

## I.-INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.

Actualmente el camarón es la especie pesquera más importante para nuestro país en la captación de divisas, ya que participó con el 78.65 % de la balanza comercial pesquera durante 1995 siendo el 27.3% producto de acuicultura (FIRA, 1996).

La balanza comercial del sector pesquero decreció en el período de 1992 a 1994, debido a la disminución de exportaciones de atún y camarón e importaciones de harina de pescado. Sin embargo la producción de camarón se ha venido incrementando año con año, ocupando un buen lugar en la balanza comercial del sector pesquero.

El camarón, con exportaciones del orden de los 443 millones de dólares, representa en México el cuarto lugar de importancia en aportación a la balanza comercial de los productos del sector agropecuario después del café con 706.58 millones de dólares, tomate con 585.60 millones de dólares y el ganado vacuno con 513.70 millones de dólares. Sin duda el camarón, con la contribución de la acuicultura, seguirá incrementando su participación en el futuro en la balanza comercial, si se logra un incremento en las tallas de producción y reducción de costos de maquila. (FIRA, 1996).

El Plan Nacional de Desarrollo 1995- 2000, en su apartado 5.8 "Política ambiental para un crecimiento sustentable", menciona que el fomento pesquero se basará en un enfoque integral que atienda las necesidades de investigación y evaluación de los recursos, infraestructura básica, flota pesquera, procesamiento, transportación y comercialización. Para ello se promoverá la diversificación y el desarrollo de nuevas pesquerías y de recursos no aprovechados, así como la acuicultura industrial y rural. La promoción acuicultural se basará en acciones tendientes a garantizar la calidad del agua, un mejor manejo y ordenamiento de zonas costeras, mayor investigación y desarrollo tecnológico, sanidad acuícola y programas específicos de capacitación y asistencia técnica. En esta política se privilegiará la generación de empleos, el incremento de la oferta de alimentos de origen pesquero destinados a mejorar la nutrición de los grupos mayoritarios de la población y la obtención de divisas con el fomento de las exportaciones de las especies en que tenemos mayor competitividad.

El cultivo de camarón se ha convertido gradualmente en una importante actividad generadora de empleos y divisas a nivel mundial. La validación comercial de tecnologías de cultivo, permite hoy contar con camarón de talla, calidad y cantidad predeterminadas en el

momento oportuno para un mercado en expansión. El desarrollo de técnicas de reproducción controlada y sistemas de cultivo de alta densidad y ambiente controlado, han permitido que el camarón cultivado provea hoy más del 28% de la producción mundial. La tendencia de la actividad es incrementar la densidad de organismos para elevar la producción por unidad de área, así los sistemas de producción semi-intensivos van dominando el ambiente camaronícola nacional e internacional (FIRA, 1996).

El camarón es un platillo en creciente demanda en todo el mundo. Tradicionalmente se capturaba del océano, pero las capturas del medio natural actualmente no son suficientes para cubrir una demanda insatisfecha. Durante las últimas décadas se ha aprendido a cultivar camarón en estanques cerca de la zona costera, así el cultivo juega un papel importante para asegurar una buena calidad sobre una demanda creciente. La industria de la camaronicultura es una de las actividades económicas con más crecimiento en los últimos años. Esta expansión se ha caracterizado por tomar cada vez más hectáreas de terrenos (Villalon, 1991) y disponer de más cuerpos de agua para las estaciones de bombeo de granjas y laboratorios.

El cultivo de camarón se realiza actualmente en cerca de 50 naciones, representando la mayor producción los países de Asia. El crecimiento de esta industria a nivel mundial ha sido sorprendente con producciones desde 100,000 ton. en 1983 hasta de 700,000 ton. en 1995. Las especies más comunes de cultivo son: *Marsupenaeus monodon* y *Litopenaeus vannamei* (Boyd, 1997). El mercado nacional de camarón es abastecido principalmente por los estados de Sinaloa y Sonora, lo que demuestra la necesidad de un desarrollo camaronícola para satisfacer la demanda nacional, actualmente el camarón *Litopenaeus stylirostris* vuelve a tomar importancia en los cultivos de laboratorio y engorda aquí en México, donde son construidos estanques a lo largo de la costa, de lagunas costeras y ríos donde existe una fuente adecuada de agua salada o salobre. Usualmente se construyen en terrenos con alto contenido de arcilla y los bordos y fondos se compactan, para que haya poca pérdida de agua y la descarga pueda controlarse completamente.

Construir una granja de camarón requiere de una inversión muy grande. Dependiendo del lugar y diseño de la granja, los costos pueden fluctuar desde \$5,000 hasta \$20,000 dólares/acre. La inversión para la siembra también es alta. En sistemas intensivos, el costo de la postlarva/acre está entre los \$1,000 y los \$2,000 dólares/acre, el alimento puede estar arriba

de los \$10,000 dólares/acre. Aunado a esto, se unen los costos de mano de obra, bombeo, aireación, entre otros. Es evidente que el inversionista desea tener una operación rentable y sostenida, aunque pasarán algunos años para recobrar la inversión (Boyd, 1997). Las granjas de camarón constituyen en la historia, uno de los fenómenos comerciales de las últimas dos décadas (Primavera, 1997)

Recientemente, el cultivo de camarón ha recibido diversos ataques por parte de grupos ambientalistas que aseguran que esta actividad ha causado una severa destrucción en manglares, contaminación del agua, alterando las poblaciones de camarón nativo, salinizando las aguas dulces y otros eventos negativos (Boyd, 1997). Los métodos para reducir la contaminación potencial de las descargas de las granjas deben ser indispensables, primero para disminuir la contaminación de la zona costera y segundo para proteger la fuente de agua de las mismas granjas. El manejo de la calidad del agua involucra un amplio entendimiento no solamente de lo que ocurre dentro del estanque, sino de lo que sucede con el agua de desecho (Teichert, 1994). Las descargas de las granjas han llevado a la destrucción de áreas de crecimiento de camarón en Asia debido a la contaminación de aguas vertidas en los mismos estuarios (Phillips *et al*, 1993). El esperar una buena producción de camarón sostenida a largo plazo puede depender en gran medida de un buen uso del agua, el cual está relacionado con las cargas y descargas de la granja. La calidad del agua es el factor que influye, en más del 50%, en un desarrollo exitoso de la producción de camarón en granjas acuícolas (Zarain-Hezberg, 1997).

La calidad del agua se ve afectada por el incremento de fertilizantes y alimentos adicionados, así como por la resuspensión de los materiales. Los alimentos acumulados en los estanques contribuyen con grandes cantidades de materia orgánica, la cual es depositada en el sedimento y también suspendida en la columna de agua. Esto favorece a las bacterias de crecimiento rápido y por consiguiente se reduce la diversidad microbiológica (Torsvik *et al*, 1993, citado por Douillet, 1998). El resultado es una sucesión hacia comunidades microbiológicas inestables e incapaces de degradar la materia orgánica microbiológica (Torsvik *et al*, 1996, citado por Douillet, 1998). Por consiguiente, los sistemas de producción intensivos acumulan desechos orgánicos más rápidamente de lo que se degradan en el fondo, reduciendo la disponibilidad de oxígeno (Douillet, 1998).

Otro factor importante son las enfermedades. La carga excesiva, en un sistema acuicultural, de nutrientes, materia orgánica, materiales y otros elementos, dan origen a condiciones eutróficas del sistema acuático, condiciones favorables para los patógenos, por lo tanto la calidad del agua y el control de enfermedades son importantes en los sistemas de cultivo acuáticos. Desde principios de siglo se ha demostrado que para que se presente una enfermedad se necesita tener presente al huésped, al patógeno y tener condiciones medio ambientales adecuadas para que prolifere el patógeno. La alta densidad de huéspedes y las condiciones favorables (eutróficas) del sistema de cultivo, ofrecen condiciones adecuadas para los patógenos (Douillet, 1998). Entonces el límite de la producción y el grado de estabilidad química y biológica de un cultivo acuático, son dependientes de la calidad del agua (Douillet, 1998).

Dos de los factores de diseño más importantes que impactan el sistema de drenado del agua, son la pendiente del fondo de los estanques y la elevación de las estructuras de descarga (Cook y Clifford, 1997). Estableciendo mínimas diferencias en la elevación del fondo de los estanques entre el compartimiento de los filtros, la compuerta de salida (las salidas de cosecha) y el canal del dren, se puede propiciar un adecuado drenaje para los estanques (Cook y Clifford, 1997). Por lo anterior se debe tener un cuidado especial al diseñar los estanques para que no existan zonas donde se acumulen los nutrientes, la productividad e incluso la materia orgánica. El excesivo uso de alimento en los sistemas de producción intensivos y semi-intensivos son las causas básicas por las que un estanque tiene problemas en su calidad de agua.

Para generar una buena productividad en un estanque es muy importante que los nutrientes guarden una razón ideal de N:P. Clifford (1994) recomienda que antes de formular un programa de fertilización en una granja en particular, es conveniente hacer un experimento basado en un análisis químico del agua. El nitrógeno es el elemento que se encuentra en mayor proporción en la atmósfera, se encuentra en una proporción del 78.084% del total de los gases en el aire. En el medio acuático, la concentración del nitrógeno depende en gran medida de la temperatura y la salinidad. El equilibrio de la concentración del nitrógeno declina con el incremento de la temperatura y salinidad (Boyd, 1990).

El nitrógeno en su fase acuática tiene un comportamiento donde los compuestos inorgánicos predominantes en los sistemas costeros son los nitratos, nitritos y amonio, con una preponderancia indistinta entre el primero y el último, según las condiciones locales. Sus concentraciones presentan una amplia variación espacial y temporal, desde lo indetectable para las tres formas hasta más de 50.0  $\mu\text{g-at/l}$  para  $\text{NO}_3^+$  y  $\text{NH}_4^+$  y 10  $\mu\text{g-at/l}$ , para  $\text{NO}_2^+$ . También se pueden encontrar concentraciones medibles de compuestos orgánicos disueltos, representados por urea, aminoácidos y péptidos, que son asimilados por los auxótrofos, al igual que los inorgánicos (De la Lanza-Espino y Cáceres-Martínez, 1994).

Todos los organismos vivos requieren nitrógeno ya que es un importante componente de las proteínas y otras sustancias bioquímicas. El nitrógeno es obtenido del agua, principalmente como nitrato ( $\text{NO}_3$ ) por las algas. Los animales satisfacen su requerimiento de nitrógeno alimentándose de plantas u otros animales. Los desechos nitrogenados son excretados por los animales en diferentes formas: amonia, y compuestos nitrogenados. Los desechos nitrogenados son eventualmente transformados en amonia, la cual se nitrifica a nitratos, pasando por la forma intermedia nitrito;  $\text{NH}_3\text{-NO}_2\text{-NO}_3$  (Zarain-Hezberg, 1997). El ciclo del nitrógeno en estanques acuícolas es regulado primordialmente por la actividad biológica (Boyd, 1990).

Para la síntesis de la materia orgánica son imprescindibles los macronutrientes (que son los iones del nitrógeno:  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_4$ , y el fósforo  $\text{PO}_4$ ), que se requieren para la formación de proteínas, aminoazúcares, nucleótidos y demás. Con la temperatura y la luz son los responsables abióticos de la productividad biológica en todo sistema acuático (De la Lanza-Espino y Cáceres-Martínez, 1994). Las concentraciones de estos nutrientes en ambientes acuáticos naturales y para acuicultura van más allá de lo permitido en las normas de calidad de aguas corrientes y de consumo, por lo que la interpretación tiene diferentes aspectos, (De la Lanza-Espino y Cáceres-Martínez, 1994).

El fósforo es el nutriente considerado como el factor más crítico y complejo en los ciclos biogeoquímicos. Forma parte de complejos vitales como fosfonucleótidos, fosfoaminoazúcares, fosfolípidos y de los sistemas energéticos en la célula (ADP, ATP). Actualmente, existe controversia si el fósforo es considerado nutriente limitante y si controla

la producción y biomasa fitoplanctónica en sistemas costeros, dado que la concentración mínima para limitar el desarrollo no está determinada (De la Lanza, 1990).

El fósforo se encuentra presente en los sistemas acuáticos en muchas formas químicas, desde iones de fosfato inorgánico a moléculas orgánicas como son azúcares y ADN. El balance químico entre las diferentes formas está en función de muchas variables incluyendo pH, concentración de iones metales como calcio y aluminio, potencial de reducción de oxidación, extensión de movimiento de los fondos y la existencia de contaminación (Wheaton, 1982).

El fósforo es una llave al proceso metabólico y un suplemento para regular la productividad natural en el agua (Boyd, 1990), la adición de fósforo al agua responde con un incremento en la producción de microalgas. Sin embargo, la concentración se verá aumentada por aporte de desechos urbanos, industriales y agrícolas, y consecuentemente la modificación temporal o permanente puede conducir a crecimientos excesivos de especies no adecuadas para las que mantienen un equilibrio ecológico o aun para aquellas de importancia comercial.

Las concentraciones de nitrógeno y fósforo se incrementan con los fertilizantes en los estanques y estimulan el crecimiento del fitoplancton. El alimento que no es consumido por el camarón queda en el estanque y es descompuesto por bacterias y otros microorganismos, remineralizándolo en nutrientes inorgánicos tales como amoníaco, fosfatos y dióxido de carbono. El agua en los estanques normalmente se enriquece con nutrientes y materia orgánica suspendida y soluble.

Los nutrientes disponibles en el agua son los elementos indispensables para inducir la productividad primaria. Generalmente existen concentraciones de nutrientes disponibles en el agua de mar, sin embargo en los estanques no son siempre suficientes para generar y mantener niveles adecuados de productividad primaria y secundaria. Se ha probado que una disponibilidad de 1.3 ppm de N y 0.15 ppm de P, resultan adecuados para sostener la producción de fitoplancton (Zarain-Herzberg, 1997).

El propósito de fertilizar en los estanques es mantener las microalgas en su fase exponencial de crecimiento, y una adecuada rutina de fertilización disminuye las posibilidades de que el crecimiento del fitoplancton se inhiba debido a algún nutriente limitante (Villalón, 1991).

Las aguas costeras tienen la capacidad de asimilar los contaminantes que son vertidos en ellas, y si esas descargas no se exceden de los límites máximos permisibles, las descargas provenientes no causarán ningún daño (Boyd, 1997).

El silicato se encuentra en aguas naturales en un rango de 1-80 mg/l, (Boyd, 1990). Este elemento está presente tanto particulado como disuelto en forma de ácido silícico ( $H_4SiO_4$ ). A pH inferior a 9 es considerado dentro de los micronutrientes a pesar de que solo constituye los esqueletos de organismos como diatomeas y radiolarios, (De la Lanza, 1990).

En algunas concentraciones el silicato puede regular la abundancia de diatomeas. Aparentemente el silicato no es un componente primordial del protoplasma de plantas y animales, aunque si es necesario se requiere para la construcción de las conchas y frústulas de ciertas diatomeas, cistos en algas amarillo-cafés y espículas de algunas esponjas. Para las poblaciones de algunas diatomeas como *Asterionella*, *Melosira* y *Tabellaria* se requieren concentraciones de sílice entre 0.5 y 0.8 mg/litro. La regeneración de sílice parece ser que se debe a la acción química más que a la bacteriología, como es el caso para los fosfatos y nitratos. El sílice que pasa por el tracto digestivo de algunos organismos marinos se descompone más rápidamente que el sílice que no ha sufrido dicho proceso digestivo. No se conoce exactamente el tiempo de mezcla del sílice, sin embargo algunas estimaciones indican que la tasa de mezcla del mismo es más rápida que para la de fosfatos y nitratos (Wheaton, 1982).

Las concentraciones de sílice varían ampliamente en los océanos. La variación en las poblaciones de diatomeas que forman frústulas y la diferencia entre los procesos de regeneración para el sílice y para nitratos y fosfatos ocasionan que el sílice difiera un tanto de las distribuciones de fosfatos y nitratos. Las concentraciones de sílice para el Pacífico Norte contienen alrededor de 4.8 ppm; mucho más que los otros lugares, donde se han realizado estudios. Generalmente no se observa una profundidad intermedia en la que ocurra una concentración máxima de sílice, como ocurre con los nitratos y fosfatos. En aguas profundas, la concentración de sílice se incrementa al aumentar la profundidad (Wheaton, 1982). El sílice es importante para favorecer el crecimiento de las diatomeas, se ha determinado como recomendable, una relación de N:P 20-30: 1 ppm (Zarain-Herzberg, 1997), para estanques de cultivo de camarón.

En análisis de contenido estomacal de camarón cultivado, se ha encontrado que las diatomeas constituyen parte de su dieta. Este grupo del fitoplancton es utilizado comúnmente también durante los cultivos larvarios de camarón (Martínez-Córdova *et al*, 1993). El nutriente limitante para las diatomeas es el silice, debido a ello se procuran mantener en los estanques concentraciones adecuadas mediante fertilizaciones periódicas.

Con relación a la productividad primaria, Hernández-Llamas (1995) utilizó fertilizantes orgánicos en estanques rústicos y sus resultados variaron significativamente entre sus tratamientos. Las clorofilas, van ligadas a la productividad primaria y es otra forma de medir la biomasa fitoplanctónica. El fitoplancton, aporta biomasa, que contribuye a la formación de detritus en el fondo y es un ingrediente nutricional importante en varios estadios del camarón. El fitoplancton es la principal fuente de generación de oxígeno en los estanques de acuicultura y es capaz de absorber los metabolitos tóxicos del agua y mantener en equilibrio el ecosistema en cada estanque (Zarain-Herzberg, 1997).

Normalmente se recomienda para regiones tropicales mantener densidades de fitoplancton total en estanques entre  $80 \times 10^6$  y  $300 \times 10^6$  cel/ml, y para clorofila *a* entre 50 y 75 mg/m<sup>3</sup> (Clifford, 1994). Estos niveles pueden variar dependiendo de la productividad natural de cada región y la disponibilidad de nutrientes en determinada granja (Villalón, 1991). Casillas-Hernández e Ibarra-Gámez, (1993) reportan en estanques fertilizados en el Parque Acuícola La Atanasia, en Sonora, concentraciones de clorofila *a* entre  $4.87 \pm 3.0$  y  $5.33 \pm 2.31$  mg/m<sup>3</sup>, no reporta rendimientos pero si sobrevivencias arriba del 50%.

Wyban *et al* (1987), reportan en Hawai estanques fertilizados con niveles de clorofila *a* entre 6.5 y 8.4 mg/m<sup>3</sup>, con sobrevivencia final de 69% y 83% y un peso final promedio entre 8.7 y 18.1g. En México, en la granja la Clementina al sur de Sinaloa, Páez-Osuna *et al* (1994), reportaron en estanques con *Litopenaeus vannamei*, niveles de clorofila *a* entre  $8.5 \pm 4.6$  y  $7.8 \pm 4.1$  mg/m<sup>3</sup>, con una sobrevivencia de 79.1 y 87.0%. Martínez-Córdova (1994) en Sonora encontró en engordas experimentales niveles de clorofila *a* entre 0.8 y 8.0 mg/m<sup>3</sup>, con sobrevivencias entre 65 y 88%, con un peso promedio entre 12.97 y 16.0 g.

Goxe *et al* (1988), trabajaron con *Litopenaeus stylirostris* en Nueva Caledonia y encontraron sobrevivencias bajas (salinidades  $< 20^0/_{00}$ ) con post-larvas mantenidas entre 17 y 22°C. En otros estudios como el de Hernández-Llamas *et al* (1993), en el estado de Sonora,

México, quienes trabajaron con postlarvas mantenidas a 20<sup>0</sup>C y salinidades mayores a 30<sup>0</sup>/<sub>00</sub>, las sobrevivencias finales fueron mayores con respecto a los autores anteriores. Esto indica que las condiciones ambientales del noroeste de México favorecen el cultivo de esta especie.

Debido a la importancia de estudiar las condiciones de la calidad de agua en estanques de cultivo, se decidió llevar a cabo una investigación acerca de los principales constituyentes del agua (nutrientes, materia orgánica y materiales), que son alterados durante el proceso de engorda de camarón. Esto es la base para generar una productividad primaria y secundaria en los estanques de cultivo y en todo el proceso integrado de producción de camarón. Con respecto a las formas del nitrógeno medidas se tomó la decisión de medir solo el NO<sub>3</sub>, por ser el elemento en el cual se basan los programas de fertilización. Dada la importancia del tema se llevó a cabo este estudio donde se plantean los siguientes objetivos e hipótesis: