis niloticus</i> (mojarra plateada)	24000
<i>Oreochromis mossambicus</i>	30000
Mugílidos (lisa, lebranche)	14500

En estanques de cultivo donde se efectúa abonamiento, la penetración de los rayos solares es menor que en lagos o aguas naturales, debido a que aquellos tienen mayor densidad de población de plancton y mayor turbidez; está última dada básicamente por la actividad de los organismos de cultivo que alcanzan a remover partículas del fondo o por actividades propias de su alimentación como es el caso de la carpa. En algunos casos, como en la incubación de huevos de trucha hay que mantenerlos a poca luz.

3.1.4 Evaporación

La evaporación es una acción que aumenta la concentración de sales y actúa como regulador de la temperatura del agua y además con la filtración son los causantes de la disminución del volumen de agua de un estanque.

La pérdida de agua por evaporación varía considerablemente de una región a otra, de la época del año y de la presión barométrica. Además el viento ejerce un importante papel al causar turbulencia, aumentando de esta manera el área de evaporación y reduciendo la humedad relativa sobre la superficie del agua.

Con respecto a la composición química del agua, está relacionada la evaporación con la concentración. A mayor concentración de sales menor evaporación. El agua de mar se evapora de 2 a 3 % veces menos que el agua dulce.

3.1.5 Turbidez

La turbidez del agua está dada por el material en suspensión bien sea mineral u orgánica y el grado de turbidez varía dependiendo de la naturaleza, tamaño y cantidad de partículas en suspensión.

En acuicultura la turbidez originada por el plancton es una condición necesaria. Entre más plancton mayor la turbidez, y éste parámetro se puede medir mediante el denominado Disco Secchi, el cual consiste en un disco de aproximadamente 30 cm de diámetro que posee cuadrantes pintados alternadamente en blanco y negro, amarrado a una cuerda calibrada y tiene un peso en el lado opuesto, de tal manera que permite hundirse fácilmente en el agua. La visibilidad del Disco Secchi rara vez excede de un metro en sistemas productivos para peces (Fig. 3).

Para determinar la visibilidad del Disco Secchi hay que permitir que este descienda hasta que desaparezca y anotar está profundidad. Contrario a la turbidez causada por el plancton, la cual es benéfica para la comunidad de un estanque, existe la turbidez causada por partículas de arcilla en suspensión que actúa como filtro de los rayos solares y afecta la productividad primaria del estanque y por consiguiente disminuye la actividad fotosintética del fitoplancton y su producción de oxígeno.

La turbidez limita la habilidad de los peces para capturar el alimento concentrado y por consiguiente éste irá al fondo del estanque incrementando la cantidad de materia orgánica.

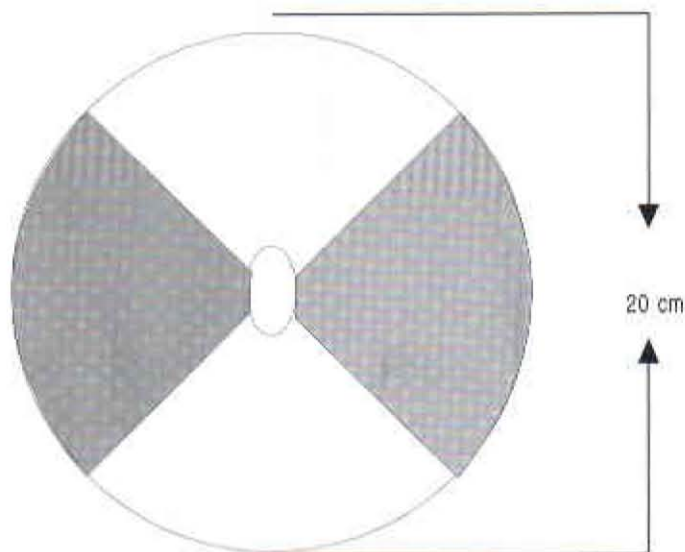


FIGURA 3. Disco Secchi, instrumento utilizado para medir la turbidez del agua

En truchicultura afecta los huevos en incubación al sedimentarse sobre la superficie de éstos e impide el intercambio gaseoso a través de la membrana, causándoles un déficit de oxígeno.

La turbidez mineral generalmente se presenta después de fuertes aguaceros o en estanques que se abastecen con agua de cuencas mal conservadas o con procesos de erosión.

Cuando el agua es reutilizada hay que tener especial cuidado con la materia en suspensión, que es originada en su mayor parte por los excrementos de los peces o por el concentrado no consumido. Estas partículas en suspensión (materia orgánica) producida por las deyecciones de los peces no se encuentran en su totalidad en estado sólido, si no en forma de coloides y supracoloides que no se sedimentan.

3.1.6 Color

El color del agua está dado por la interacción entre la incidencia de la luz y la impureza del agua, las aguas incoloras en días soleados aparecen azules. El color del agua es alterado por los factores físicos, químicos y biológicos, por ejemplo, la mayoría de los florecimientos de fitoplancton tiende a dar una coloración verde. Agua con alto contenido de hierro tienden a ser rojizas. El color más común del agua está dado por el material vegetal en descomposición, el cual produce un color té o café claro muy característico del agua con alto contenido de humus. Además, éstas aguas por lo general son ácidas.

El color en sí no afecta a los peces, pero si restringe la penetración de los rayos solares y disminuye de esta manera la productividad del estanque.

4. PARÁMETROS QUÍMICOS

4.1 OXÍGENO DISUELTO

El nivel de oxígeno disuelto (OD) presente en un estanque de acuicultura es el parámetro más importante en la calidad del agua. Si no hay una buena concentración de oxígeno disuelto los organismos pueden ser vulnerables a enfermedades, parásitos, o morir por falta de este elemento. Además se ha comprobado que no aceptan el alimento

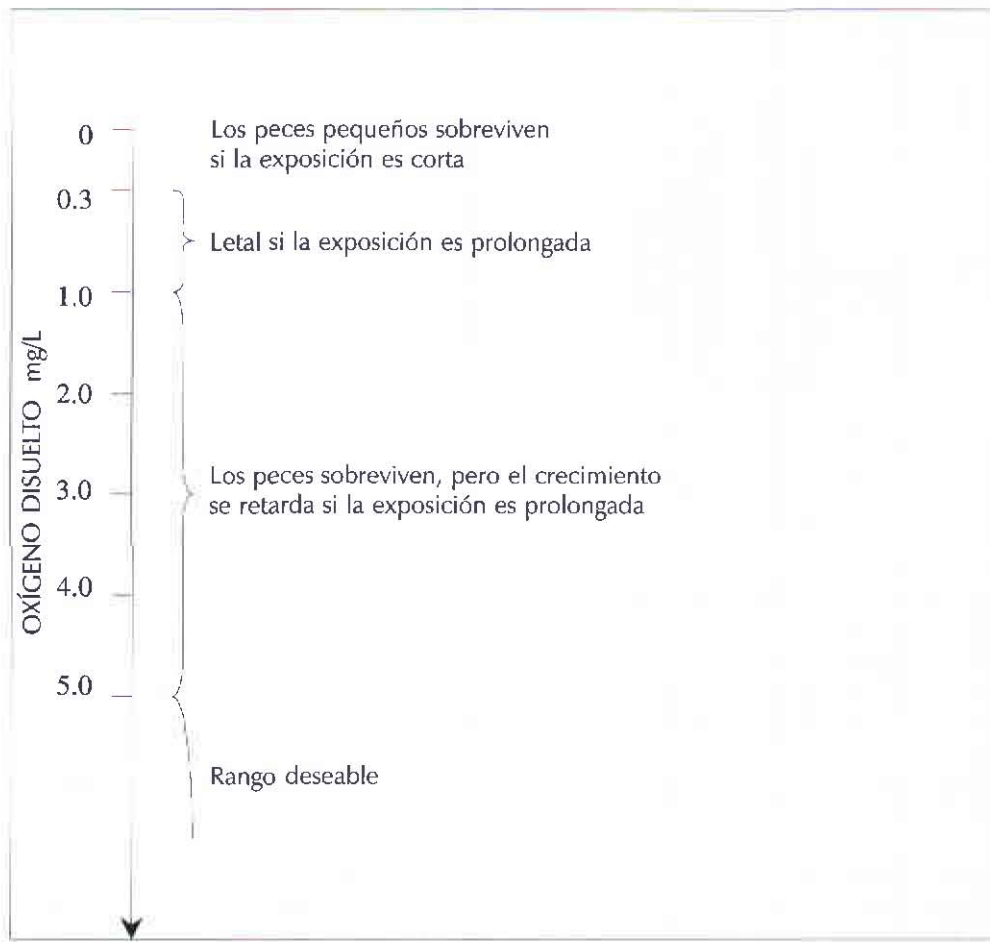


FIGURA 4. Efecto de la concentración de oxígeno disuelto sobre los peces en un estanque (Tomado de Boyd y Lichtkoppler, 1979)

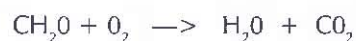
cuando se presentan niveles bajos de oxígeno, lo cual conlleva a la pérdida de este insumo, afectando el crecimiento y la tasa de conversión alimenticia. En la figura 4 se presenta el efecto de la concentración de oxígeno disuelto sobre los peces en estanque.

4.1.1 Fuente de oxígeno

El oxígeno es disuelto en el agua por difusión desde la atmósfera y por la fotosíntesis. La difusión desde la atmósfera es producida cuando se presentan vientos o por medios artificiales.

La creación de turbulencia por medios artificiales incrementa el contacto entre el agua y el aire, lo cual permite captación de oxígeno por parte del agua.

El oxígeno primeramente es removido del agua por la respiración lo cual es esencialmente lo inverso al proceso fotosintético:



Todos los acuicultores tienen en cuenta la respiración de los organismos de su interés, lo cual trae un significativo impacto sobre el nivel de oxígeno disuelto en el estanque, pero a menudo no tienen en cuenta que los otros organismos presentes en el estanque también respiran y consumen oxígeno.

Durante el día con la fotosíntesis se produce oxígeno que es removido del agua por la demanda respiratoria de los animales, mientras que durante la noche, tanto plantas como animales continúan respirando sin que haya nuevos aportes de oxígeno al agua. El oxígeno es también removido del agua como un resultado de ciertas reacciones químicas inorgánicas referidas también como demanda química de oxígeno.

La saturación de oxígeno disuelto depende de la temperatura, la salinidad y de la altitud. En la tabla 2 se observa cómo varía la solubilidad del oxígeno en el agua con respecto a la temperatura y a la presión atmosférica. Supersaturación de oxígeno ocurre bajo condiciones naturales como un resultado de altos niveles de productividad primaria o como consecuencia de actividades humanas.

4.1.2 Efecto de la disminución de oxígeno sobre los organismos de un estanque

Los organismos acuáticos generalmente no se alimentan cuando se presentan niveles bajos de oxígeno y cuando esto ocurre la mayoría de las especies de peces suben a la capa superficial del agua a tomar oxígeno y se observan boqueando constantemente. Este comportamiento, por ejemplo, no se presenta en los camarones, quienes permanecen en el fondo del estanque y cuando el oxígeno disuelto está muy bajo pueden llegar a morir y descomponerse sin atraer la atención. En cambio los peces generalmente flotan en la superficie y de esta manera son observados fácilmente. Las bajas en el nivel de oxígeno generalmente suceden durante las épocas de altas temperaturas (verano). Así mismo, el metabolismo de los organismos presentes en el estanque se incrementa en esta época y demandan más oxígeno. Paradójicamente también corresponde a la época de mayor iluminación solar, cuando se incrementa la fotosíntesis y la producción de oxígeno.

Resumiendo, la concentración de oxígeno en un estanque puede variar de acuerdo con las siguientes condiciones:

- ◆ Iluminación solar; sin ella no es posible la fotosíntesis y por consiguiente la producción de oxígeno.
- ◆ La temperatura que influye en la descomposición de la materia orgánica que en su degradación consume oxígeno. A mayor temperatura del agua más rápido es el proceso de degradación y por consiguiente mayor consumo de oxígeno.
- ◆ Cantidad de fitoplancton que libera oxígeno durante el día y lo consume durante la noche.
- ◆ Cantidad de zooplacton y otros organismos animales que consumen oxígeno durante el día y la noche.
- ◆ La materia orgánica y las poblaciones bacterianas que consumen grandes cantidades de oxígeno en el proceso de descomposición.
- ◆ La producción de oxígeno en los días nublados es menor que la de días despejados.
- ◆ El viento, que al crear olas y turbulencia en la superficie del agua, permite intercambio de oxígeno entre la capa superficial y la columna de agua.

Es común que en estanques con exceso de fitoplancton se presenten problemas de oxígeno, como los siguientes ejemplos:

1. Un exceso de fitoplancton puede ocasionar una deficiencia de oxígeno bajo las siguientes circunstancias: si durante el día prevalecen vientos fuertes y altas temperaturas mientras que la noche es tranquila y cálida. Las pérdidas de oxígeno durante el día serán grandes y quedarán pocas reservas para la noche, a la vez la demanda de oxígeno por parte de los organismos será alta debido a mayor temperatura y más actividad metabólica que demanda oxígeno.
2. La presencia de una población de fitoplancton que se concentra en la capa superficial, como es el caso de las algas azul-verdes (Cyanophytas). En este ejemplo la producción de oxígeno se limita a la capa superficial y la población de fitoplancton limita la penetración de luz a las capas inferiores, reduciendo la capacidad de fotosíntesis y de producción de oxígeno de las capas inferiores, lo que generará una deficiencia de oxígeno durante la noche.

TABLA 2. Solubilidad del oxígeno en el agua en mg/l de O₂ a 25°C de temperatura, y de 680 a 790 mm Hg de presión atmosférica

		PRESIÓN ATMOSFÉRICA																							
		680	685	690	695	700	705	710	715	720	725	730	735	740	745	750	755	760	765	770	775	780	785	790	
Temperatura	1	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	13	13	13	13	13	13	13.5	13.5	13.5	13.5	14	14	14	14	14	14	14	14.5	
	2	12	12	12	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	13	13	13	13	13	13	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13	13	14.5	
	3	11.5	12	12	12	12	12	12	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	13	13	13	13	13	13	13.5	13.5	13.5	13.5	
	4	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	12	12	12	12	12	12	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	13	13	13	13	13	13	
	5	11	11	11	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	12	12	12	12	12	12	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	13	13
	6	11	11	11	11	11	11	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	12	12	12	12	12	12	12	12.5	12.5	12.5	12.5
	7	10.5	10.5	10.5	10.5	11	11	11	11	11	11	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	12	12	12	12	12	12	12	12
	8	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	11	11	11	11	11	11	11	11	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	12	12	12
	9	10	10	10	10	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	11	11	11	11	11	11	11	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5
	10	9.8	9.9	9.9	10	10	10	10	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	11	11	11	11	11	11	11	11.5	11.5
	11	9.6	9.6	9.7	9.8	9.8	9.9	10	10	10	10	10	10	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	11	11	11	11	11
	12	9.4	9.4	9.5	9.6	9.6	9.7	9.8	9.8	9.9	10	10	10	10	10	10	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	11	11
	13	9.1	9.2	9.3	9.3	9.4	9.5	9.5	9.6	9.7	9.7	9.8	9.9	9.9	10	10	10	10	10	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5
	14	8.9	9	9.1	9.1	9.2	9.3	9.3	9.4	9.5	9.5	9.6	9.7	9.7	9.8	9.9	9.9	10	10	10	10	10	10	10.5	10.5
	15	8.7	8.8	8.9	8.9	9	9.1	9.1	9.2	9.2	9.3	9.4	9.4	9.5	9.6	9.6	9.7	9.8	9.9	9.9	10	10	10	10	10
	16	8.6	8.6	8.7	8.7	8.8	8.9	8.9	9	9.1	9.1	9.2	9.2	9.3	9.4	9.4	9.5	9.6	9.6	9.7	9.7	9.8	9.9	9.9	9.9
	17	8.4	8.4	8.5	8.6	8.6	8.7	8.8	8.8	8.9	8.9	9	9.1	9.1	9.2	9.2	9.3	9.4	9.4	9.5	9.6	9.6	9.7	9.7	9.7
	18	8.2	8.3	8.3	8.4	8.5	8.5	8.6	8.6	8.7	8.8	8.8	8.9	8.9	9	9.1	9.1	9.2	9.2	9.3	9.4	9.4	9.5	9.5	9.6
	19	8.1	8.1	8.2	8.2	8.3	8.4	8.4	8.5	8.5	8.6	8.7	8.7	8.8	8.8	8.9	8.9	9	9.1	9.1	9.2	9.2	9.3	9.3	9.4
	20	7.9	8	8	8.1	8.1	8.2	8.3	8.3	8.4	8.4	8.5	8.6	8.6	8.7	8.7	8.8	8.8	8.9	9	9	9.1	9.1	9.2	9.2
	21	7.8	7.8	7.9	7.9	8	8.1	8.1	8.2	8.2	8.3	8.3	8.4	8.5	8.5	8.6	8.7	8.7	8.8	8.8	8.9	8.9	9	9	9
	22	7.6	7.7	7.7	7.8	7.9	7.9	8	8	8.1	8.1	8.2	8.3	8.3	8.4	8.4	8.5	8.5	8.6	8.6	8.7	8.8	8.8	8.8	8.8
	23	7.5	7.6	7.6	7.7	7.7	7.8	7.8	7.9	7.9	8	8.1	8.1	8.2	8.2	8.3	8.3	8.4	8.4	8.5	8.5	8.6	8.7	8.7	8.7
	24	7.4	7.4	7.5	7.5	7.6	7.7	7.7	7.8	7.8	7.9	7.9	8	8	8.1	8.1	8.2	8.3	8.3	8.4	8.4	8.5	8.5	8.5	8.6
	25	7.3	7.3	7.4	7.4	7.5	7.5	7.6	7.6	7.7	7.7	7.8	7.8	7.9	8	8.08	8.1	8.1	8.2	8.2	8.3	8.3	8.4	8.4	8.4

- Un exceso de zooplancton que demande grandes cantidades de oxígeno puede causar una deficiencia de oxígeno generalmente durante la noche.

Por lo general las fluctuaciones de oxígeno disuelto en un estanque, en un perfil de 24 horas, es la siguiente: los valores más bajos de oxígeno se darán en las primeras horas de la mañana e irán incrementándose a medida que es mayor la intensidad solar hasta un máximo de oxígeno que corresponde a las primeras horas de la tarde y a partir de este momento va disminuyendo gradualmente con la intensidad de luz (Fig 5). En días nublados la producción de oxígeno disuelto disminuye considerablemente, en períodos prolongados se pueden presentar problemas como se ilustra en la figura 6.

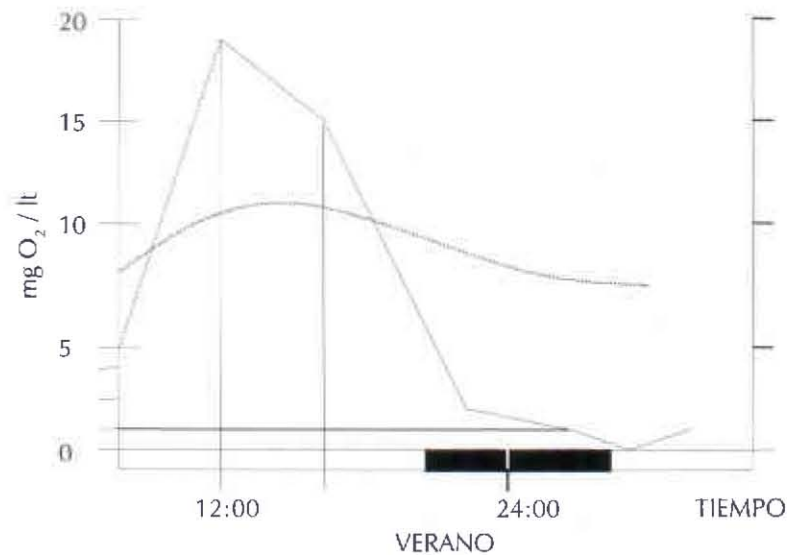


FIGURA 5. Variación en la concentración de oxígeno disuelto en un estanque con diferentes densidades de plancton, — Estanque fertilizado, alta densidad de plancton. - - - - Estanque sin fertilizar, baja densidad de plancton.

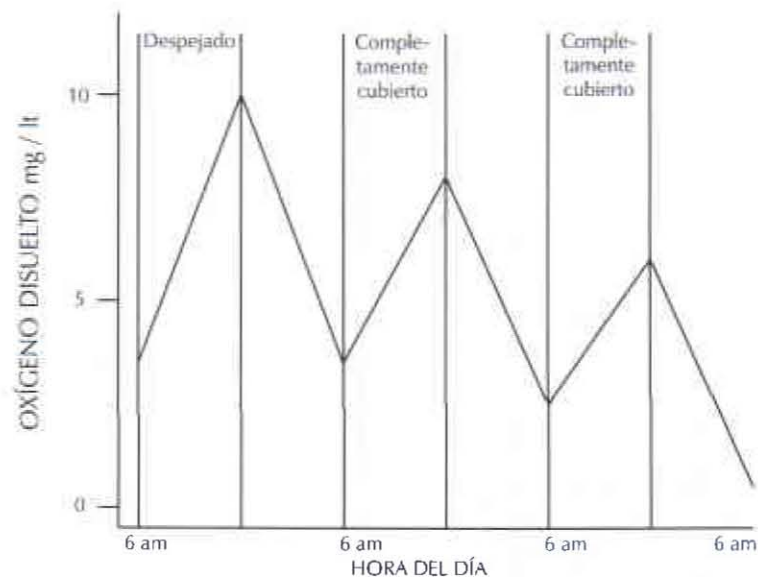


FIGURA 6. Influencia del tiempo nublado en la circulación de oxígeno disuelto en estanques (Tomado de Boyd y Lichtkoppler, 1979)

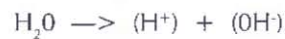
En los estanques con fuertes florecimientos de plancton se observa la presencia de una nata de algas en la superficie. En algunas ocasiones esta densa población muere repentinamente y la descomposición agotará rápidamente el oxígeno disuelto, hasta niveles por debajo de lo normal como para mantener una población de organismos en el estanque.

El aumento de oxígeno se puede conseguir agregando agua con un buen nivel de oxígeno o por aireación. En el primero es necesario que el agua caiga al estanque por un salto ancho y de esta manera se amplía el área de contacto y así se captará más oxígeno del aire.

Por aireación, el agua se bombea fuera del estanque y se devuelve al mismo por aspersion. Otro método es introduciendo aire por bombeo dentro del agua. Se recomienda efectuar la aireación sólo cuando sea necesario o cuando se advierta una real deficiencia de éste.

4.2 POTENCIAL DE HIDRÓGENO O PH

El agua químicamente pura se encuentra disociada en iones (H⁺) y (OH⁻), de tal forma que su composición es la siguiente:



El valor del pH está dado por la concentración del ión hidrógeno E indica si el agua es ácida o básica y se expresa en una escala que varía entre 0 y 14. Si el pH es 7 indica que es neutra, o sea que no es ni ácida ni básica. Una agua con pH por debajo de 7 es ácida y por encima de 7 es básica. Los cambios de pH en un mismo cuerpo de agua están relacionados con la concentración dióxido de carbono, el cual es fuertemente ácido. Los organismos vegetales demandan dióxido de carbono durante la fotosíntesis, de tal forma que este proceso determina en parte la fluctuación de pH y es así como se eleva durante el día y disminuye en la noche (Fig. 7).

Es bien conocido que la presencia de dióxido de carbono en aguas ácidas acentúa su acidez, lo que origina en peces como la trucha alteraciones de la osmoregulación como consecuencia de una acidificación de la sangre. Aguas ácidas ricas en hierro pueden producir una precipitación de hidróxido férrico en las branquias de los peces (Cachapeiro, 1984).

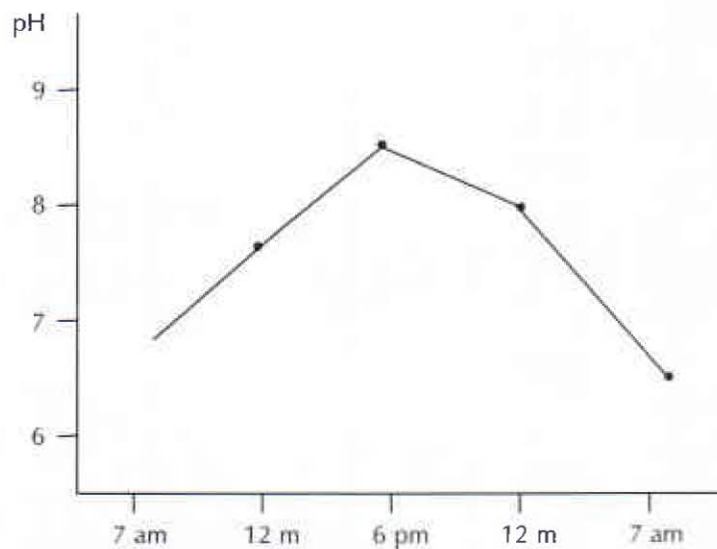


FIGURA 7. Fluctuación de pH en un perfil de 24 horas, tomado en estanque de cultivo de peces. (UNIFEM, Bogotá).

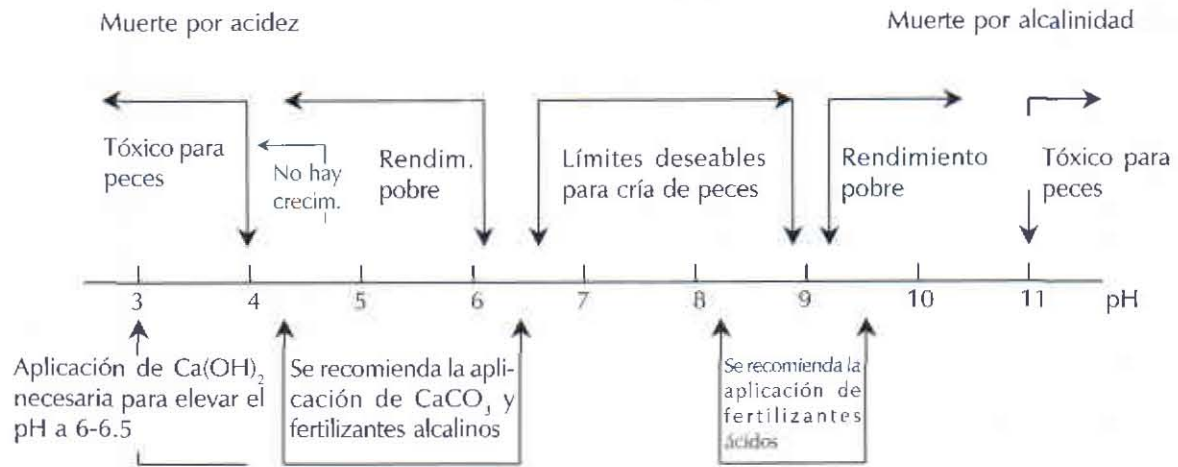


FIGURA 8. Efecto del pH sobre los peces en un estanque (Tomado de Swingle, 1969).

La estabilidad del pH viene dada por la llamada reserva alcalina o sistema de equilibrio (tampón) que en definitiva corresponde a la concentración de carbonato o bicarbonato. Los estanques con aguas que tienen alcalinidad total baja, por lo general, presentan valores de pH entre 6 a 7.2 a las primeras horas del día, pero este valor se puede elevar a 10 o más en las horas de la tarde como consecuencia de la alta concentración de fitoplancton que está demandando dióxido de carbono y no permite que actúen los carbonatos como sustancia amortiguadora.

Cuando se presentan aguas con alcalinidad total alta los valores de pH oscilan entre 7.5 a 8 en las primeras horas de la mañana y entre 9 y 10 en las horas de la tarde.

4.2.1 Efecto del pH sobre los peces

Los extremos letales de pH para la población de peces, en condiciones de cultivo, está por debajo de 4 y por encima de pH 11 (Fig. 8). Aunque los peces pueden sobrevivir en valores de pH cercano a estos extremos se observa un crecimiento lento y baja producción en los estanques. Así mismo, cambios bruscos de pH como consecuencia del traslado de peces de un estanque a otro, con marcada diferencia de pH, pueden causar la muerte.

Las aguas ácidas irritan las branquias de los peces, las cuales tienden a cubrirse de moco llegando en algunos casos a destrucción histológica del epitelio. Así mismo, la presencia de dióxido de carbono acidifica más el agua causando alteraciones de la osmorregulación y acidificando la sangre. Cachafeiro (1984) señala la peligrosidad de las aguas ácidas ricas en hierro, al producirse un precipitado de hidróxido férrico en las branquias de los peces y éstas adquieren como consecuencia un color marrón oscuro y mueren por asfixia.

Los límites básicos de pH también afectan el epitelio branquial al segregar mucus apareciendo hipertrofia de las células basales y en períodos de larga exposición termina por producir una verdadera destrucción histológica. Cachafeiro (1984) afirma que las lesiones del cristalino y córnea son habituales en las truchas mantenidas durante un período de siete días a un pH de 9.8. Eicher (1947) demostró que truchas expuestas a un pH de 10.2 durante pocos días experimentaban una necrosis de la aleta dorsal y caudal y se generaba ceguera total.

Finalmente, el pH juega un papel muy importante con respecto al amoníaco que es un producto muy tóxico, el cual en pH ácido se transforma en ion amonio (forma ionizada) la cual no es tóxica. Lo contrario ocurre en pH alcalinos

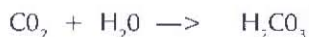
4.3 DIÓXIDO DE CARBONO

El dióxido de carbono (CO₂) tiene importancia en acuicultura debido a que es esencial para la fotosíntesis e influye en el pH del agua. Puede llegar a ser tóxico, aunque los peces pueden tolerar concentraciones altas de este gas, siempre y cuando que el nivel de oxígeno disuelto sea alto. El dióxido de carbono afecta a los organismos disminuyendo la capacidad de la sangre para captar el oxígeno. En los peces, la intoxicación por CO₂ se reconoce porque primero presentan problemas de equilibrio, luego signos de adormecimiento y disminución de la frecuencia respiratoria; además, los peces no permanecen en la superficie.

La concentración de CO₂ en el agua está determinada para la respiración, la fotosíntesis y la descomposición de la materia orgánica. Durante el día, a través del proceso de fotosíntesis, hay consumo de CO₂ y a su vez hay producción por respiración de los organismos animales. En los estanques ricos en fitoplancton, el consumo de CO₂ puede ser tan alto que puede llegar a cero. Durante la noche cesa la fotosíntesis, no se consume más CO₂, pero continúa la respiración, y por consiguiente la liberación de CO₂ al agua de modo que vuelve a subir su concentración, alcanzando el mínimo en las primeras horas de la tarde y el máximo en la noche (Fig. 9).

Las fluctuaciones de los niveles de CO₂ son mayores en los estanques ricos en fitoplancton y menor en los que tienen poco.

Finalmente, durante las horas del día, cuando se va reduciendo la concentración de CO₂, aumenta el pH, mientras que en la noche, cuando la concentración de CO₂ aumenta, disminuye el pH. esto se da porque cuando el CO₂ se disuelve en el agua se produce ácido carbónico:



Las concentraciones de dióxido de carbono son más altas después de una muerte de fitoplancton y en los días nublados.

4.4 ALCALINIDAD TOTAL Y DUREZA TOTAL

La alcalinidad corresponde a la concentración total de bases en el agua expresada como mg/l de carbonato de calcio equivalente y está representada por iones de carbonato y bicarbonato. La capacidad amortiguadora del pH en el agua está dada por la presencia de estos iones, lo que quiere decir que si una gran cantidad de carbonato y bicarbonato está presente en el agua el pH se mantendrá estable. Aguas con alcalinidad alta ayudan a que se mantenga mayor valor de pH por las mañanas, mientras que aguas con baja alcalinidad facilitan los cambios de pH en un perfil de 24 horas.

La dureza total se define como la concentración de iones, básicamente calcio (Ca) y magnesio (Mg), y se expresa en mg/l de carbonato de calcio equivalente. Otros iones divalentes contribuyen a la dureza, pero son menos importantes.

El agua se clasifica según su dureza de acuerdo con la siguiente tabla:

DUREZA (mg/l)	CLASIFICACIÓN
0 - 75	Blanda
75 - 150	Moderadamente dura
150 - 300	Dura
300 ó mas	

Para el cultivo de organismos acuáticos las mejores aguas con respecto a estos dos parámetros (alcalinidad y dureza) son los que tienen valores muy similares. Si se presentan valores diferentes, tales como alcalinidad más alta que la dureza, el pH puede incrementarse a niveles muy altos durante periodos de alta fotosíntesis.

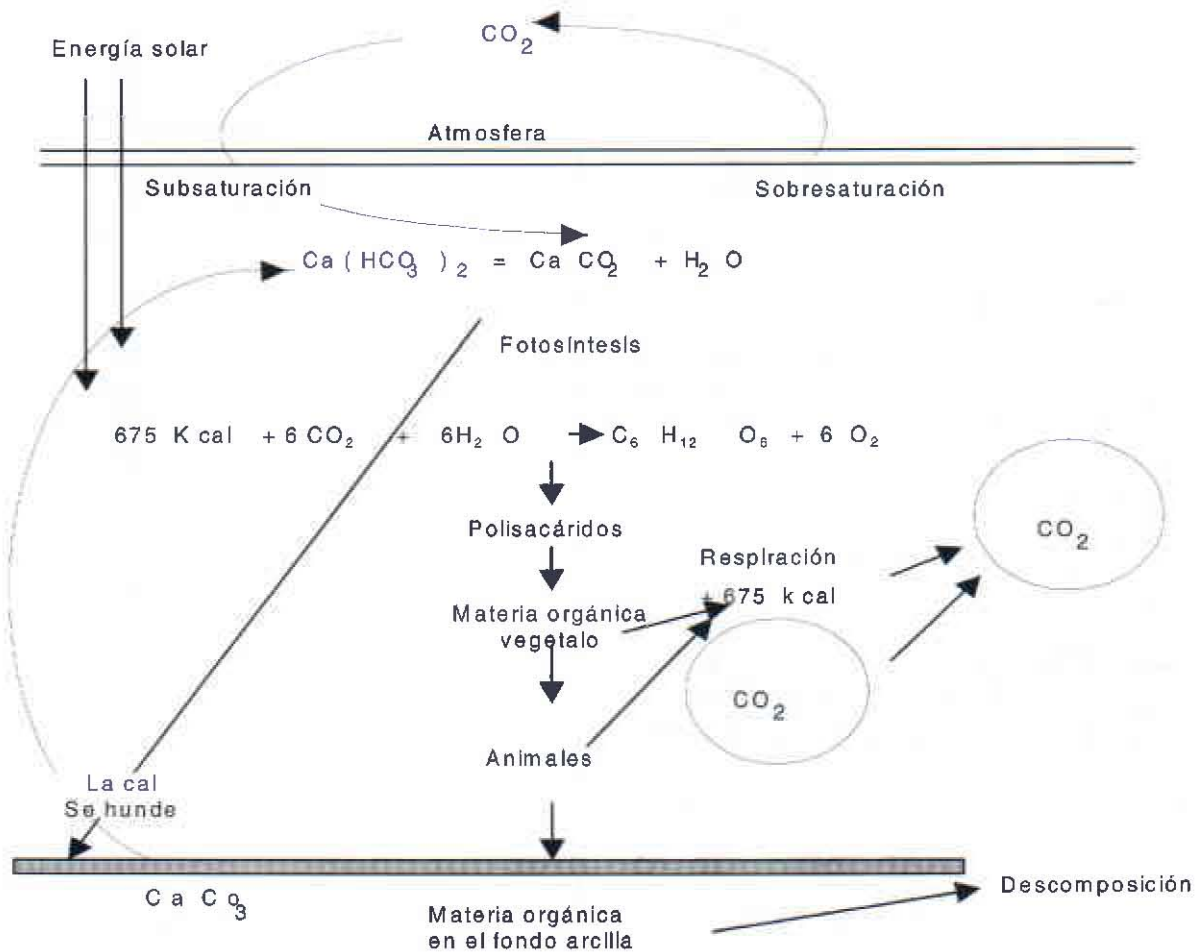


FIGURA 9. Diagrama del ciclo del carbono en el agua

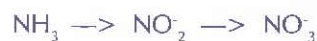
Los mejores niveles de alcalinidad total y dureza total para acuicultura están entre 20 y 300 mg/l. Si los valores de estos dos parámetros son bajos se pueden incrementar mediante encalamiento, pero si es lo contrario no existe un método práctico para bajar estos dos parámetros.

El dióxido de carbono, por regla está a baja concentración cuando el agua tiene una alcalinidad de 200 a 250 mg/l. El agua con alcalinidad total por debajo de 15 a 20 mg/l, por lo general, contiene niveles bajos de CO_2 ; mientras que las aguas con alcalinidad entre 20 y 150 mg/l contiene dióxido de carbono a un nivel apropiado, lo que facilita una adecuada producción de plancton.

4.5 COMPUESTOS NITROGENADOS

Especial importancia tiene en piscicultura industrial el contenido de compuestos nitrogenados, pues algunos de ellos, tales como el amoníaco y los nitritos, tienen carácter tóxico. Estos compuestos se originan en los estanques como productos del metabolismo de los organismos bajo cultivo y son liberados durante la descomposición que hacen las bacterias sobre la materia orgánica animal o vegetal (Fig. 10).

Segun Meade (1976) los desechos nitrogenados son transformados de amoníaco o nitratos



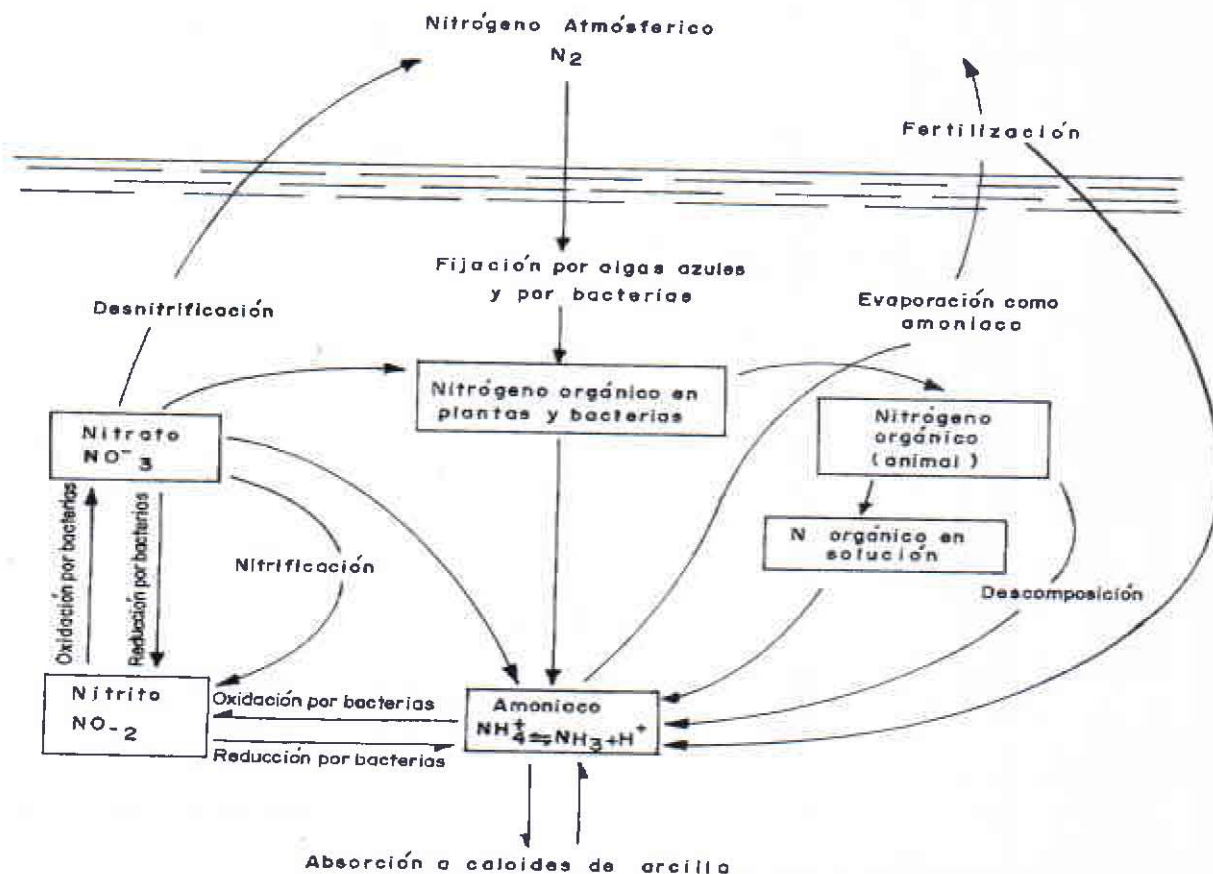


FIGURA 10. Ciclo del nitrógeno en un estanque (modificado de Hopher, sin fecha)

Este proceso se debe a la acción de las bacterias aeróbicas, como *Nitrosomonas*, que es la responsable del paso de $NH_3 \rightarrow NO_2^-$ nitritos, y la bacteria *Nitrobacter* es la responsable del paso de $NO_2^- + 1/2 O_2 \rightarrow NO_3^-$.

Algunas bacterias puede convertir los nitratos (NO_3^-) a (N_2), el cual puede salir del agua como un gas disuelto. Estas reacciones se llevan a cabo normalmente en el estanque o por medio de estructuras específicas denominadas biofiltros.

Desnitrificación de nitratos (NO_3^-) a nitrógeno puede llevarse a cabo por una variedad de bacterias, tales como: *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Bacillus*, *Micrococcus* y *Corynebacterium*.

Para una mejor acción de las bacterias hay que suministrarles bastante sustrato o mayor superficie para su fijación.

En caso de sospecha de toxicidad por nitritos, esto puede ser rápidamente confirmado sacrificando un individuo y examinándole la sangre, ya que la hemoglobina reacciona con los nitritos formando metahemoglobina, la cual da a la sangre un color chocolate oscuro. Generalmente los peces sometidos a niveles letales de nitritos mueren con la boca abierta y los opérculos cerrados.

El amoníaco en el agua se presenta bajo dos formas: amoníaco no ionizado (NH_3), que es tóxico, y el ion amonio (NH_4^+) que no es tóxico, a menos que la concentración sea demasiado alta. $NH_3 + H^+ \rightarrow NH_4^+$

Los niveles tóxicos del amoníaco no ionizado para exposiciones de corta duración por lo general están entre 0.6 y 2 mg/l. Los efectos subletales se manifiestan en valores entre 0.1 y 0.3 mg/l. El pH y la temperatura regulan la

proporción de amoníaco total que existe en la forma no ionizada. El aumento del pH y de la temperatura incrementa el porcentaje de amoníaco no ionizado y por consiguiente su toxicidad, como se observa en la tabla 3 y la figura 11, donde se muestra la relación entre el ion amoniacal y el gas amoniacal a diferentes valores de pH.

4.6 SULFURO DE HIDRÓGENO

No es un parámetro muy común de los estanques de peces, valores bajos de pH facilitan la presencia del sulfuro de hidrógeno no ionizado. Si hay déficit de oxígeno y un alto contenido de sulfato y materia orgánica en el agua se pueden presentar mortalidades, debido a que los iones de sulfurosos se combinan con el hierro de la hemoglobina bloqueando la respiración. Cuando esto ocurre los síntomas en los peces corresponden a branquias de coloración violeta rojiza, con infiltración sanguinolenta. El sulfuro de hidrógeno no ionizado es tóxico para los peces en concentraciones menores de 1 mg/l, lo cual ocurre por lo general en aguas contaminadas, con abundante materia orgánica y bajo pH.

4.7 CICLO DEL FÓSFORO

El fósforo es un nutriente requerido para el crecimiento de las plantas y es abundante en los huesos y dientes de los animales. La relación de **carbono - nitrógeno - fósforo**, requerido por la mayoría de las especies de fitoplancton es de **106 - 16 - 1** (Stickney, 1979), lo que indica que cantidades muy pequeñas de fósforo influyen en la productividad primaria.

Corresponde a uno de los elementos principales en la vida de las plantas y es componente de ciertas proteínas, de los ácidos nucleares y de los nucleótidos y por lo general es el elemento regulador del crecimiento del fitoplancton en los estanques.

TABLA 3. Porcentaje de amonio total en la forma no ionizada (NH₃) a diferentes temperaturas y valores de pH (tomado de Emerson *et al.*, 1975)

Temperatura °C	pH				
	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5
16	0.1	0.3	0.9	2.9	8.5
18	0.1	0.3	1.1	3.3	9.8
20	0.1	0.4	1.2	3.8	11.2
22	0.1	0.5	1.4	4.4	2.7
24	0.2	0.5	1.7	5.0	14.4
26	0.2	0.6	1.9	5.8	16.2
28	0.2	0.7	2.2	6.6	18.2
30	0.3	0.8	2.5	7.5	20.3

El crecimiento normal de las algas y la producción primaria de materia orgánica en el agua están condicionadas a la existencia de fósforo, pero las aguas naturales no son ricas en fósforo y esto limita el desarrollo de las algas.

El fósforo se puede encontrar en forma mineral o en compuestos orgánicos (Fig. 12), quizás el más común corresponde al fosfato tricálcico Ca₃(PO₄)₂, que es un componente importante de los huesos y es así como en harina de huesos el porcentaje de fósforo es del 22-25% (Hepher sin fecha). El fosfato tricálcico no es soluble en agua y difícilmente soluble en ácidos orgánicos. La mayoría de los compuestos de fósforo presentes en la naturaleza no son solubles en agua, por consiguiente el agua lluvia que se percola a través de la roca y del suelo disuelve pequeñas cantidades de fosfatos. Por lo general la concentración puede ser de 1-3 microgramos por litro.

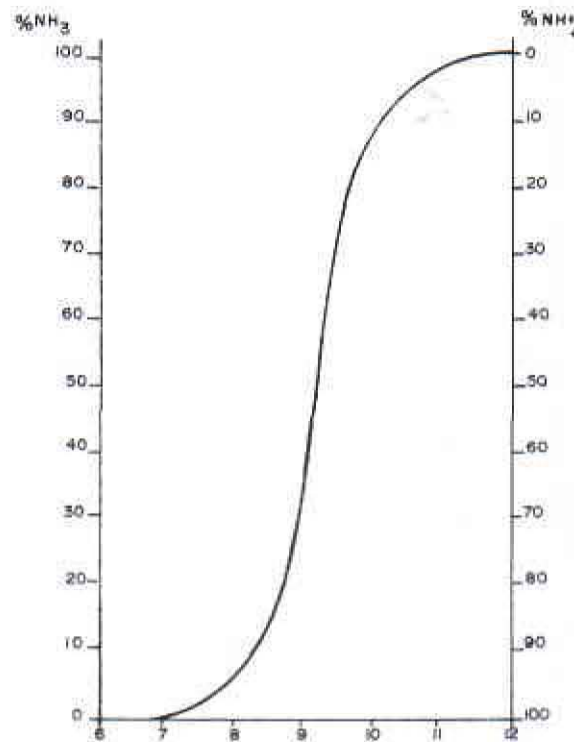


FIGURA 11. Relación cuantitativa entre el ion amoniacal y gas amoniacal a diferentes pH (temperatura del agua a 25°C) (tomado de Hopher, sin fecha)

La principal fuente de fósforo en el agua es de origen orgánico, la mayor concentración de fósforo está en la capa de agua más próxima al fondo debido a que existe un suministro constante y considerable de fósforo por la descomposición de materia orgánica, además al que se deposita como fosfatos o es absorbidos como coloide.

4.8 CONTAMINACIÓN

Aunque no es un parámetro propio de la calidad del agua es importante enunciarlo debido a las graves consecuencias que ocasiona la contaminación bien sea de origen industrial, agrícola o por pesticidas. Estas últimas son los más frecuentes y pueden alcanzar los estanques vía escorrentía o por el viento. Según Boyd y Lichtkoppler (1979), los niveles de toxicidad aguda para muchos insecticidas de uso común están en el orden de los 5 a los 10 microgramos por litro y concentraciones mucho más bajas pueden ser tóxicas luego de una exposición prolongada. Aun cuando los peces no mueran se puede producir a largo plazo daños irreversibles a las poblaciones de peces de medios contaminados con pesticidas y además puede afectar la cadena trófica del estanque y por consiguiente el crecimiento de los peces.

Finalmente, es importante cuando se va a escoger el terreno para el establecimiento de un proyecto de acuicultura, verificar que la cuenca que va abastecer los estanques esté libre de contaminación.

5. CORRECTIVOS A LA CALIDAD DEL AGUA

5.1 REMOCIÓN DEL DIÓXIDO DE CARBONO

El CO₂ puede removerse del agua mediante la aplicación de hidróxido de calcio Ca(OH)₂, el cual se aplica a razón de 1.68 mg/l por cada mg/l de CO₂ a eliminar. Su aplicación debe efectuarse con cuidado debido a que incrementa el pH del agua.

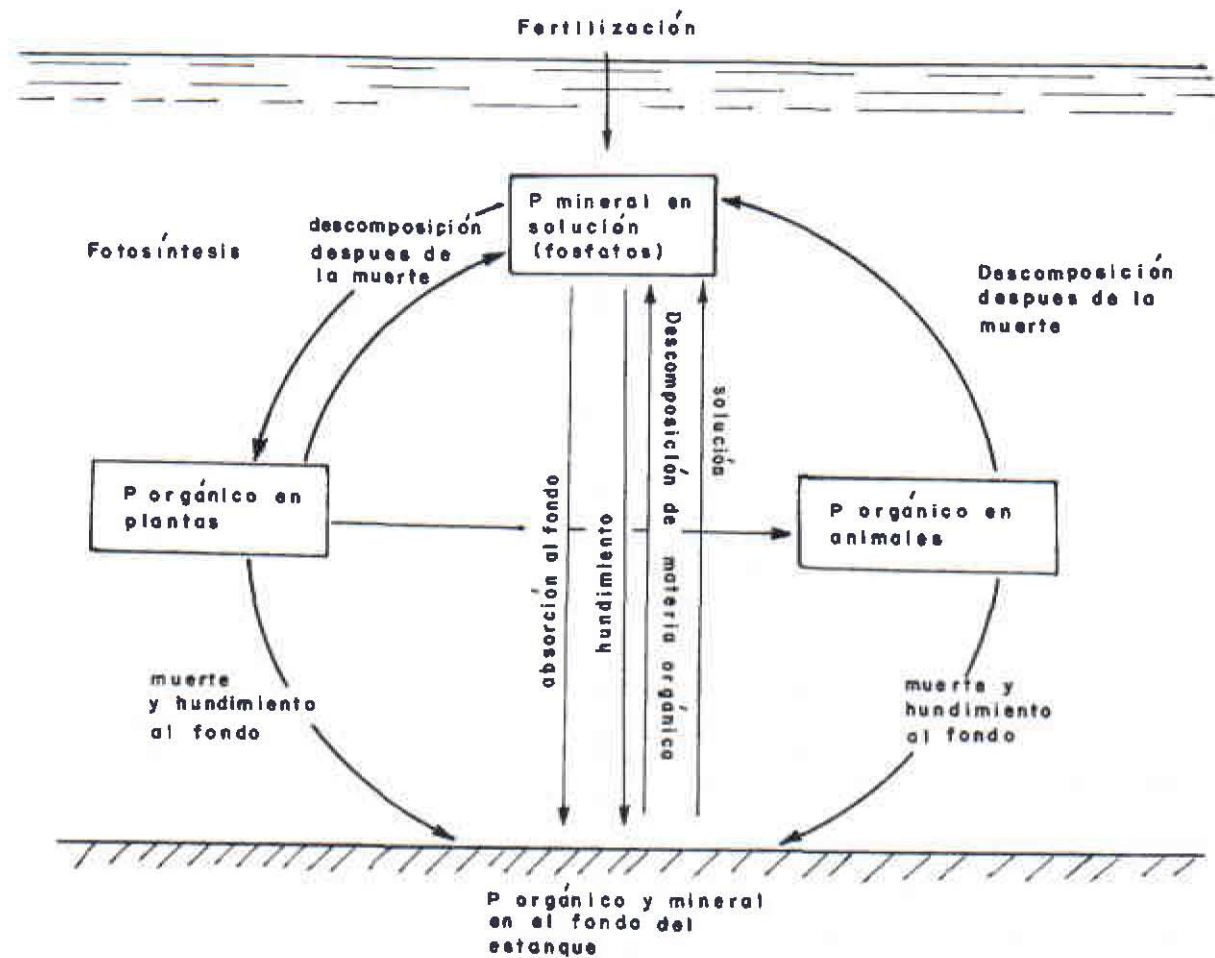


FIGURA 12. Ciclo del fósforo en un estanque

5.2 ALCALINIDAD

Las aguas con niveles bajos de alcalinidad son poco productivas debido a la poca presencia de dióxido de carbono y de bicarbonato. Además, aguas de alcalinidad baja generalmente son fuertemente ácidas y no presentan condiciones adecuadas para que vivan los organismos acuáticos. De otro lado, el fondo de los estanques de baja alcalinidad son ácidos y permiten que el lodo absorba el fósforo de los fertilizantes.

Por consiguiente la adición de cal a estanques de baja alcalinidad incrementan el pH del agua, facilitan la solubilidad del fósforo e incrementa el carbono disponible para la fotosíntesis.

La cantidad de cal a suministrar a un estanque debe estar de acuerdo con la alcalinidad total; si está por encima de 20 mg/l no es necesario encalar. Además es una práctica que se hace cuando se va a abonar para facilitar la disolución del fósforo. En estanques donde los peces van a depender únicamente del alimento concentrado no es necesario encalar, ya que éstos no van a necesitar aguas productivas que le suministren alimento natural.

Boyd (1979) experimentó aplicando cal agrícola bien molida $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ en cinco estanques a una tasa de 4000 kg/ha, dejando como control cinco estanques sin encalar, cuya alcalinidad era de 13.5 mg/l. Todos los 10 estanques se fertilizaron observándose un marcado incremento en la dureza total y en la alcalinidad total, así como un mejor pH del lodo en los estanques que fueron encalados. La producción en estos últimos estanques fue mayor en un 25% que en los no encalados.

La aplicación de cal es más práctica hacerla cuando el estanque está desocupado, pero se puede hacer con el estanque lleno.

La cal apagada $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y la cal viva son mejores neutralizantes que la cal agrícola; sin embargo, su aplicación en grandes cantidades incrementa el pH y su uso se recomienda para eliminar peces después de drenar los estanques.

5.3 DISMINUCIÓN DE LA TURBIDEZ

Como ya se mencionó, el principal causante de la turbidez es la arcilla en suspensión la cual limita la penetración de los rayos solares y por consiguiente la fotosíntesis y la productividad de un estanque.

La turbidez se puede controlar por varios métodos. El más usual es la aplicación de alumbre (sulfato de aluminio, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$, el cual permite que las partículas de arcilla se floquen y se precipiten al fondo. Se recomienda aplicar alumbre a razón de 35 - 40 mg/l. Cuando se aplica este compuesto hay que tener en cuenta que se produce una reacción ácida que disminuye el pH y afecta la alcalinidad, por consiguiente en alcalinidades menores de 20 mg/l es necesario encalar.

Otro método es aplicar paja seca a razón de 2000 - 4000 kg/ha o estiércol de vacuno a razón de 2000 kg/ha, pero este tratamiento es demorado en mostrar resultados y puede durar varias semanas.

5.4 CONTROL DEL PH

Para disminuir el pH se aplican fertilizantes a base de amonio, cuyo efecto se presenta debido a que el ion amonio es nitrificado a nitrato, liberando el ion hidrógeno, que permite una disminución del pH. En pH muy altos hay que tener especial precaución debido a que un porcentaje del ion amonio es transformado en amonio no ionizado que es altamente tóxico para los organismos en cultivo.

5.5 OXÍGENO DISUELTO

Por lo general cuando el CO_2 es alto el nivel de oxígeno es muy bajo y la aplicación de hidróxido de calcio eliminará la materia orgánica y la producción de CO_2 . Se recomienda aplicar 1.68 mg/l de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ por cada mg/l de CO_2 a eliminar.

5.6 AIREACIÓN DEL AGUA

La aireación consiste en el uso de equipos que incrementen el contacto del aire con el agua, generalmente este efecto se consigue sobre la superficie del agua. El uso de los aireadores se realiza para prevenir el estrés o la mortalidad de la población bajo cultivo, cuando se presentan bajas en la concentración de oxígeno disuelto. Este proceso mecánico comúnmente conocido como aireación de emergencia.

Cuando se utilizan densidades muy altas de siembra en un estanque es necesario aplicar en forma permanente la aireación. Se han reportado producciones superiores a 30000 kg de peces por hectárea con una permanente aireación; sin embargo, para obtener altas producciones es necesario renovar un porcentaje considerable de agua que oscila entre el 10 y el 30%, con lo cual se ayuda a remover el amonio y otros metabolitos tóxicos.

Algunos acuicultores emplean la aireación solamente de noche cuando la concentración de oxígeno disminuye. En la figuras 13 y 14 se presentan diferentes medios mecánicos usados para incrementar el contacto del aire con el agua.

Además de incrementar el intercambio de oxígeno entre la atmósfera y el agua, la aireación trae otros beneficios, entre los cuales vale la pena destacar los siguientes:

- ◆ Se homogeniza la temperatura del agua debido a que durante el día la capa superficial del agua se calientan más que las profundas. Esta estratificación puede causar agotamiento del oxígeno disuelto en el fondo, debido a que

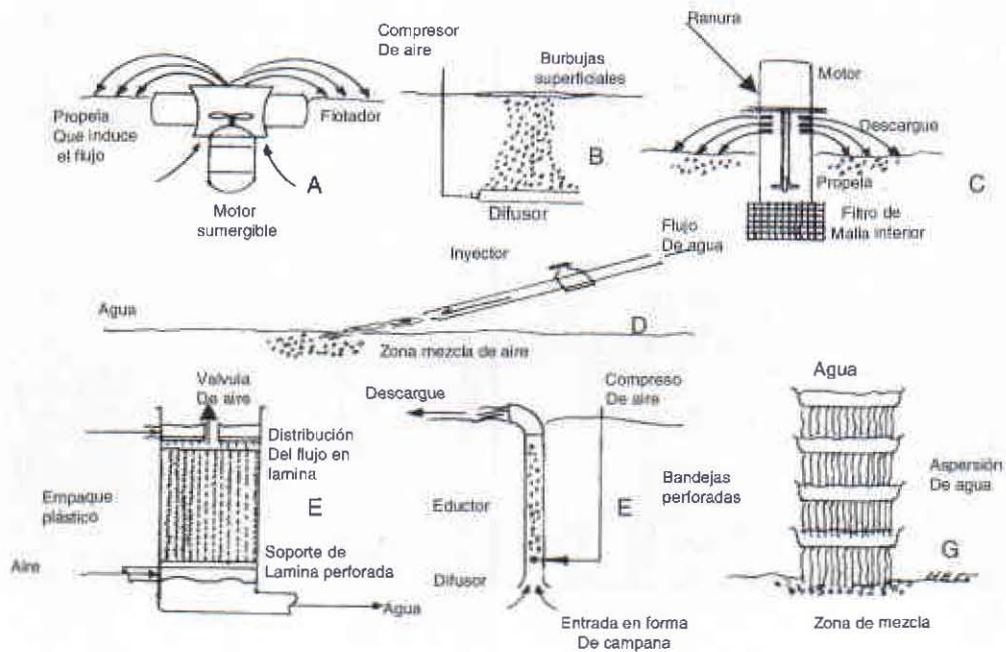


FIGURA 13. Equipos usados para incrementar el contacto aire agua. A. Agitador de superficie flotante. B. Difusor de aire sumergido. C. Agitador de superficie con tubo eductor. D. Aireador de agua inyectada, tipo "jet" E. Columna de contra corriente del flujo aire-agua. F. Sistema de paso de agua por acción de la burbuja denominado "air-lift. G. Cascada. Tomado de Watten (1994).

la mayor parte del oxígeno se origina por la fotosíntesis en las capas superiores o por el que capta a través del intercambio aire-agua en superficie.

- ◆ Se incrementa la circulación del agua tanto en sentido horizontal como en la columna de agua.
- ◆ Ayuda a la eliminación de gases disueltos

La aireación también causa efectos secundarios negativos, entre los cuales los más significativos son:

- ◆ La aireación crea corrientes de agua y los animales gastan energía nadando contra la corriente que de una u otra forma podrían gastar en crecimiento.
- ◆ Causa erosión de los taludes del estanque a consecuencia del pequeño oleaje que se genera. Algunos aireadores causan erosión al fondo del estanque y el agua presenta una mayor concentración de partículas de suelo suspendidas.

5.7 LA FERTILIZACIÓN Y EL INCREMENTO DE LA PRODUCCIÓN NATURAL DE ORGANISMOS DEL ESTANQUE

La aplicación de abonos o fertilizantes a un estanque es una estrategia para aumentar la producción de alimento natural.

El nitrógeno, fósforo y potasio son los denominados **nutrientes primarios**, los cuales conjuntamente con la energía solar constituyen la materia prima para iniciar la producción de materia orgánica a partir del proceso fotosintético efectuado por el fitoplancton, el cual sirve de alimento al zooplancton, a insectos acuáticos y a peces consumidores de fitoplancton .

El grado del fertilizante se refiere a los porcentajes en peso de nitrógeno(N), fósforo (P_2O_5) y potasio (K_2O), lo que quiere decir que un abono de grado 10-30-10 contiene el 10% de nitrógeno, 30% de fósforo y 10% de potasio. El calcio, el magnesio y el azufre son denominados **nutrientes secundarios** de los fertilizantes. Nutrientes como el



FIGURA 14. Aireador de paleta

cobre, zinc, boro, manganeso, hierro y el molibdeno también son necesarios y pueden estar presentes en algunos fertilizantes. La composición de algunos de los fertilizantes más comunes se indica en la tabla 4.

5.7.1 Fertilización inorgánica

El uso de fertilizantes para aumentar el rendimiento de un estanque tiene bastante analogía con el área agropecuaria, donde se usan los fertilizantes para mejorar la calidad de los pastos y así obtener mayor producción de ganado (Boyd y Lichtkoppler, 1979). Por tal razón el acuicultor debe tener en cuenta algunos de los principios básicos que regulan el uso benéfico de los fertilizantes en la agricultura que relacionan la proporción de fertilizante, la producción con el valor económico del fertilizante y del producto.

En un estanque la producción de plancton se desequilibra con mayor frecuencia por la escasez de fósforo. Los fertilizantes a base de fosfatos son los más usados para la producción acuícola, pero en algunos estanques resulta benéfico aplicar también el nitrógeno. Tacon (1989) presenta una tabla con el incremento de la producción a partir de la aplicación de fertilizantes químicos (Tabla 5).

Es importante tener en cuenta que los requerimientos de fertilizante varían en los diferentes estanques y por lo tanto se debe tener presente que una recomendación de aplicación de un fertilizante que funcione en un estanque puede que no sirva para otro. La abundancia de plancton medida con el Disco Secchi puede emplearse para determinar si una preparación de fertilizante es aconsejable.

Métodos de aplicación de los fertilizantes inorgánicos

Grandes cantidades de fertilizantes a intervalos prolongados son un desperdicio, porque la mayoría del fósforo es absorbido por el lodo y el nitrógeno se pierde por desnitrificación (Boyd y Lichtkoppler, 1979). El fertilizante se puede aplicar lanzándolo desde la orilla del estanque, pero la aplicación es más eficiente si el fertilizante se coloca en plataformas sumergidas.

Este método de aplicación evita que el fósforo se asiente en el fondo donde es rápidamente atrapado por el lodo. Boyd y Lichtkoppler (1979) mencionan que las plataformas deben quedar 30 cm por debajo del agua y una plataforma es adecuada para 2 ó 3 hectáreas de área del estanque. El fertilizante se vierte sobre la plataforma y las corrientes se encargan de distribuir los nutrientes a medida que se disuelven.

TABLA 4. Composición de los fertilizantes inorgánicos más comunes (tomado de Boyd y Lichtkoppler, 1979)

Compuesto	Contenido en porcentajes		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Nitrato de amonio	33-35	-	-
Sulfato de amonio	20-21	-	-
Metafosfato de calcio	-	62-64	-
Nitrato de calcio	15.5	-	-
Fosfato de amonio	11.16	20-48	-
Muriato de potasa	-	-	50-62
Nitrato de potasio	13	-	44
Sulfato de potasio	-	-	50
Nitrato de sodio	16	-	-
Superfosfato	-	18.20	-
Superfosfato (doble/triple)	-	32-54	-

TABLA 5. Incrementos en la producción reportados para peces y camarones en estanques fertilizados químicamente, comparados con estanques testigos sin fertilizar (tomado de Tacon, 1989)

Especies	Incremento en la producción (%)	Fertilizante utilizado	Fuente
<i>Oreochromis mossambicus</i>	440	Fosfatos	Vander Lingen (1967)
<i>Tilapia (híbrido)</i>	82-222	Fosfatos	Lazard (1973)
<i>Tilapia sp</i>	214	Fosfatos	Strum (1966)
<i>Oreochromis niloticus</i>	340	Fosfatos	George (1975)
<i>Tilapia (híbrido macho)</i>	302-420	Fosfatos	Hickling (1962)
<i>Oreochromis mossambicus</i>	174	0:8:2 (NFP)	Varikul (1965)
<i>Oreochromis mossambicus</i>	170	8:8:2 (NFP)	Varikul (1965)
<i>Cyprinus carpio</i>	752-945	F:A:S	Hepher (1963)
<i>Cyprinus carpio</i>	109	0:8:2 (NFP)	Swingle <i>et al.</i> (1963)
<i>Cyprinus carpio</i>	137	8:8:2 (NFP)	Swingle <i>et al.</i> (1963)
<i>Ictalurus punctatus</i>	565	0:8:2 (NFP)	Swingle <i>et al.</i> (1963)
<i>Ictalurus punctatus</i>	476	8:8:2 (NFP)	Swingle <i>et al.</i> (1963)
<i>Mugil cephalus</i>	167	Fosfatos	El Zarka y Fahmy (1968)
<i>Penaeus stylirostris</i>	89	Fosfatos/úrea	Rubright <i>et al.</i> (198)

Debe efectuarse control de maleza en estanques invadidos por macrófitas o estas resultarán estimuladas por el fertilizante en lugar del plancton. Finalmente, los estanques con lodos ácidos y alcalinidad total por debajo de 15-20 mg/lit pueden ser que no respondan a la fertilización, a menos que primero se aplique cal.

Es importante considerar que en algunos casos los estanques nuevos requieren de más fertilización que otros que ya han sido fertilizados varias veces. Así mismo es inútil la fertilización en estanques que tienen flujo permanente de agua a través de él. En los sistemas de cultivo como los intensivos y superintensivos, donde los peces reciben casi todos los requerimientos alimenticios a base de concentrados, no es necesario fertilizarlos.

Algunos fertilizantes tales como úrea, sulfato de amonio y nitrato de amonio estimulan la formación de ácido y su uso continuado puede originar un descenso en la alcalinidad y el pH. La acidez de los fertilizantes nitrogenados puede neutralizarse con cal.

5.7.2 Fertilización orgánica

Contrario a lo que sucede con los fertilizantes inorgánicos, que actúan sobre los organismos autótrofos (fitoplancton), los fertilizantes orgánicos se utilizan para estimular la cadena alimenticia heterotrófica mediante el suministro de materia orgánica y detritus al ecosistema del estanque; el estiércol sirve principalmente como un substrato para el crecimiento de bacterias y protozoarios, los cuales a su vez sirven como alimento rico en proteínas para otros animales del estanque incluyendo los peces y camarones cultivados (Tacon, 1989).

Los fertilizantes orgánicos corresponden a estiércol o desechos vegetales. Estos pueden servir como fuentes directas de alimento para los organismos alimenticios y para los peces, o se descomponen y los nutrientes inorgánicos liberados pueden originar florecimientos de plancton. Los fertilizantes orgánicos tienen poco contenido de nitrógeno, fósforo y potasio, como se puede observar en la tabla 6, pero es importante tener en cuenta que la composición de los nutrientes en los fertilizantes orgánicos varía de acuerdo con la especie, edad, dieta, tratamientos que se le hayan efectuado al estiércol, etc. De otro lado se requieren mayores cantidades para suministrar comparándolo con un fertilizante químico. Además, es necesario considerar que la materia orgánica se decompone y consume oxígeno durante este proceso, y se deben aplicar con cuidado ya que se puede originar disminución del nivel de oxígeno.

TABLA 6. Composición química del estiércol producido por algunos animales (tomado de Dorado y Salazar, 1993)

Animales	Humedad %	Materia orgánica %	Nitrógeno (N) %	Fósforo (P) %	Potasio (K) %
Cerdos de engorde	71	13.34	0.57	0.12	0.37
Patos	57	26.00	1.00	1.40	0.60
Pollos	76	26.00	1.60	1.50	
Vaca lechera	79	17.00	0.50	0.10	

6. CADENA ALIMENTICIA

El plancton está constituido por todos los organismos microscópicos que están en suspensión en el agua e incluye pequeñas plantas (**fitoplancton**), pequeños animales (**zooplancton**) y bacterias.

En sistemas de cultivo de peces donde no reciben alimento suplementario, el plancton se constituye en la fuente principal de la cadena alimenticia, como se observa en las figuras 15 y 16.

Para obtener el máximo rendimiento de un estanque es importante y necesario conocer y saber manejar la cadena alimenticia desde su comienzo, es decir, la producción primaria de materia orgánica.

Los organismos acuáticos se pueden dividir en las siguientes dos categorías:

- a) **Productores o autótrofos:** corresponden a las plantas, tienen capacidad de autoalimentarse y son las encargadas de la producción de materia orgánica con base en la energía solar y los nutrientes por medio de la fotosíntesis y son los que inician la cadena alimenticia.

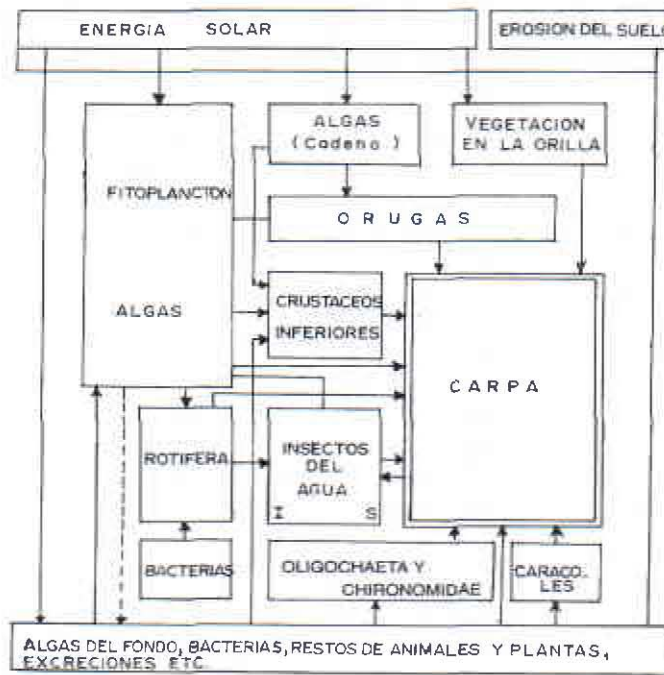


FIGURA 15. Representación esquemática de la cadena alimenticia de la carpa en un estanque (Tomado de Hepher y Pruginin, 1981)

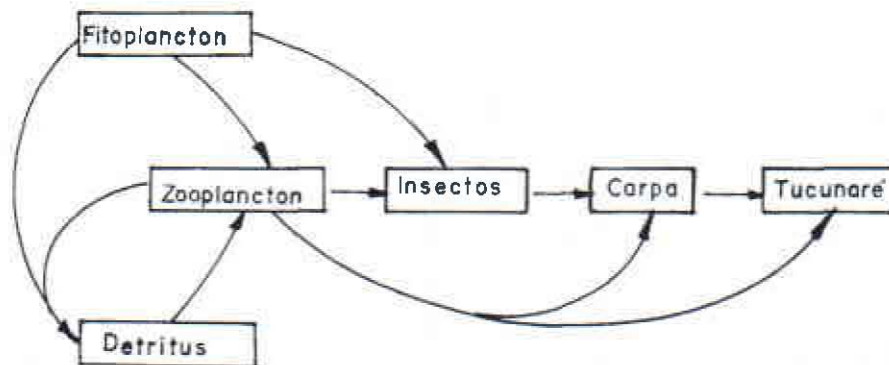


FIGURA 16. Cadena alimenticia representativa de un cultivo en el cual participa un pez carnívoro como el tucunaré (*Cichla ocellaris*) (Modificado de Boyd y Lichtkoppler, 1979)

b) **Consumidores o heterótrofos:** corresponden a los animales y utilizan la materia orgánica producida por los anteriores. Dentro de esta categoría se ubican los descomponedores, como las bacterias, que se encargan de la descomposición de la materia orgánica.

La cadena alimenticia de los organismos de un estanque puede ser corta o larga, dependiendo de que su consumo sea del primer eslabón o de los productores y en este caso es corta, mientras los de cadena larga se alimentan de otros animales, por consiguiente todos los animales herbívoros corresponden a cadena corta o consumidores primarios, ya que se alimentan directamente de material vegetal. Los organismos de cadena larga se alimentan de otros y dentro de estos se pueden dividir en predadores de primer grado aquellos que se alimentan de animales herbívoros y de segundo grado los que se alimentan de otros predadores.

La evolución y productividad de todos los organismos que componen un estanque no dependen sólo de la cantidad de alimento disponible, también entran a consideración otros factores tales como son la temperatura, la concentración de oxígeno y la acción ejercida sobre el plancton por los organismos del estanque en los diferentes niveles tróficos.

Cada uno de los niveles en la cadena trófica puede ser alterado por condiciones adversas y afectar de esta manera los niveles superiores. Se puede dar el caso en que el nivel más bajo sea abundante y algún factor afecte drásticamente un nivel intermedio o superior interrumpiendo la cadena. De lo anterior se deduce que para obtener el máximo rendimiento de un estanque es necesario manejar la cadena trófica integralmente desde su inicio.

Es importante considerar que ningún organismo usa para construcción de su cuerpo el 100% del alimento que toma, ya que una parte del alimento ingerido se convierte en energía y calor. Se ha establecido, de una forma simplificada, que la disipación de energía en cada eslabón de la cadena que no es fijada al siguiente eslabón alimentario sería del 80 al 90%, por lo cual 1 kg de fitoplancton conduciría aproximadamente a 100 g de zooplancton, éstos a su vez a 1 g de predadores o carnívoros de segundo orden. Por consiguiente, debe ser prioridad de la acuicultura la utilización de especies de niveles tróficos inferiores a las de niveles superiores; así sería deseable la utilización de especies de hábitos filtradores, detritívoros, herbívoros., con prioridad a las de carácter carnívoro, predador y omnívoro (Margalef, 1974 en Martínez, 1987).

PRODUCTORES → HERBÍVOROS → CARNÍVOROS → CARNÍVOROS SUPERIORES

Hepher (sin fecha) presenta la producción en los diferentes niveles tróficos del Lago Mendota en los Estados Unidos con los siguientes resultados:

NIVEL TRÓFICO	Gramo-calorías/cm ² /año
Carnívoros superiores	0.3
Carnívoros	2.3
Herbívoros	41.6
Plantas productoras	480.0

Lo anterior permite concluir que para incrementar la producción en el nivel trófico más alto se deben dar las condiciones para aumentar la producción en los niveles tróficos más bajos y sobre todo a nivel de la producción primaria. Por consiguiente, entre más corta sea la cadena alimenticia del organismo en cultivo más eficiente será la producción. El estanque representa el ecosistema más simple y mejor delimitado (Fig. 17).

En los estanques de aguas continentales hay dos tipos de vegetales:

Las algas planctónicas: algas verdes (*Pandorina*, *Scenedesmus*, *Closterium*, *Cosmarium*); algas verde azules o cianofíceas (*Oscillatoria*, *Anabaena*); diatomeas (*Navicula*, *Cyclotella*); algas verdes (*Spirogyra*, *Pediastrum*); **los vegetales superiores** sumergidos (*Potamogeton*), flotantes (*Eichornia*, *Salvinia*) o erguidos cerca de las orillas como el junco (*Typha*). Estos vegetales son consumidos por la fauna herbívora, constituida por el **zooplancton** como pequeños crustáceos los cladóceros (*Daphnia*, *Bosmina*), copépodos (*Cyclops*, *Diaptomus*) y rotíferos; caracoles que viven sobre los sustratos, como *Limnaea*, *Planorbis*, *Pomacea*, *Marissa* y por peces herbívoros como la mojarra plateada *Oreochromis niloticus* (filtrador de fitoplancton) y la mojarra herbívora *Tilapia rendalli* que consume vegetales superiores.

Estos herbívoros sirven de alimento a los **peces carnívoros** de primer orden, pero el zooplancton es también objeto de atención de otros carnívoros como insectos. Una cierta parte de los carnívoros de primer orden son consumidos por **depredadores de segundo orden** como la trucha *Onchorynchus mikiss* y el tucunaré *Cichla ocellaris*, que culminan la cadena.

Es importante considerar que se establecen **intercambios entre ecosistemas**, ciertos herbívoros terrestres como algunos insectos pueden caer al agua y ser comidas por carnívoros acuáticos, además, diversos carnívoros terrestres, como el martín pescador (familia Alcedinidae), las garzas, el águila pescadora (*Pandion haliaetus*), la babilla (*Caiman cocodrilus fuscus*), muchas veces obtienen su alimento entre los peces del estanque.

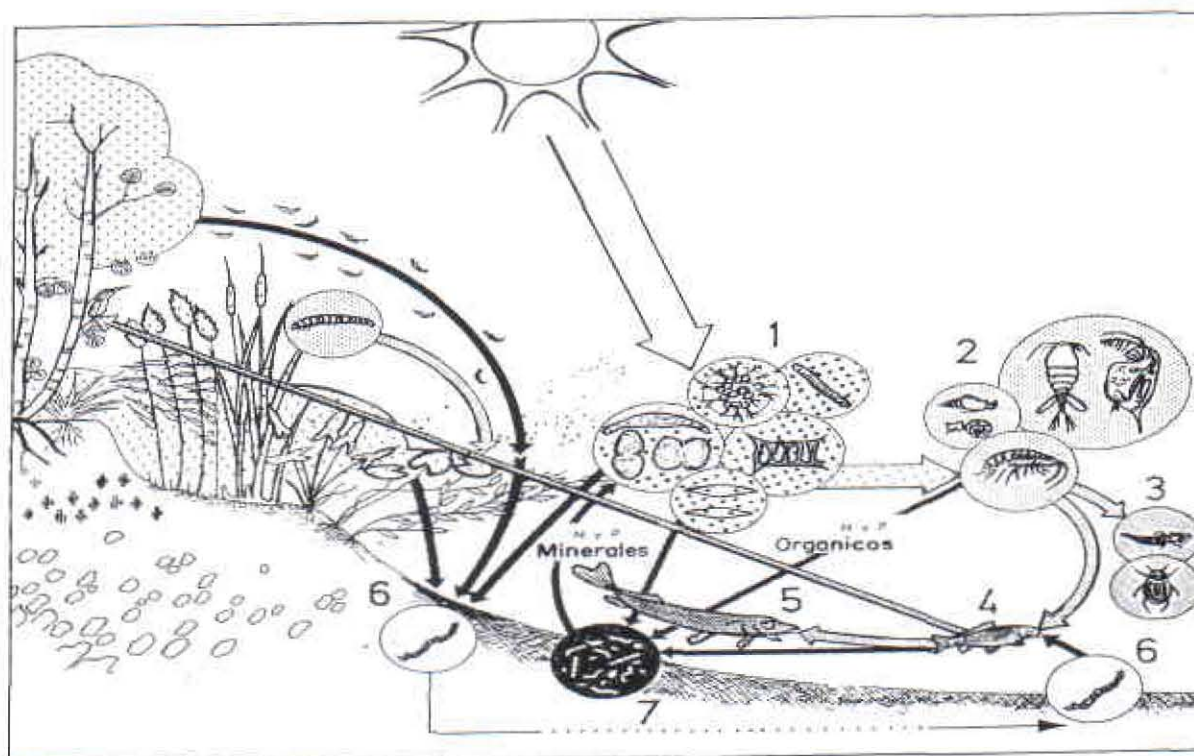


FIGURA 17. Esquema del ecosistema estanca. 1) Fitoplancton *Navicula*, *Scenedesmus*, *Pandorina*, *Oscillatoria*, *Cosmarium*. 2) Zooplancton como copépodos, rotíferos, cladóceros. 3) Insectos tanto larvas como adultos. 4) Carpa *Cyprinus carpio*. 5) Tucunaré *Cichla ocellaris*. 6) Larva de quironómidos. 7) Bacterias.

Los vegetales muertos sirven de alimento a los saprobios. Así los quironómidos descomponen la materia orgánica cualquiera que sea su origen (acuático o terrestre, es decir, de la vegetación litoral), siendo luego presa de peces como la carpa, a través de los que introducen de nuevo en el ciclo una parte de la materia orgánica.

Finalmente, las bacterias descomponen la materia orgánica y liberan los elementos minerales, restituyendo a los vegetales aquellos elementos biógenos que precisan para su asimilación.

Existen varias técnicas para medir la abundancia del plancton, pero la mayoría son tediosas y poco prácticas para el acuicultor. La técnica más aconsejable para ser usada en estanques que no contengan una apreciable turbidez de arcilla, es medir la visibilidad del Disco Secchi, debido a que hay una alta correlación entre la visibilidad del disco y la abundancia de plancton (Fig. 18). Es importante que el acuicultor sepa distinguir entre la turbidez del plancton y otras formas de turbidez, debido a que no siempre los florecimientos de plancton son verdes.

No es posible establecer una turbidez de plancton ideal para cultivo. Sin embargo, se acepta que una visibilidad del Disco Secchi entre 30 y 60 cm es generalmente la adecuada para una buena producción de peces y para sombrear las malezas acuáticas. A medida que la visibilidad del Disco Secchi disminuye de 30 cm hay un incremento en los problemas de oxígeno disuelto.

7. EL BENTOS DE UN ESTANQUE

Este término se aplica para referirse a todos los organismos que viven dentro o sobre el suelo del fondo. Estos organismos influyen en las características del suelo, como resultado de sus diferentes actividades. Pero el grupo que

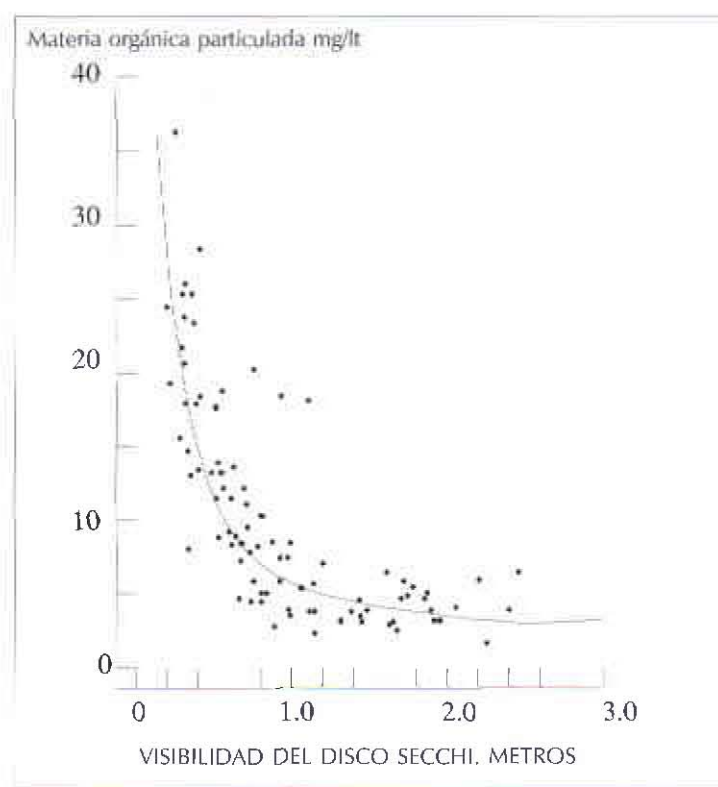


FIGURA 18. Relación entre la abundancia del plancton (materia orgánica particulada) y la visibilidad del disco de Secchi en estanques para peces (Tomado de Boyd y Lichtkoppler, 1969)

tiene más influencia entre los organismos del suelo son las bacterias. Las bacterias así como otros microorganismos descomponen la materia orgánica del suelo y en sus actividades metabólicas consumen oxígeno y producen desechos metabólicos potencialmente tóxicos.

8. EFECTO DEL SUMINISTRO DE ALIMENTO SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA EN UN ESTANQUE

Algunos de los problemas de calidad de agua y de suelo que se presentan en un estanque son generados por el suministro de alimento concentrado que se utiliza para incrementar la producción, los cuales en términos generales causan problemas de disminución de oxígeno, incremento de nutrientes, de materia orgánica, de amonio y disminución de pH.

Gran parte del alimento que se suministra a una población bajo cultivo es consumida; sin embargo **el alimento no consumido** es convertido por acción de las bacterias en diferentes sustancias que se disuelven en el agua siendo las más importantes el dióxido de carbono, el amonio y los fosfatos y las partículas mayores pasan a sedimentarse.

Gran parte del **alimento consumido** es absorbido por el intestino y convertido en carne y el que no se utiliza se vuelve heces y a su vez estas son convertidas por acción bacteriana y se convierte en materia orgánica soluble y sedimento.

Gran parte del **alimento absorbido** es devuelto al agua a través de los procesos metabólicos como dióxido de carbono a causa de la respiración y como amoníaco y fosfatos en la excreción.

A causa de los tres procesos anteriores (alimento no consumido, consumido y absorbido) se generan nutrientes inorgánicos mineralizados que se obtienen por la acción de los microorganismos y que son utilizados por el fitoplancton y a su vez éste produce oxígeno en la fotosíntesis y lo consume durante la respiración y finalmente cuando muere se convierte en materia orgánica muerta la cual es atacada nuevamente por los microorganismos. En la figura 19 se presenta el ciclo del alimento en un estanque.

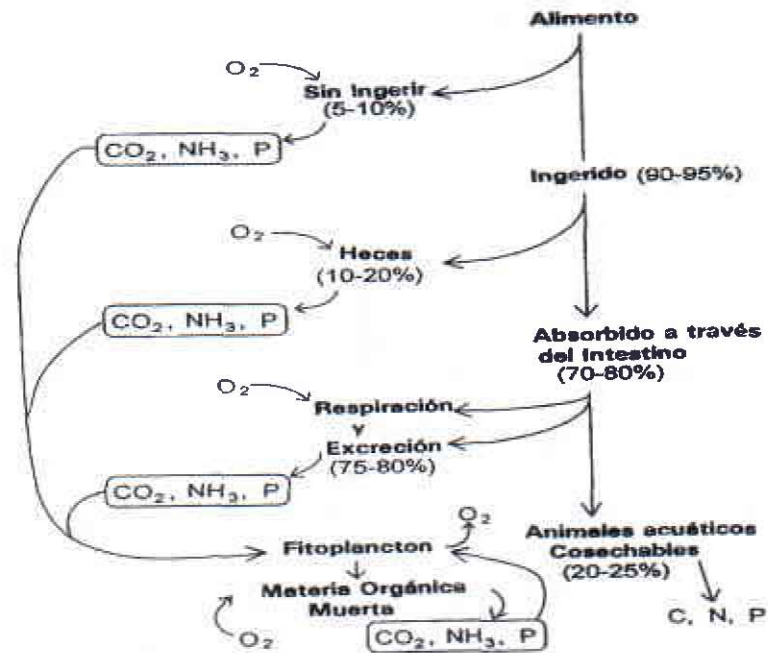


FIGURA 19. Ciclo del alimento suministrado a una población bajo cultivo (tomado de Boyd, 2000)

En la tabla 7 se presenta el suministro de carbono, nitrógeno y fósforo a un estanque con base a una producción de 1000 Kg de tilapia y con una conversión alimenticia de 2:1, el remanente de materia seca, carbono, nitrógeno y fósforo causa contaminación en el estanque Boyd (2000). El mismo autor menciona que los nutrientes provenientes de la producción de 1000 kilos de peces vivos, estimulan el crecimiento del fitoplancton hasta aproximadamente 2500 kilos de materia orgánica seca.

De otro lado es importante tener en cuenta que como producto metabólico está el amoníaco que es altamente tóxico.

La mayor parte de la materia orgánica y los nutrientes originados por los alimentos se disuelven en el agua o son atrapados por el fondo del estanque y a su vez estos nutrientes son aprovechados por el fitoplancton y la materia orgánica en su descomposición demanda oxígeno y genera gases hacia la atmósfera finalmente la materia orgánica, los nutrientes y las partículas suspendidas son drenadas a la fuente de agua generando contaminación (Fig. 20).