FERTILIZACION Y ENCALADO EN PISCINAS CAMARONERAS

Fabrizio Marcillo Morla. 1995

Fertilización.-

Antes que nada debemos preguntarnos ¿para que fertilizamos?. Viendo la figura # 1 de la cadena trófica, Cuando aumentamos la productividad primaria, directa o indirectamente aumentamos la alimentación disponible para nuestro animal en cultivo, en este caso el camarón. Los fertilizantes son aplicados a las piscinas para incrementar la concentración de nutrientes inorgánicos, favorecer el crecimiento algal, y debido a esto aumentar la producción de camarón en nuestras piscinas.

Además se trata de obtener condiciones más estables y que causen menor estrés al camarón.

Con un correcto régimen de fertilización podremos obtener una población de fitoplancton adecuada, la cual ayudará a reducir los niveles de CO_2 y amonio; aportará oxígeno disuelto a la piscina; proveerá de sombra y escondite para los camarones y evitará la proliferación de algas y malezas bénticas.

Existen dos grupos principales de fertilizantes que actúan de forma distinta (figura #2)

- Los fertilizantes inorgánicos Son compuestos que al disolverse en el agua inmediatamente aumentan el nivel de nutrientes en la misma. Al hacer esto permiten un mayor crecimiento del fitoplancton y fitobentos, los cuales a su vez van a empujar todo el engranaje de la cadena trófica (zooplancton especialmente) hasta llegar al camarón.

- Los fertilizantes orgánicos, son productos que al ser aplicados a la piscina actúan tanto como fertilizante para las algas, liberando gradualmente nutrientes al irse descomponiendo, como de alimento directo al zooplancton. Dentro de este grupo, dado el tema de la charla, además de los fertilizantes orgánicos en si incluiremos también al alimento balanceado; el cual indirectamente (ya sea como la porción no consumida o como la excreta del camarón) sirve como fertilizante.

La fertilización tanto orgánica como inorgánica puede aumentar considerablemente la producción de camarones (Boyd 1989, 1990; Villalón 1991; D' Abramo & Conklin 1995; Jory, 1995, Cañizares 1985).

En las piscinas de cultivo semi-intensivo, el camarón utiliza una considerable parte del alimento natural. Aunque no está totalmente claro que porcentaje del crecimiento del camarón proviene del medio ambiente natural (Boyd 1989), se asume en general que la mayor parte de las vitaminas y minerales, así como algunos de los aminoácidos esenciales y ácidos grasos polinsaturados se obtienen de la biota natural viva en la piscina (Villalón 1991, Schroeder 1983, Lilyestron *et al* 1987, D' Abramo & Conklin 1995).

Tidwell *et al* (en prensa) encontraron diferencias significativas en la cantidad de invertebrados bénticos cuando a *M. rossenbergii* alimentado con una dieta completa se la cambió a una dieta suplementaria, lo que sugiere que el camarón estaba suplementando los nutrientes faltantes con los del medio natural.

Wyban & Sweeney (1991) dicen que a pesar de que el mecanismo estimulador no es completamente entendido al momento, parece ser que un bloom de diatomeas ayuda al crecimiento y la supervivencia del camarón. Otros estudios como los de Moss (1995) parecen confirmar estas suposiciones incluso en piscinas de cultivo intensivo.

Kitting *et al* (1984), basado en estudios con ^{13}C reportó las algas eran las principales fuentes de carbón para *P. duorarum* y *P. aztecus*. Anderson *et al* (1987), evaluaron la contribución relativa de alimento balanceado vs. productividad natural de la piscina en el crecimiento de *P. vannamei* sembrado a 200,000 Pls/ha y determinaron que el porcentaje de utilización de alimento balanceado vs. productividad natural era de 23 - 47 %. Esto implicaba que un 53 al 77% del crecimiento se debía al alimento natural.

Hussenot (1988), sugiere que con una biomasa de 2,200 lbs/Ha el alimento suplementario podría representar el 34% del consumo real del camarón. Con una biomasa de 1,100 lbs/Ha, este porcentaje podría ser hasta de 50% (gráfico # 3).

Estrada (comunicación personal 1995), mediante estudios estadísticos en varios ciclos de producción de *P. vannamei* en Ecuador, estima que la producción natural de la piscina puede fluctuar entre el equivalente de 10 y 25 kg./Ha/día de alimento balanceado, dependiendo de la zona y programa de fertilización. Esto representa una parte considerable de la alimentación del camarón. Considerando 150 días de cultivo y siendo esto a equivalentemente a aproximadamente ½ saco por hectárea por día, con un precio de alrededor de 35,000 sucres por saco esto equivaldría a más de 2'500,000 sucres por Hectárea y por ciclo que nos estamos ahorrando en balanceado . Compárenlo con aproximadamente 1'500,000 sucres por hectárea ciclo que se gastaría en balanceado y vemos el beneficio real que obtenemos de la producción natural favorecida por una correcta fertilización (Ver tabla #1)

Crecimiento algal

El fitoplancton al ser un organismo autótrofo, emplea nutrientes inorgánicos, agua, CO_2 y la luz del sol para desarrollarse por medio de la fotosíntesis. Esta permite la producción de carbohidratos, grasas y proteínas, la cual puede ser consumida después por los organismos heterótrofos.
El fitoplancton es la base de la cadena alimenticia en las piscinas de camarones.

Fertilización y Encalado de Piscinas Camaroneras

La fotosíntesis es una reacción en la cual la clorofila de las plantas utiliza la energía luminosa para reducir carbón inorgánico hasta carbohidratos, liberando oxígeno gaseoso en el proceso. Un diagrama simplificado del proceso es el siguiente:

$$6CO_2 + 6H_2O + luz \xrightarrow[\text{NUTRIENTES INORGANICO}]{\text{PIGMENTOS}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

(GRAFICO # 4a)

Este proceso sirve tanto para crear bloques básicos para aumentar la biomasa vegetal como para guardar energía en forma química.

Hay tres puntos importantes que un Acuicultor de debe de recordar sobre la fotosíntesis:

1. La fotosíntesis es la principal fuente de energía para Acuicultura.
2. Es la principal fuente de materia orgánica para alimento en ambientes acuáticos.
3. Grandes cantidades de 0_2 se liberan durante la fotosíntesis.

Además de la fotosíntesis que se realiza necesariamente en presencia de luz, las plantas tienen otra fuente de energía, que es la respiración. Durante este proceso, los monosacaridos creados durante la fotosíntesis son oxidados para liberar la energía solar guardados en ellos. Con esta energía y con los azucares ya creados, mas otros nutrientes disponibles del medio, las algas producen todo tipo de compuestos como Almidones, Celulosa, pectinas, ligninas, taninas, grasas, ceras, aceites, aminoácidos, proteínas y vitaminas. Un diagrama simplificado de la respiración es el siguiente:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + calor$$

(GRAFICO 4b)

Requerimientos de Nutrientes.-

Todas las especies de algas tienen requerimientos específicos de nutrientes que deben de absorber del medio externo para su crecimiento. No es nuestro objetivo es el de hablar de los requerimientos específicos de cada especie, ya que estos varían grandemente.

En general podemos decir que los principales nutrientes requeridos para el crecimiento algal son Carbono, Nitrógeno, Fósforo y Potasio, aunque en el caso de las diatomeas también se deberá de incluir al Sílice.

El Carbono inorgánico se encuentra en el agua ya sea como Carbonatos ($CO_3^=$), Bicarbonatos (HCO_3^-) o CO_2, aunque las algas lo utilizan normalmente en forma de CO_2.

El Nitrógeno es el mayor componente de la atmósfera. En las aguas el nitrógeno se encuentra principalmente en forma de N_2, NO_3^-, NH_4^+ y de Nitrógeno orgánico en la forma de proteínas, aminoácidos, etc. El ciclo del Nitrógeno lo podemos apreciar en el gráfico # 5. Las algas pueden utilizar el nitrógeno como nitrato o como amonio principalmente, aunque algunas de ellas como ciertas especies de cianofitas pueden fijar directamente el nitrógeno atmosférico, y otras pueden usar varias formas de nitrógeno orgánico.

El Ortofosfato es la fuente mas importante de fósforo inorgánico soluble para algas, a pesar de que la mayoría puede obtener también el elemento de fuentes orgánicas.

En aguas estuarinas o marinas normalmente se encuentra suficiente cantidad de potasio para el crecimiento de las algas (rangos de alrededor de 300 ppm.).

En aguas estuarinas y marinas las concentraciones de Sílice (como ortosilicato) son mas o menos altas (5-30 ppm.). Sin embargo, Jorgensen, 1953 sugiere de que el rápido crecimiento de las diatomeas podría consumir todo el silicato del agua natural volviéndolo limitante. Investigaciones en tanques realizadas por Daniels (1989) parecen sugerir que en aguas con concentraciones de sílice menores a 1 ppm, la adición de sílice aumenta la proporción de diatomeas obtenidas. Sin embargo estos resultados no se los podría extrapolar a aguas con mayor concentración de sílice.

Existen además otros nutrientes secundarios, requeridos en pequeñas cantidades para el crecimiento de las algas como son Calcio, Magnesio, Azufre, Boro, Hierro, Cobre, Manganeso, Zinc, Cobalto y Molibdeno, pero estos generalmente se encuentran en suficiente cantidad en el agua estuarina (Boyd, 1995).

Nutrientes Limitantes

Ya que describimos los nutrientes necesarios para el correcto crecimiento de las algas, podemos señalar que ciertos de estos nutrientes al faltar por una u otra razón en el agua van a causar un detenimiento en el crecimiento de las algas

Generalmente el nutriente que está disponible en menor cantidad respecto al requerido será el limitante. Esto quiere decir que ese nutriente en especifico limitará el crecimiento del fitoplancton. Al agregar una cantidad mayor del nutriente limitante, se incrementara la producción

Cuando hay un solo Nutriente limitante, se ve un patrón parecido a la de la figura #6. En ella se ve que a medida que aumenta la concentración del nutriente limitante, se aumenta el crecimiento de las algas. Supongamos que en cierta piscina el nutriente limitante sea Nitrógeno, entonces al principio, a cada aumento de [N], se verá un aumento del crecimiento algal.

A partir de un nivel C1,la concentración será la óptima, y no se verán aumentos en crecimiento al aumentar la concentración del nutriente (para nuestro ejemplo N).
Al llegar a cierto punto C2, la concentración puede ser muy elevada causando la muerte por toxicidad.

Es común que a veces se aumente un nutriente hasta el punto en que otro nutriente, que se encontraba en cantidades suficientes para un crecimiento algal bajo, se vuelva limitante a las nuevas tasas de crecimiento. En este caso para lograr mayor crecimiento deberemos aumentar la concentración de ambos nutrientes Este es el caso de multiples nutrientes limitantes como se ve en la figura # 7.

Aunque varía dependiendo del tipo de agua y de la especie de alga, comúnmente Fósforo y Nitrógeno son los nutrientes más limitantes. En agua dulce generalmente el fosfato es el nutriente limitante, mientras que en aguas salobres lo es el Nitrógeno.

Requerimientos ambientales.-

En general, las algas presentan una respuesta a las variaciones en los parámetros fisico-quimicos del agua similar a la que se ve con respecto a los nutrientes en la figura # 6. Esto es que al aumentar el valor de el parámetro, se aumentará el crecimiento, hasta un punto donde se invierte la función.
Los niveles de los parámetros físico-químicos de un cuerpo de agua llevarán a dar ventaja en crecimiento a determinado grupo de algas, que serán las que muy probablemente dominarán dicho cuerpo de agua.

Las principales variables físicas que influyen en los cultivos de microalgas son: luz, temperatura, sainidad, pH y potencial REDOX (Ukeles, 1976).

<u>Luminosidad.-</u> La cantidad de energía radiante debe ser óptima para el crecimiento de cada especie en concreto. Las microalgas que crecen lentamente

prefieren luz debil (200 lux), mientras que las que crecen rápidamente necesitan mas luz (15,000 lux) (Shelef *et al*, 1978)

Temperatura.- Engeneral las algas exhiben la usual relación proporcional entre la temperatura y la actividad biológica, hasta un punto en que el crecimiento disminuye e incluso mueren. En general las algas con temperaturas óptimas de crecimiento mayores, tienen tasas de crecimiento mas rápidas que las algas con temperaturas óptimas menores. En general las cianofitas tienen mayor tolerancia a temperaturas altas que otras algas.

Salinidad.- Hay especies que tienen tolerancia a altas variaciones en salinidad, y otras que prefieren rangos más específicos. Dentro de una misma especie, pueden haber variedades adaptadas a bajas salinidades como otras adaptadas a altas salinidades.

pH.- El pH óptimo para el crecimiento de microalgas varia de especie a especie, pero suele estar comprendido entre 7 y 9 (Ukeles, 1976). Es importante recordar que el pH aumenta a medida que aumenta la actividad fotosintética, debido al consumo de CO_2.

Curva de crecimiento algal

La curva característica del crecimiento de un población de algas se ve en la figura #8. Durante la primera fase del crecimiento no suele haber división celular, esta fase se la conoce como “lag” o de adaptación. Cuando las agas se han adaptado al medio, comienzan a dividirse. Puesto que la división da lugar a nuevas celulas que son a su vez capaces de dividirse, el aumento del número de microalgas se acelera contínuamente en proporción geométrica. Esta fase es conocida como fase exponencial. El número N de algas poducido en el cultivo en un tiempo t se puede representar por la siguiente formula:

$$\mathbf{N = n \times 2^{kt}}$$

En donde k es una constante que depende de las características del medio y del tiempo que tarda el alga en dividirse y n es la cantidad de algas que habían enel momento t-1. Cuanto mas rápido se dividen las lagas, mayor será el valor de k. El tiempo medio de división de las microalgas generalmente es entre 2 y 30 horas, variando de especie a especie y dentro de la misma especie dependiendo de las características del cultivo (Coll, 1983)
En ambientes tropicales las microalgas se dividen entre 1 y 6 veces por dia.
En la tabla # 2 se presentan los valores de k para diferentes especies de microalgas.

La tercera fase o fase estacionaria se produce generalmente como consecuecia de haber agotado todos los nutrintes. Las celulas no se dividen mas y pueden durar en esta fase hasta semanas, aunque lo normal es que empiezen a morir entrando en la última fase del cutivo.

Las razones por las que los cultivos se mueran pueden ser:

- Falta de Nutrientes.- Al crecer las algas en forma acelerada, ella pueden consumir totalmente alguno(s) nutrientes esenciales, causando su propia muerte.
- Falta de CO_2.- Debido a las mismas razones.
- Aumento del pH debido a las altas densidades, debido al consumo de CO_2.
- Reducción de la exposición a la luz por aumento en la densidad.- Al hacerse las algas muy concentradas, se aumenta la turbidez, lo cual causará que las algas que se encuentren mas allá de donde la luz legue no reciban suficiente luz y mueran.
- Autoinhibición mediante la acumulación de catabolitos

En poblaciones naturales, donde existen varias especies de algas, se ve un fenómeno en el cual se traslapan las curvas de crecimiento. Esto es, la fase de decaimiento de una especie coincide con el inicio de la fase de creciemineto de otra, contribuyendo la especie que está muriendo con nutrientes para este nuevo cultivo (ver grafico # 9).

Variaciones en composición de poblaciones.-

El fitoplancton que hay en piscinas camaroneras incluyen miembros de los siguientes grupos taxonómicos:

- Bacillarophycea (Diatomeas)
- Chlorophycea (Algas verdes)
- Cyanophycea (Agas azul-verdes)
- Dynophycea (Dinoflagelados)
- Chrysophycea (otras algas pardas)

entre otras

Dependiendo de las condiciones ambientales, un grupo u otro podrá dominar la población.

Normalmente se ha considerado que una población de diatomeas es mas favorable para el creciemiento de camarón que otros tipos de algas. Existen ciertos resultados que sugieren esto (Moss, 1995), pero no hay evidencia conclusiva al respecto (Boyd 1993). Boyd y Daniels (1993) reportan que una población de diatomeas equivalente al 20 a 30 % del total del fitoplancton es considerada adecuada.

En general las diatomeas responden bien a rangos de N : P altos, preferiblemente de 10: 1 a 20: 1 (Boyd, 1990). Sin embargo ciertos investigadores afirman lo contrario. Guillard (1975) en su medio F/2 para cultivo de diatomeas recomiendan una relación de alrededor de 5 : 1 de relación N:P en agua de mar.

La presencia de una especie en particular de alga dentro de un cuerpo de agua depende de un sinnúmero de complejas interacciones espaciales y temporales entre los factores ambientales, los cuales afectan la tasa de crecimiento y las caracteristicas del comportamiento de las algas y otros organismos.

El número de géneros de fitopancton en una muestra de agua puede variar desde 1 hasta mas de 50. Una alta diversidad de fitoplancton crean ecosistemas mas estables, ya que las variaciones causadas por una especie en particular tienen menor efecto en la totalidad del ecosistema. Esto sucede porque en este caso la probabilidad de que una sola especie domine con un alto porcentaje la población total es mínima, disminuyendo de esta forma la probabilidad de una caida masiva del bloom de algas con todos sus problemas.

En general en aguas dulces es más comun encotrar Cianofitas y en Aguas estuarina o marinas Diatomeas (Boyd 1990).

Poblaciones de algas azul - verdosas.-

Las cianofitas o agas azul-verdosas tienen la característica de cuando las condiciones les son favorables a ellas y desfavorables a otras algas, poder crecer en grandes cantidades en poco tiempo, dominando completamente la población de un cuerpo de agua. Entre las posibles condiciones que podrían propiciar el desarrollo de cianofitas son altas temperaturas, bajs salinidades, pH alto, ata concentración de nutrientes, en especial de Nitrógeno y Fósforo con bajas concentraciones de CO_2, altas concentraciones de materia ogánica y/o bajas relaciones N : P (Boyd, 1990).

Un número de problemas, incluyendo “sabor a choclo” (“musty odor”), sustancias tóxicas, estratificación térmica y química, muertes súbita de blooms y bajas concentraciones de oxígeno disuelto están asociadas a la presencia en grandes cantidades de algas azul-verdosas.

Las cianofitas sintetizan compuestos que tienen un sabor y olor terroso, tales como geosimina y 2- metillisoborneol, los cuales son liberados al agua de donde son absorbidos por el camarón dandoles este característico olor (Lovell & Sackey, 1973). Jimenez (1984) reportó que durante el invierno de 1983-1984, con las bajas salinidades y altas temperaturas asociadas al fenómeno de El Niño, se detectó con bastante regularidad este problema, asociado a altos blooms de cianofitas, en especial *Anabaena* sp.

Fertilización y Encalado de Piscinas Camaroneras

Las altas concentraciones de cianofitas que se pueden encontrar pueden producir problemas como alta variación diurna-nocturna de oxígeno disuelto, altos valores de pH en la tarde, bajas concentraciones de CO_2 y presencia de natas en la superficie que se acumulan en ciertas zonas. Estas condiciones extremas pueden llevar a mortalidades masivas súbitas que darán como reultado caidas de oxígeno, y aumento en los niveles de amonio, así como falta de alimetación hasta que se restablezca otra población algal.

Algunas especies de cianofítas como *Anabaena spiroides* han sido reportadas que contienen toxinas peligrosas para el camarón. Otras han sido asociadas con problemas de hemocitis enterítica.

Sin embargo, una población moderada y controlada de ciertas especies de cianofitas no causarán problemas y son un excelenete alimento para el camarón.

Rangos de concentraciones algales.-

En general se considera óptimo tener concentraciones de algas en los rangos de 300,000 a 400,000 cel/ml (Boyd y Daniels, 1993). De lo cual se espera que por lo menos un 30% osea 90,000 cel/ml sean diatomeas. En general se puede trabajar bien con rangos sobre 150,000 cel/ml.

Una forma bastante precisa de medir la concentración de algas es el conteo directo mediante una camara de sedimentación como la Sedgwik - Rafter, en donde en coloca 1 ml de agua de piscina fijada con lugol, para luego contar una area conocida de la misma y extrapolar el dato obtenido, dándonos esto una lectura en celulas por mililitro.

Debido a las dificultades que presenta realizar contajes directos de algas, en general se usa la turbidez o profundidad de visibilidad del disco Secchi como indicador de concentración de las mismas. En general se considera la turbidez como un buen indicador de la concentración algal.
Es una buena medida corregir los datos de lectura de turbidez con contajes microscópicos de alga para cada camaronera por época, para tener una idea razonable de los rangos de concentración algal que corresponden a dichas mediciones. Para reducir en algo la variacón debida a la turbidez por sedimentos o a otras causas, es ecomendable que las mediciones las haga una misma persona a una hora determinada y en un lugar donde no se cause turbulencia en el agua como por ejemplo en un muelle.

En general se considera buena una turbidez de 30 a 40 cms, aunque este dato puede variar debido al tipo de algas y a la cantidad de sedimento en el agua.

Tipos de Fertilizantes.-

Fertilizantes Químicos

Los fertilizantes químicos usados para fertilizar las piscinas son idénticos a los usados para fertilizar los cultivos agrícolas. Nitrógeno, Fósforo y Potasio son los principales nutrientes en los fertilizantes. Por tradición generalmente se expresa el grado de un fertilizante como los porcentajes en peso de nitrógeno (como N), fósforo (como P_2O_5) y potasio (como K_2O). Por ejemplo el fosfato diamónico (DAP) se lo lama también 18-40-0 por que contiene 18 % de N, 40% de P_2O_5 y 0% de K_2O. En la tabla # 3 se encuentran los porcentajes d N, P_2O_5 y K_2O en algunos de los fertilizantes mas usados.

Los nutrientes principales en los fertilizantes están presentes como compuestos relativamente simples que al ionizarse dan NO_3^-, NH_4^+, $H_2PO_4^-$, $HPO_4^=$, o K^+ (Boyd, 1990).

Fertiizantes Nitrogenados.-

Los fertilizantes a base de Nitrógeno mas usados son urea, fosfato diamónico (DAP), nitrato de sodio, nitrato de amonio y nitrato de potasio, aunque en el Ecuador el mas usado es la urea.

Generalmente se ha preferido usar urea por su costo. Al momento existen fertilizantes en el mercado a base de nitrato de sodio que están a precios ligeramente mayores a los de la urea en termino de volumen, pero analizando el costo por unidad de nitrógeno, el precio es mucho mayor. No estoy diciendo que no conviene usrlos por esto, sino que debe evaluarse el costo por unidad de nitrógeno versus sus beneficios.

La urea es un compuesto orgánico a base de carbón y nitrógeno. Esta y los fertilizantes a base de amonio producen una reacción ácida al aplicarse porque durante la nitrificación se liberan iones de hidrógeno (Hunt & Boyd, 1981). La acidez potencial de la urea es equivalente a 83 kg $CaCO_3$ / 100 kg urea, osea que si se deseara neutralizar su acidez se requeriría de 83 kg de $CaCO_3$ por cada 100 kg de urea.

Boyd y Daniels (1993) encontraron mayor porcentaje de diatomeas en tanque de agua salobre fertilizadas con urea que en las que se usó cloruro de amonio o nitrato de sodio. Sin embargo estos datos no son conclusivos.

Los fertilizantes a base de nitratos tienen la ventaja de no causar una reacción ácida en el agua ni consumir oxígeno en la nitrificación, además de que no incrementan inmediatamente el amonio en el agua. Su desventaja principal es el mayor costo por unidad de nitrógeno.

Fertilizantes Fosforados.-

El fosfato de roca es la principal fuente de fertilizantes fosforados. Esta se la trata con acido sulfúrico para dar superfosfato, el cual es soluble en agua en un 85% con un equivalente de P_2O_5 de 16 a 20 %. Una forma mas concentrada de fosfato es el super tripe fosfato (STF), el cual tiene alrededor de 46 % de equivalencia de P_2O_5, con una solubilidad del 85%.

Otros fertilizantes fosforados usados son DAP, acido fosforico y fosfato de potasio.

Si se conoce a cantidad de P en un fertilizante el equivalente de P_20_5 puede ser calculado diviendo el peso de P en el fertilizante por 0.5 x el peso molecular de P_2O_5 y dividiendo el % en peso de P por este valor. Para aclarar este punto veamos un ejemplo como se demuestra en la tabla # 4. Por ejemplo para fosfato dicálcico puro:

$CaHPO_4$		P_2O_5	
Ca	= 40	P_2 (31 x 2)	= 62
H	= 1	O_5 (16 x 5)	= 80
P	= 31	Peso Mol.	= 142
O_4 (16 x 4)	= 64		
Peso Mol.	= 136		

% en peso de P = 31/136 = 22.8%

$P/0.5P_2O_5$ = 31/(0.5 x 142) = 31 / 71 = 0.437

Equivalente de P_2O_5 en $CaHPO_4$ = 22.8 % / 0.437 = 52.2%

Hay que tener bastante precaución al aplicar fertilizantes fosforados por su baja solubilidad en el agua.
En aguas con alto contenido de Calcio, gran parte del fosforo añadido se precipita en una forma que no es aprovechable para las algas (Hepher, 1958).

La arcilla presente en los fondos de las piscinas actuan como un iman que adsorbe fosforo imposibilitando su uso por las algas. Se calcula que si se agrega fertilizantes fosforados sin disolver en piscinas, menos del 10% de ellos se logra disolver de inmediato, quedando el resto en el fondo, donde al disolverse serán adsorbidos por la arcilla y no podrán ser usados por las algas.

Fertilizantes Compuestos.-

Hay gran cantidad de fertilizantes compuestos, preparados a partir de fertilizantes básicos. Entre ellos contamos a los fertilizantes “completos”, terminos con los que se conoce comercialmente a los fertilizantes que contienen N, P y K.

Veamos por ejemplo si queremos preparar 1,000 kg de un fertilizante 20 - 20 - 5 :

Se decide por ejemplo usar urea como fuente de nitrato (45% de N), STF como fuente de fosfato (46% de P_2O_5) y muriato de potasio como fuente de potasio (60% de K_2O). Los grados de cada uno de estos fertilizantes pueden verse en la tabla # 3 que ya presentamos.

El procedimiento de cálculo de la cantidad de cada fertilizante a usar aparece en la tabla # 5.

Los fertilizantes “completos” tienen la ventaja de la comodidad de su uso. Las desventajas son:

- Una es que no son completos realmente por que no contienen todos los microelementos necesarios para el desarrollo de las algas.
- Si se los compra generalmente resultan mas caros que los fertilizantes primarios usados para su fabricación. Por lo tanto resulta mas económico determinar la relación de nutrientes con que se quiere trabajar y dosificar uno mismo esa mezcla en la camaronera.
- No son específicos para la condición de cada camaronera, y como ya vienen preparados resulta dificil ajustarlos a las necesidades específicas de cada piscina.

Otros tipos de fertilizantes que existen en el mercado son los suplemetos de micronutrientes, que intentan proporcionar a las algas ciertos minerales y metales trazas necesarios para su crecimiento.

Fertilizantes Orgánicos.-

Los fertilizantes orgánicos son subproductos de origen agropecuario que se utilizan para fertilizar piscinas. En el pais no se ha dado mucho énfasis al uso de estos productos para cultivo de camarón comparado con el uso de los ferilizantes químicos, sin embargo en algunos paises tienen una amplia aceptación en el cultivo de varias especies.

Los fertilizantes orgánicos actuan de 2 maneras (ver grafico # 2):

La primera es como un abono químico, ya que al descomponerse por la acción microbiana, la materia orgánica va a liberar nutrientes. Esta descomposición es sin embargo lenta e ineficiente comparada con los abonos químicos, además de que consume gran cantidad de oxigeno en el proceso.

La segunda es como un alimento directo al zooplancton y zoobentos. Esto produce una ventaja en ahorro de tiempo, ya que pone en disposición inmediata del mismo alimento para crecer y reproducirse. Además sirven de sustrato para algunas bacterias que sirven de alimento para el camrón.

Algunos abonos orgánicos como el bagazo de caña y el polvillo de arroz contienen altas cantidades de silice, los cuales pueden ayudar a favorecer el crecimiento de diatomeas en piscinas con bajas concentraciones de silicatos.

Las características que debe de tener un abono orgánico son:
- Ser barato
- Contener poca fibra
- Ser facil de conseguir y transportar a la camaronera.
- Ser de facil degradación
- No contener peticidas, antibióticos ni otros elementos peligrosos
- Tener bajas concentraciones de bacterias patógenas.

Entre los abonos organicos mas usados se cuentan la gallinaza, el polvillo, la torta de soya y el balanceado de pollo barato.

Villalón (1991), recomienda aplicaciones de 20 kg/Ha de alimento balanceado antes de la siembra para favorecer la fauna béntica. Llanos (1994) recomienda 25 kg/Ha de torta de soya o balanceado para pollos.

Debido a posibles problemas por bajas de oxígeno, gran cuidado debe de tenerse al aplicar abonos orgánicos en piscinas ya sembradas con camarón.

Un abono orgánico que frecuentemente es pasado por alto es el balanceado. Este, ya sea como residuos no consumidos o por la excreta de los camones contribuye apreciablemente a l fertilidad de la piscina. Tanto así que en piscinas con más de 30 kg/Ha de alimentación, se recomienda reajustar o suspender las aplicaciones de fertilizantes.

Requerimientos y recomendciones.-

El objetivo de la dosificación de fertilizantes en piscinas de cultivos camaroneros es de lograr concentraciones de nutrientes aproiados para el crecimiento de algas.

Villalón (1991) recomienda concentraciones de nitrogeno de 1.3 ppm y de fósforo de 0.15 ppm.
Otros investigadores recomiendan rangos de 1.5 ppm de N y de 0.3 ppm de P, y existen otros que rocomiendan diferentes dosis y relaciones.

Es importante tomar en cuenta la cantidad de nutrientes existentes en el agua para dosificar correctamente la fertilización. Análisis químicos del agua nos darán una pauta sobre que tipo de fertilización aplicar. Los análisis de plancton tanto cuantitativos como cualitativos también nos ayudarán en nuestra decisión.

Recambio de agua.-

El recambio de agua tiene una relación muy cercana con la fertilización.

Cuando nosotros recambiamos agua, estamos diluyendo los nutrientes así como las algas que hay en nuestras piscinas.

Debido a esto, en piscinas con atos niveles de recambio de agua se recomienda fertilizar por lo menos 2 o 3 veces por semana.

El correcto recambio de agua es importante también para mantener la salud de un cultivo algal. Podemos comparar este con el sistema de repiques usados para el cultivo *in vitro* de microalgas, ya que al recambiar el agua controladamente en una población algal que está creciendo en su fase exponencial ayudamos a que no entren en las fases estacionaria o de decaimiento, ya que nos sirve para mantener una densidad óptima.
En ocasiones, cuando un bloom se haya caido, es conveniente realizar un recambio de agua relativamente fuerte para poder reinocular la psicina con nuevas cepas de algas del medio natural, y seguidamente dar una fertilizción fuerte de arranque.

En caso de tener poblaciones de algas indeseables, el recambio de agua sirve también para lavarlas o diluirlas, dando así oportunidad a otro tipo de alga de florecer.

Metodos de fertilización.-

La aplicación de fertilzantes a las piscinas puede hacese de 2 maneras básicas:

Disolviendo el fertilizante en agua totalmente y agregandolo después en la piscina al boleo en una canoa en la mitad delantera de la piscina. Este método tiene como ventaja la correcta distribución de los nutrientes en la piscina. La desventaja es que requiere de cierta mano de obra para realizarlo, además debe una persona responsable cerciorarse de que el fertilizante esté completamente disuelto antes de distribuirlo en la piscina. Es una buena idea colocar el fosfato en una funda plástica con agua de piscina por lo menos 24 horas antes de su la aplicación para asegurarnos de que se disuelva correctamente. La urea no presenta tantos problemas y puede disolverse en la misma canoa en que se lo riega, agregando mas agua a medida que se lo va aplicando para asegurarnos de que se disuelva bien.

La otra forma es la distribución pasiva del fertilizante, esto se logra colocando el fertilizante en saco vacios de balanceado, en un lugar donde haya corriente de agua para que se disuelva, por ejemplo en las compuertas de entrada. La ventaja de este método es la perfecta disolución del fertilizante y el ahorro de mano de obra, la desventaja es que en ciertas piscinas con mala circulación de agua la distribución a lo largo de la piscina puede no ser homogenea.

Dosis de fertilización.-

Fertilización rutinaria.-

No se puede hablar realmente de una “fertilización rutinaria”, sino mas bien de una rutina de fertilización. Una rutina de fertilización implica una serie de procedimientos mediante los cuales el acuicultor trata de manejar la fertilización basado en los parámetros fisico- quimico- biológicos de la piscina.

Hay infinidad de recomendaciones sobre rutinas de fertilización.

Villalón (1991) sugiere la siguiente:

- Con lecturas de transparencias arriba de 30 cm, aplicar 4 lbs de urea y 0.4 lbs de STF por hectarea cada 3 dias.
- Con transparencias entre 25 y 30 cms, se suspende la fertilización hasta que las transparencias suban por encima de los 30 cms.
- Con transparencias inferiores a 25 cms. la fertilización y la alimentación son suspendidas y se aumenta el recambio de agua.

Esto programa debe de usarse como una guía pero basados en las respuesta de la piscina se modifica las cantidades o la relación de cada fertilizante.

Boyd y Daniels (1989) reportan 4 procedimientos usados comunmente para fertilizar piscinas camaroneras en Ecuador:

1. Aplicar 10 kg/Ha de urea y 5 kg/Ha de STF cad 2 a 3 dias.
2. Aplicar 10 a 20 kg/Ha de urea y 0.3 a 0.6 kg/Ha de STF en intervalos de 1 a 7 dias. Las aplicaciones se hacen menos frecuentes a medida que las concentraciones de algas se hacen mas abundantes.
3. Aplicar 2.5 a 5 kg/Ha de urea y 1.5 a 2.5 kg/Ha de STF pasando un dia.
4. Apliar 5 a 10 kg/Ha de urea inicialmente y despues aplicar 2 kg/Ha cada 2 a 3 dias.

En general resulta conveniente manejar dinamicamente cada piscina basado en ciertas recomendaciones:

- La proporción de N:P debe de ser alta, por lo menos de 20:1. (aunque algunos autores difieren con esto.)
- En aguas con altas concentraciones de P, reducir la cantidad de fertilizantes fosforados. Si las concentraciones son bajas aumentarlas.

* En general se recomienda fertiizar pasando 2 o 3 dias, para mantener una provisión estable de nutrientes en el agua.
* Tratar de mantener una turbidez de entre 30 y 40 cms. En caso de valores menores a 30 suspender fertiización momentaneamente y aumentar recambio. Con valores de transparencia mayores puede ser recomedable hacer una renovación sustanial de agua (aprox. 20%) y aplicar una dosis fuerte de fertilizantes o aumentar la cantidad o frecuencia de fertilización,
* En piscinas con concentraciones de oxigeno menores a 3 mg/l., suspender fertilización y aumentar recambio.
* En piscinas con altas tasas de alimentación (30 kg/Ha/dia) la fertilización debe ser redosificada, ya que el balanceado provee cantidades considerables de N.

Fertilización inicial.-

La fertiización inicial o de arranque es sin duda la más importante del cultivo, ya que intenta dar a la larva que llega la mejorde las condiciones para evitar estress y proveyendola de suficiente alimento de buena calidad.

Varias dosis de fertilización son recomendadas por diferentes autores, pero en general se considera que la ferilización inicial debe de ser más fuerte (20 al 100%) que las fertilizaciones de mantenimiento.

Generalmente se recomienda aplicar un sistema de fertilización por etapas, a medida de que se va llenando la piscina. Esto es aplicar la fertilización en varias dosis, con diferentes niveles de agua, esto servirá como un sistema de repiques.

Villalón (1991) sugiere lo siguiente:

* Llenar la piscina hasta que el agua cubra un 60% de la piscina con una profundidad de 10 a 30 cm.
* Aplicar 20 lbs de urea y 2 de STF.
* Parar la entrada de agua y dejar sellada durante 2 a 3 dias.
* Reiniciar el llenado hasta un 50% de su nivel operativo
* Mientras se llena la piscina aplicar 30 lbs de urea y 3 lbs de STF.
* Suspender el llenado durante 2 a 3 dias.
* Continuar el llenado hasta el 100% de su nivel operativo
* Durante el llenado aplicar 50 lbs de urea y 5 lbs de STF.
* Sembrar la piscina cuando tenga una turbidez adecuada.
* Después de la siembra la psicina permanecerá sellada por 10 dias.

Llanos (1994) sugiere una fertilización por etapas diferente, en la cual el agua no para de entrar nunca. La siemnra se la realiza con un 70% de su nivel operativo entre el 6° y 12° dia, cuando el nivel de zooplancton se encuentre en su pico. Despues de la siembra se continúa subiendo el nivel de la piscina hasta alcanzar el nivel operativo, cosa que se planea obtener en 10 dias, con una entrada de agua diaria del 3%.

Encalado.-

El tema de esta conferencia fué centrada al encalado en agua en piscinas en producción, por lo que lo que se va a tratar mas enfocado a este tema que al uso de cal en suelos.

Un acido es una sustancia que en una solución acuosa se disocia liberando iones de hidrógeno^{+}. Una base es una sustancia que en una solución acuosa se disocia liberando iones de oxidrilo OH^{-}.

La alcalinidad total se define como la concentración total de bases titulables en el agua. Las principales bases en el agua son los iones $CO_3^{=}$ y HCO_3^{-}. La acalinidad total generalmente se expresa como mg/l de su equivalente en $CaCO_3$.

La Dureza total se define como la concentración total de cationes divalentes en el agua. También se expresa como mg/l de $CaCO_3$. Los principales cationes divalentes en el agua son Ca^{++} y Mg^{++}.

En aguas dulces, la alcalinidad y dureza son con frecuencia factores de consideración. Boyd (1989) dice que ambas variables deben de exceder los 20 mg/l. Cuando uno o ambos parámetros son muy bajos, es recomendable aplicar algún tipo de cal para aumentar sus concentraciones.

En aguas salobres los valores de tanto alcalinidad como dureza son bastante altos, por lo que generalmente no es necesario aplicar cal. Sin embargo, existen areas en donde los suelos son acídicos y se requerirá de cierta aplicación de cal.

Tipos de Cal.-

El encalado es una práctica agricola que ha sido adoptada por los acuicultores, y los materiales de encalado usados en acuicultura son los mismos que e usan en agricultura.

El tipo de cal mas usado es la cal agricola, que no es mas que piedra caliza pulverizada. La piedra caliza está compuesta por $CaCO_3$ (calcita o carbonato de calcio), $CaMg(CO_3)_2$ (Dolomita o carbonato de calcio y magnesio o mas probablemente una combinación de los dos.

Otro tipo de Cal usada frecuentemente es la cal viva (CaO), la cual se produce quemando a altas temperaturas la cal agrícola.

Si se agrega agua a la cal viva se obtiene cal apagada o cal hidratada ($Ca(OH)_2$) .

Valores neutralizantes.-

El termino valor neutralizante se refiere a la habilidad relativa de las cales de neutralizar la acidez por unidad de peso, comparados con el carbonato de calcio puro. Y es un estandar con repecto al cual las cales se comparan. $CaCO_3$ tiene por definición un valor neutralizante (V.N.) de 100%.

Para calcular el VN de una cal se divide el peso molecular de $CaCO_3$ (100) por el peso molecular de dicha cal.

Suponiendo que trabajamos con productos puros, el VN de la cal viva (pm = 56) será:

$$V.N. = 100/56 = 179\%$$

Para cal hidratada (pm = 74):

$$V.N. = 100/74 = 135$$

Esto quiere decir que la cal viva tiene 1.79 veces el poder neutralizante que el carbonato de calcio, y la cal hidratada 1.35 veces.
Al momento de hacer una decisión de compra, hay que tener esto en cuenta, ya que si queremos utilizar la cal para neutralizar acidez, no conviene pagar más de lo que vale un producto de lo que pagaríamos por otro que puede hacer el mismo trabajo a menor precio.

Supongamos que debemos decidir entre comprar carbonato de calcio a 4,500 sucres por saco o cal viva a 7,000 ssucres por saco. El equivalente de carbonato para un saco de cal viva sería de 1.79 sacos, lo que nos costaría 1.79 x 4,500 = 7,920 sucres, entonces la decisión lógica (si no tomamos en cuenta otros factores) sería comprar cal viva.

En realidad las cales que se compran comercialmente no son minerales puros, y el ejemplo usado es solo para demostración didáctica, pero se puede determinar por análisis químico los VN de las diferentes cales disponibles en el mercado y usar estos datos para hacer una decisión sensata de que tipo de cal utilizar.

Aplicación de cal en agua.-

En el país existe la costumbre de aplicar cal en el agua como solución a muchos problemas en las piscinas. Analicemos algunas situaciones.

El aplicar carbonato de calcio en aguas de piscinas para solucionar problemas del agua no es una buena medida. El carbonato de Calcio no se disuelve con alcalinidades mayores a 60 mg/l (Boyd & Daniels, 1993, Boyd 1995), e incluso con alcalinidades menores no se disuelve a salindades mayores a 1ppt (Boyd, 1995), como se aprecia en la tabla # 8. El agua estuarina es generalmente alta en alcalinidad con valores entre 50 y 150 mg/l de $CaCO_3$.

Al aplicar carbonato de calcio en piscinas donde no se va a disolver, este se irá al fondo, donde si hay condiciones ácidas va a neutralizarlas pero si no las hay permanecerá en el fondo sin reportarnos ningún beneficio.

Si la acalinidad en una zona es menor a 50 mg/l, el encalado del agua puede funcionar, pero debido al fuerte recambio de agua que normalmente se da en piscinas camaroneras, este beneficio será de corto tiempo, requiriendo de aplicaciones periódicas.

No existe evidencia cientifica de que el aplicar cal a piscinas ayude a la dureza del camarón. Generalmente existe suficiente cantidad de calcio en el agua estuarina para suplir las necesidades del camarón. La excepción podría ser aguas con concentraciones bajas del mismo.

Hay informes de que la aplicación de cal apagada en pequeñas dosis (100 lbs/Ha) en piscinas puede disminuir la concentración de bacterias en el agua, aunque no existen datos suficientes para confirmar o refutar dicha aseveración. En piscinas vacias, el uso de cal viva o apagada sirve como desinfectante al aumetar el pH a valores de alrededor de 11, lo cual las mata, pero en piscinas con camarón aplicar cal suficiente para elevar el pH hasta esos niveles podría causar una mortalidad masiva de camarón. Cualquier aplicación de cal viva o apagada en piscinas con camarón debe de ser manejada con mucha precaución.

La cal apagada puede servir para controlar blooms de algas, ya que precipita el CO_2.

Varias recomendaciones sensatas sobre la cal son:

- Antes de aplicar cal cerciorese de que en verdad la necesite, mida pH, alcalinidad y dureza.
- Tenga precaución con la aplicación de cal viva o hidratada en piscinas sembradas.
- La aplicación de cal da buenos resultados en suelos ácidos
- La aplicación de cal funciona bien en aguas con alcalinidad total menor a 50 mg/l
- Use el tipo de cal que mas le convenga para su uso
- Use cal preferentemente con granulometría fina, ya que es la que mejor funciona

Para finalizar quisiera citar a Mortimer (1954), el cual dijo:

“ Para el cultivador de peces el mejor indice de la eficeincia de de un tratamiento con abono no es el efecto sobre el plancton, fauna bentica o en la vegetacion, sino en el incremento de la cosecha de peces por encima de lo que proporciona la productividad natural”.

Y espero que lo expuesto en esta charla les sirva como base general para tomar mejores decisiones en la fertilización y encalado de piscinas, no solo con respecto a lo que dicen los investigadores sino a lo que su práctica les demuestre correcto.

BIBLIOGRAFIA

- **Anderson, R; Parker, P; Lawrence, A. 1987.** A C^{13}/C^{12} tracer study of the utilization of presented feed by a commercially important shrimp *Penaeus vannamei* in a pond growout system.
- **Boyd, C. 1989.** Water Quality Management and Aireation in Shrimp Farming.
- **Boyd, C. 1990.** Water Qulity in Ponds for Aquaculture.
- **Boyd, C. 1992.** Shrimp pond bottom soil and sediment management.
- **Boyd, C. 1995.** Cemistry and efficacy of amendments used to treat Water and Soil Quality Imbalances n Shrimp Ponds.
- **Boyd, C.; Daniels, H. 1989.** Stategies and Tactics for manegement of fertilized Hatchery Ponds.
- **Boyd, C.; Daniels, H. 1993.** Liming & fertilization of Brackishwater Shrimp Ponds.
- **Cañizares, R. 1985,** Curso de Acuacultura. Facultad de Medicina Veterinaria. Universidad de Guayaquil.
- **Coll, J. 1983.** Acuicultura Marina Animal.
- **D’ Abramo, L.; Coklin, D. 1995.** New Developments in the understanding of the nutrition of Penaeid and caridean Species of Shrimp.
- **Guillard, R. 1975.-** Culture of Phytoplancton for feeding marine Invertebrates.
- **Hepher, B. 1958.** On the dynamics of Phosphorus added to Fishponds in Israel.
- **Hunt, D.; Boyd, C. 1981.** Alkalinity losses fro ammonium fertilizers used in shrimp ponds.
- **Jory, D. 1995.** Feed Management Practices for a healthy Enviroment.
- **Kitting, C.; Fry, B; Morgan, M. 1984.** Detection of inconspicuos epiphytic algae supporting food webs in seagrass meadows.
- **Lilyestrom, C; Romairem, R; Aharon, P. 1987.** Diet and food assimilation by channel catfish and Malaysian prawns in polyculture as determined by stomach conten analysis and stable carbon isotope ratios.
- **Llanos, J. 1994.** Lista de Preparación de Piscinas. Comunicación personal.
- **Mortimer, C. 1954.** Fertilizers in fish ponds.
- **Moss, S. 1995.** Herbivory Potencial of White Shrimp,*Penaeus vannamei*, Associated with Diatoms Blooms in Intensive Ponds.

- **Shelef, G.; Moraine, R.; Berner, T.; Levi, A. & Oron,G. 1978,** Solar energy conversion via algal wastewater treatment and protein production. En: Proc. 4th Int'l Cong.Photosynthesis. The Biochemical Society London. pp 657-675.
- **Ukeles, R. 1976**, Cultivation of Plants. unicellular plants. En: Marine Ecology. Vol III: Cultivation, part 1. O. Kinne, John Willey. pp. 367-466.
- **Villalón, J. 1991.** Practical Manual for semi-intensive ommercial production of marine shrimp.
- **Wyban, J.; Sweeney, J. 1991.** Intensive Shrimp production tehnology: The Oceanic Institute Shrimp Manual.