

DINAMICA DE LOS ESTANQUES EN ACUICULTURA
(Editado por H. Eгна y C. Boyd, 1997. Resumido por Dirección de Acuicultura)

1.- INTRODUCCIÓN GENERAL

El libro original, titulado “Dynamics of Pond Aquaculture”, fue editado en 1997 y contiene información general a partir de fuentes prácticas, altamente calificadas. Posee además, en su último tramo, una extensa lista referencial de trabajos que pueden consultarse. La mayoría de los datos aportados en este resumen, provienen de investigaciones llevadas a cabo por el Programa de Dinámica de los Estanques en Acuicultura (CRSP) y deriva principalmente de las investigaciones realizadas por el mencionado equipo en varios países. La Dirección de Acuicultura ha traducido y resumido para los interesados, los capítulos que ha considerado de mayor importancia y acceso para un técnico especializado en acuicultura. *Se lo considera sumamente importante desde el punto de vista que permite conocer los “principios y las prácticas para manejo de los estanques en acuicultura”, respondiendo principalmente a las preguntas de cómo interactúan los procesos físicos, químicos y biológicos para la regulación de la productividad en estos sistemas.* El entendimiento de cómo funcionan dinámicamente los estanques acuícolas, permitirá al productor efectuar un adecuado manejo y obtener mejores rindes en producción, con rentabilidad asegurada. Aunque en algunos tramos, el contenido está dedicado específicamente al cultivo de la especie de tilapia, *Oreochromis niloticus* (la más expandida en cuanto a cultivos mundiales), puede servir de marco general para el tratamiento de estanques, con cultivos desarrollados en sistemas denominados “semi-intensivos” con otras especies de peces, que son por otra parte, los sistemas más utilizados actualmente en la región del subtrópico argentino y serán aptos, inclusive, para una amplia región templada.

CAPITULO I.

1.- CALIDAD DE AGUA EN LOS ESTANQUES

Los varios químicos disueltos en el agua, así como la temperatura y otros factores físicos que son atributos del agua, se combinan en conjunto para formar lo que se denomina “calidad del agua”. En los sistemas acuícolas, los cambios en las características del agua que mejoran la producción de un cultivo deben considerarse como mejoramientos en la calidad del agua; mientras que, aquellos cambios que reducen la producción, son consecuencia de una degradación de dicha calidad.

Las características de “buena agua” suelen ser considerablemente diferentes para algunas especies que para otras. Las características del agua que aumentan la producción de tilapia, por ejemplo, pueden ser peligrosas para otras especies, como la trucha, pero pueden ser similares para peces del subtrópico y el clima templado argentino. Las especies, en general, se seleccionan para cultivo cuando ellas son tolerantes a una pobre calidad de agua. Por lo tanto, esta calidad debe contemplarse desde el punto de vista de cada una de las especies cultivadas.

En este trabajo, se analiza la calidad de agua para distintos sistemas de cultivo, desde un semi intensivo hasta un intensivo, siempre que los mismos sean realizados en estanques. La calidad del agua en los estanques es el factor determinante de la producción de peces.

Esta calidad, estará fuertemente influenciada por las prácticas del manejo realizado en los estanques; donde se incluye, por ejemplo, la densidad de siembra, las estrategias adoptadas para su fertilización, la alimentación suplementaria ofrecida, la toma de datos sobre las variables físicas y químicas, etc. O sea, que los cultivos pueden manipularse, así como las variables ambientales y químicas, en función de la producción a obtener; impidiendo su limitación por medio de procesos físicos o químicos como la aireación, el encalado o el recambio de agua. Es decir, que la manipulación en el manejo, es la mejor herramienta en una producción semi intensiva de peces y significa una importante limitante de no efectuarse correctamente.

Algunas características propias del agua de cultivo, limitan fuertemente la producción de peces, como por ejemplo, la calidad de los minerales disueltos, el pH del agua, la alcalinidad, la dureza; que serán influenciados según el origen de la fuente de agua de abastecimiento e influida por los suelos que esta atraviesa; y por los suelos; así como por los aspectos geológicos y climáticos del sitio elegido. La tilapia, por ejemplo, crece bien cuando las aguas son relativamente cálidas y la tasa de productividad primaria es alta. Asimismo, las prácticas empleadas en la acuicultura, influyen también la calidad del agua.

La fuerte tensión superficial del agua, limita la difusión de los gases dentro y fuera de ella. El agua tiene un calor específico alto, lo que la hace resistente a los cambios de temperatura.

2.- VARIABLES

2.1.- LUZ: dependiendo del ángulo de incidencia, solo una porción disponible de la luz solar penetra bajo la superficie del agua. La radiación solar que penetra en el agua se extingue rápidamente con la profundidad. En un lago de agua pura, solo un 40 % de la luz alcanzará el metro de profundidad. El calor producido por la radiación es mayormente absorbido en superficie, mientras que la mezcla de agua cálida proveniente de las profundidades, estará influenciada por el viento. La profundidad absoluta a la que alcanza a llegar la luz, estará además influenciada por los materiales disueltos y suspendidos en el agua. Esta penetración puede estimarse por medio del disco de Secchi (un disco de metal, con cuartos alternados, pintados en blanco y negro), que es sumergido en el agua por medio de una soga marcada cada 10 cm, hasta que su imagen desaparece. En los estanques de acuicultura dicha profundidad, raramente, llega a sobrepasar el metro. En estanques fertilizados, alcanza entre los 40-50 cm durante los períodos de engorde. Sin embargo, cuando se agregan nutrientes (abonos) en cantidades significativas, la SDD disminuye hasta los 25 cm o menos, debido al abundante crecimiento del fitoplancton y el consecuente sombreado que se produce. En algunos

estanques, la arcilla existente en alto porcentaje, puede llevar a una medida de SDD de solo 10 - 15 cm. Sin embargo, en estos estanques pueden agregarse fertilizantes que aumentarán la SDD (visibilidad) por remoción de la arcilla suspendida y en consecuencia, también aumentará, la productividad primaria (proporcionada por el fitoplancton). La SDD puede considerarse como un indicador de la abundancia relativa de fitoplancton. Existe una correlación entre esta medida y la clorofila a (que confiere el color verde a las algas y vegetales superiores), en los estanques típicos de acuicultura (no en aquellos que contienen alta cantidad de arcilla en suspensión).

2.2.- NUTRIENTES Y METABOLITOS: el anhídrido carbónico (CO₂), la alcalinidad y el pH.

La relación entre estos 3 factores es muy conocida en la ciencia del agua. La alcalinidad, es una medida de todas las bases contenidas en el agua, que incluyen al carbonato (CO₃), el bicarbonato (HCO₃), el amonio, el hidróxido, los fosfatos, silicatos y algunos ácidos orgánicos. La fuente de alcalinidad en el agua, se debe a las sales de ácidos débiles, que se disocian en el agua. Gran parte de la alcalinidad en agua dulce, es consecuencia de los iones de carbón (carbonatos y ácidos carbónicos) que está interrelacionados; dependiendo estas proporciones del pH existente en el medio. A medida que el pH aumenta, el bicarbonato se hace más común, hasta alcanzar un pH de 8,3. Si el pH continúa subiendo, el carbonato se hace aún más común. Como el pH en los estanques de cultivo, se encuentra a menudo entre 7 y 8 unidades, mucho del carbono inorgánico se manifiesta bajo la forma de bicarbonato. La alcalinidad puede limitar la productividad primaria cuando se encuentra en los 30 mg/L, mientras que en el otro extremo, una mayor alcalinidad, de 120 mg/L puede reducir la productividad primaria sin fertilización.

2.3.- NITROGENO (N₂)

La disponibilidad de N₂ es importante como aporte a la productividad primaria en los estanques de peces y crustáceos, y varios metabolitos nitrogenados (productos de excreción), así como los fertilizantes químicos, tales como el NH₃ (amoníaco) son tóxicos para ambos. El rol del N₂ en la productividad de las aguas continúa siendo debatido por los investigadores, debido a que originalmente se consideró al fósforo como el nutriente limitante en las aguas dulces. El N₂ es aparentemente limitante en algunas aguas del trópico, que incluyen las aguas de los estanques de cultivo.

El nitrógeno inorgánico en los estanques, se encuentra bajo la forma principal de nitratos, nitritos, amoníaco y amonio. La suma de ellos es denominada “nitrógeno inorgánico disuelto” o “nitrógeno total inorgánico”. Estos productos se convierten a través del ciclo natural del nitrógeno, y la presencia o abundancia de sus diferentes formas son afectadas por el pH del agua, su concentración de oxígeno disuelto (OD) y los organismos que producen o consumen ciertas formas de nitrógeno. Además, el

agua, los fertilizantes y los alimentos ofrecidos, constituyen fuentes adicionales de nitrógeno, sumado a la fijación de éste por el fitoplancton y las bacterias.

Cuando se considera al nitrógeno como un nutriente, las células algales lo incorporan en forma de nitrato, aunque también el amonio (NH_4) puede ser utilizado por el fitoplancton. Las aguas de los estanques parecieran ser más altas en nitrógeno proveniente del amonio, que en nitratos /nitritos.

Para mantener altos niveles de producción primaria (necesarios para varias especies que se alimentan del fitoplancton o para regulación de la alimentación basada en zooplancton), se enfatiza que los nutrientes deben agregarse de acuerdo a las necesidades del plancton. Algunas experiencias han mostrado que el nitrógeno puede limitarse cuando los estanques son fertilizados solamente con alta cantidad de abono de aves. Se pueden obtener altas productividades con una tasa de N_2 a P_5 de 4:1, o con una aplicación de 28 Kg N_2 /ha/semana; aunque estos datos deberán ser probados para cada región, específicamente. Estas cantidades pueden lograrse utilizando abonos tales como urea y triple fosfato cuando ello es necesario, pero teniendo en consideración que estos materiales pueden degradar el agua cuando son aplicados en altas cantidades. Cuando se fertiliza semanalmente, la cantidad de nitrógeno total, en promedio, se sitúa alrededor de 0,25 mg/L. El N_2 sigue siendo un componente de controversia en la investigación.

Los metabolitos nitrogenados, como el amoníaco, proveniente de la excreción de los peces y otros organismos acuáticos principalmente, pueden producir una reducción en la calidad de agua.

En estanques de cultivo semi-intensivo, los niveles peligrosos de amoníaco, raramente se convierten en un problema, pero ellos pueden producir toxicidades, cuando se agrega N_2 inorgánico o alimento en altas cantidades. La toxicidad del amoníaco y los nitritos aumenta cuando el pH aumenta. Ambos metabolitos son tóxicos a bajas concentraciones y el amoníaco no- ionizado (NH_3) constituye una porción del amoníaco total cuando el pH aumenta por encima de 7 unidades. De todas formas, el sinergismo existente entre las formas de amoníaco, nitrito tóxico y pH pueden producirse, causando toxicidad o estrés subletal en los estanques a altos pH. Esto es más problemático en estanques con baja alcalinidad.

En general, raramente han sido observados problemas de mortalidades o subletales debidos al N_2 en estanques relativamente pobres en fertilizaciones, bajo numerosas condiciones. En cultivo de tilapia, algunos autores han encontrado efectos negativos en el uso de urea adicionada como nutriente. Algunos problemas fueron encontrados en estanques de tilapia con toxicidades producidas, debidas a metabolitos de N_2 , aún en estanques que carezcan de recambio de agua y con una alimentación suplementaria, a una densidad de 9 peces/m².

2.4.- FOSFORO (P₅)

Este nutriente, es considerado como el mayor limitante en el agua dulce y su aumento, produce en general, un aumento de la producción primaria (fitoplancton) según se trate de sistemas naturales o sistemas de cultivo. Al igual que con el N₂ existen algunos problemas menores con la toxicidad del fósforo, a menos que se produzca un fuerte florecimiento algal, como resultado de un exceso de fósforo y que ello cause, en consecuencia, una falta de oxígeno y mortalidad acompañante. El fósforo se encuentra disponible en su gran mayoría para las plantas (algas y plantas superiores) en la forma de ortofosfatos; pero se lo encuentra también, bajo otras formas y puede medirse como contenido de fósforo total. El fósforo total, es relativamente bajo en las aguas de abastecimiento (entre 0,02 mg/L) pero, a veces, puede alcanzar altos niveles de hasta 1,2 mg/L. La fertilización realizada solamente a base de fósforo, en cantidades limitadas, producirá en una pobre producción primaria. El abono de aves, que ha sido utilizado en altas tasas en todos los sitios investigados, causa a veces una limitación en el N₂ por su excesivo contenido en fósforo. El fósforo total, raramente excede los 0,5 mg/L y a menudo es menor a 0,1 mg/L. La mayor cantidad de estudios han visualizado al N₂ como limitante de la productividad primaria y poco se ha investigado específicamente sobre el fósforo. Probablemente, se necesiten más combinaciones ajustadas de ambos elementos, para lograr altos niveles de productividad primaria en los estanques.

Una de las características interesantes del fósforo es que es capturado por los sedimentos de los estanques y este hecho se vuelve particularmente notable, cuando se realizan fertilizaciones con material inorgánico. Muchas de las fertilizaciones realizadas experimentalmente no logra aumentar la concentración de fósforo en el agua, debido al fuerte efecto de los sedimentos del fondo sobre este nutriente. En las mismas experiencias se identificó que el fósforo capturado por los sedimentos puede, posteriormente, re disolverse en el agua del estanque. Esta “toma y deja” del fósforo a partir de los sedimentos, ya había sido notado por Boyd, en 1990.

3.- ACTIVIDAD DEL PLANCTON

El fitoplancton es, probablemente, el mayor instrumento que influencia las características de la calidad del agua en los estanques. Su utilización del Nitrógeno, Fósforo y Carbono, ya fue definida anteriormente. La fotosíntesis, produce últimamente oxígeno, que resulta ser crítico para la vida de los animales que viven en el estanque. Pero, durante la noche, el fitoplancton (constituido por las algas) también respira y ejerce una gran influencia sobre los niveles mínimos de oxígeno del sistema. A veces, las algas que lo constituyen se multiplican desmesuradamente y desarrollan los llamados “florecimientos”, muriendo luego y descomponiéndose; produciendo entonces, bajos niveles de oxígeno que a su vez, producen la muerte de los peces y que, en algunos casos, pueden dejar en el agua potenciales toxinas.

Por otra parte, la relativa densidad del fitoplancton confina a las algas celulares en la superficie del agua, cubriéndola y limitando la penetración de la luz en muchos

estanques muy fértiles. Para los peces predominantemente planctívoros (ingieren fitoplancton especialmente), como la Tilapia del Nilo, el manejo de los estanques para aumentar la productividad primaria, es crítico en su Producción.

La biomasa del fitoplancton en el agua en un tiempo determinado, resulta de una acción dinámica entre la luz, la disponibilidad de nutrientes, el crecimiento y la reproducción del fitoplancton; así como la cantidad de peces herbívoros existentes en el estanque. El plancton muestra cambios fuertes en sus densidades poblacionales (de un día para otro), debido a su corto ciclo de vida, por lo que se producen fuertes cambios en la composición de especies y muy rápidamente, en su abundancia. En acuicultura, muchas de las medidas de la productividad instantánea no alcanzan a medir la abundancia individual de las especies, sino la totalidad. El método más común de estimación, utilizado ampliamente, es la medición de la clorofila a concentrada, como un índice de la abundancia del fitoplancton.

Las poblaciones del fitoplancton se producen altamente en respuesta a las concentraciones de nutrientes. Los datos provenientes de Tailandia, Panamá y Rwanda, donde se trabajó intensamente en la dinámica de estanques de acuicultura, indican promedios cercanos a cerca de 10-20 mg/L de clorofila a; mientras que en Indonesia son más altos los niveles (40-50 mg/L). Con altas tasas de fertilizantes, la clorofila a, puede alcanzar cerca de las 100 mg/L en Panamá, y Rwanda; mientras que es muy baja en Honduras (cerca de 20 mg/L), debido a que la productividad primaria está limitada por la arcilla en suspensión en las aguas.

Los acuicultores, usan a menudo el color y la turbidez, como una medida del “standing crop” (peso vivo instantáneo) del fitoplancton. Por ejemplo, en muchas áreas es una práctica común sumergir una mano dentro del agua hasta que ésta desaparezca. Si el brazo debe extenderse dentro del agua hasta el codo, significa que es tiempo de volver a fertilizar nuevamente. Esta práctica, se basa en la relación existente entre la densidad de la concentración de clorofila a y las profundidades medidas con el disco de Secchi (o con el brazo).

El OD puede medirse directamente con aparatos denominados “oxímetros”.

3.1.- TASA DE FOTOSÍNTESIS - PRODUCCIÓN DE OXÍGENO DISUELTO (OD).

La tasa de fotosíntesis es en general más alta en los estanques de cultivo en los trópicos, debido a la alta disponibilidad de nutrientes, luz solar y temperaturas cálidas. La medida de producción de oxígeno, es una vía para estimar la producción de CO₂ debido a las algas. El método más común de medirlo, es utilizando las botellas claras y oscuras (Wetzel y Linkens, 1991). El agua del estanque se incubaba en las botellas claras, que reciben la luz, mientras que en las botellas oscuras solamente se producirá la respiración. En las botellas claras se produce no solo fotosíntesis, sino también, respiración de las algas. La productividad primaria neta (mg O₂/L/hora) es igual al OD

de la botella clara, menos el nivel inicial de OD, dividido por el tiempo. La respiración es la diferencia entre el OD de la muestra inicial y el de la muestra incubada en la botella negra. La producción primaria bruta será igual a la diferencia entre las botellas clara y oscura. En aguas que son improductivas, las botellas deben incubarse por largas horas para detectar diferencias significativas. En los estanques, las botellas negras miden el O₂ proveniente del disuelto en el agua. Las botellas claras alcanzan la sobresaturación en unas pocas horas. Existen varios factores, que hacen además difícil la utilización del método de las botellas en estanques (ver Wetzel y Linkens, 1991).

3.2.- TEMPERATURA DEL AGUA:

Las condiciones en la zona tropical, respecto de la temperatura, son más cercanas a la constante que las condiciones existentes en la zona subtropical o la templada. Sin embargo, aunque los estanques en el trópico se calientan rápidamente durante el día, se enfrían rápido en la noche, produciendo ciclos diarios. Inclusive, muchas localidades poseen estaciones húmedas y secas, que pueden diferir en cuanto a sus temperaturas debido a la nubosidad y a otros factores. Las fluctuaciones diarias de temperatura hacen difícil la comparación entre regímenes. Para estas comparaciones se utilizan los termómetros de máxima y mínima. La latitud y la elevación tienen fuertes efectos sobre las condiciones de temperaturas y en todas las localidades la temperatura del agua cambia fuertemente entre el día y la noche, a veces en más de 10°C durante las 24 horas diarias. Las condiciones de temperatura, por ejemplo, son frías en Rwanda, e inhiben el crecimiento y la reproducción de la tilapia; mientras que en Tailandia son mejores para su crecimiento. Rwanda, tiene una máxima semanal de alrededor de 22 a 30°C y una mínima de cerca de 10 a 22°C. Tailandia es más cálida, con temperaturas máximas de 30 y 36°C y mínimas de 24 a 29°C.

Además de los efectos estacionales, la temperatura del agua puede exhibir una estratificación vertical en los estanques tropicales poco profundos. En muchos estanques, el agua se estratifica, porque la superficie se calienta durante el día y los vientos son limitados. Esta estratificación puede ser rota en el mismo día, por los vientos o las lluvias.

3.3.- OXIGENO DISUELTO (OD): fluctuaciones diarias.

La dinámica del OD en los cultivos semi-intensivos está dominada en general, por las poblaciones del fitoplancton. Estas poblaciones fotosintetizan y respiran durante el día, aumentando la concentración de OD; sin embargo, ellos requieren Oxígeno durante la noche, reduciendo el total del OD existente en los estanques y empleando hasta 8,4 mg/L de oxígeno total en el agua durante la noche (sumando además los otros organismos que respiran y que habitan el agua y el suelo del estanque). Durante el curso del día, los niveles de OD pueden cambiar, aún más fuertemente que la temperatura. En Tailandia, se han encontrado variaciones de hasta de 10 mg/L entre el día y la noche en superficie, y picos de 200% de saturación a las 14 horas.

3.3.1.- ESTRATIFICACION EN PROFUNDIDAD/AIREACION MECANICA

Los cambios diarios en la productividad primaria y la respiración, también producen estratificación del OD en los estanques. La cantidad de OD entre el fondo y la superficie dependerá primariamente de la productividad primaria existente; aunque posteriormente se produzca una mezcla de aguas.

Cuando el agua alcanza condiciones cercanas o por debajo de la saturación de oxígeno, la difusión desde la atmósfera puede producir cambios en los niveles. La difusión hacia la atmósfera, se produce entre las 10 y 20 horas, mientras que por la noche, ocurre lo contrario.

En estanques que reciben grandes cantidades de alimento, las bajas de OD y aireación son más comunes que en los estanques fertilizados. De los estudios realizados por Boyd y otros investigadores, se desprende que los aireadores a paleta son los que funcionan mejor cuando se utilizan con continuidad durante la noche.

Algunos autores, han arribado a la conclusión de que los estanques con suplemento de alimento, raramente necesitan aireación; mientras que otros autores encontraron que no existe reducción del crecimiento en los peces o en su sobrevivencia debido a la disminución del OD cuando se agrega alimento y fertilizantes hasta una densidad de 3 peces/m².

3.3.2.- EFECTOS DEL OD EN ESTANQUES (ejemplo en cultivo de tilapia):

El OD es sumamente importante en el crecimiento y sobrevivencia de los peces en cultivo. El consumo de OD aumenta con la temperatura. A medida que aumenta la intensificación del cultivo, este factor puede convertirse en limitante. Aunque la tilapia es en general tolerante a bajos niveles de OD, en períodos extensos de hipoxia (falta de oxígeno) puede reducirse su crecimiento y aumentar la mortalidad; particularmente si se produce un florecimiento de algas del fitoplancton. Muchos peces reducen su crecimiento y pueden morir, si las condiciones de OD alcanzan a ubicarse por debajo de los 5 mg/L o el 25-50% de saturación. No parecen existir guías especiales que definan a qué nivel de OD se produce reducción del crecimiento en la tilapia.

4.- FERTILIZACION: REGIMENES/PRINCIPIOS DE LA FERTILIZACION

Las fertilizaciones producen un aumento en la producción de peces y son practicadas en todo el mundo. En China, es una tradición bien conocida y en ese país, utilizan abonos de animales como fuente de nutrientes para sus policultivos de carpas. El uso de abonos inorgánicos (urea, superfosfato, etc.) fue introducido más recientemente en la región

templada. Existe una abundante bibliografía acerca de las fertilizaciones en estanques (tipos de fertilizantes, tasas, métodos y frecuencias de aplicación).

Para estimular el crecimiento del fitoplancton se requiere un gran número de nutrientes. Entre estos, los más importantes son: el C, N, K, Si, Ca, P, Mg, S, Cl y trazas de Fe, Mn, Zn, B, Cu, Mo y Co. Parte de la concentración de estos elementos en el agua, provienen del aire, el suelo, la fuente de agua utilizada y las lluvias; y se encuentran presentes en cantidades limitadas, especialmente en aquellos más importantes. Para mantener una adecuada producción de fitoplancton como alimento natural que soporte la Producción de peces a obtener, se requiere una fertilización que agregue nutrientes de carácter orgánico e inorgánico. En la práctica, la fertilización óptima es un tema complejo, debido a la dinámica y a los factores intrínsecos y extrínsecos que actúan sobre el ecosistema del estanque. Debido a los diferentes requerimientos manifestados por las diferentes algas, se necesitará alcanzar un abastecimiento balanceado de nutrientes.

El Nitrógeno, el fósforo y, ocasionalmente, el Carbono, son considerados los nutrientes limitantes para la producción de fitoplancton en aguas naturales y estanques.

En condiciones óptimas de crecimiento, la composición promedio de los nutrientes en el fitoplancton es aproximadamente del 45-50% de C; 8-10% de N y un 1 % de P (tasa de 50:10:1). La cantidad de nitrógeno que entra naturalmente al sistema de estanques, es suficiente para mantener la productividad primaria y se considera innecesaria una fertilización (para bajos niveles de producción de peces).

Por el contrario, el P está limitado en muchas aguas naturales y su cantidad dependerá del abastecimiento surgido a partir de las rocas. Por otra parte, la disponibilidad de P disuelto se encuentra restringida debido a su rápida reacción con otros componentes (Fe, Ca, Mg y Al) con los que forma precipitados relativamente insolubles, que no se estarán disponibles. También el P de la columna de agua es captado por los barros que lo adsorben fuertemente (en correlación a la cantidad de arcilla existente). Por ello, la cantidad de P necesario para una fertilización, dependerá de los fondos y tipo de suelos, etc. Esto significa que la proporción de N_2 a P_5 es muy variable, dependiendo además de la historia previa del fertilizado de los estanques (saturación en fósforo).

El programa de fertilización de los estanques, debe tener en consideración los costos de los mismos. Por ejemplo, un simple grado de fertilización (con urea y triple fosfato) puede ser más efectivo en cuanto a costos, que otras mezclas.

Muchas veces, el productor obtiene facilidad para disponer de abono originado en las granjas avícolas, especialmente cuando se trata de pequeños acuicultores y pueden reemplazar con ello los otros materiales más costosos. La aplicación de abonos en los estanques dependerá también de la aceptabilidad social y cultural. Esta aplicación es muy empleada en muchos países de Oriente y América Latina.

4.1.- FERTILIZACION QUIMICA EN ESTANQUES (para cultivo de tilapia):

Los fertilizantes utilizados en cultivo de peces son análogos a los usados en la agricultura y su disponibilidad y variedad dependerá de lo empleado en cada región. A semejanza de los empleados en las producciones agrícolas, incluyen nutrientes como el P, N y K en diferentes proporciones. Los fertilizantes utilizados en los estanques para producción de peces, excluyen el K (potasio). Este último material ha sido poco investigado en relación a sus acciones, pero debido a algunas experiencias, se tiene conocimiento de que el K no es efectivo. Los fertilizantes se venden, en general, en forma granulada. Su solubilidad es importante en la fertilización, porque el fitoplancton capta los nutrientes principalmente del agua, en forma de iones disueltos. Los granulados de fósforo son considerablemente más lentos en disolverse que los de N. El nutriente que se pierde, es captado por los suelos del fondo. Algunos tipos de fertilizantes líquidos, han demostrado ser más efectivos. Se puede mejorar la solubilidad pulverizando los gránulos. También se pueden suspender en la columna de agua, dejándolos durante meses, reduciendo así la aplicación semanal, con iguales resultados. Existen abundantes resultados sobre experiencias llevadas a cabo por diferentes investigadores, acerca de las proporciones de fertilizantes empleados con el objeto del aumento de la Producción de los peces.

4.2.- ABONOS ANIMALES:

La fertilización con estos abonos estimula la producción de las comunidades formadas por bacterias, fitoplancton, zooplancton y bentos. Para maximizar la Producción de peces, basada en los organismos disponibles en los estanques, se practica comúnmente el policultivo, con una variedad de peces que se alimentan de diferentes nichos (por ejemplo, las varias variedades de carpas chinas o hindúes).

Obviamente, las ventajas de usar abonos de animales como fuente de nutrientes para el cultivo de peces es que a) son prácticamente de bajo costo; b) fácilmente disponibles en el campo; c) deseables para una variedad de peces en policultivo. También existen una serie de aspectos negativos debidos a su uso: a) objeción estética y sanitaria para peces producidos con estos abonos, b) consumo en tiempo para su recolección, c) calidad no predecible de nutrientes y alta DBO (Demanda Biológica de Oxígeno), que puede causar una disminución o ausencia de oxígeno en los estanques, si se los aplica en grandes dosis y finalmente d) no son posibles de usar cuando se trata de cultivos en sistemas de tipo intensivo. Es importante conocer que los abonos orgánicos (abonos de animales) constituyen materiales que se descomponen y para ello, utilizan OD del agua, de ahí la disminución de esta variable, que puede afectar a los peces bajo cultivo.

4.2.1.- COMPOSICION DEL ABONO ANIMAL:

Existe una variedad de estos abonos que son utilizados para la producción de peces. La tasa de N₂ y P₅ en muchos de estos abonos animales, se presenta en forma constante y

cercana a 2; pero el N₂ en el orín de los animales, es marcadamente más elevado que en sus heces. Las heces de las aves, contienen relativamente alto contenido en N₂ y P₅, más que en otros animales rumiantes (vacas y otros animales del ganado).

En general, la humedad y el contenido de nutrientes en los abonos varían considerablemente, dependiendo de varios factores como las dietas empleadas en la alimentación de los animales, la pureza y tratamiento previo del abono y la duración y tiempo de su almacenamiento; así como las condiciones de este último. Por ejemplo, el abono fresco de aves naturales (guano), contiene más del doble de N₂ que el abono de granjas y es más rico en P₅. El ácido úrico en el abono fresco, se descompone rápidamente debido a los microorganismos existentes, desprendiendo amoníaco, que se pierde fácilmente, una vez que el abono se encuentra expuesto al aire.

La calidad de los abonos dependerá de su composición, ya que ellos muchas veces se presentan mezclados con abono en descomposición, residuos vegetales, aserrín y cal. En muchos casos, el abono contiene también apreciable cantidad de desperdicios de alimento, que contribuye indirectamente a la dieta de los peces cuando se fertilizan los estanques. Esto ocurre especialmente, al utilizar abonos de granjas avícolas.

4.2.2.- CONTENIDO DE NUTRIENTES Y PERDIDAS

Los nutrientes en los abonos varían su composición en el tiempo y no está aún claro cómo se produce su disponibilidad hacia el fitoplancton para su utilización, en relación al crecimiento de las microalgas. La tasa de nutriente desprendida de los abonos animales a través del tiempo, es el factor clave para decidir la frecuencia y cantidad de abono que se requiere durante las fertilizaciones. Por ejemplo, en experiencias realizadas en Indonesia, se ha comprobado que 2/3 del nitrógeno disuelto a partir del abono de gallinas, es liberado al agua del estanque en los 2 primeros días y más del 90% de ello, es en forma de amonio; 43% del N₂ total (6 a 14 mg/g seco de abono) queda libre al sexto día.

Animales	N:P ratio	N	P	K
Búfalo				
Heces	2	1.23	0.55	0.69
Orín	205	2.05	0.01	3.78
Vacas				
Heces	3	1.91	0.56	1.40
Orín	195	9.74	0.05	7.78
Corderos y ovejas				
Heces	2	1.50	0.72	1.38
Orín	69	9.64	0.14	--
Cerdos				
Heces	2	2.80	1.36	1.18
Orín	660	13.20	0.02	10.90

Patos				
Heces	2	2.15	1.13	1.15
Gallinas y pollos				
Heces	2	3.77	1.89	1.76

Tabla 1: Abono de vaca, oveja y corderos, cerdos, patos y gallinas

El abono de granjas avícolas es el más utilizado, debido a su gran disponibilidad en todos los países. Siempre resulta mejor utilizar el abono que se encuentre disponible y a partir de una fuente de abastecimiento continua, que permita analizar su contenido. El contenido que entra al estanque, está basado en su peso estándar en seco, alcanzado a una temperatura de 65° C.

4.2.3.- LA COSECHA DE PECES:

La cosecha de peces a obtener a partir de estanques fertilizados, puede abarcar entre 7 y 30 kg/ha/día (2.550 a 13.140 kg/ha/año). Las altas cosechas obtenidas de estanques con cultivos de tilapia, carpas chinas, comunes y plateadas, pueden componer el total. En Israel se han obtenido muchas de estas cosechas: 30 kg/ha/día, utilizando abono de vacas; 40 kg/ha/día con abono de patos y desechos de alimentos y 20 kg/ha/día empleando abono de aves. En los últimos años, el cultivo de tilapia se ha hecho frecuente en los países tropicales de Latinoamérica. Las cosechas de tilapia en monocultivo, realizadas con aporte de abonos, abarcan desde 8,6 a 19,2 kg/ha/día. Estas cosechas son bajas comparadas con las de Israel en sistema de policultivo.

4.3.3.- LOS ABONOS COMO FUENTE DE CARBONO Y MATERIA ORGANICA (detritus)

Durante mucho tiempo, se especuló que los abonos animales, además de proveer nutrientes, aumentaban la producción de los peces en estanques, debido a su rol de provisión de detritus. Muchos autores demostraron que los abonos beneficiaban a las especies detritívoras como la carpa del fondo y otras, y a ciertas especies de tilapia. Sin embargo, aún no está claro hasta dónde la Tilapia del Nilo se alimenta de la materia orgánica como detritus, a pesar de que se la considera un pez omnívoro. Sobre datos de experiencias realizadas a este efecto, con tilapias colocadas en cultivo en jaulas dentro de estanques que también contenían tilapias en cultivo, durante un período de 115 días, no se obtuvo diferencias significativas en cuanto al crecimiento; lo que indicaría que este pez es principalmente un comedor de material de la columna de agua y NO del detritus del fondo, al menos cuando se encuentra en baja densidad de siembra (2 peces/m²). A mayor densidad, probablemente busque alimento en los fondos, alcanzando otras fuentes cuando los elementos planctónicos son pobres. Se necesitaría mayor investigación sobre este tema.

4.3.4.- FERTILIZACION CON DESECHOS, EN CULTIVOS INTENSIVOS DE PECES.

Los desechos que se incluyen en los efluentes originados en un cultivo intensivo, son considerados como potenciales contaminantes de las aguas naturales adonde fluyen. Estos efluentes son potenciales fertilizantes, que pueden re-usarse integrándolos para generación de alimento natural para especies filtradoras. Se han realizado una serie de experiencias en Tailandia integrando al bagre africano con la Tilapia del Nilo. El primero, cultivado en jaulas y alimentado con ración granulada, y el segundo en estanques abiertos, con alimento natural estimulado por los desechos (heces) de los bagres.

La cosecha neta de los bagres alcanzó los 144 kg/m³ y la de tilapia 86 kg, en un estanque de 250 m² durante un período de 4 meses. Los desechos de los bagres africanos fertilizaron el estanque con N₂ y P₅, proveyendo los nutrientes necesarios en forma óptima para el crecimiento del fitoplancton destinado a la producción de la tilapia. La producción resultante fue equivalente a 5.334 kg/ha/año para la tilapia, siendo similar a la obtenida en estanques fertilizados con abono de pollos o con fertilizantes químicos.

Un resultado similar se obtuvo cultivando tilapias adultas en jaulas, dentro de estanques donde se cultivaban juveniles de la especie. Los estanques nurseries se fertilizaron con los desechos de los peces encerrados en las jaulas. Estos cultivos son ideales para pequeños productores que pueden obtener así, altas producciones.

4.3.5.- SUPLEMENTACION CON NITROGENO (N₂):

Los abonos animales son bajos en la tasa de N₂:P₅ (<3) y en Tailandia la que se emplea es menor a 1. Esta tasa de N:P, no resulta apta para aumentar la producción en fitoplancton, que requiere un promedio de una tasa mayor a 7 unidades. Las experiencias llevadas a cabo en Tailandia mostraron que, cuando se aumenta el abono de gallinas a 500 kg/semana, se aumenta la producción de peces; mientras que colocando 1.000 kg/ha/semana NO se aumenta dicha producción. La “superfertilización” no aumenta la producción y produce severas disminuciones de oxígeno. Cuando se considera que el N₂ es deficiente, puede agregarse urea. Cuando se agrega demasiado N₂, aparentemente se producen fuertes florecimientos de algas azules (Cianofíceas) y se aumenta la concentración de amonio hasta niveles relativamente altos (1,02 mg/L). Este fenómeno puede causar mortalidades severas en los peces bajo cultivo.

4.4.- VEGETACION TERRESTRE COMO ABONO:

La vegetación terrestre y las plantas acuáticas son a menudo subutilizadas en muchas partes del mundo, especialmente en los trópicos. La especie de pez de agua dulce más cultivada en Asia, es el “amur o salmón siberiano” (*Ctenopharingodon idella*), pez herbívoro (mal llamado “carpa herbívora”); junto a otros peces. Algunas tilapias también se alimentan de macrófitas (vegetales superiores), como las especies de *T. rendalli*, *T. zilli* y *O. mosambicus*, pero ellas no son cultivadas ampliamente. Muchas especies de vegetales cultivados para forraje de animales, no son deseables para los peces.

Varias legumbres frescas ensayadas como alimento para la Tilapia del Nilo, no mostraron buen crecimiento en los peces, debido aparentemente, a su bajo nivel de proteína cruda, a su baja palatabilidad y digestibilidad. Estos desechos vegetales pueden ser utilizados para formar compost que, posteriormente, puede utilizarse para el estímulo de la producción del fitoplancton en los estanques.

5.- FACTORES QUE AFECTAN LA RESPUESTA POR EL USO DE FERTILIZANTES

La productividad biológica de los estanques en respuesta a los fertilizantes utilizados y captados, está gobernada por numerosos factores corrientemente encontrados en los estanques tropicales.

5.1.- LUZ Y REGIMEN DE TEMPERATURAS:

Aún cuando la variabilidad estacional de las temperaturas y la radiación solar en los trópicos es mínima, cuando se la compara con aquella de las regiones de clima templado; existen considerables diferencias entre las altitudes bajas y altas, así como las épocas de lluvias y de sequías. La intensidad de la radiación solar en los trópicos suele causar estratificación termal diurna, que previene una efectiva mezcla del agua y puede producir una limitante en superficie durante el día. Este fenómeno es típico de los estanques donde se han desarrollado algas azules que se concentran en superficie, pero sin embargo, el mismo cesa durante la noche, debido a que, en aquellos estanques de no más de 1,5 m de profundidad, se produce la mezcla de agua. Los efectos de la fertilización y por lo tanto la producción de peces y cosechas logradas, constituyen un fenómeno complejo.

5.2.- SUELOS ACIDOS Y EL AGUA:

En general, las condiciones ácidas del agua, provienen de su origen, desde existencia de ácidos orgánicos en praderas de turba por ejemplo, suelos ácidos en estanques de tierra o provenientes de la misma fuente de agua. Las aguas ácidas causadas por suelos con ácidos sulfúricos, son evidentemente, las que causan mayores problemas (prevalecen en amplias zonas costeras tropicales). Estos suelos, contienen grandes cantidades de

sulfatos y piritas, que luego de oxidarse producen suelos extremadamente ácidos y también, en consecuencia, pueden serlo las aguas superficiales. Además, las aguas ácidas contienen altas concentraciones de hierro y aluminio que no son solamente tóxicas para los peces y otros organismos, sino que precipitan como fosfatos; volviendo no válidos a los fertilizantes. De todas formas, se pueden mejorar, aumentando su pH inicial por sucesivos lavados, drenados y secados. Con posterior fertilización con fertilizantes químicos y abono de aves, se muestra como resultado final, una mayor estabilidad en su pH y alcalinidad y también un aumento del fitoplancton y el zooplancton; obteniéndose producciones de tilapia de entre 800 y 3.000 kg/ha/año, según sea la fertilización efectuada. Con los años de uso, la acidificación desaparece.

5.3.- TURBIDEZ POR ARCILLA

La arcilla y la turbidez producida por el barro, constituyen uno de los problemas que prevalecen negativamente en el manejo de los estanques de cultivo de peces agua dulce. Las partículas de arcilla son coloidales (< 2 milimicrones) y están cargadas negativamente, permaneciendo en suspensión. La turbidez puede originarse por una serie de factores como: a) directamente de la fuente de agua; b) agua de lluvia que pasa por los diques arcillosos de los estanques y arrastra la arcilla; c) erosión por oleaje en los taludes que están construidos en arcilla; d) erosión de los taludes por la acción de los propios peces y e) resuspensión de los fondos barrosos por efecto del impacto del agua y el propio movimiento de los peces.

La turbidez por arcilla, frena la fertilización y reduce la penetración de la luz, limitando la zona fótica. Se ha medido hasta solo 10 cm de disco de Secchi en estanques muy turbios. Por otra parte, las partículas de arcilla, poseen una superficie relativamente grande y adsorben los nutrientes minerales del agua.

Se puede disminuir su efecto, neutralizándola y precipitándola con compuestos inorgánicos como el Al, Fe, Ca y Na. También pueden coagularse con partículas orgánicas, mediante la aplicación de abonos animales.

5.4.- BAJA ALCALINIDAD Y ENCALADO

Además de nutrientes, la producción de fitoplancton requiere adecuada cantidad de Carbono derivado de los procesos y del CO₂ atmosférico o bien del Carbono aportado por las rocas y los suelos a través del agua. La alcalinidad del agua se refiere a su contenido en CO₂ libre, carbonatos y bicarbonatos y su concentración indicará la reserva de carbono inorgánico y la disponibilidad de CO₂ para la realización de la fotosíntesis por las algas especialmente. .

En estanques fertilizados y productivos, que contengan peces, la alcalinidad debe ser mayor a 20 mg/L en aquellos situados en clima templado y se verifica una mayor concentración para los estanques que efectúan una alta producción de Tilapia en los

trópicos. Cuando el agua posee baja alcalinidad, la práctica más común utilizada para su mejoramiento, es la de encalado. Los materiales más utilizados, son: el Oxido de Calcio (cal viva), la cal hidratada (hidróxido) y la cal agrícola o dolomita (Carbonato de Calcio y Magnesio). Su eficiencia dependerá del tipo de material, granulometría y valor neutralizante.

Los tratamientos con abonos de animales aumentan la alcalinidad, especialmente cuando se emplea abono de granjas avícolas, a diferentes tasas de aplicación.

5.6.- OXIGENO DISUELTO (OD)

La concentración de oxígeno disuelto en estanques, como ya se explicó anteriormente, es afectada por el peso vivo de fitoplancton. Durante la mañana temprana, el OD en estanques fertilizados con fósforo, alcanza en general, el 60% de saturación por efecto del fitoplancton. El uso de fertilizantes orgánicos aumenta la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) en los estanques y puede ocurrir que se produzcan períodos de baja concentración de OD; mientras que durante la mañana temprana, el OD alcanza los 5 mg/L. El OD diferencial (medido en superficie, menos la medida tomada en los fondos) es mucho mayor en aquellos estanques fertilizados con abono inorgánico, cuando se lo compara con los fertilizados orgánicamente (abono animal). La media del OD en las horas de la mañana, es inversamente proporcional, en relación al aumento del abono de granjas avícolas que se aplica.

El crecimiento de la tilapia nilótica, constatado en experiencias realizadas en 1993, fue mayor en estanques con aireación al 10-30% de saturación de O₂, cuando se lo comparó con el de estanques no aireados.

5.7.- AMONIACO:

Este elemento, es el producto de la excreción de peces y crustáceos y al quedar liberado en el agua, puede ser altamente tóxico para los mismos organismos. Cuando se aumenta la concentración de amoníaco no ionizado (NH₃) el crecimiento de los animales disminuye a temperaturas entre 28 y 33 °C. El crecimiento de la tilapia se detiene a una concentración de amoníaco de 1,5 y 1,7 mg/L a 28-33 °C, respectivamente.

Los fertilizantes químicos, como la urea o el fosfato diamónico constituyen un aporte significativo de amoníaco para los estanques; aumentando la concentración, con aplicación de urea como fertilizante.

Por experiencias realizadas en estanques tropicales de América Latina y Asia, se ha constatado que la productividad primaria parece limitarse debido al N₂ contenido en el abono de granjas avícolas, cuando éste es aplicado a altas tasas. Por otro lado, una aplicación alta de urea, puede traer aparejado florecimientos de las algas azules (Cianofíceas), que en estas condiciones, suelen ser frecuentes.

5.8.- COSECHAS Y PRODUCCION:

La aplicación de P₅ como TSP (fósforo total) a tasas de 0,8 kg/ha cada 2 semanas, disuelto y repartido en toda la superficie de los estanques o bien, colocado sobre una plataforma sumergida o en bolsas de arpillera suspendidas en el agua, mostró como resultado una baja producción, desde 378 kg/ha en Panamá, hasta 681 kg/ha en 5 meses en Tailandia. En los primeros resultados, la baja productividad estuvo relacionada a los suelos ácidos que adsorben rápidamente el fósforo o como en Honduras, donde las aguas turbias por arcilla en suspensión, disminuyen la producción de peces.

En experiencias con fertilizante orgánico (avícola), colocado semanalmente y aplicado a tasas de 125, 250, 500 y 1.000 kg (en peso seco) por hectárea, en estanques sembrados con machos de Tilapia a una densidad de 1pez/m²; los resultados variaron ampliamente, abarcando desde 262 (Indonesia) hasta 3.132 kg/ha en 5 meses de trabajo en Tailandia. Los bajos resultados obtenidos en Indonesia, fueron ocasionados por la alta filtración de agua en los estanques (10% diario) además de una baja alcalinidad del agua (23 mg/L) de origen volcánico. En Panamá, la mayor productividad fue obtenida con 1.000 kg/ha de abono de granjas avícolas. También hubo diferencias entre la estación seca y la de lluvias (siendo mayor en la estación seca). La diferencia en el contenido de nutrientes del abono utilizado, resulta ser el factor limitante. En Tailandia, los abonos contienen mayor cantidad de N₂ y P₅ que en los otros sitios. También influye en ello si el abono es en fresco (mayor posibilidad de actuación) o en seco. El N₂ introducido junto con los abonos es la clave, relacionada al aumento de productividad primaria, que influencia sobre la producción total de peces a la cosecha. Estos resultados no implican que el P₅ no sea necesario para el aumento de la productividad algal. La calidad del abono influye siempre en los resultados. Otros factores ambientales también actúan, indudablemente, sobre las variaciones que se producen a las cosechas. La temperatura media ambiental por ejemplo, o la altitud (las respuestas en altura son menores que a borde del mar), el tipo de suelos (ácidos disminuyen la productividad), etc.

6.- RECOMENDACIONES PARA FERTILIZACION EN ESTANQUES

(Ejemplo en cultivo de tilapia):

Las tasas recomendadas dependerán, como se discutió en el punto anterior, de numerosos factores que incluyen el agua, el tipo de suelos, los costos relativos de los fertilizantes disponibles y cuál es el máximo u óptimo de productividad deseada. La máxima productividad utilizada en ensayos algales y la concentración de nutrientes en condiciones tropicales en Tailandia, requiere en promedio, 24 kg/ha/semanales de abono. La tasa de N:P es aproximadamente de 7 hasta 12:1.

Para prevenir la limitación del Carbono a altos niveles de N y P, la alcalinidad deberá situarse entre los 50 y 75 mg/L. Los datos resultantes obtenidos para Tilapia sembrada a 3 peces/m², utilizando estas estrategias, ha sido de 4.500 a 5.000 kg/ha/año.

El nivel de P, no ha sido bien definido a altos niveles de nutrientes. Basado en análisis proximales, la tasa de N:P para algas típicas, es de 8:10:1. Esto hace que los fertilizantes provean el nivel de fósforo necesario. Como los suelos del estanques tienen un impacto significativo en el nivel de fósforo, el resultado de la tasa de N:P será siempre menor.

Según las experiencias realizadas en Tailandia, se presume que el agregado de abono animal para la fertilización inorgánica, NO aumenta la Producción de tilapia del Nilo; pero algunos autores encontraron resultados contrarios en Honduras. Estas contradicciones figuran en la bibliografía. Posiblemente, la explicación se encuentre en cuanto a la relación a la intensidad de fertilización y a la habilidad del abono en reducir la turbidez producida por la arcilla.

A bajos niveles de nutrientes, la productividad primaria es relativamente baja y el detritus derivado del abono produce una contribución significativa en el crecimiento de la Tilapia. Cuando los nutrientes se elevan y la productividad primaria aumenta, la importancia relativa del detritus disminuye, y las algas y el mismo detritus basado en la descomposición algal, se hace más importante. Inclusive, en estanques de alta turbidez, el agregado de abono orgánico produce decantación de la arcilla, mejorando la penetración de la luz. En Honduras el agregado de abono de granjas avícolas, a 500 kg/ha/semana, produce una reducción de la turbidez.

6.1.- FRECUENCIA DEL FERTILIZADO:

Al optimizar la frecuencia de la fertilización, se reducen potencialmente los costos operativos, reduciendo la mano de obra y produciendo altos niveles de fitoplancton en los estanques. Por otra parte, es imprescindible el control del nivel de OD, ya que éste disminuye al agregar grandes cantidades de abono animal a un mismo tiempo. El esquema de fertilización, obliga a agregar nutrientes en un cronograma periódico a través del ciclo de cultivo (kg/ha/tiempo). En el caso de la tilapia, los pequeños peces necesitan menor agregado de abono que los grandes peces. El abonado aumenta a medida que los peces crecen. Muchas veces, sucede que al inicio del ciclo de cultivo en peces de hábitat detritívoro, la cantidad de algas será mínima y aumentará al final del ciclo. En el caso de la Tilapia, se necesita de altos niveles algales a través del ciclo de cultivo. La fertilización aconsejada con urea y TPS (triple fosfato) es de cada dos semanas, (una vez) a una tasa de 28 kg de N₂ y 7 kg de P₅/ha/semana. Esta frecuencia de fertilización, indica la necesidad de un agregado de nutrientes con continuidad.

7.- RECOMENDACIONES:

- 1) Las máximas producciones de Tilapia se obtienen con una entrada de N₂ de 2-4 kg/ha/día; el agregado de P₅ deberá ser suficiente para prevenir que el mismo se convierta en un limitante. La tasa típica utilizada es de 4:1. En suelos ácidos se aumenta, en proporción de 1:1.
- 2) Debe existir un agregado de cal, para mantener la alcalinidad en cerca de 50-75 mg/L, con fertilización a tasa máxima.

- 3) El fertilizante, orgánico o inorgánico, no es de particular importancia. El costo y su disponibilidad, son factores esenciales en su elección para determinada localidad.
- 4) La fertilización a niveles fijos de nutrientes, es superior para el aumento del nivel de estos, durante todo el ciclo de cultivo.
- 5) Si se utilizan niveles fijos de nutrientes, la frecuencia en fertilización deberá ser diaria para el caso de abonos animales y de 1 vez cada 1 o 2 semanas para el caso de los fertilizantes inorgánicos.
- 6) La cantidad y frecuencia de la fertilización, se determina mejor por el empleo de simples técnicas que detecten y ajusten el nutriente limitante, como la concentración del nutriente y los métodos de ensayos para algas.