

PRÁCTICAS DE MANEJO PARA REDUCIR EL IMPACTO AMBIENTAL DEL CULTIVO DE CAMARÓN

Claude E. Boyd
Department of Fisheries and Allied Aquacultures
Auburn University, Alabama 36849 USA

En años recientes se discute mucho sobre los posibles impactos ambientales negativos del cultivo de camarón. Las principales preocupaciones son:

- ✓ Destrucción de los manglares
- ✓ Polución de los cuerpos de agua con nutrientes, materia orgánica y sedimentos
- ✓ Salinización del agua dulce
- ✓ Uso de drogas tóxicas o bioacumulativas, antibióticos y otros químicos
- ✓ Sobreexplotación de postlarva silvestre para la siembra en estanques
- ✓ Uso ineficiente de la harina de pescado
- ✓ Introducción de especies exóticas
- ✓ Diseminación de enfermedades
- ✓ Pérdida de biodiversidad en los ecosistemas vecinos

Pueden encontrarse efectivamente ejemplos de estos efectos adversos, pero no en todas las granjas. El impacto negativo usualmente resulta de la mala planeación y del manejo pobre. Dos de los impactos: destrucción del manglar y salinización del agua dulce pueden ser evitados con una adecuada selección del sitio y un buen diseño de la granja. La introducción de especies exóticas y la sobreexplotación de postlarva silvestre se pueden prevenir con el cultivo de especies nativas y la adquisición de larva de laboratorio. La atención a estos cuatro tópicos protege también la biodiversidad en los ecosistemas vecinos, y las demás preocupaciones pueden ser enfrentadas mediante mejores prácticas de manejo, a cuya descripción se dedica este capítulo.

BUENAS PRÁCTICAS PARA EL MANEJO DE CAMARONERAS

Esta presentación empieza con la preparación de estanques para un nuevo ciclo y continúa hasta las prácticas de cosecha. Se limita al cultivo bajo el sistema semiintensivo, sin aireación mecánica, como se practica comúnmente en Centroamérica.

Preparación de los estanques

Al drenar los estanques para la cosecha, los nutrientes y el plancton son suspendidos y se descargan, y la capa floculante de material altamente orgánico y muchos de los organismos bentónicos que viven cerca de la interfase agua-suelo son expulsados. Secar los estanques después de la cosecha es una práctica común, pero a veces los fondos se dejan secar en exceso y cuando son vueltos a llenar y sembrados, es muy escaso el plancton y el bentos que sirven de alimento natural. Los estanques deben ser preparados antes de la siembra con técnicas que mejoren la abundancia de alimento natural para las postlarvas. En esta presentación, preparar los estanques cubre las actividades realizadas desde cuando el estanque es drenado para la cosecha hasta la siembra para el nuevo ciclo.

Materia orgánica del suelo

Los acuacultores se preocupan por la excesiva acumulación de materia orgánica en el fondo del estanque. Aunque este problema es tal vez menos severo de lo que se piensa, monitorear la concentración de materia orgánica del fondo puede ser útil para decisiones de manejo. El mejor momento para obtener las muestras es luego de drenar el estanque, y antes de tratar el fondo. Es aconsejable tomar de 10 a 12 muestras al azar de la primera capa superficial de 5 cm y combinar volúmenes iguales de muestras para obtener una muestra representativa de todo el estanque. La muestra deberá ser totalmente mezclada, secada en un horno a 60 °C¹, y pulverizada para pasarla por un tamiz número 20.

El mejor procedimiento para determinar el carbono orgánico es su oxidación con Dicromato de Potasio y Ácido Sulfúrico (Método Walkley-Black) como lo describen Boyd y Tucker (1992). El procedimiento standard requiere un modesto equipo de laboratorio, pero la Compañía Química Hach, de Loveland, Colorado vende un kit portátil para carbón orgánico del suelo (Modelo CEL/700) que se basa en el método Walkley-Black y provee resultados comparables a los del procedimiento estándar Walkley-Black (Queiroz y Boyd 1998a).

La concentración de carbono orgánico en el fondo raras veces excede el 1 o 2%, y es probable que valores sobre 3 o 4% sean aceptables. Un poco de materia orgánica en el fondo favorece la productividad béntica, los fondos con menos del 0.5% de carbono orgánico pueden no tener buena productividad béntica. El valor de carbono orgánico puede multiplicarse por 2 para estimar la concentración de materia orgánica. A continuación se discute cómo acelerar la descomposición de materia orgánica.

Secado

Secar los estanques entre cultivos es una práctica común. Acelera la descomposición de la materia orgánica acumulada durante el ciclo anterior, provee oxigenación y mejora las condiciones para las bacterias aeróbicas. Permite también la oxidación de compuestos reducidos orgánicos e inorgánicos para mejorar la condición del suelo, mata los patógenos

¹ Si un horno no está disponible, las muestras pueden ser dispersadas en una capa delgada sobre un pliego de plástico o en un recipiente plástico de poca profundidad y dejadas secar rápidamente bajo el sol.

y hospederos que pudieran existir en el suelo. Un secado de 2 a 3 semanas es usualmente adecuado, periodos más largos eliminan la humedad del suelo y disminuyen la actividad microbiana. En la estación lluviosa el secado adecuado puede no ser factible, pero como regla, el fondo debería ser bien secado al menos una vez al año (Boyd 1995).

Encalado y desinfección

La cal agrícola debería aplicarse a los fondos de estanques ácidos ($\text{pH} < 7$); es cal pulverizada que consiste de carbonato de calcio (CaCO_3) o una mezcla de carbonato de calcio y carbonato de magnesio (MgCO_3). Las muestras para pH de suelo pueden ser recogidas y procesadas como fue descrito en la sección sobre "Materia Orgánica del Suelo". Para medir el pH, mezcle 10 ó 20 gr de muestra seca pulverizada con 10 ó 20 ml de agua destilada, agítela intermitentemente por 20 minutos y mida luego el pH con un electrodo de vidrio. Pequeños medidores manuales de lectura directa pueden ser insertados en el suelo del fondo del estanque, estos dispositivos sin embargo no son exactos y no deben ser usados por los granjeros. La tasa de aplicación de cal agrícola puede seguir la siguiente escala:

pH del suelo	Cal Agrícola (kg/ha)
arriba de 7.0	0
7.0-6.5	500
6.5-6.0	1000
6.0-5.5	2000
debajo de 5.5	3000

La cal agrícola debería ser regada dentro de los 3 o 4 días después de que los estanques han sido drenados, pero antes de que el fondo esté demasiado seco. La cal debe regarse en suelo húmedo de manera uniforme para que se disuelva y penetre en el suelo, de otra manera no habrá reacción y no se neutralizará la acidez.

En estanques donde las enfermedades han sido un problema serio, el fondo puede ser tratado con un agente capaz de matar los organismos causantes de las enfermedades para disminuir la posibilidad de que la enfermedad reaparezca en el ciclo siguiente. La manera más efectiva y económica de desinfectar un estanque es aplicar cal viva (óxido de calcio, CaO) o cal hidratada (hidróxido de calcio, Ca(OH)_2) para elevar el pH del suelo arriba de 10 y matar los patógenos (Snow y Jones 1959). Una dosis de 1000 kg/ha de cal viva o 1500 kg/ha de cal hidratada es usualmente suficiente para desinfectar el fondo de los estanques (Boyd 1995), elevar el pH y matar los patógenos y sus hospederos.

El cloro ha sido usado como desinfectante del fondo, pero debido a que la materia orgánica en el suelo de los estanques reduce rápidamente el cloro residual a cloruro no tóxico (White 1992), la desinfección puede requerir de unos 500 ppm de hipoclorito de calcio (Potts

y Boyd 1998) es decir cerca de 1000 kg/ha de hipoclorito de calcio ($\text{Ca}(\text{OCI})_2$), por consiguiente, la cloración es mucho más cara que el tratamiento con cal.

Gradeo

La oxigenación del suelo puede mejorar al pasar la grada sobre el fondo durante la época seca. Los suelos de textura pesada (arcillosos y arcilloso-terrosos) se benefician más del gradeo que los livianos (arenosos, arenosos-terrosos, y terrosos). Debería usarse una grada de discos a una profundidad de 10-15 centímetros. Un arado rotatorio (Rotary tiller) también puede gradear pero destruye la estructura del suelo. Los arados de rompimiento requieren mucha más energía que las gradas de disco, este tipo de arados son útiles cuando la concentración de materia orgánica es mucha, ya que da vuelta al suelo y coloca en la superficie suelo con menos concentración de materia orgánica. El gradeo debería realizarse mientras el fondo continúa húmedo, pero lo bastante seco como para soportar el tractor y evitar que sus huellas formen senderos.

Remoción de sedimentos

Usualmente no es necesario remover los sedimentos, pero si los canales interiores se llenan o particularmente si los estanques pierden volumen debido a la acumulación de sedimentos, su remoción puede ser necesaria. La eliminación y depósito de estos sedimentos requiere de métodos específicos para cada granja (Donovan 1997) de modo que se evite que los sedimentos sean lavados por la lluvia hacia los estanques y canales, o que impacten de modo adverso fuera de los estanques.

Desinfección del agua del estanque

Dada la frecuencia de las enfermedades virales en el cultivo de camarón, muchos productores tratan de prevenir la entrada de partículas virales o sus hospederos. Los métodos principales son la filtración del agua del estanque o su desinfección con químicos (cloro gaseoso, ácido hipocloroso, formalina, ozono, o insecticidas). Los insecticidas más comúnmente utilizados son Dipterex y Sevin.

Si la luz de malla es de 250-300 micras, un filtro no detendrá las partículas virales, pero sí a la mayoría de los organismos portadores. Pero probablemente no es práctico filtrar los volúmenes de agua necesarios para llenar grandes estanques semiintensivos, tampoco es efectivo el uso de químicos para desinfectar el agua de estanques grandes, porque los químicos son caros y pueden causar daño ecológico, de manera que la desinfección del agua del estanque con químicos no debería practicarse.

Fertilización

Una vez que el fondo ha sido secado y tratado, el estanque puede ser llenado. Usualmente es necesario aplicar nutrientes para promover el desarrollo de plancton y bentos, el alimento natural del camarón. Los dos nutrientes claves son Nitrógeno y Fósforo. La fuente común de fósforo es el ortofosfato, pero el nitrógeno puede ser suplido como úrea,

nitrógeno amonio, o nitrato. La úrea se hidroliza rápidamente en amonio y el amonio no es deseable en los estanques por tres razones:

- (1) puede ser tóxico para el camarón a relativamente bajas concentraciones;
- (2) es convertido a nitrato por organismos nitrificantes productores de iones de hidrógeno y bajan el pH en el proceso; y
- (3) el proceso de nitrificación requiere de una gran cantidad de oxígeno disuelto.

Esto significa que los compuestos con base en nitratos tienen ventajas como fertilizantes nitrogenados porque no son tóxicos, no producen acidez, y no demandan oxígeno. Además, el nitrato es una fuente de oxígeno para las bacterias y cuando es desnitrificado, eleva el pH. Sin embargo, los fertilizantes con base en nitratos son más caros.

Las mejores tasas de aplicación de fósforo y nitrógeno para un bloom de fitoplancton varían según la disponibilidad de estos nutrientes en el suelo y en el agua que ingresa. Una buena tasa de aplicación para propósitos generales es de 2 a 4 kg/ha de N y P_2O_5 (ortofosfato). Es mejor comprar fertilizantes mezclados que ya contienen nitrógeno y fósforo en las proporciones apropiadas y no comprar fertilizantes por separado para mezclarlos en la granja. La aplicación de fertilizantes debe realizarse a intervalos de 2-3 días hasta que se establezca un buen bloom de fitoplancton.

Los fertilizantes granulares deben premezclarse y diluirse con agua del estanque por unos minutos, y la mezcla regarse en el estanque. En dos semanas o menos, debería haber un buen bloom de algas y el bentos habrá empezado a crecer. Ése es el momento de sembrar postlarvas.

Algunos granjeros usan fertilizantes orgánicos de origen animal para mejorar el bloom de algas. En nuestra opinión, este tipo de fertilizantes nunca debería ser usado. El estiércol puede causar bajos niveles de oxígeno disuelto y deteriorar la condición del fondo, tiene concentraciones altas de metales pesados y puede tener antibióticos que pueden contaminar al camarón.

Agregar materia orgánica puede sin duda mejorar la disponibilidad del bentos en estanques con bajas concentraciones de materia orgánica en su suelo, y es efectivo para promover rápidos blooms de zooplancton (Geiger 1983). Si desea usar fertilizantes orgánicos, las harinas vegetales son mejores que el estiércol.

Por ejemplo, un buen programa es aplicar 500 kg/ha de semolina de arroz momentos antes de llenar, y después del llenado 5-10 kg/ha por día hasta el día de la siembra del camarón. También son adecuados la harina de soya, de granos molidos, y alimento barato para aves.

La siembra de las postlarvas

Al mantener el agua en el estanque por 2 semanas, las partículas virales en el agua habrán desaparecido y habrá un buen bloom de algas y fauna béntica. Las postlarvas a ser usadas para la siembra deben estar libres de enfermedades y se requerirá de un examen cuidadoso que incluya el análisis de PCR para la detección de enfermedades virales como la mancha blanca.

El impacto ambiental del cultivo de camarón puede ser disminuido si los granjeros usan postlarvas de laboratorio en vez de silvestres. Es también más fácil obtener evidencia de la condición sanitaria de las postlarvas cuando provienen de laboratorio.

Las postlarvas deben venir de padrotes nativos, y si son importadas debe respetarse todas las normas gubernamentales sobre importación.

Mantenimiento de la productividad durante el ciclo de crianza

La mayoría de estanques reciben alimento manufacturado desde la siembra hasta la cosecha. La cantidad administrada depende de la biomasa y las tasas de alimentación se incrementan conforme avanza el ciclo, aunque en la producción semiintensiva la tasa rara vez excede 20 kg/ha antes de llegar a la fase final del ciclo.

Usar fertilizantes puede ayudar a mantener la productividad natural, lo cual a su vez ayuda a mantener la calidad de agua (especialmente mediante el aporte de oxígeno disuelto de la fotosíntesis y la remoción de amonio) y a mejorar la utilización del alimento y la producción de camarón.

En estanques intensivos, a menudo no es necesario fertilizar después de las primeras 6-8 semanas. De hecho, la fertilización con tasas de alimentación sobre los 20 a 30 kg/ha por día puede causar blooms excesivos de fitoplancton.

Fertilización

El objetivo de manejar la calidad del agua es mantener un moderado pero estable bloom del fitoplancton (Boyd y Tucker 1998). La mejor forma de lograr esto es mediante un agresivo programa de fertilización donde se apliquen 1-2 kg N y 0.5 a 1 kg de P_2O_5 /ha por semana. Algunos granjeros prefieren una alta proporción de diatomeas en el fitoplancton de los estanques. Existe evidencia que una tasa alta N:P promueve la producción de diatomeas, y es práctica común el usar solo nitrógeno o un fertilizante con una amplia tasa N:P de 15 ó 20 para promover el crecimiento de diatomeas. Nosotros no estamos convencidos que una tasa alta N:P es beneficiosa, por lo que no recomendamos esta práctica, pero los granjeros pueden utilizarla si así lo prefieren.

Se dice que el nitrato es más efectivo para la producción de diatomeas que otras fuentes de nitrógeno. Más aún, hay reportes de que las aplicaciones de silicato o silicato con hierro

quelado pueden estimular las diatomeas. A pesar de esto, no conocemos las concentraciones limitantes de silicato y hierro para las diatomeas en el agua de los estanques, es por eso difícil recomendar cuales estanques necesitan este tratamiento, ya que la información sobre las tasas efectivas de aplicación de silicato y hierro no están disponibles. Sin embargo, los granjeros pueden querer realizar estas aplicaciones para ver si incrementan las cantidades de diatomeas.

Los fertilizantes de los estanques deberían ser aplicados de acuerdo a las lecturas de visibilidad del disco secchi para conservar nutrientes, reducir costos, y prevenir exceso de fitoplancton. En nuestra opinión, el mejor rango de visibilidad es de 25 a 40 cm. Si alguien aplica fertilizante semanalmente a razón de 10 kg/ha, la siguiente tabla ilustra una manera de ajustar la aplicación de fertilizantes tomando en cuenta la lectura de visibilidad del disco secchi:

<i>Disco Secchi (cm)</i>	<i>Fertilizante (kg/ha)</i>
20	0
25	2.5
30	5.0
35	7.5
40	10.0

Encalado

A menos que la alcalinidad total del agua baje a menos de 75 mg/L la cal agrícola no debería ser aplicada al agua de los estanques durante el ciclo de producción. La cal viva o hidratada no se debe aplicar al agua durante el cultivo pues eleva el pH y daña al camarón. En áreas donde el agua de los estanques tiene baja alcalinidad, se debe monitorear la alcalinidad total mensualmente.

Existen kits para analizar el agua y medir su alcalinidad total. Si los valores bajan a menos de 60 mg/L, se debe aplicar cal agrícola sobre la superficie del estanque a razón de 500 kg/ha.

Recambio de agua

El recambio de agua es usado en estanques de camarón a tasas de 10% a 15% del volumen del estanque por día. Es difícil justificar el uso del recambio de agua de rutina pues si el agua del estanque es buena, la renovación diaria de un poco de ésta no es beneficiosa. Además, el recambio disminuye los nutrientes y el plancton reduciendo la productividad natural del estanque.

Es contraproducente aplicar fertilizantes a los estanques para promover la productividad del fitoplancton, pues luego se perderán con el recambio de agua. No hay razón científica

para esperar muchos beneficios de la rutina de recambio de agua en estanques semiintensivos. La principal excepción es en estanques donde la salinidad se eleva a inaceptables concentraciones durante la estación seca.

Recambios de agua de 10 a 15% por día dan salinidades aceptables durante la estación seca aún cuando el agua de mar sea la única fuente de agua. Cuando hay crisis de oxígeno disuelto o altas concentraciones de amonio, el recambio de agua es con frecuencia la única alternativa.

Es importante notar que el recambio de agua es rara vez usado en otras clases de acuicultura de estanques. Por ejemplo, en el cultivo de bagre de canal en los Estados Unidos, los granjeros alguna vez usaron el recambio de agua como los camaroneros, pero la experiencia práctica y la investigación demostraron que no era necesario.

Actualmente los granjeros de bagre de canal no recambian agua y cosechan con redes para conservar el agua en los estanques. El único momento en que descargan el agua es después de fuertes lluvias o cuando los estanques deben ser drenados para sacar peces grandes que no han sido capturados por varios años o cuando se reparan los diques por oleadas (Boyd et al.2000).

Se perciben grandes beneficios en costos al reducir el uso de agua en estanques de camarón pues disminuye la necesidad de bombeo y la cantidad de energía usada para bombear, y reduce la cantidad de fertilizantes necesaria para mantener la productividad natural. Un tiempo más largo de retención de agua en los estanques permite una mayor asimilación de los nutrientes y la materia orgánica dentro del estanque, lo que resulta en una mejoría de la calidad de los efluentes.

Reducir la velocidad del agua baja la erosión y la concentración de sólidos suspendidos en el efluente. El uso conservador del agua en los estanques reduce los costos de producción y el volumen de los efluentes, mejora su calidad y protege las aguas costeras de la polución.

Midiendo la productividad

Disco Secchi

Este dispositivo, un disco blanco y negro de 20 cm de diámetro, se introduce en el agua para estimar su visibilidad. Puede ser extremadamente valioso en el monitoreo del plancton si se tienen en cuenta las limitaciones de esta técnica. La turbidez en el agua reduce su visibilidad, y a medida que la turbidez aumenta, las lecturas del disco secchi disminuyen.

La turbidez en el agua es producida por plancton vivo, partículas materiales muertas, sustancias orgánicas disueltas y partículas suspendidas. En los casos en que el cambio en la turbidez van de la mano con la cantidad de plancton vivo (estanques de camarón), el disco puede revelar si el crecimiento de plancton está aumentando o no.

Detalles extras sobre el disco Secchi y su uso pueden encontrarse en la sección "Visibilidad del disco Secchi", página 9.

En la mayoría de estanques camaroneros, la visibilidad del disco Secchi debe estar entre 25 y 40 cm. Cuando el valor es mayor a 40 cm., el bloom de plancton deber ser alentado agregando fertilizantes. Con lecturas menores a 25 cm., no se debe añadir fertilizantes pues se corre el riesgo de producir un bloom excesivo de algas bajando así las concentraciones de oxígeno disuelto.

Abundancia de fitoplancton

Con frecuencia se realizan conteos directos a nivel de género y abundancia de fitoplancton en los estanques camaroneros. Las algas verdes y las diatomeas son más apropiadas para estos estanques que las verde-azules y los dinoflagelados. Así, el examen microscópico del agua es una herramienta para determinar si una comunidad fitoplanctónica deseable está presente. El conteo del fitoplancton es de menor valor por la variación en tamaño de individuos de diferentes taxones; unas pocas algas grandes pueden representar más biomasa que varias algas pequeñas. Por consiguiente, es difícil evaluar datos sobre la abundancia de células fitoplanctónicas, filamentos, o colonias, y la adquisición de tales datos consume bastante tiempo. Esta práctica no es recomendada.

Clorofila α

La cantidad de clorofila α en el agua puede ser medida removiendo material particulado filtrándolo por una membrana, extrayendo el pigmento del fitoplancton del filtro con acetona o metanol, y estimando la clorofila α por espectrofotometría. La concentración de clorofila α aumenta en la medida en que la abundancia de fitoplancton crece. Los estanques acuícolas usualmente tienen de 10 a 100 mg/L de clorofila α , aunque algunos estanques pueden tener menos o mucho más.

En estanques semiintensivos, las concentraciones de clorofila α de 30 a 60 mg/L son las más adecuadas. No se recomienda seguir este procedimiento a menos que la granja tenga un buen laboratorio de calidad de agua y un técnico con experiencia.

Productividad en frascos claros y oscuros

En este procedimiento, se llenan con agua del estanque tres botellas para la medición de DBO. En la primera botella, de inicial (BI), el oxígeno es medido inmediatamente. La segunda botella es forrada con cinta adhesiva negra o pintada de negro para que no penetre la luz y es llamada la botella oscura (BO). La tercera es la botella clara (BC) porque es transparente a la luz solar. Las botellas clara y oscura son incubadas en el estanque por un periodo específico durante el día para luego ser recogidas y así medir su concentración de oxígeno. Detalles en relación a la medición de productividad por este método pueden encontrarse en Boyd y Tucker (1992).

Hay un amplio rango de productividad primaria en estanques acuícolas, pero los valores para la productividad bruta deberían estar entre 5 y 15 mg/L por día. Es muy importante que la productividad neta en 24 horas sea de 2 a 4 mg/L ya que se producirá más oxígeno disuelto por día que el usado por el plancton, o el estanque sufrirá escasez de oxígeno disuelto durante la noche.

Probablemente las mediciones de productividad primaria son las estimaciones más confiables de la actividad de las comunidades planctónicas en los estanques. Sin embargo, la destreza para realizar estos análisis no está siempre disponible.

Bentos

Las mediciones de la productividad béntica son extremadamente tediosas, y rara vez son prácticas de realizar en las camaroneras.

Manejo del alimento

El alimento es uno de los insumos de manejo más caro, y los nutrientes del mismo no asimilados por el camarón deterioran la calidad del agua en los estanques. Los ingredientes de los alimentos también son recursos importantes y no deben desperdiciarse. Así, el manejo de alimento es un aspecto crítico en una camaronicultura ambientalmente responsable (ver capítulo 4).

Calidad del alimento

La calidad del alimento es muy importante, los de alta calidad son mejor asimilados por el camarón y producen menos desecho en los estanques. Los ingredientes del alimento deben ser de alta calidad y no estar contaminados con pesticidas u otros químicos agrícolas. El alimento debería contener un buen aglutinante que asegure que el camarón pueda comerlo antes que se desintegre en el fondo del estanque. Debe evitarse alimentos que contengan gran cantidad de partículas pequeñas y polvo (llamados "finos") pues los camarones no pueden comerlas.

Los alimentos no deben contener más nitrógeno ($\text{nitrógeno} \times 6.25 = \text{proteína cruda}$) y fósforo de lo necesario para los requerimientos dietéticos del camarón. El exceso de nitrógeno y fósforo en los alimentos incrementará las entradas de nitrógeno y fósforo al agua y producirá blooms excesivos de fitoplancton.

Los alimentos deben contener de 20 a 30% de proteína cruda para sistemas semi-intensivos de cultivo de camarón. Algunas pruebas con bajo contenido proteínico fueron desarrolladas por la Universidad Auburn en camaroneras en Honduras como parte de USAID, Dinámica de Estanques/Acuicultura Programa de Apoyo para Investigación y Colaboración (PD/A CRSP). Los resultados (no publicados) concluyeron que los alimentos bajos y altos en proteína son igual de eficientes en cultivos semi-intensivos de camarón. Basados en esto, los camaroneros querrán probar alimentos que contengan 20% de proteína o menos, y al

usarlos, el contenido de harina de pescado en el alimento de camarón puede reducirse. Sin embargo, no se debe reducir mucho el nitrógeno (proteína) y fósforo, pues se necesitará más alimento por Kg de camarón producido. Esto conllevará a aumentar la entrada de materia orgánica y a perjudicar la calidad del agua (Ver capítulo 1).

El alimento introducido a la granja debe ser almacenado en un lugar seco y bien ventilado para evitar el enmohecimiento y debe ser usado antes de la fecha de caducidad para proteger su calidad. Los camarones son capaces de utilizar mejor el alimento fresco que ha sido almacenado apropiadamente que el viejo y deteriorado, así hay menos desperdicio y contaminación.

Prácticas de alimentación

El camarón debe ser alimentado de tal forma que tenga oportunidad de consumir tanta comida como sea posible. Esta es una consideración económica importante, que reduce la entrada de nutrientes a los estanques. Las raciones de alimento deben basarse en tablas de alimentación que tomen en cuenta la biomasa de camarón.

La estimación de biomasa del camarón debe realizarse con muestras frecuentes con atarrayas para determinar la tasa de crecimiento. También se usan bandejas de alimentación para saber cuánto del alimento come. Algunos granjeros colocan toda la ración en bandejas, pero esta práctica es poco practicada en estanques semi-intensivos grandes.

El alimento debe distribuirse en los estanques de manera uniforme para evitar su acumulación en lugares específicos del fondo, lo que podría resultar en el deterioro de la calidad del suelo. De ser posible, la ración diaria debe administrarse en varias subraciones con el fin de incrementar la porción de alimento consumido por el camarón.

La calidad del agua se deteriora si las tasas de alimentación son mayores a 30 y 40 kg/ha por día en estanques sin aireación y sin altas tasas de recambio de agua. Así, los estanques deberían ser surtidos a tasas que no requieran altas raciones de alimentación diaria.

La mala calidad del agua, en especial las bajas concentraciones de oxígeno disuelto, estresan al camarón hasta inhibir su apetito; lo hacen más susceptible a enfermedades, menos eficiente al convertir el alimento en tejido vivo, y sufren más mortalidad. Los granjeros deben mantener una buena calidad de agua, moderando las tasas de siembra, alimentación, y fertilización.

Cuando el camarón está estresado o enfermo, no consumirá bien el alimento. Bajo estrés las tasas de alimentación deberían reducirse para minimizar el desperdicio. Si el camarón come bien y la concentración de oxígeno disuelto está en los rangos normales, el clima nublado no es una buena razón para reducir la alimentación.

La tasa de conversión de alimento (FCR) es una de las variables más importantes en el cultivo de camarón. Los granjeros deberían llevar récords cuidadosos de la cantidad de ali-

mento aplicado a cada estanque para poder calcular el FCR. El objetivo sería reducir el FCR tan bajo como sea práctico. En cultivos semiintensivos, debería obtenerse FCR de 1.5 a 1.8. Los granjeros deben tratar que el FCR no se eleve a más de 2.0.

Manejo de la calidad del agua

La forma más importante de prevenir el deterioro de la calidad del agua en los estanques durante el crecimiento es manejando bien el alimento. Si ocurren concentraciones de oxígeno disuelto bajas durante el ciclo en estanques de camarón semiintensivo, la alternativa de los granjeros es usualmente incrementar el recambio de agua, lo que incrementará la cantidad de contaminantes descargados de los estanques. La alternativa al recambio de agua es la aireación mecánica. Desafortunadamente, la mayoría de las granjas semiintensivas no cuentan con servicio eléctrico para operar aireadores eléctricos.

En Estados Unidos se usan aireadores de emergencia movidos por tractores para prevenir la mortalidad de peces y camarones cuando las concentraciones de oxígeno están bajas. Estos dispositivos son mucho más efectivos que el recambio de agua, y pueden ser movilizados de un estanque a otro si es necesario.

No es factible proveer los detalles técnicos para la fabricación de este tipo de aireadores en este trabajo. Sin embargo, estos pueden ser comprados en los Estados Unidos, y también pueden ser fabricados localmente. A continuación se muestra la foto de un aireador mecánico movido por un tractor (Fig.1).



Figura 1. Un aireador mecánico movido por tractor.

Muchas veces, la materia orgánica del alimento no digerido y el fitoplancton moribundo u otras plantas, se acumulan en las esquinas de los estanques, y se forma una nata flotante. Usualmente también hay acumulación de materia orgánica en el fondo de esta nata flotante. El deterioro de la calidad del agua y del suelo de las esquinas de los estanques se puede prevenir sacando periódicamente esta nata manualmente.

Uso de drogas, antibióticos y otros químicos

Algunos granjeros tratan los estanques con varios químicos cuando el camarón se enferma. Estos productos no son del todo efectivos y no recomendamos su uso a menos que sea realmente necesario, pues algunos de estos productos pueden ser tóxicos para la vida acuática animal que reside en las aguas naturales que reciben los efluentes de los estanques. Además, algunos de estos productos son bioacumulativos y sus residuos pueden encontrarse en camarones cosechados de estanques tratados con éstos.

Para el control de enfermedades algunos granjeros insisten en el uso de alimento medicado y otros químicos. Si esto se hace, debería haber un diagnóstico de la enfermedad, y un producto químico conocido y específico debería ser usado. El químico debería usarse de acuerdo a las instrucciones del fabricante, y el agua de los estanques tratados no debería ser descargada hasta que el químico se haya degradado naturalmente. Se deben tomar todas las medidas de precaución para asegurar la buena salud del trabajador que trate con químicos (equipo de protección respectivo).

Bajo ninguna circunstancia debe aplicarse a los estanques los químicos prohibidos por los países importadores de camarón. Cualquier químico usado en las granjas debe ser almacenado en un lugar seguro, y cualquier material sobrante debe ser utilizado de forma ambientalmente responsable. El fabricante debe ser consultado sobre las formas de almacenamiento apropiadas.

Probióticos y otros tratamientos

En Asia, un gran número de tratamientos químicos, físicos, y biológicos han sido usados con el propósito de mejorar la calidad de agua de los estanques. Estos productos son: formalina, cloro, cloruro de benzilcromio, yodo provodone, zeolita, peróxidos, inóculos de bacterias, preparaciones de enzimas, etc. La mayoría no son apropiados para usarse en estanques grandes semiintensivos, y además la formalina, el cloro, y otros químicos fuertes no han sido efectivos y pueden causar impactos ambientales negativos.

En los últimos años, se ha incrementado el uso de productos conocidos como probióticos (inóculos de bacterias, mezclas de enzimas y extractos de plantas) en estanques de camarón semiintensivo. A la fecha, existe poca evidencia de que estas sustancias puedan mejorar significativamente la calidad del agua o del suelo en los estanques o que mejoren su productividad natural (Boyd y Gross 1998). Empero, hay evidencia que los inóculos de bacteria y extractos de semilla de toronja pueden mejorar la sobrevivencia de la especie en cultivo (Queiroz y Boyd 1998b; Boyd y Gross 1998).

Se necesita de mucha investigación adicional para dilucidar los modos de acción de estos productos y determinar cómo y cuándo pueden usarse para beneficiar al máximo la producción de camarón. Afortunadamente no hay razón para pensar que el uso de probióticos pueda perjudicar al ambiente.

En resumen, no hay suficiente información del uso exitoso de bactericidas, agentes oxidantes, zeolita, probióticos y otros productos relacionados para poder recomendar su uso. Particularmente, no recomendamos el uso de tratamientos con químicos fuertes como el cloro, formalina e insecticidas que puedan causar impactos ambientales negativos.

Manejo de efluentes

Las aguas costeras se ven afectadas en forma negativa por nutrientes, materia orgánica, y sólidos suspendidos en los efluentes. Al reducir el recambio de agua, disminuye también la efluencia liberada del cultivo. Sin embargo, la tecnología para cosechar camarón sin drenar los estanques no está disponible por ahora, por lo tanto hay que drenar para cosechar. A continuación, posibles formas de reducir la concentración de poluentes potenciales en los efluentes de los estanques:

- implemente buenas prácticas de manejo durante el ciclo de cultivo;
- descargue lentamente el último 20-25% del agua del estanque para minimizar la; resuspensión de sólidos en el fondo
- haga pasar el efluente por un estanque de sedimentación;
- construya, mantenga y opere canales de drenaje para minimizar la erosión de los lados de estos conductos;
- prevenga la erosión en la caída final del agua de la granja (Boyd 1999).

Manejo de estanques para reducir el impacto de los efluentes

Los nutrientes en los efluentes acuícolas provienen de los fertilizantes y alimento usados para la producción de la especie en cultivo. Algunas veces se aplican fertilizantes orgánicos (estiércol animal u otros subproductos agrícolas) a los estanques; éstos contienen nitrógeno y fósforo que quedan en el agua a medida que los microbios los descomponen.

Los fertilizantes químicos (úrea, superfosfato triple, fosfato diamónico, mezclas, etc.), se disuelven en el agua y liberan nitrógeno y fósforo. El alimento también contiene estos elementos, los mismos que quedan en el agua cuando el alimento no consumido y las heces del camarón se descomponen, y se agrega más cuando el amonio es excretado por los camarones. El nitrógeno orgánico y fósforo están presentes en el agua como un componente del plancton vivo y de la materia orgánica soluble. El nitrógeno inorgánico es disuelto en agua primero como nitrógeno amonio y nitrato.

El fósforo inorgánico en el agua puede estar contenido en las partículas de suelo suspendidas o en fosfato soluble. El fitoplancton y otras plantas usan para crecer nitrógeno amonio,

nitrato y fósforo soluble inorgánico. El nitrógeno y fósforo contenido en las partículas de materia orgánica muerta o materia orgánica soluble puede transformarse a nitrógeno amonio, nitrato, o fosfato por descomposición microbiana. Dado que los microbios pueden transformar el nitrógeno orgánico y fósforo a forma inorgánica soluble, el potencial de eutroficación se incrementa a medida que lo hacen la concentración de nitrógeno y fósforo. En los estanques con grandes blooms de fitoplancton, la mayoría del nitrógeno y fósforo puede estar contenido en el plancton y detritus en vez de en forma soluble.

Los efluentes con bajas concentraciones de nitrógeno amonio, nitrato y fosfato, pero con alta abundancia de plancton, pueden tener un alto potencial de polución igual al de un efluente con altas concentraciones de amonio, nitrato y fosfato. Esto resulta debido a que la materia orgánica (plancton, detritus y materia orgánica soluble) que fluye a las aguas naturales vía efluentes, descompondrá y liberará amonio, nitrógeno, nitrato y fosfato. Muchos granjeros pueden pensar que al no usar en sus estanques fertilizantes orgánicos, los efluentes no contendrán mucho nitrógeno y fósforo; ellos usan fertilizantes químicos solo cerca del inicio del periodo de cultivo, y la tasa de conversión de alimentos que obtienen es buena.

Los granjeros pueden no entender la relación entre la tasa de conversión de alimentos (FCR) y sus desperdicios. El FCR es el peso del alimento aplicado dividido por el peso neto del camarón cosechado. Algunos pueden pensar que un FCR de 1.5 significa que 1.5 kg de alimento resultaron en la producción de 1 kg de camarón y generaron 0.5 Kg de desperdicios. Esto sería una subestimación del desperdicio de alimento generado.

Vamos a analizar cuidadosamente la relación entre las entradas de alimento, la producción de camarón, y la generación de desperdicios. El alimento usado para el camarón usualmente es un pelet seco. Este alimento contiene cerca del 90% de materia seca y 10% de agua, mientras el camarón contiene 25% y 75% respectivamente. Así, en la producción de 1 kg de camarón con 1.5 kg de alimento (tasa de conversión de alimento de 1.5), 1.35 kg de materia seca en el alimento produce 0.25 kg de materia seca de camarón. Desde un punto de vista ecológico, 1.35 kg (1.5 kg de alimento x 0.9) de sustancia seca produce 0.25 kg (1 kg de camarón x 0.25) de materia seca de camarón. Así, la tasa de conversión de materia seca es de 5.4 (1.35 kg de alimento seco entre 0.25 kg de camarón seco). La proporción de 1:0.5 para estimar la conversión de alimento es aparente, pero la real, basada en materia seca es 1: 4.4.

Suponga que el alimento de camarón contiene 35% de proteína cruda y 1.2% de fósforo. La proteína cruda es un % de nitrógeno multiplicado por 6.25, así el alimento tiene 5.6% de N, y 1.5 kg tiene 84 g de nitrógeno (1500 g de alimento x 0.056) y 18 g de fósforo (1500 g de alimento x 0.012). El kg de camarón producido por el alimento contendrá 0.25 kg de materia seca, y la materia seca del camarón contiene cerca de 11% de nitrógeno y 1.25% de fósforo. Así, 27.5 g de nitrógeno (250 g de camarón seco x 0.11) y 3 g de fósforo (250 g de camarón seco x 0.0125) están contenidos en el kg de camarón.

Las diferencias entre las cantidades de nitrógeno y fósforo en el alimento y en el camarón cosechado representan las cantidades de nitrógeno y fósforo que entran al agua del estanque. En este ejemplo cada kilogramo de camarón vivo resultaría en 56.5 g de nitrógeno y 15 g de fósforo de desperdicio. Por tonelada, sería 56.5 kg de nitrógeno y 15 kg de fósforo.

En un estanque sin recambio de agua, mucho del nitrógeno y fósforo será eliminado del agua. El nitrógeno se perderá en el aire gracias a la volatilización del amonio y la desnitrificación microbiana. Algo del mismo quedará en la materia orgánica del fondo del estanque, y el fósforo será absorbido por el sedimento. Estudios recientes sugieren que cerca del 50% del nitrógeno y 65% del fósforo agregado en el alimento podrían ser extraídos del agua de un estanque sin recambio de agua a través de procesos físicos, químicos, y biológicos. Considerando que entre el 25 y 35% del nitrógeno y el 15 y 25% del fósforo agregado en el alimento es recuperado en la cosecha del camarón, sólo del 15 al 25% del N y del 10 al 20% del P aplicado en el alimento se perdería al momento de drenar el estanque. Claro que con el recambio de agua habría una mayor pérdida de nitrógeno y fósforo en los efluentes, pues más nitrógeno y fósforo se liberaría de los estanques antes de ser extraídos del agua por procesos de purificación natural del estanque. Aún con cero recambio de agua, la pérdida de nitrógeno y fósforo al momento del drenaje puede ser de 12.6 a 21 kg y de 1.8 a 3.6 kg respectivamente, para la producción de una tonelada de camarón con una tasa de conversión de alimento de 1.5 (ver el ejemplo arriba). Así, para diferentes niveles de producción, las salidas de nitrógeno y fósforo pudieran ser:

Producción (kg.)	N (kg/ha)	P (kg/ha)
500	6.3-10.5	0.9-1.8
1000	12.6-21	1.8-3.6
2000	25.0-42	3.6-7.2
3000	37.8-63	5.4-10.8
4000	50.4-84	7.2-14.4

Estas son cantidades bastante grandes de nitrógeno y fósforo, y los efluentes de la acuicultura pueden ser una amenaza y causar la eutroficación de los cuerpos de agua naturales en los cuales son descargados. La eutroficación es un aumento de la productividad natural causada por un incremento en los niveles de nutrientes, y en algunos casos genera blooms de algas y baja el nivel de oxígeno disuelto. Varias medidas pueden tomarse para evitar o disminuir la eutroficación:

- Reducir el recambio de agua. Al retener el agua en los estanques por mayor tiempo hay mayor oportunidad para que el nitrógeno y fósforo se eliminen por procesos naturales.
- Use alimento de alta calidad. Este generará menor cantidad de desechos metabólicos y excrementos. Un alimento estable en agua puede ser consumido totalmente por el camarón.

- Use alimentos con las concentraciones más bajas de nitrógeno y fósforo compatibles con alimentos de buena calidad. Así minimizará las cantidades de estos elementos en los desechos.
- Alimente moderadamente. La sobre alimentación incrementa la cantidad de desperdicios. Es importante que los camarones coman todo el alimento que les es administrado por razones económicas y ambientales.
- Cuando drene los estanques, trate de minimizar la velocidad del efluente para evitar que el sedimento se resuspenda del fondo de los estanques. Esto reducirá la cantidad de nitrógeno orgánico y fósforo en los efluentes reteniendo partículas orgánicas en el estanque.
- Mantenga buenas concentraciones de oxígeno disuelto en los estanques, sin altas tasas de alimentación ni altas densidades para que el estanque pueda asimilar la mayoría de los desechos. La capacidad asimilativa de los estanques difieren, los aireados asimilan mucho más desperdicios que los no aireados. La buena concentración de oxígeno disuelto favorece la oxidación de amonio a nitrato, el cual luego puede ser denitrificado en el sedimento.
- Seque el fondo de los estanques y encale los suelos de fondos ácidos entre cosechas para mejorar la descomposición de materia orgánica; así se reducirá la acumulación de la misma en los fondos. Menor materia orgánica al principio del cultivo reducirá la probabilidad de tener un suelo de baja calidad al final del cultivo.

Canales o estanques de sedimentación

A pesar de que las tasas de recambio tienden a ser más bajas que antes, la mayoría de las granjas aún recambian agua. De hecho, el mayor volumen de efluentes usualmente resulta del recambio de agua. Cuando se dreña un estanque de 1 hectárea y 1 m de profundidad por cosecha, se liberan 10,000m³ de efluente por hectárea. Para fines de comparación, se provee la relación efluentes-tasas promedio de recambio, para un ciclo de cultivo de 120 días:

Promedio de recambio de agua diario (% del volumen del estanque)	Volumen del recambio del efluente (m³/ha por cultivo)
2	24000
5	60000
10	120000
15	180000

A una tasa baja de recambio del 2%, el volumen de agua liberada es aún 2.4 veces el volumen del efluente drenado, y la diferencia es 18 veces a un 15% de recambio diario.

Se discute mucho acerca de no recambiar agua para minimizar la descarga de nutrientes y materia orgánica en los cuerpos de agua naturales, pero se piensa poco sobre la descarga durante la cosecha. Suponga que en una granja semiintensiva se baja el recambio de agua a un 2% diario para minimizar posibles efectos ambientales; las concentraciones promedio de la demanda bioquímica de oxígeno a 5 días (BOD₅) y sólidos suspendidos totales (SST) - (dos variables importantes en los esfuerzos por controlar la polución) - son cerca de 5mg/L y 100 mg/L respectivamente, de forma que, unos 120 kg BOD₅/ ha y 2400 kg SST/ha serían descargados por recambio de agua durante el cultivo.

Cerca de la cosecha, las concentraciones de BOD₅ y SST habrán subido a 10 mg/L y 150 mg/L respectivamente. Al drenar, la composición del efluente será casi idéntica al agua del estanque mientras se drena el 80% del estanque. Durante el 20% final las concentraciones de BOD₅ y SST, y otras sustancias se incrementarán debido a la suspensión de los sedimentos causada por el hacinamiento de los asustados camarones, por el flujo rápido de agua superficial, y por la actividad de la cosecha. En el último 20% del volumen del efluente las concentraciones promedio de BOD₅ y SST con frecuencia son cercanas a 50 mg/L y 1000 mg/L respectivamente. Dado que la carga de BOD₅ es alrededor de 180 kg/ha y la de SST es de 3200 kg/ha en el efluente liberado, el efluente contribuye más a la polución potencial que un recambio de 2% diario. La siguiente tabla permite una mejor evaluación de la situación arriba descrita.

Tipo de Efluente	Concentración (mg/L)		Carga (kg/ha)	
	BOD ₅	SST	BOD ₅	SST
Recambio de Agua	5	100	120	2400
Drenaje (primer 80%)	10	150	80	1200
Drenaje Final(último 20%)	50	1000	100	2000
Total	---	---	300	5600

El último 20% del efluente drenado contribuye con cerca del 33% de la BOD₅ y 35% de SST liberados durante el ciclo entero. El efluente final es también muchas veces más concentrado que el del recambio de agua y que el del drenado inicial (primer 80%).

Los estanques de sedimentación son efectivos para retener sólidos gruesos como los que se suspenden en el agua durante la fase final del drenado, así como el BOD₅ asociado con esos sólidos gruesos. Algunos estudios han mostrado que de 60 a 80% de SST y de 15 a 30% de BOD₅ pueden ser extraídos de un estanque de asentamiento con solo 6 a 8 horas de retención del agua. Estos estanques son un método excelente para tratar los efluentes liberados durante la cosecha, y especialmente los efluentes finales altamente concentrados.

Las estanques de asentamiento son estanques que retienen el agua por el tiempo necesario para que se asienten los sólidos suspendidos gruesos. Pueden ser de 1-2 metros de profundidad y el agua debería entrar por la superficie en un lado y salir por la superficie del otro. El tamaño depende de la tasa del flujo de entrada y del tiempo de retención necesario para extraer los sólidos gruesos.

Los granjeros pueden pensar que los sedimentadores requieren mucho espacio. Sin embargo esto no es necesariamente así. Considere una granja de 500 hectáreas con estanques de 1m. de profundidad, con un recambio promedio del 2% diario. El volumen de recambio diario sería de 100,000 m³, y en un día en que se drenen 20 ha totalmente, el efluente incrementaría a 300,000 m³ por día. Para una retención de 8 horas se necesitaría un sedimentador de 100,000 m³. Esto requeriría de un sedimentador de 10 ha y 1 m de profundidad o un sedimentador de 6.67 ha y 1.5 m de profundidad. Estas áreas serían solo 2% y 1.34% de la granja. La conclusión es que el uso generalizado de sedimentadores para tratar los efluentes de las granjas es plenamente factible.

Además de asentar los sólidos gruesos del efluente final, los estanques de asentamiento también podrían precipitar los sólidos de efluentes liberados durante el recambio de agua y en la fase inicial de drenado. Esto es importante porque una revisión de la literatura de los efluentes de las granjas (Boyd y Gautier 2000) revela que los sólidos suspendidos totales están consistentemente arriba de 100 mg/L. La mayoría de las normas permiten 50 mg/L de sólidos suspendidos totales, de manera que sin estanques de asentamiento, es de esperar que los efluentes excedan la ampliamente usada norma de 50 mg/L ya mencionada.

Los estanques de asentamiento se llenan conforme acumulan sedimento y su eficiencia en la retención de sedimentos decrece, conviene pues construir estanques 1.5 o 2 veces más grandes de lo necesario. Aún con esta reserva, los estanques perderán capacidad en la medida en que los sedimentos se acumulen, y deben ser limpiados para un desempeño adecuado. Se deben construir estanques gemelos de manera que uno pueda continuar en uso mientras el otro está siendo limpiado. Considerando los cálculos anteriores, aún si se construyen en duplicado y con capacidad de reserva, no requerirían más de un 4 a 6% del área de una granja grande. Por supuesto que en una granja pequeña, la proporción va a ser mucho mayor, a menudo de 10 a 20% del área de la granja. No obstante, los estanques sedimentadores parecen ser el único medio práctico para tratar los efluentes de granjas grandes y pequeñas.

NORMAS DE CALIDAD DE AGUA

No es fácil formular normas de calidad del agua para los efluentes de una actividad no regulada previamente como es el caso del cultivo de camarón. Las normas deben ser lo bastante estrictas como para proteger el ambiente, o quienes representan los intereses ambientales las objetaran. Por otro lado, no deben ser tan estrictas como para que los granjeros no las cumplan.

Un enfoque razonable a este problema es comparar las concentraciones de calidad de agua de los efluentes de las granjas camaroneras con los límites aplicados a otras actividades actualmente reguladas. Esta comparación debería mostrar si algunas variables de los efluentes camaroneros están por fuera de los rangos normalmente aceptados, y sugerir las medidas para lograr un efluente satisfactorio. La reglamentación podría luego ser establecida, basada en la concentración esperada de los efluentes, si los granjeros aplicaran buenas prácticas de manejo y métodos de tratamiento económicamente factibles en la industria.

Relativamente pocas organizaciones han preparado normas de calidad de agua para los efluentes de las camaroneras. A pesar de que tres ejemplos de reglamentación de efluentes están disponibles para Estados Unidos no se consideran adecuados para su uso aquí. Las normas de calidad de agua son comúnmente formuladas para su inclusión en permisos de descarga municipal, industrial y otros tipos de efluentes; y sus límites de variables y concentraciones usuales se proveen en la Tabla 4. Los efluentes de las granjas a menudo exceden los límites típicos para sólidos suspendidos totales y concentraciones totales de fósforo; y pueden tener ocasionalmente pH arriba de 9.0 y oxígeno disuelto debajo de 5 mg/L.

Las granjas tienen opciones limitadas para el tratamiento de sus efluentes. La única forma económicamente factible de mejorar la calidad del efluente parece ser la adopción de buenas prácticas de manejo (BPM) y la instalación de estanques sedimentadores. La aplicación de BPM puede reducir las entradas de nutrientes, la resuspensión de sedimentos y la erosión; y mejorar las concentraciones de oxígeno disuelto. También modera el pH y las concentraciones totales de nitrógeno amonio en el agua de los estanques dando como resultado efluentes de mejor calidad. En muchas granjas, la sola aplicación de las BPM no será suficiente para disminuir las concentraciones totales de sólidos suspendidos y fósforo a los límites establecidos en las normas de efluentes típicos. El fósforo total es asociado principalmente con partículas suspendidas, y la sedimentación disminuye ambas concentraciones.

La Alianza para la Acuicultura Global (GAA) ha desarrollado normativas para los efluentes de las camaroneras (Boyd y Gautier 2000). De manera especial recomendamos a los granjeros que traten de cumplir con estas normativas. El cumplimiento de nuevas regulaciones de calidad de agua para efluentes no se puede alcanzar de inmediato. La GAA iniciará con normas para efluentes bastante flexibles. Esto requerirá que los participantes demuestren mejoras en la calidad de sus efluentes, para luego cumplir con regulaciones más estrictas.

Las granjas semiintensivas producen efluentes de mejor calidad que las intensivas, pero los mismos reglamentos de efluentes deberían aplicarse a ambos sistemas de cultivo (será mucho más fácil para las granjas semiintensivas cumplirlos). La reglamentación inicial debe ser lo suficientemente estricta como para prevenir concentraciones bajas de pH u oxígeno disuelto, y concentraciones extremadamente altas de otras variables. El programa de la GAA usa los límites más flexibles observados en otras regulaciones (Tabla 4) como los límites

en sus normas iniciales para efluentes de granjas (Tabla 5). Los límites en las normas objetivo (finales) son casi los mismos que los que se encuentran frecuentemente en los permisos de efluentes (Tabla 4). A pesar de que es común tener un límite de turbidez en la reglamentación de efluentes, éste no es incluido en la reglamentación de efluentes propuesta; si la concentración de sólidos suspendidos totales está dentro de los límites aceptables, la turbidez también lo estará. Sin embargo, la recolección de datos para verificar esta generalización sería de utilidad.

Tabla 4. Variables de calidad de agua y sus concentraciones límites encontradas en permisos de efluentes para otras actividades diferentes al cultivo de camarón.

VARIABLE	LIMITES USUALES	COMENTARIOS
pH	6.0-9.0	Algunos permisos tienen un límite máximo de 8.5 1. Una variante permitiendo un pH de la tarde de 9.5 se permite algunas veces para el tratamiento de agua de efluentes de estanques
Sólidos Suspendidos Totales	≤ 30 mg/L	Algunos permisos tienen límites hasta de 100 mg/L
Fósforo Total	≤ 0.2 mg/L	Algunos permisos conceden hasta 0.5 mg/L
Nitrógeno Amonio Total	≤ 2.0 mg/L	Algunos permisos conceden hasta 5 mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno (BOD ₅)	≤ 30 mg/L	1. Algunos permisos pueden tener un límite máximo de 20 mg/L. 2. Algunos permisos pueden tener un límite máximo de 50 o 60 mg/L para el tratamiento de efluentes de estanques.
Oxígeno Disuelto	≥ 5.0 mg/L	1. Algunos permisos de descarga en aguas de alta calidad pueden tener 6 mg/L como concentración mínima. 2. Algunos permisos de descarga en aguas de baja calidad pueden permitir valores tan bajos como 4 mg/L.

Tabla 5. Normas de calidad de agua para efluentes de estanques sugeridas para inicio y a ser alcanzadas como objetivo final.

VARIABLE	NORMA INICIAL	NORMA OBJETIVO
pH (unidades normadas)	6.0-9.5	6.0-9.0
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	≤ 100	≤ 50
Fósforo Total (mg/L)	≤ 0.5	≤ 0.3
Nitrógeno Amonio Total (mg/L)	≤ 5.0	≤ 3.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (BOD ₅) (mg/L)	≤ 50	≤ 30
Oxígeno Disuelto (mg/L)	≥ 4.0	≥ 5.0

Análisis de agua

El análisis de agua es un campo altamente especializado y están disponibles los métodos para medir la concentración de casi cualquier constituyente del agua. Estos métodos se pueden encontrar en varios manuales de análisis de agua estándar; el más usado es el de "Métodos standard para el Análisis de Aguas y Aguas Servidas" (Cleosceri et al. 1998). Para realizar análisis de agua de acuerdo a procedimientos standard se debe contar con un laboratorio adecuado y un analista. En la acuicultura práctica, solo unos pocos datos de calidad de agua son necesarios para tomar decisiones de manejo. Estos normalmente incluyen el pH, la alcalinidad total, dureza total, oxígeno disuelto, dióxido de carbono, y abundancia de plancton. Kits que analizan estas variables están disponibles a un precio razonable, y proveen datos lo suficientemente exactos sobre los cuales basar decisiones de manejo. Un disco Secchi, el cual puede ser construido de materiales comunes o comprado a un bajo precio, puede usarse para estimar la abundancia de plancton.

Muestreo de agua

Las muestras de agua para el análisis del oxígeno disuelto o del dióxido de carbono deben ser recogidas de tal forma que no entren en contacto con la atmósfera. Si una muestra está sobresaturada con gases disueltos, éstos se liberarán a la atmósfera. Existen equipos para recoger muestras de agua para el análisis de gases disueltos, los menos caros se pueden obtener a través de los fabricantes de kits para el análisis de agua.

Las muestras para alcalinidad total, dureza total, o pH pueden entrar en contacto con el aire sin que esto introduzca errores apreciables en la medición. Las muestras de agua superficial pueden asegurarse simplemente sumergiendo un recipiente abierto y llenándolo. Pueden construirse muestreadores para tomar muestras a mayores profundidades, por ejemplo, se puede atar un recipiente con tapa a una regla de madera y sumergirla a la profundidad deseada. La tapa es luego halada con una cuerda previamente atada a ésta de tal forma que el frasco se llene. Una vez recogida la muestra, debe analizarse lo antes posible para evitar cambios en las concentraciones de los constituyentes de interés.

Estuches para el análisis de agua

El más grande y mejor conocido fabricante de kits para análisis de agua es probablemente la compañía HACH de Loveland, Colorado, USA, pero kits de calidad comparable pueden obtenerse de otras compañías. Al usar los kits, las direcciones deben ser seguidas cuidadosamente y todas las operaciones conducidas con tanta precisión como fuera posible. Los errores leves en la medición del volumen de las muestras o agentes titrantes se verán magnificadas en los resultados finales. Para medir la dureza o alcalinidad total en muestras con bajas concentraciones (abajo de 20 ó 30 mg/L) de estos constituyentes, los volúmenes de las muestras y reactivos se deberían de incrementar 5 veces para obtener resultados confiables.

Las mediciones de pH con kits de calidad de agua son de 0.5 a 1.0 unidades de pH más altas que los valores correctos obtenidos con un medidor de pH. Los reactivos de los kits para calidad de agua se deterioran con el tiempo y deben ser reemplazados cada 6 ó 12 meses. A pesar de sus limitaciones, con frecuencia estos kits son el único método disponible para análisis de agua en la acuicultura, y con cuidados razonables proveen resultados útiles. En la tabla 6 se compara muestras analizadas con kits Hach de calidad de agua y con procedimientos normados de laboratorio.

Tabla 6. Comparación de determinaciones hechas en muestras de agua a través de métodos normados y estuches Hach de análisis de agua.

PROCEDIMIENTO	MUESTRA			
	A	B	C	D
Alcalinidad Total (mg/L)				
Metodo Normado	11.0	31.8	49.6	119.7
Kit Hach	15.6	33.7	49.4	116.3
Dureza Total (mg/L)				
Metodo Normado	7.7	27.1	53.4	107.5
Kit Hach	11.1	32.7	55.7	110.4
Dioxido de Carbono (mg/L)				
Metodo Normado	1.2	4.3	10.9	18.0
Kit Hach	5.0	5.0	10.0	15.0
Oxigeno Disuelto (mg/L)				
Metodo Normado	1.1	2.7	4.9	8.6
Kit Hach	2.0	2.8	4.0	8.0
pH				
Metodo Normado	4.5	5.5	7.8	8.8
Estuche Hach	5.0	6.1	9.0	9.7

Estuches de calidad de agua más caros y avanzados tienen la capacidad de medir gases disueltos, pH, amonio, nitratos, nitritos, fosfatos, sulfatos, cloruros, conductividad, y muchas otras variables de calidad de agua. Los estuches más elaborados son más adecuados para manejo de acuicultura y para algunos tipos de investigación en la acuicultura. La compañía HACH produce estuches específicos para el cultivo de camarón.

Oxígeno Disuelto

El oxígeno disuelto es probablemente la variable individual más importante en la acuicultura. Afortunadamente, sus mediciones son fáciles de hacer usando sensores amperométricos o polarográficos y medidores electrónicos. Los medidores de oxígeno disuelto más populares en la camaronicultura son los varios modelos ofrecidos por Yellow Springs Instrument Company, Yellow Springs, Ohio, USA.

En estanques camaroneros semiintensivos, un mínimo de dos mediciones deberían de realizarse a diario durante el ciclo de cultivo. Las mediciones hechas al amanecer y al atardecer normalmente proveerán información sobre los extremos diarios. Las concentraciones críticas de oxígeno disuelto usualmente ocurren en la noche, y con frecuencia es deseable realizarlas en estanques con blooms densos de fitoplancton.

Las concentraciones de oxígeno disuelto pueden variar considerablemente con la profundidad y la ubicación. En los estanques, las concentraciones de oxígeno disuelto más bajas están usualmente a más profundidad, donde el camarón pasa la mayor parte del tiempo. Así, las mediciones de oxígeno disuelto deberían realizarse en la parte más profunda del estanque y cerca del fondo. Se debe evitar que el sensor del oxigenómetro entre en contacto con el fondo, pues se obtendrán mediciones erróneas. Lo ideal es tomar muestras a 5 cm arriba del fondo.

Dada la importancia de los datos confiables de oxígeno disuelto en el cultivo de camarón, a continuación se discute lo relacionado a los oxigenómetros y su uso. El medidor de oxígeno consiste de un electrodo que produce una corriente proporcional a la tensión del oxígeno en el agua y la instrumentación para convertir el flujo de corriente a un medidor de lectura que indica la concentración de oxígeno disuelto en miligramos por litro. Discutiremos la operación del electrodo pero no la técnica para traducir la corriente en miligramos por litro de oxígeno disuelto, puesto que no está bajo el control del operador.

Un electrodo de oxígeno disuelto típico, a menudo llamado sonda, consiste de un electrodo de oro y un electrodo de referencia de óxido plata-plata. Los electrodos están bañados en 4M KCl y separados de la muestra por una membrana usualmente hecha de teflón (figura 2). El anillo de oro es el cátodo y la pieza de plata el ánodo. La membrana es permeable a los gases y la tasa a la cual el oxígeno cruza la membrana está relacionada a la tensión de oxígeno en la muestra. Cuando un voltaje eléctrico es aplicado a la sonda, el oxígeno molecular que se difunde a través de la membrana reacciona con el cátodo y es reducido a la forma de hidróxido:



Luego una corriente fluye hacia el electrodo de plata y el hidróxido reacciona con la plata para formar óxido de plata:



El óxido de plata aparece de color negro o café sobre la plata y actúa para formar una media celda que completa el circuito con el electrodo de oro. La muestra y la solución de cloruro de potasio que baña los electrodos no llega a equilibrarse con respecto al oxígeno disuelto porque el oxígeno es consumido en el cátodo y podemos asumir que la tensión del oxígeno bajo la membrana es cercana a cero. La fuerza que causa que el oxígeno se difunda a través de la membrana es proporcional a la tensión del oxígeno en la muestra. Por consiguiente, cuando la tensión de oxígeno es baja, la corriente que fluye entre los dos electrodos será menor que cuando la tensión de oxígeno es alta.



Figura 2.
Oxigenómetro

La permeabilidad de la membrana para el oxígeno se ve muy afectada por la temperatura. La corriente producida por 10 mg/L de oxígeno disuelto a 10 °C es solo cerca de un cuarto de la cantidad producida por 10 mg/L de oxígeno disuelto a 30 °C. Un termostato ensamblado en el circuito del electrodo automáticamente compensa por este efecto de temperatura.

La temperatura también afecta el flujo de corriente entre los electrodos a través de la relación de temperatura a tensión de oxígeno. Una muestra saturada con oxígeno disuelto a 15 °C y a una presión de 760 mm Hg tiene una tensión de oxígeno de 159 mm Hg y contiene 9.76 mg/L de oxígeno disuelto. Si un oxigenómetro es calibrado a esta temperatura y presión, medirá 9.76 mg/L de oxígeno disuelto cuando sea usado para el agua mencionada arriba. Suponga que el oxigenómetro es usado ahora para medir la concentración de oxígeno disuelto de otra muestra de agua a 20 °C y 760 mm Hg que está saturada con oxígeno. Dada la mayor temperatura, el agua solo contendrá 8.84 mg/L de oxígeno disuelto, pero el oxigenómetro aún leerá 9.76 mg/L pues fue calibrado para medir esta concentración a una saturación de oxígeno de 760 mm Hg o a una tensión de oxígeno de 159 mm Hg. Para corregir esta discrepancia, los oxigenómetros están equipados con compensadores de temperatura automática o manual. La concentración de oxígeno disuelto en el agua saturada también disminuye con la presión atmosférica y con el incremento de la salinidad, así que la mayoría de los medidores también están equipados con compensadores de presión (altitud) y salinidad manuales.

Las mediciones más confiables se obtienen de muestras de agua con concentraciones de oxígeno disuelto entre 2 mg/L y el nivel de saturación para la temperatura y presión atmosférica particular de la muestra de agua. Las mediciones obtenidas de agua con bajas y altas (supersaturadas) concentraciones de oxígeno disuelto (ambas en miligramos por litro y en tensión) son sólo aproximadas. Es imperativo que el oxigenómetro sea apropiadamente calibrado a la presión atmosférica local, que al electrodo le sea ajustada adecuadamente una membrana limpia, y que se realicen las respectivas compensaciones manuales de salinidad y temperatura antes de hacer mediciones.

A menudo es deseable examinar los oxigenómetros para determinar si están realizando mediciones exactas. Esto puede realizarse en la granja por un método aproximado. Saturar una muestra de agua destilada con oxígeno, luego "calibre al aire" el oxigenómetro siguiendo las instrucciones del fabricante y compare la concentración de oxígeno disuelto medida con la teórica para tener la temperatura apropiada. Es difícil llevar exactamente a equilibrio la concentración de oxígeno disuelto en una muestra de agua con el oxígeno atmosférico. Sin embargo, un equilibrio aproximado puede alcanzarse meneando lentamente una muestra de agua destilada en un recipiente limpio por 15 o 20 minutos y después dejándola reposar por unas pocas horas.

Como se mencionó en la sección "Midiendo la productividad", pág. 268, un disco Secchi tiene 20 cm de diámetro, está pintado en cuadrantes blancos y negros, y está sujetado a una cuerda calibrada. El disco tiene una placa de plomo en la parte inferior que le permite hundirse fácilmente. El disco Secchi se compra en negocios de venta de implementos científicos o se construye de pedazos de metal laminado, plexiglas, o masonita; debe usarse una pintura que no brille. Una alternativa adecuada en vez de la cuerda es una regla de madera calibrada la cual se sujeta al centro del disco verticalmente. Las visibilidades del disco Secchi rara vez exceden 40 ó 50 cm en sistemas de producción acuícola, de tal manera que las lecturas raras veces serán limitadas por la longitud de la regla.

Visibilidad del disco Secchi

La visibilidad del disco Secchi no es una estimación adecuada del plancton a menos que éste sea la principal causa de turbidez del agua. Un observador experto puede distinguir fácilmente entre la turbidez producida por el plancton y otras formas de turbidez. Sin embargo, el principiante debe recordar que no todos los blooms de algas son verdes; también pueden ser amarillos, rojos, cafés, o negros. Usualmente los organismos del plancton son lo suficientemente grandes que su naturaleza como partículas es obvia si el agua y su contenido son vistos contra un fondo blanco.

Para obtener una medición de disco Secchi, sumérgalo en el agua hasta que apenas desaparezca y tome la medición. Sumerja el disco un poquito más y luego levántelo hasta que apenas reaparezca y mida nuevamente. Al realizar esto, vea el disco directamente desde arriba. El promedio de las dos mediciones es la medida de visibilidad del disco Secchi. Las condiciones para la toma de mediciones de disco Secchi deben ser normadas. Una buena práctica es hacer mediciones en días calmos entre las 9 a.m. y las 3 p.m. Es mejor tomar mediciones cuando el sol no esté tras las nubes. Tome las medidas del lado del bote en donde no esté soplando el viento y con el sol a su espalda.

Aún cuando las condiciones sean cuidadosamente normadas, las lecturas de disco Secchi obtenidas al mismo tiempo por observadores diferentes para el mismo cuerpo de agua variarán ligeramente. Es más, un mismo observador puede obtener lecturas ligeramente diferentes si el disco se usa en el mismo estanque a distintas horas durante el día. En la práctica estas ligeras variaciones no son críticas. En la ausencia de un disco Secchi, cualquier objeto blanco, o aún la palma de la mano, puede usarse para juzgar la turbidez en las aguas del estanque.

Bibliografía

- Boyd, C.E. 1995. Bottom Soils, Sediment, and Pond Aquaculture. Chapman and Hall, New York, New York, USA. 348 pp.
- Boyd, C. E. and D. Gautier. 2000. Effluent composition and water quality standards. *Global Aquaculture Advocate* 3(5):61-66.
- Boyd C. E. and A. Gross. 1998. Use of probiotics for improving soil and water quality in aquaculture ponds , pp101-106. In : T. W. Flegel (editor), *Advances in Shrimp Biotechnology* , The National Center for Genetic Engineering and Biotechnology, Bangkok, Thailand.
- Boyd, C. E. and C. S. Tucker. 1992. *Water Quality and Pond Soil Analyses for Aquaculture*. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Alabama, USA. 183 pp.
- Boyd, C. E. and C. S. Tucker. 1998. *Pond Aquaculture Water Quality Management*. Kluwer Academic Publishers, Boston, Massachusetts, USA. 700 pp.
- Boyd, C. E., J. Queiroz, J. Lee, M. Rowan, G. N. Whitis and A. Gross. 2000. Environmental assessment of channel catfish *Ictalurus punctatus* farming in Alabama. *Journal of the World Aquaculture Society* 31:511-544.
- Cleoceri, L. S., A. E. Greenburg and A. D. Eaton. 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Association, Washington, D.C., USA.
- Donovan, D. 1997. *Environmental code of practice for Australian prawn farmers*. Kuruma, Australia Pty. Ltd., East Brisbane, Australia. 37 pp.
- Geiger, J. C. 1983. A review of pond zooplankton production and fertilization for the culture of larval and fingerling striped bass. *Aquaculture* 35: 353-369.
- Potts, A. C. and C. E. Boyd. 1998. Chlorination of Channel catfish ponds. *Journal of the World Aquaculture Society* 29:432-440.
- Queiroz, J. F. and C. E. Boyd. 1998a. Evaluation of a kit for estimating organic matter concentrations in bottom soils of aquaculture ponds. *Journal of the World Aquaculture Society* 29: 230-233.

Queiroz, J. F. and C. E. Boyd. 1998b. Effects of a bacterial inoculum in channel catfish ponds. *Journal of the World Aquaculture Society* 29: 67-73.

Snow, J. R. and R. O. Jones. 1959. Some effects of lime applications to warmwater hatchery ponds. *Proceedings of the Annual Conference of the Southeastern Association of the Game and Fish Commission* 13:95-101.

White, G.F. 1992. *The Handbook of Chlorination*. Van Nostrand Reinhold, New York, New York, USA. 1,308 pp.

**Este libro se imprimió en los
Talleres Gráficos Offset
de la Imprenta Universitaria UCA
Managua, Nicaragua
Diciembre 2001**
