

# Introducción a la **Acuacultura**

---

Por:  
Daniel E. Meyer

BIBLIOTECA WILSON TORRES  
ESCUELA AGRÍCOLA PANAMERICANA  
CALLE 14  
TEGUCIGALPA, HONDURAS

**Escuela Agrícola Panamericana  
Zamorano, Honduras  
2004**

---

# Introducción a la Acuicultura

## Contenido:

Capítulo 1. Introducción	1
¿Por qué la piscicultura?	4
La acuicultura y la agricultura	9
Clasificación de los cultivos acuícolas	10
La economía y la acuicultura	11
Capítulo 2. Construcción de Estanques	17
Planeamiento y construcción	18
Recomendaciones generales	24
Cultivo de peces en jaulas	27
Capítulo 3. Calidad del Agua	31
La temperatura del agua	34
El oxígeno disuelto	35
Recomendaciones para el manejo de oxígeno disuelto	40
Aireación artificial	41
El pH	43
El bióxido de carbono	43
El amoníaco y amonio	45
La alcalinidad y dureza del agua	48
La salinidad del agua	50
Capítulo 4. Manejo de Cultivos Acuícolas	57
La densidad de siembra y la producción acuícola	58
El uso de fertilizantes en la producción acuícola	63
Cal agrícola	70
La nutrición y alimentación	74

Capítulo 5. Biología y Cultivo de Tilapia	85
Descripción y taxonomía	85
Anatomía de la tilapia	86
Anatomía del sistema reproductor	93
Cultivo de tilapia	98
Variedades de tilapia	101
Manejo de los cultivos	102
Fases de producción comercial para tilapia	103
Procedimiento de reversión sexual	107
Técnicas para controlar la reproducción de tilapia	111
Programación de la producción de tilapia	115
Nutrición y alimentación de tilapia	116
Proteína dietética	117
Energía	117
Manejo de la alimentación	118
Algunas recomendaciones sobre la alimentación	123
Algunos conceptos novedosos en la alimentación	124
Cultivo de tilapia en jaulas comerciales	128
¿Cuál tilapia debo cultivar en mi finca?	131
Capítulo 6. Cultivo de Camarón de Mar	135
Clasificación	135
Biología	137
Producción de semilla	139
Engorde	143
Alimentación	145
Alimentación de un vivero	148
Cultivar camarón en invernaderos	151
Anexo 1. Glosario de términos	153
Anexo 2. Composición química de la tilapia y camarón de mar	156
Anexo 3. Importación de Tilapia a los USA.	159

# Capítulo 1. Introducción

En muchas áreas tropicales y subtropicales del mundo una gran porción de la población es mal nutrida debido en parte a la escasez de fuentes baratas de proteína animal. El pescado es un alimento de alta calidad. La práctica de cultivar peces (piscicultura) tiene una historia muy larga y consiste en todas las fases del manejo de poblaciones de peces en depósitos artificiales o en cuerpos naturales de agua. En la gran mayoría de los proyectos acuícolas, comerciales y de subsistencia en el mundo, los peces son cultivados en estanques formados o excavados en la tierra. Estos estanques son económicos de construir, pueden ser manejados fácilmente y su vida útil es larga, hasta de 15 años o más.

El término piscicultura se refiere únicamente al cultivo de peces. Acuicultura o acuicultura, es un término más amplio que abarca los cultivos de cualquier tipo de organismo acuático, incluyendo a los peces, crustáceos, moluscos, algas, y muchos otros organismos de agua dulce y salada.

En los años recién pasados la acuicultura comercial o industrial se ha desarrollado en un área sumamente tecnificada de la agricultura moderna. La acuicultura presenta al agricultor un método alternativo para producir proteína en terrenos que ordinariamente estarían fuera de producción o en lugares que serían totalmente improductivos debido a sus características físicas (por ejemplo; terrenos quebrados, o donde hay suelos muy arcillosos).



BIBLIOTECA WILSON POPENGE  
BOULEVARD AGRICOLA PANAMERICANA  
APARTADO 93  
TEGUCIGALPA HONDURAS

Figura 1.1. La piscicultura es fuente de proteína animal para mejorar las dietas, y fuente de ingresos para mejorar la economía de la familia rural de Centro y Sur América.



Figura 1.2. La piscicultura moderna involucra la alimentación de los peces y camarones con alimentos concentrados especializados.



Figura 1.3. Estanques para el cultivo de especies acuáticas.

La piscicultura ha sido un componente importante de los programas de desarrollo rural en muchos países del mundo. En Centro y Sur América no existe una tradición de practicar esta actividad como parte de la agricultura tradicional regional. Muchos proyectos orientados a promover la piscicultura como actividad apropiada para pequeños productores han fallado. Probablemente las causas más importantes del fracaso de la introducción de la piscicultura a pequeña escala han sido:

1. No existen sistemas efectivos para la transferencia de tecnologías durante un largo período de aprendizaje que requiere el piscicultor principiante en Latino-América.
2. Ha habido poco énfasis en realizar proyectos con el objetivo de generar ingresos significativos para la familia involucrada, y mucho énfasis en querer simplemente mejorar la dieta de la familia sin incluir las consideraciones económicas.
3. Con mucha frecuencia se ha cometido errores en la selección del sitio para ubicar adecuadamente a los proyectos piscícolas, en especial, construyendo proyectos en lugares con fuentes insuficientes de agua, con suelos permeables, y con clima no apropiado para la especie a cultivar.
4. Muchas veces las familias no pueden conseguir los insumos básicos necesarios para sostener una piscicultura rentable y permanente.

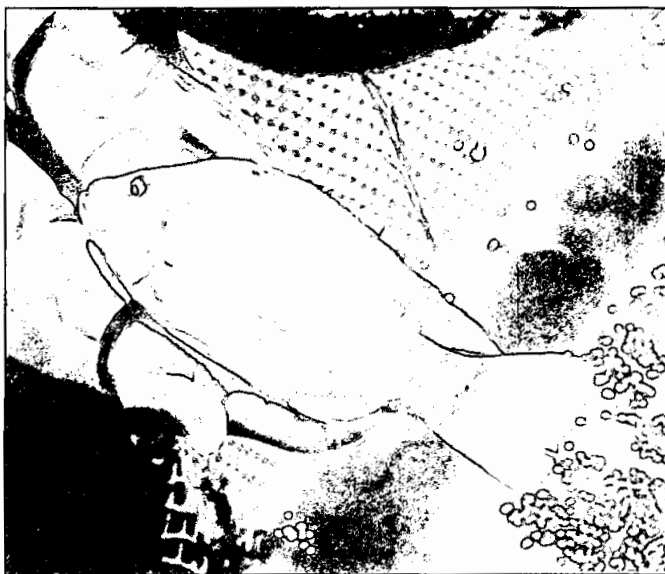


Figura 1.4. Un ejemplar de la tilapia roja.

El fomento del establecimiento de proyectos piscícolas como una parte integral de la agricultura regional ayudaría a reducir la escasez proteica al nivel local y suministraría al agricultor un ingreso adicional de sus terrenos con potencial marginal para otro tipo de cultivo. Siempre es importante realizar una evaluación detallada de los recursos con que cuenta el futuro productor de peces, antes de iniciar la construcción de un proyecto nuevo.

### **¿Por qué la piscicultura?**

¿Por qué debemos considerar a la piscicultura como una alternativa viable en los programas de desarrollo? ¿Qué ventajas ofrece la piscicultura que no tenga otras actividades o tipos de producción animal? Para contestar las preguntas se pueden mencionar varios factores importantes:

- Cada año el hombre cosecha una enorme cantidad de peces y otros organismos de los océanos, mares, ríos y lagos del mundo, por la pesca artesanal y comercial. De esta gran cantidad, aproximadamente 30 a 40% del total es convertido en harina de pescado destinado para ser consumido por los animales domesticados (pollos, cerdos y vacas, principalmente).

El rendimiento de la pesca se ha nivelado anualmente en un rango de 90 a 100 millones de Mt (toneladas métricas) durante los últimos 10 a 20 años. La cosecha se ha estancado a pesar de un esfuerzo cada año más intensivo, y más efectivo, para encontrar y capturar las diferentes especies en el agua. Actualmente el hombre cosecha especies que hace 30 años fueron consideradas como no aceptables, o sin valor en los mercados, para el consumo humano. La FAO estima que la mayoría de los recursos pesqueros del mundo están siendo sobre-explotados o explotados a su capacidad máxima sostenible.

Sencillamente, todos los datos indican que la extracción de especies acuáticas por los diferentes medios de captura ha llegado a su rendimiento máximo. Posiblemente, la captura actual esté encima del nivel de sostenibilidad permanente, y en el futuro próximo, los resultados de la pesca van a ser, cada año, más reducidos.

Este hecho está en plena justa posición con el permanente crecimiento de la población humana (estimado mundialmente en unos 200,000 nuevos habitantes por día), que cada año requiere de mayores cantidades de proteína animal. El déficit entre lo que necesita el mundo y lo disponible por la captura de especies acuáticas exige nuevas soluciones a la crisis alimenticia, actual y futura.

La piscicultura puede aportar importantes cantidades de proteína animal a precios cómodos. La tecnología existe, lo difícil ha sido y continua siendo, lograr una adecuada transferencia de la tecnología a las familias y comunidades



necesitadas que cuentan con los recursos básicos para tener éxito en el cultivo de peces, y posiblemente, otras especies.

El cultivo de muchas especies de peces es muy eficiente y productivo. La alta productividad de la piscicultura se debe a que los peces son organismos bastantes eficientes en convertir los nutrientes del alimento en carne. El agua, siendo mucho más densa que el aire, da apoyo físico a los peces, y así, ellos no necesitan gastar ni mucha energía ni muchos nutrientes en desarrollar un esqueleto fuerte y pesado. El rendimiento en canal de los peces es superior al rendimiento de los animales terrestres domesticados.

Además, los animales terrestres utilizados en la producción ganadera son homeotérmicos (mamíferos o aves). Ellos gastan gran cantidad de energía en mantener una temperatura elevada y constante en sus cuerpos.

Los peces y camarones son animales poiquilotérmicos (= de sangre fría). Su temperatura corporal fluctúa con la temperatura del agua. En general, son incapaces de mantener una temperatura constante en sus cuerpos. Así los organismos acuáticos tienen menor gasto de energía y una tasa de crecimiento impresionante en comparación con la vaca, el cerdo y el pollo. Algunos tipos de peces son muy eficientes y pueden convertir 1.2kg de alimento en un kilogramo de peso vivo o biomasa.

- Es fácil integrar la cría y producción de peces con las demás actividades en una finca diversificada. Se puede utilizar los desperdicios o sub-productos agrícolas en la alimentación de peces (ej. afrechos, estiércoles, etc.). El cultivo de peces en base de aplicaciones de estiércol animal al agua del estanque, es uno de los tipos más antiguos de la piscicultura. La producción integrada de peces así es muy rentable y en muchas ocasiones el crecimiento de los peces cultivados con el estiércol es similar al crecimiento cuando son engordados a base de concentrado.

El agua de los estanques puede tener usos múltiples en la finca. Puede ser utilizada para regar cultivos, para los bebedores de ganado o para actividades recreativas. Los estanques embellecen la propiedad y contribuyen a aumentar la humedad relativa del aire localmente.

- El sacrificio de un animal grande (vaca o cerdo) en el campo representa un riesgo para el dueño, debido a la falta de instalaciones de almacenamiento y la falta de medios de transporte adecuados. El pez representa proteína en un paquete pequeño. Es un alimento muy nutritivo y la familia puede cosechar sólo el número de peces que necesite en el momento para la venta o para el consumo. En cierto sentido el estanque con el cultivo de peces es la "refrigeradora" de la familia rural.



- El potencial productivo de los países latinoamericanos es enorme. Todavía existen tierras abundantes adaptables a la construcción de estanques. En muchos casos, estos terrenos tienen precios cómodos. El manejo de los cultivos acuáticos requiere abundante mano de obra, la cual está disponible en la región. En este momento la región no cuenta con muchos problemas relacionados con la contaminación ambiental en comparación con los países industrializados. Hay abundantes fuentes de agua en muchos lugares. Predominan en Latinoamérica climas con temperaturas adecuadas para el crecimiento y desarrollo de los organismos acuáticos durante los 12 meses del año.

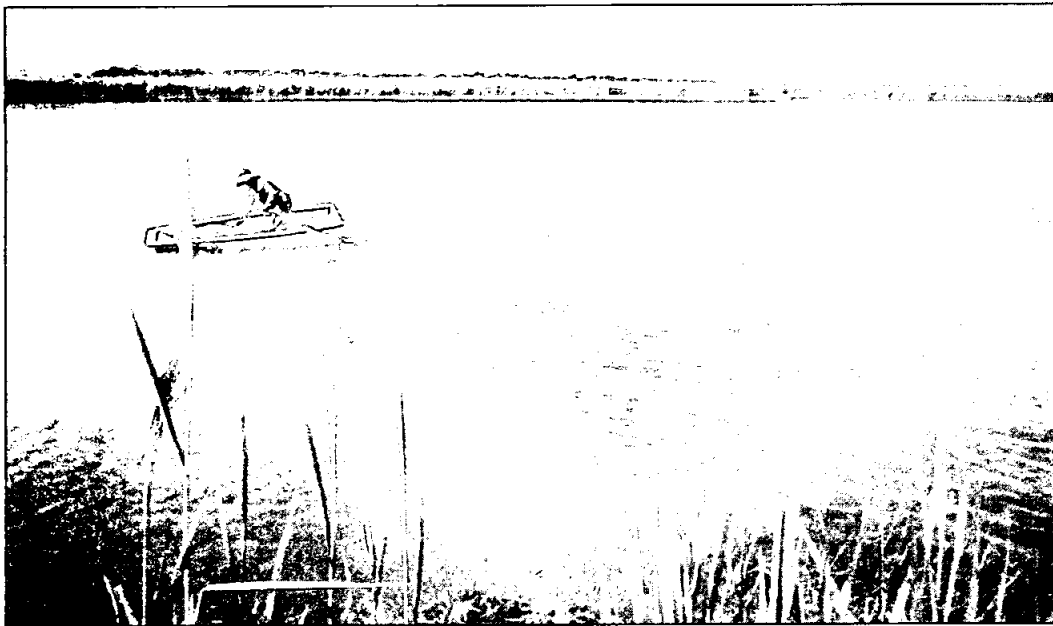


Figura 1.5. La alimentación de los cultivos acuícolas con manejo intensivo típicamente representan de 30 a 60% de los costos variables de producción. En la foto, se está repartiendo alimento flotante para tilapia desde un bote pequeño en un estanque de 4 ha de extensión en Ecuador. Los peces rojos se observan con facilidad en el agua del estanque, especialmente en el momento que suben a la superficie para comer.

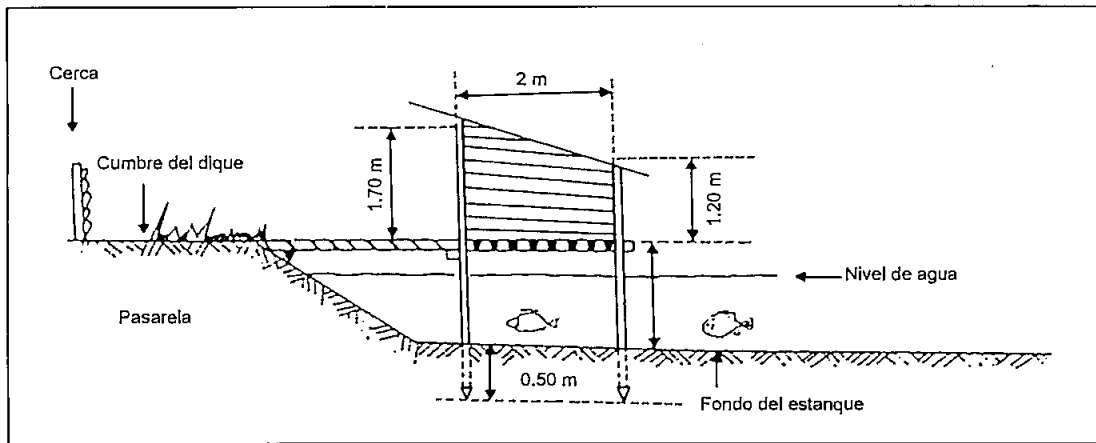


Figura 1.6. Una ilustración del engorde de peces integrado con la cría y engorde de otros animales en la finca. La casita tiene un piso de rejillas para permitir que el estiércol de los animales (cerdos o aves) pasa directamente al estanque.

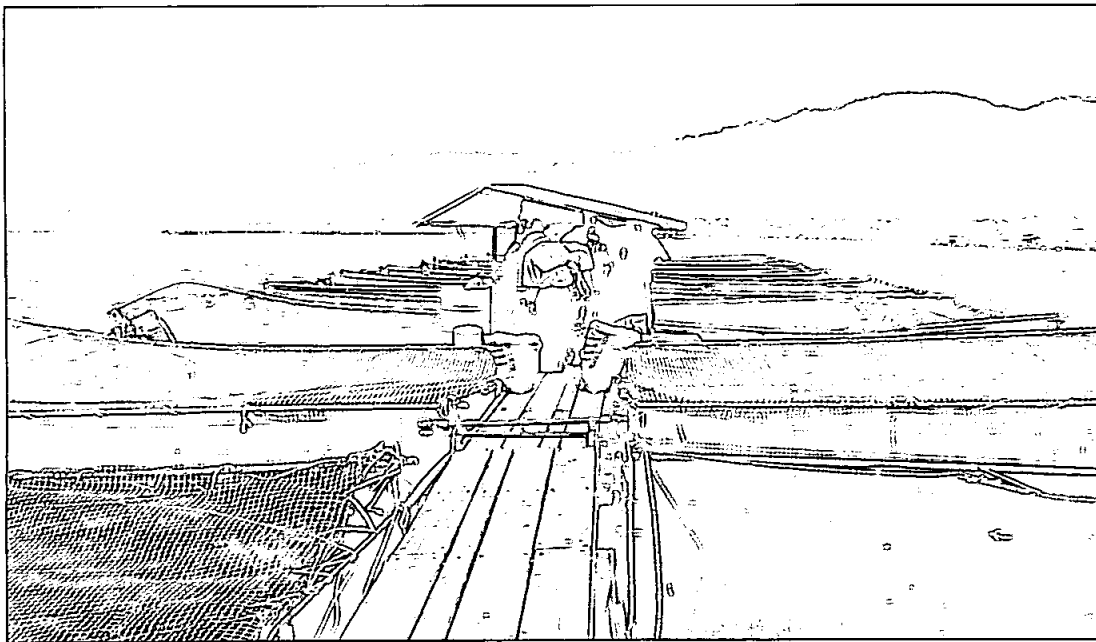


Figura 1.7. Cultivo comercial de tilapias en jaulas de aproximadamente  $100 \text{ m}^3$  de espacio útil cada una. Estas jaulas están ubicadas en un reservorio artificial en Honduras.

Cuadro 1.1. La rentabilidad del cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) con diferentes manejos en Comayagua, Honduras.<sup>1</sup> Cada manejo fue replicado en un mínimo de tres estanques de 500 m<sup>2</sup> cada uno o más grande. Los rendimientos son para ciclos de producción de 150 días. Los costos variables incluyeron los alevines, alimentos, fertilizantes, transporte, mano de obra, agua, y los intereses sobre el capital. Los costos fijos son de los intereses, de la depreciación de la infra-estructura, y de los equipos.

Descripción del manejo: nivel de fertilización; alimentación; densidad de siembra	Rendimiento neto (kg/ha/ciclo)	Ingresos netos (US\$/ha/ciclo)
750 kg/ha/semana de gallinaza + 14.1kgN/ha por semana como urea; 2 peces por m <sup>2</sup>	3685	3171
500 kg/ha/semana de gallinaza + 15.4kgN/ha por semana + 1.9kgP/ha por semana y 2 peces por m <sup>2</sup>	3560	3025
500kg/ha/semana gallinaza + alimento a 1.5% biomasa y 2 peces por m <sup>2</sup>	4350	2900
1000 kg/ha/semana gallinaza por 60 días, luego alimento a 3%, 2 peces por m <sup>2</sup>	4794	2800
Unicamente alimento a 3% biomasa y 2 peces por m <sup>2</sup>	5300	2260

<sup>1</sup> Información tomada de: Teichert-Coddington, D.R. y Green, B.W. 1997. Experimental and comercial culture of tilapia in Honduras, pp. 142-162, en: Costa Rica-Pierce, B. A. Y Rakocy, J.E. (editores) Tilapia in Aquaculture in the Americas, Volume 1, World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, USA.

### La acuicultura y la agricultura

Algunos comentarios adicionales sobre la acuicultura. Muchas de las prácticas culturales utilizadas en el manejo de los cultivos de peces u otros organismos acuáticos han sido tomadas directamente de la agricultura tradicional. En muchos casos los principios son iguales o similares. Por ejemplo, en la piscicultura se busca establecer una densidad de peces suficientemente alta para alcanzar una elevada producción en el estanque, pero siempre evitando densidades muy altas donde habrá achaparamiento (enanismo) de los peces. Entonces se busca establecer en el cultivo una densidad de siembra óptima para lograr una alta producción, cosechando peces de un buen tamaño, tomando en cuenta las exigencias de los mercados locales. Estas consideraciones son análogas a las de planificar sembrar un campo con maíz u otro grano básico.

La diferencia principal entre los cultivos acuáticos y los terrestres es el medio. En la piscicultura se manejan organismos en un medio acuoso. Las condiciones son muy distintas a las de la tierra donde se cultivan plantas, y se crían y engordan los animales terrestres (bovinos, porcinos y aves, por ejemplo).

Como ejemplo, los peces respiran el oxígeno que encuentran en solución en el agua (oxígeno disuelto = OD). La concentración de oxígeno en un cuerpo de agua tiene su fluctuación diaria normal, lo cual puede ser perturbada de acuerdo a un gran espectro de factores. En volúmenes reducidos de agua, estos factores pueden causar fluctuaciones grandes y repentinas de la concentración de oxígeno y poner en peligro la salud y supervivencia de los peces.

En la piscicultura, los peces están retenidos dentro del recipiente del cultivo y tienen que aguantar o morir cuando la concentración de oxígeno es insuficiente. Esto jamás pasará con los cultivos de animales terrestres. Siempre el agua contiene mucho menos concentración de oxígeno que el aire.

El agua de los cultivos de peces normalmente no es transparente. Es difícil observar directamente los peces en el agua y aún más difícil, saber el número total de ellos en un estanque después de varios meses de haber realizado la siembra.

Una de ventajas de la piscicultura es la posibilidad de trabajar con poli-cultivos. Los poli-cultivos son cultivos de diferentes especies combinadas en el mismo estanque o recipiente. Se requiere seleccionar las especies para que cada una ocupe un nicho ecológico diferente en el estanque y así evitar una competencia entre ellas. El resultado es aprovechar eficientemente de todo el volumen de agua disponible en el sistema. Los poli-cultivos de peces pueden ser altamente productivos y sumamente rentables.

Los peces son relativamente sensibles a la presencia de contaminantes químicos en el agua. Se puede mencionar primeramente los biocidas (insecticidas, herbicidas y funguicidas, etc.) utilizados comúnmente en la agricultura. También, algunos metales pesados (como el zinc, plomo y mercurio) son altamente tóxicos para los peces.

Los mismos desechos metabólicos de los peces entran en solución en el agua del cultivo y son tóxicos para ellos. En concentraciones relativamente bajas (por ejemplo, amoníaco a 0.5 ppm o menor) ciertos desechos pueden causar efectos negativos notables sobre el desarrollo normal y el crecimiento de los peces. Se debe evitar la acumulación de excrementos y desperdicios del alimento en el agua del recipiente del cultivo.

### **Clasificación de los cultivos acuícolas**

Los cultivos acuáticos pueden ser clasificados de varias maneras. Una manera es clasificar los cultivos en tres grupos según el manejo del sistema. El manejo de los cultivos extensivos consiste simplemente en sembrar los organismos, esperar un tiempo indefinido mientras crecen, y luego cosecharlos. Normalmente las producciones en los cultivos extensivos no sobrepasan los 1500 kg/ha/año. Como no hay mucho manejo del cultivo, ni mucha inversión en comprar insumos (alevines, alimentos y fertilizantes), y la inversión de capital en las instalaciones de la finca no es grande, prácticamente cualquier cosecha representará una ganancia en el cultivo extensivo de peces o camarones. Los primeros intentos de cultivar el camarón de mar en Ecuador fueron en cultivos extensivos, los cuales resultaron ser rentables.

Los cultivos intensivos requieren mucho más manejo y cuidado. Son cultivos manejados intensivamente con mucha tecnología. Los organismos son sembrados a alta densidad con el fin de alcanzar la máxima producción posible por unidad de agua. Típicamente los cultivos intensivos son mono-cultivos y se emplean alimentos concentrados especiales y costosos. Para que los organismos puedan lograr un rápido crecimiento y para evitar problemas de contaminación y niveles bajos de oxígeno, se renueva continuamente el agua del cultivo y se instalan sistemas de aereación artificial en las unidades de producción. La producción de peces y camarones en cultivos intensivos son mayores de 3000 kg/ha/año y pueden alcanzar niveles superiores a los 200,000 kg/ha/año o más!

Para los cultivos con producciones entre 1500 y 3000 kg/ha/año se aplica el término cultivo semi-intensivo. A este nivel de producción, el manejo del cultivo incluye usar una densidad de siembra moderada, el uso de fertilizantes y posiblemente de algún alimento. Hay más control de la población de animales y monitoreo de la calidad del agua, en comparación con los cultivos extensivos pero menos de los intensivos. El propósito de los cultivos semi-intensivos es

incrementar el nivel de producción sin provocar perturbaciones importantes en la calidad del agua. Gran parte de la producción de camarones de agua salada en las Américas (Ecuador, Honduras, México) es basada en cultivos manejados semi-intensivamente.

### La economía y la acuicultura

En general, el cultivo de peces y camarones es una actividad rentable. A pesar de esto, muchas compañías han fracasado en la acuicultura comercial debido a una variedad de factores. Algunos de estos factores son una mala ubicación del proyecto, una fuente de agua insuficiente en volumen o de pobre calidad, diseños defectuosos en su infraestructura, una sobre estimación de los precios de venta de sus productos, una subestimación de los costos de producción, una fluctuación importante en el precio de venta de su producto, dificultades no previstas en la distribución de su producto, dificultad en cumplir con los reglamentos y permisos legales que provocaran aumentos en los costos de operación de la finca, y una fuerte e inesperada competencia de sus rivales.

¿Cómo se estiman los costos de una producción de peces o camarones?

Costos variables o de la producción. Estos son los costos directamente relacionados con la actividad productiva. Estos varían típicamente, según el nivel de producción alcanzado. ¡Por ejemplo, si se logra producir una mayor cantidad de peces en un año, se supone que se utilizó una mayor cantidad de alimento concentrado en su engorde!

El valor de un insumo es su costo de adquisición más cualquier costo adicional y transporte, almacenamiento, modificación y/o aplicación. El costo de un alimento concentrado es su precio de adquisición, más el costo de su transporte y algo para su almacenamiento en la finca. Luego habría que sumar un costo por su aplicación (i.e. mano de obra y vehículo) a cada estanque en el proceso de engordar los peces.

Los costos indirectos son incurridos si se produce o no en la finca. Los costos indirectos incluyen a los costos de la capital invertida en la infraestructura de la finca (caminos, edificios, estanques, personal administrativo, otros). Esto habría que pagarlo independientemente de producir o no en estas instalaciones.

A continuación algunos ejemplos de presupuestos para el cultivo de peces y camarones en diferentes partes del mundo y con diferentes manejos.



Cuadro 1.2. Presupuesto parcial para el cultivo de tilapia en jaulas en Lago de Yojoa, Honduras<sup>2</sup>. La compañía maneja 48 jaulas de 100 m<sup>3</sup> cada una en ciclos de 10 meses de duración (= un ciclo productivo por año).

Descripción:	Unidades y número:	Costo unitario USD:	Costo total por ciclo:
Costos variables:			
Alevines (12 g c.u.)	233,280	0.065 c.u.	15,163.20
Alimentación (ICA = 2.0/1.0)	183,000 kg	0.462/kg	84,540.67
Mano de obra (permanente)	tres personas	150.00/mes	4500.00
Mano de obra (eventuales)	varios	3.00/día	600.00
Total costos:			104,803.87
Ingresos:			
Cosecha 1	41,885 kg	1.65	69,110.95
Cosecha 2	31,455 kg	1.65	51,900.76
Cosecha 3	16,376 kg	1.65	27,020.82
Remanentes	840 kg	1.28	1074.95
	Total = 90,556 kg		
Total ingresos:			149,107.49
Ganancia (I-CV) =			44,303.62
% de rentabilidad (I-CV)/CV =			42%

<sup>2</sup> Información tomada de: TANAKA, Willy. 2003. Análisis económico de la producción de tilapia en jaulas en Lago Yojoa, Honduras. Proyecto Especial de Graduación, Escuela Agrícola Panamericana, Honduras.

Cuadro 1.3. Presupuesto de producción para la tilapia en un ciclo de 240 días duración.

Descripción	Unidad	Valor unitario USD	Cantidad	Valor total
Venta: tilapia viva	kg	2.00	1000	2000.00
<b>Costos variables:</b>				
Alevines (supervivencia = 80%)	c.u.	0.02	1300	26.00
Agua (bomba con motor eléctrico)	hora	0.25	60	25.00
<b>Químicos</b>				
Cal	kg	0.05	100	5.00
Urea	kg	0.20	40	8.00
Alimento (28% PC; ICA = 1.6)	kg	0.44	1600	704.00
Mano de obra (varios trabajos)	día	5.50	75	412.50
Equipos	día	0.40	80	32.00
Electricidad	kw.h			30.00
Vehículo + combustible	km	0.32	40	12.80
Otros				
Total costos variables (CV) =				1255.30
<b>Costos fijos:</b>				
<b>Depreciaciones</b>				
Estanque (500 m <sup>2</sup> )	año	150	0.67	100.00
Equipos (análisis de agua, redes)	día	0.10	240	24.00
Vehículo	año	1500.00	0.03	45.00
Edificios				10.00
Otros				10.00
Total costos fijos (CF) =				189.00
<b>Costos totales:</b>				1444.30
<b>Ganancia = V – CT =</b>				555.70
<b>% ganancia = V – CT/CT X 100 =</b>				38.5%



Cuadro 1.4. Presupuesto de producción en USD para el cultivo de tilapia en un sistema de recirculación del agua en el estado de Dakota del Norte, USA.

Para este ejemplo las instalaciones de la finca incluyen un edificio de 75 x 90 pies con pared de 14 pies y aislamiento térmico, y un estanque para recibir los efluentes, valorado todo en USD 63,750.00, depreciado durante 20 años. Los equipos incluyen los tanques para el cultivo de peces (nueve tanques circulares de 46" de profundidad y 20 pies de diámetro), bombas, filtros y equipos para monitorear la calidad del agua, valorado todo en USD 111,250.00 depreciado en cinco años.

Descripción:	Presupuesto económico USD	Presupuesto efectivo USD
Venta de peces = 80,000 lb @ 1.12/lb	88000.00	88000.00
Costos variables:		
Alevines @ 0.10 c.u.	5413.00	5413.00
Alimento @ 0.23/lb	27,617.00	27,617.00
Electricidad	15,515.00	15,515.00
Intereses	4733.00	4733.00
Total CV	53,277.00	53,277.00
Costos fijos:		
Equipos	4450.00	4450.00
Edificio y estanque	2550.00	2550.00
Depreciación	25,438.00	0.00
Total CF	32,438.00	7000.00
Costos totales (CV + CF) =	85,715.00	60,277.00
Ganancia =	2285.00	27723.00

Cuadro 1.5. Comparación del manejo integrado e intensivo para el pre-engorde de alevines de tilapia en Zamorano.<sup>3 4</sup>

Descripción	Manejo Integrado	Manejo intensivo
Densidad de siembra	3/m <sup>2</sup>	3/m <sup>2</sup>
Supervivencia	64%	90%
Peso inicial	0.60 g	0.60 g
Peso promedio final	105 g	38 g
Ganancia biomasa estanque	200 kg	103 kg
Costo estimado producir un kg	\$ 1.70	\$ 2.80

### Algunas recomendaciones o consejos:

Para tener éxito en el cultivo de especies acuáticas, se debe tomar en cuenta factores o consideraciones como:

1. el mercado con todas sus variables
2. la fuente de agua a usar
3. fuentes de financiamiento
4. calidad consistente del producto a comercializar
5. monitoreo sanitario y control de enfermedades
6. evaluación y mejoramiento de las líneas genéticas
7. calidad del alimento y su precio/costo

---

<sup>3</sup> Cada cultivo se llevó a cabo en un estanque de 1000 m<sup>2</sup> de espejo de agua y durante 140 días.

<sup>4</sup> Información tomada de: SUAZO, A. 2002, Cultivo combinado de tilapia en jaulas y alevines en un estanque integrado con cerdos, Proyecto Especial de Graduación, Escuela Agrícola Panamericana, Honduras; y TREJO, A. 2002, Cultivo combinado de tilapia en jaulas y alevines en un estanque bajo un manejo intensivo, Proyecto Especial de Graduación, Escuela Agrícola Panamericana, Honduras.

### Referencias

- AVAULT, J.W. 1996. Fundamentals of Aquaculture: a step-by-step guide to commercial aquaculture. AVA Publishing Company, Baton Rouge, Louisiana, USA. 889 pp. El libro contiene mucha información sobre los fundamentos de la acuicultura comercial.
- EGNA, H. S. and C.E. BOYD. 1997. Dynamics of Pond Aquaculture. CRC Press LLC, New York, USA. 437 pp. Recopilación de una enorme cantidad de información sobre el cultivo de peces, especialmente la tilapia, en sistemas manejados con la fertilización orgánico.
- STICKNEY, R.R. 1979. Principles of warmwater aquaculture. John Wiley & Sons, New York, USA 375 pp. Buena fuente de información general sobre la acuicultura y los principios de la producción de peces y otras especies acuáticas.
- SWANN, L., J. BROWN, S. KATZ and R.MERZDORF. 1998. Getting Started in Freshwater Aquaculture. North Central Regional Aquaculture Center (NCRAC), Department of Agriculture Cooperative State Research, Education and Extension Service (CSREES) and the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). 208 pp. Excelente manual para personas interesadas en comenzar en la acuicultura comercial. El folleto viene con un disco CD con archivos útiles en la planificación y toma de decisiones.

## Capítulo 2. Construcción de Estanques

Los organismos acuáticos pueden ser cultivados en una gran variedad de recipientes de tamaños y formas variables. Probablemente el tipo más antiguo y común aun hoy día, son los estanques construidos con diques de tierra. Son fáciles y baratos de construir, y bien hechos, pueden servir para 15 años o más. Además, son muy productivos y no requieren mayores gastos en mantenimiento.

El diccionario de La Real Academia Española define “estanque” como “una balsa construida para remansar o recoger el agua, con fines utilitarios, como proveer el riego, criar peces y de ornato.” Según la misma fuente de información, una “laguna” es un “depósito natural de agua, generalmente dulce, y de dimensiones menores que un lago.” En la acuicultura construimos estanques, y raras veces una laguna se adapta al cultivo de peces.

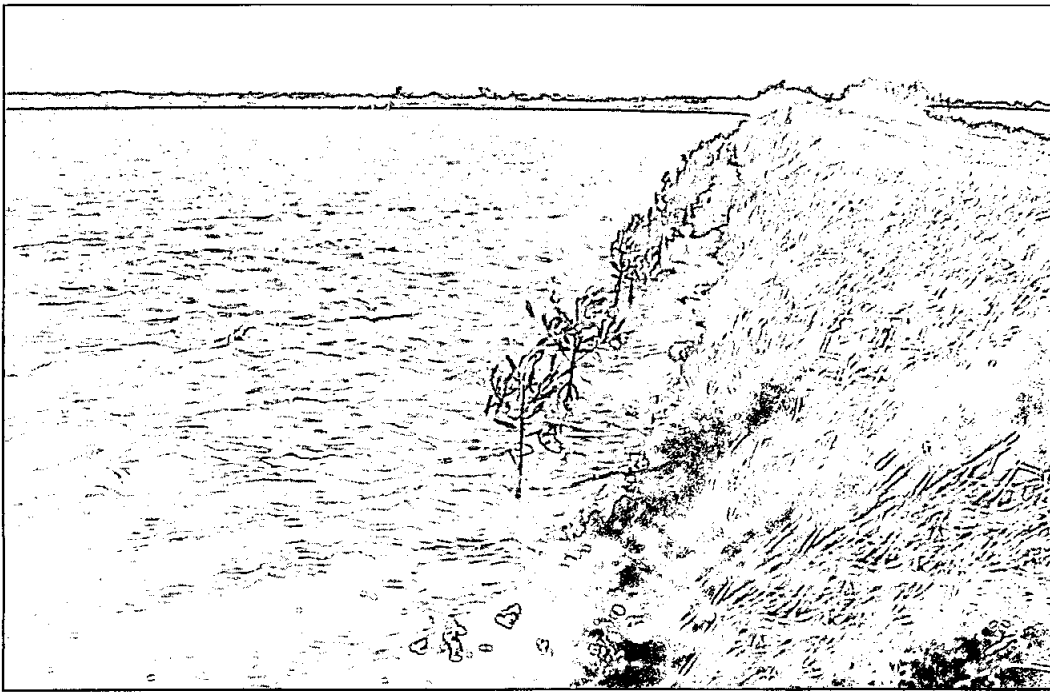


Figura 2.1. La borda de un estanque (25 ha espejo de agua) para el cultivo de camarones de mar. La borda está sembrada con árboles de mangle. El ancho del dique permite el paso de vehículos y la grama protege el suelo de la erosión.

Pero ¿por qué necesitamos construir estanques? Debido a que es necesario que el recipiente reúna algunas características especiales para que pueda ser utilizado en la producción eficiente de peces cultivados.

En primer lugar, el recipiente tiene que tener un sistema de drenaje para poder vaciarlo completamente cuando sea necesario. Por ejemplo, con frecuencia al terminar un cultivo, se realiza la cosecha total de peces por drenar completamente el estanque.

Tener el estanque sin agua durante unos días entre los ciclos de producción permite una oxidación parcial de la materia orgánica acumulada en los sedimentos del fondo. Esto contribuye a crear mejores y más sanas condiciones para el próximo ciclo de producción. En algunas fincas los fondos en seco son encalados y tratados con agua clorada para promover condiciones alcalinas y la eliminación de micro-organismos patógenos potenciales para los peces o camarones.

Además, el fondo del estanque debe estar libre de obstáculos, como los troncos y piedras. Cualquier obstáculo físico interferiría con el manejo normal del cultivo (trabajo con los chinchorros y otras redes). El fondo del estanque debe tener un desnivel suave y uniforme hacia el tubo de evacuación permitiendo su vaciado completo.

Debe haber un sistema para controlar y regular la entrada de agua al estanque. El tubo o canal de entrada debe estar en proporción al área y volumen del agua en el sistema.

Por ejemplo, no se colocaría una válvula y tubo de entrada de 15cm de diámetro para llenar un tanque con 100m<sup>3</sup> de volumen. Tampoco se colocaría un tubo de 10cm de diámetro para la entrada de agua en un estanque de 15ha de extensión. Para un manejo adecuado de los cultivos se requiere una infraestructura que permita llenar y vaciar cada estanque en un tiempo razonable.

Así pues, no es cualquier recipiente que puede servir para criar y engordar peces o camarones.

### **Planeamiento y construcción**

**Planeamiento.** Los siguientes son los pasos más importantes en el planeamiento y construcción de un estanque formado con diques de tierra. Estos son pasos muy importantes para establecer un proyecto exitoso y rentable. Muchos de los defectos o problemas en proyectos acuícolas tienen su origen en una planificación errónea, o en una mala construcción de los estanques.

La etapa de planeamiento es probablemente la etapa más importante para una persona que piensa empezar un proyecto acuícola. Los estanques bien planeados y situados en lugares adecuados resultan más económicos en cuanto su construcción, más fáciles de manejar, y más productivos. Al seleccionar un sitio para la construcción de estanques, se busca un lugar que reúna las siguientes características.

1. **Fuente de agua: el terreno escogido debe contar con una fuente de agua, preferiblemente permanente durante todo el año, de cantidad suficiente, y de una calidad adecuada.** El agua representa el ingrediente principal del cultivo. La cantidad y calidad del agua requeridas, dependerán en la especie a cultivar y del tipo de manejo empleado en los sistemas de producción.

Se puede aprovechar de las aguas subterráneas (pozos y manantiales) que tienen las ventajas de no traer peces nativos ni contaminantes, normalmente. Sus desventajas son que comúnmente tiene que bombear el agua, y es agua que contiene muchos minerales y poco oxígeno en solución.

Las aguas superficiales (de quebradas, arroyos, ríos y lagos) traen peces nativos y pueden ser contaminadas fácilmente. Existe la posibilidad de manejar el agua superficial por gravedad, y usualmente tiene cierta concentración de oxígeno en solución. No es aceptable utilizar agua potable en proyectos piscícolas.

2. **Un suelo arcilloso: El terreno escogido debe tener un suelo impermeable conteniendo entre 15 a 20% de arcilla.** Para formar diques fuertes, resistentes e impermeables, se requiere trabajar en un suelo arcilloso. La cantidad de arcilla en el suelo para formar los diques es algo subjetivo. Esta recomendación puede variar mucho, de lugar a lugar, y mejor consulte con un profesional que conozca los suelos locales. Evite lugares donde hay capas de grava y arena, también los pedregales. El suelo utilizado en la construcción de los estanques debe ser de tal calidad para retener el agua y no permitir su filtración.
3. **El terreno escogido debe contar con una topografía adaptable a la construcción de estanques.** En lugares quebrados, los estanques tienen que ser pequeños para evitar mayores movimientos de tierra, y consecuentemente, elevados gastos de construcción. El sitio ideal tendrá un desnivel uniforme entre 0.5 y 1.0%. Así la tierra que se excava en la parte superior será utilizada al formar los diques en la parte inferior del terreno. En terrenos planos (con cero desnivel) la tierra excavada se emplea en levantar un dique perimetral.

6. **Arreglos manuales.** Al terminar la construcción de los diques, siempre son necesarios algunos trabajos manuales. Hay que arreglar bien el talud, compactar, nivelar y rellenar en diferentes lugares, recoger basura y materiales de construcción, y hacer otros trabajos.

7. **Sembrar grama sobre la corona y talud seco.** Para estanques formados en tierra dulce, cuanto antes hay que sembrar grama sobre la corona y todo el lado seco del dique (talud exterior). La vegetación ayudará a evitar la erosión del suelo y protegerá el dique por muchos años. Se recomienda el *Paspalum notatum* como una especie local adecuada para engramar a los diques. Es una gramínea de rápido crecimiento, la planta no es muy alta, compite bien con las malezas y resiste el pisoteo.

### Recomendaciones generales

Para terminar esta sección, se presentan a continuación algunas recomendaciones generales sobre la construcción de estanques:

- Los estanques no deben ser ni muy profundos ni muy superficiales. La profundidad del agua tiene muy poca relación con la productividad del estanque y partes profundas interfieren con el manejo del cultivo. Los lugares de aguas superficiales son propicios para el crecimiento de las malezas acuáticas. Se recomienda profundidades de agua entre 75 y 175cm en un estanque planeado y construido para la piscicultura.
- Es mejor diseñar todos los estanques con el mismo ancho, así usted puede comprar una sola red que servirá en todos.
- El sistema de drenaje debe permitir la salida primero del agua del fondo. Este es el agua con la menor concentración de oxígeno disuelto y con la mayor concentración de los desechos metabólicos del cultivo. Con este arreglo, al renovar el agua del cultivo, se eliminaría primero el agua del fondo, dejando el agua superficial con su mayor contenido de oxígeno disuelto y comunidad de organismos benéficos (plancton) en el estanque.
- En la construcción de estanques, la experiencia vale de mucho. Es recomendable consultar con personas experimentadas en este trabajo.
- Se recomienda realizar una visita a cada estanque diariamente. Se debe revisar los diques para detectar cualquier filtración de agua. Además, sirve para regular la cantidad de agua entrando en cada cultivo. El mejor momento para visitar los estanques es en la madrugada del día.

- Mantenga cortada la vegetación alrededor de cada estanque. Este detalle facilitará los trabajos rutinarios en el manejo de cada cultivo. Elimine las malezas de los diques, especialmente las especies con espinas.
- ¿Es mejor construir estanques grandes o pequeños? Los estanques pequeños son más fáciles de manejar. Su costo de construcción por unidad superficial de agua es mayor y se pierde mucho campo en la construcción de los diques.
- Los estanques grandes son más económicos en construir (por unidad de área superficial de agua) y se pierde menos área del terreno en la formación de los diques. El manejo de los estanques grandes es, frecuentemente, más difícil que manejar estanques pequeños, y a veces requiere equipos especiales y costosos.
- Como regla general, con un manejo más intensivo del cultivo de peces, el área de espejo de agua del estanque será menor. Los cultivos intensivos requieren de un manejo estricto de la calidad del agua para cuidar el bienestar de los organismos. Este tipo de control no es posible empleando estanques de grandes dimensiones (por ejemplo en estanques mayores de un hectárea de área superficial). Ordinariamente, los cultivos intensivos de peces se llevan a cabo en unidades de 4000 m<sup>2</sup> o menos de área.



Figura 2.6. Un dique bajo construcción. A la izquierda se ve una serie de canales revestidos de concreto, cada uno de 500 m<sup>2</sup> de área, para el cultivo intensivo de peces.



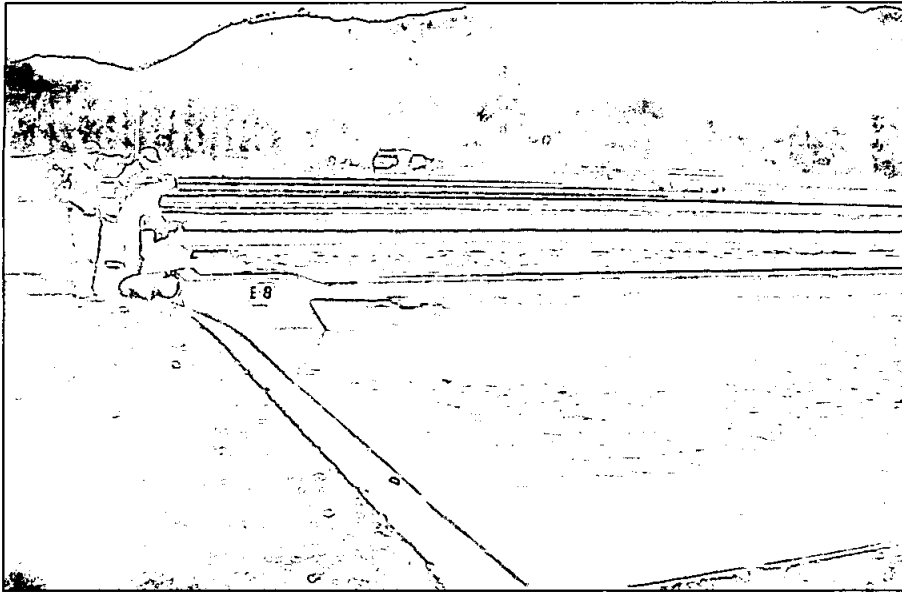


Figura 2.7. La vista de canales revestidos de concreto utilizados en el cultivo intensivo de peces. Las personas están paradas por la entrada de agua del canal. El recambio de agua es equivalente a unos 200 a 300% por hora en cada unidad de producción.



Figura 2.8. Unos estanques revestidos por lámina de plástico.

### Cultivo de peces en jaulas

Los peces y otros organismos acuáticos pueden ser cultivados en jaulas de varias formas y tamaños. El uso de jaulas permite cultivar peces en cuerpos naturales o artificiales de agua que no sirven para otro tipo de acuicultura.

Las jaulas pueden ser fabricadas de una variedad de materiales naturales y sintéticos. Los materiales sintéticos típicamente son importados, tienen precios elevados, y pueden durar muchos años en el agua. Los materiales locales son mayormente naturales (bambú u otra madera), de precio cómodo, pero que tienen una duración limitada en el agua. Los lados y el fondo de la jaula, hechos de malla o reglas de madera, dejan pasar el agua, retienen los peces de cultivo adentro y mantienen los peces silvestres afuera.

No todas las especies de peces se adaptan a las condiciones de la jaula. La tilapia, carpa y varias especies de silúros son peces que sí se adaptan con facilidad al confinamiento en una jaula.

La ubicación de las jaulas es un punto importante. El oleaje y las corrientes fuertes de agua pueden dañar las jaulas físicamente. Las aguas ricas en nutrientes y algas (= aguas verdes) pueden contribuir significativamente a la nutrición de los peces omnívoros.

Típicamente el crecimiento de los peces en las jaulas depende casi exclusivamente en la calidad y cantidad de la dieta artificial ofrecida. Como que la jaula limita el movimiento de los peces, prácticamente toda su nutrición proviene del alimento concentrado que consumen.

Es muy importante utilizar alimentos fabricados físicamente en píldoras o comprimidos ("pelets"), no en forma de polvo, en cultivo de peces en jaulas. Una fracción de los alimentos pulverizados, y también de los peletizados, puede pasar por la malla y salir de la jaula.

Es fácil para un ladrón sacar una jaula de un lago y llevarse todos los peces. También, una ruptura o daño físico en la malla puede resultar en el escape de los peces y una pérdida económica importante para el piscicultor.

Generalmente por debajo de una jaula se acumula alimento no consumido y material fecal de los peces. Esta acumulación de materia orgánica puede provocar cambios importantes en la comunidad del bentos y resultar en un proceso de eutroficación de las aguas locales.

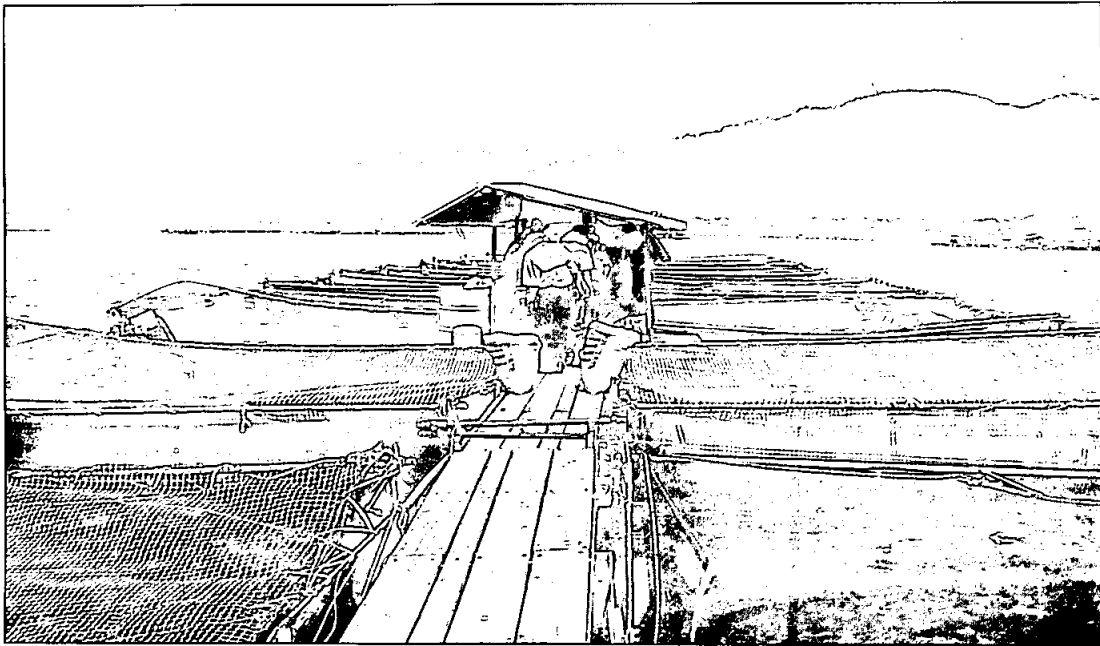


Figura 2.9. Foto de una plataforma rodeada por jaulas comerciales para el cultivo de tilapia. Cada jaula tiene un espacio útil de aproximadamente  $100 \text{ m}^3$  para engordar tilapia hasta unos 500 g peso promedio en ciclos de 10 meses.

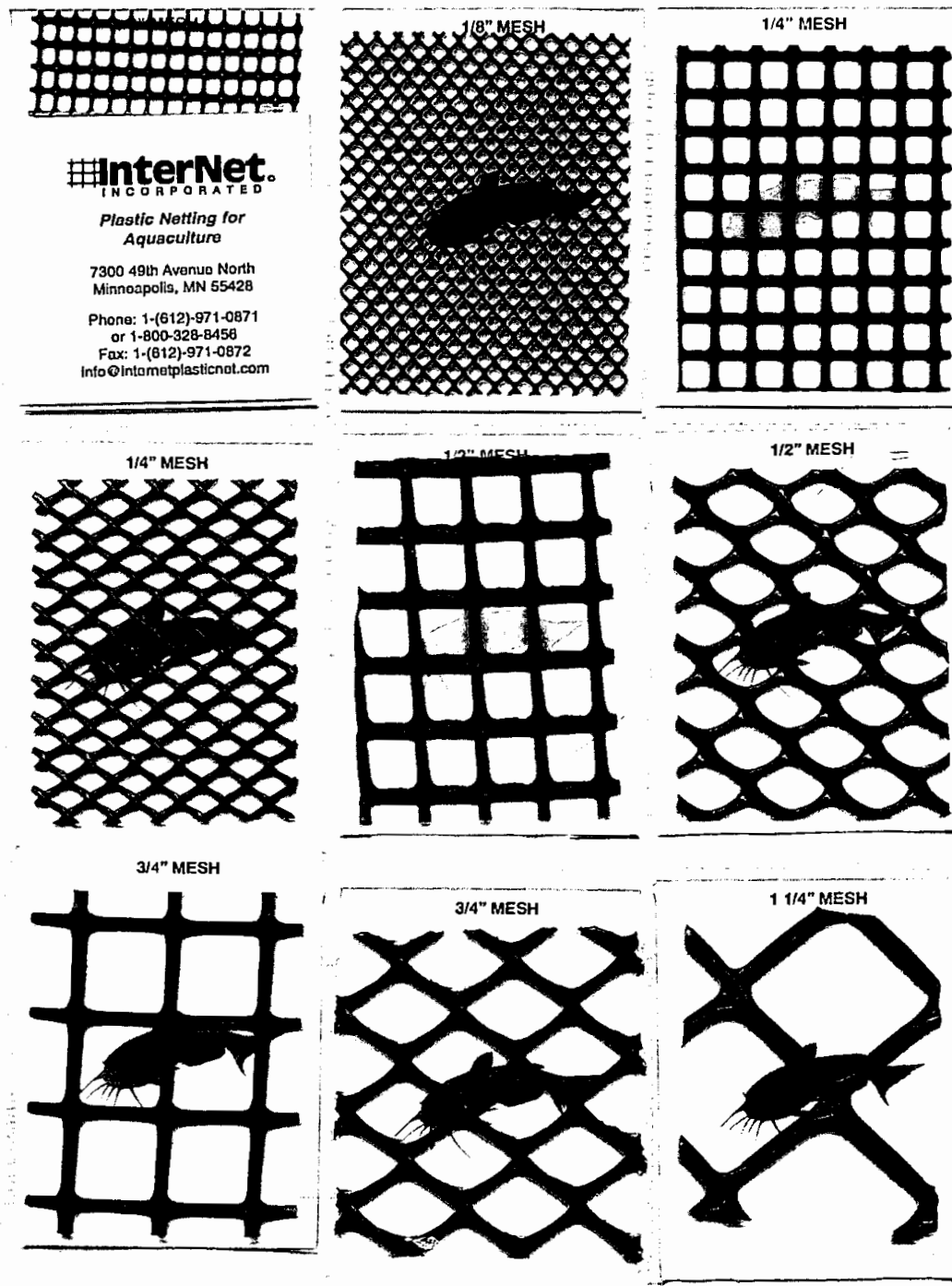


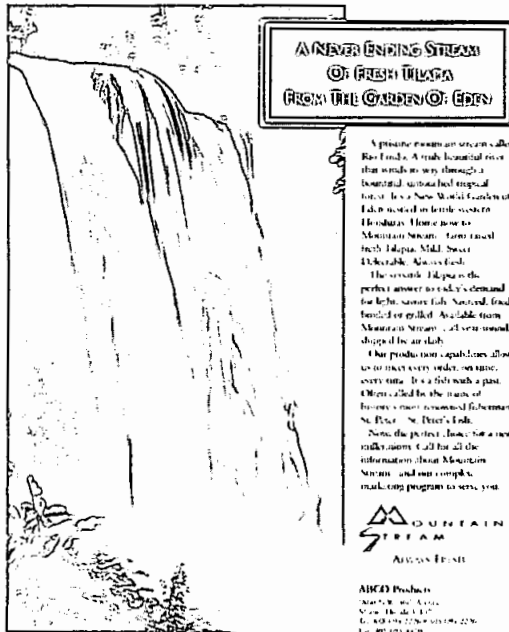
Figura 2.10. Una fotografía de mallas de plástico de varias medidas útiles en la fabricación de jaulas para el cultivo de peces. Estas mallas tienen precios en el rango de USD 40 a 90 por cada rollo de 1.20 x 16 m.

## Referencias

- BRIDGER, C.J. and B.A. COSTA-PIERCE, editors. 2003. Open Ocean Aquaculture: From Research to Commercial Reality. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, USA. 351 pp. Un excelente compendio de información útil y actualizada sobre la acuicultura en el mar abierto.
- CHRISTIANSEN, M.S. 1989. Techniques and Economics of Intensive Cultivation of Jelawat and Lempan Carp in Floating Cages: a Handbook for Extension Workers and Farmers. Deutsche Gesellschaft für Zusammenarbeit (GTZ), Postfach 5180, D-6236 Eschborn 1, Germany. 138 pp. Un folleto que trata de las técnicas en Asia para el cultivo de peces nativos en jaulas.
- SHILO, M. and S. SARIG (editors). 1989. Fish Culture in Warm Water Systems: Problems and Trends. CRC Press, Boca Ratón, Florida, USA. 259 pp. Este libro es un compendio de información sobre el cultivo de peces en sistemas manejados con agua cálida, con ejemplos de Israel y otras partes del mundo.

## Capítulo 3. Calidad del Agua

La calidad del agua incluye todos los variables físicos, químicos y biológicos que influyen en la producción de especies acuáticas. Las prácticas de manejo de cultivos de peces y camarones tienen como objetivo mantener las condiciones químicas y biológicas (concentraciones de nutrientes en el agua, una floración de algas, la densidad de siembra, etc.) adecuadas en el medio.



Los factores físicos relacionados con el tiempo y clima son poco controlables en la producción agrícola. Para diferenciar entre los dos términos, "tiempo" incluye los cambios atmosféricos en períodos cortos de tiempo (día a día) y el "clima" trata de los patrones principales de cambio a largo plazo, de 12 meses o más. Esto último, señala la importancia de la selección del sitio (latitud, temperatura promedio anual, patrones de precipitación, etc.) y de la especie para cultivar, en hacer la planificación de un proyecto nuevo y en programar el manejo de los cultivos.

El buen crecimiento de los organismos acuáticos depende en gran parte en la calidad del agua del cultivo. Múltiples factores pueden interactuar (o raramente, actuar solos) para alterar las propiedades físico-químicas del agua. Un cambio repentino de la temperatura o de la concentración de oxígeno disuelto en el agua (por ejemplo, durante el transporte de los alevines o de post-larvas de camarón) puede resultar en una mortalidad masiva de los animales. Cambios menos drásticos pueden afectar la capacidad de los organismos de resistir los patógenos que siempre están presentes en el agua del cultivo. Problemas crónicos con condiciones sub-óptimas resultarán en un ritmo lento de crecimiento y una mayor tasa de mortalidad, tanto de los peces como de los camarones cultivados.

Para lograr una buena producción, es necesario mantener las condiciones ambientales del agua dentro de los límites de tolerancia para la especie siendo cultivada. Se logrará una producción máxima cuando todos los factores que influyen sobre el desarrollo del organismo se acercan a su punto óptimo (con "condiciones óptimas").

La decisión de emplear o no una práctica cultural en el manejo de un cultivo debe ser tomada sobre una base de información cuantitativa y confiable. El análisis periódico del agua, permite acumular datos importantes que describen las condiciones actuales, y que pueden indicar los futuros cambios en la calidad del agua del cultivo.

¡El agua es un líquido fascinante! Tiene propiedades físico-químicas y características inusuales y bien estudiadas. Las propiedades del agua de mayor interés en la acuicultura se relacionan con los cambios en su temperatura y estado físico, los cuales ocurren según su contenido de energía. Además, varias propiedades químicas del agua tienen que ver con la concentración de gas en solución (oxígeno y bióxido de carbono) y otros parámetros importantes en el manejo de los cultivos. A continuación, se desarrolla una discusión breve sobre las propiedades físico-químicas del agua y los parámetros de calidad de agua en el contexto de la acuicultura:

1. los estados físicos del agua y la energía
2. la temperatura del agua
3. el pH del agua
4. la concentración de oxígeno disuelto en el agua
5. la concentración del bióxido de carbono en el agua
6. la concentración de amoníaco (amonio no ionizado)
7. la alcalinidad y dureza del agua
8. la salinidad del agua

### Los estados físicos del agua y la energía

El agua tiene que absorber una gran cantidad de energía para subir su temperatura. Los cambios del estado físico del agua involucran la transferencia de grandes cantidades de energía. Algunas de las propiedades físico-químicas y características de la molécula de agua son:

**Calor específico del agua = 1 g-cal/g/°C.** El calor específico de una sustancia es la cantidad de energía necesaria para cambiar su temperatura. El agua tiene una gran capacidad de absorber y almacenar calor (= energía). Los cambios en la temperatura del agua son lentos y los organismos acuáticos están adaptados a vivir con temperaturas estables. El aire tiene un calor específico mucho menor que el agua y su temperatura fluctúa en mayor grado y en menos tiempo.

**Máxima densidad del agua = 1 g/cm<sup>3</sup>@ 4° C.** La densidad es la masa de una sustancia con relación a su volumen, normalmente expresada como g/cm<sup>3</sup>. El agua es inusual porque alcanza su mayor densidad a los 4° C, antes de congelarse o convertirse en sólido. Así, el hielo es menos denso que el agua líquida, y por eso el hielo flota. La densidad del agua varía según su temperatura. A mayor temperatura las moléculas se mueven más y se reduce su densidad. Agua con sal es más densa que el agua dulce.

Cuadro 3.1. La temperatura del agua pura sin aire y su densidad.

Temperatura agua (°C)	Densidad (g/ml)
0.00	0.99987
3.98	1.00000
5.00	0.99999
10.00	0.99973
15.00	0.99913
20.00	0.99823
25.00	0.99707
30.00	0.99567
35.00	0.99406
40.00	0.99224
100.00	0.95838

**Calor latente de vaporización del agua = 540 cal/g (a 100° C).** El calor latente de vaporización es la cantidad de energía necesaria, a temperatura constante, para evaporizar una unidad de la sustancia. El agua tiene un valor muy elevada debido a los múltiples enlaces de hidrógeno formados entre las moléculas. Así, el agua absorbe una enorme cantidad de energía radiante del Sol, de la cual, una gran fracción es utilizada en el proceso de evaporación, no en cambiar su temperatura. La energía sirve para romper los enlaces de hidrógeno y convertir el agua líquida en vapor. La salinidad del agua tiende a subir su punto de ebullición.

**Calor latente de fusión = 80 cal/g (a 0° C).** El calor latente de fusión es la cantidad de energía absorbida por una sustancia en cambiar su estado físico de sólido a líquido, a temperatura constante. La salinidad y la presencia de partículas en suspensión, o sustancias en solución, tienden a bajar el punto de congelación del agua. Por ejemplo, el agua de mar, conteniendo 35,000 g de sal/m<sup>3</sup>, forma hielo a -2° C.

**El agua es considerada como un “solvente universal”.** La gran mayoría de las sustancias químicas conocidas son solubles en el agua. El agua es uno de los pocos compuestos inorgánicos que, a temperaturas ambientales normales, es un líquido. La evidencia científica indica que la vida en este mundo se originó en un medio acuoso. El agua es el mayor, o principal, componente de nuestro cuerpo, y de los cuerpos de todo ser vivo.



## La temperatura del agua

Cuando se evalúa la temperatura de alguna sustancia, se está midiendo la cantidad de energía que contiene. Las sustancias más calientes contienen más energía. Al enfriarse, la sustancia pierde energía, lo cual es percibido, como bajar su temperatura. En cuerpos naturales de agua los cambios de temperatura son graduales debido a valor elevado del calor específico del agua.

Los peces y camarones son considerados como organismos heterotérmicos o poiquilotérmicos<sup>1</sup> (= de sangre fría). Ellos no pueden mantener una temperatura elevada y constante en sus cuerpos. Así, la temperatura de sus cuerpos es una reflexión de la temperatura del agua donde viven. La temperatura corporal de peces y camarones influye en gran parte en su tasa metabólica y ritmo de crecimiento. Además, son animales adaptados a medios que sufren cambios graduales de temperatura. Los peces y camarones tropicales, o de lugares cálidos, desarrollan mejor en agua con una temperatura entre 25-32° C. En lugares con climas tropicales o subtropicales, la temperatura del agua se mantiene dentro de este rango durante todo, o durante la mayor parte, de cada año.

Debajo de 23° C su desarrollo es lento o retardado debido a un descenso en su tasa metabólica. Cuando la temperatura del agua sobrepasa los 32° C, los peces y camarones tendrán metabolismos muy acelerados. Aunque su crecimiento puede ser muy rápido, el agua caliente no tiene mucha capacidad de mantener oxígeno en solución. Esto en yuxtaposición con que es un momento cuando el pez o camarón requiere una gran cantidad de oxígeno para sostener su tasa elevada de metabolismo.

El agua de un estanque se calienta durante las horas del día al recibir energía radiante del Sol. El calentamiento del agua ocurre en su superficie. En días con mucha insolación (días calientes), el agua superficial de los estanques puede alcanzar temperaturas encima de 35° C.

Normalmente las aguas más profundas del estanque no se calientan tanto. Una temperatura de 35° C está por encima del límite de tolerancia para muchas especies acuáticas. Los peces y camarones pueden evitar las elevadas temperaturas de la superficie por nadar en las aguas más profundas del estanque.

En general, los peces y camarones no resisten cambios bruscos en la temperatura del agua. Este hecho tiene especial importancia durante el transporte o traslado de los animales. Al pasarlos de un recipiente a otro, una diferencia de tan solo 5° C en el agua puede causar una tensión fisiológica o "estrés" entre los organismos, o resultar en una mortalidad parcial o masiva de ellos. Es necesario aclimatar los peces y camarones, dándoles tiempo para adaptar a las nuevas condiciones del agua. El efecto de un cambio brusco de

---

<sup>1</sup> Algunos peces pueden mantener una temperatura constante en su cuerpo superior a la temperatura ambiental, como por ejemplo, el atún.

temperatura es más notable cuando se mueven animales de aguas frías a aguas más calientes.

### El oxígeno disuelto<sup>2</sup>

Los peces y camarones respiran el oxígeno molecular ( $O_2$ ) disuelto en el agua. La concentración de oxígeno en solución en el agua de un estanque puede ser considerada como el parámetro variable más importante en la acuicultura. De muchas maneras, el nivel de oxígeno en solución es el mejor indicador del estado general del cultivo acuícola. Es importante saber la cantidad de oxígeno en solución en el agua del cultivo y entender los múltiples factores y sus interacciones que determinan e influyen en esta concentración.

Al subir la temperatura del agua, este líquido pierde, poco a poco, su capacidad de mantener gas en solución. Entonces, es más frecuente tener problemas con concentraciones insuficientes de oxígeno durante la época más caliente del año cuando sube la temperatura del agua.

La solubilidad del oxígeno en el agua disminuye mientras baja la presión atmosférica. Es decir, a alturas mayores (sobre el nivel de mar) el agua puede mantener menores cantidades de gas en solución. El oxígeno se mantiene en solución en el agua debido a la presión atmosférica y la presión parcial de oxígeno como componente del aire. Con menos presión atmosférica, hay menos fuerza para mantener el gas en el agua. Además, incrementos en la salinidad del agua disminuyen su capacidad de tener gas en solución. Las moléculas de sal ocupan lugares en el agua donde pueden estar presentes las moléculas de oxígeno. Como consecuencia, el agua de mar tiene una menor capacidad de mantener un gas en solución que el agua dulce.

Para resumir los puntos importantes, los problemas con niveles bajos de oxígeno en el agua se presentan más frecuentemente durante la época más caliente del año, en lugares de mayores elevación, y con una mayor cantidad de sal en solución en el agua. Todos estos factores influyen en la solubilidad de oxígeno en el agua.

---

<sup>2</sup> La concentración de oxígeno disuelto en el agua se mide o se expresa en varias formas. La más común es como "partes por millón" (ppm), la cual es equivalente a 1 mg por litro o a 1 gramo por  $m^3$  de agua.

Cuadro 3.2. La solubilidad del oxígeno molecular en agua a diferente temperatura.

°C	ppm	°C	ppm	°C	ppm	°C	ppm
0	14.16	11	10.67	22	8.53	33	7.22
1	13.77	12	10.43	23	8.38	34	7.13
2	13.40	13	10.20	24	8.25	35	7.04
3	13.05	14	9.98	25	8.11		
4	12.70	15	9.76	26	7.99		
5	12.37	16	9.56	27	7.86		
6	12.06	17	9.37	28	7.75		
7	11.76	18	9.18	29	7.64		
8	11.47	19	9.01	30	7.53		
9	11.19	20	8.84	31	7.42		
10	10.92	21	8.68	32	7.32		

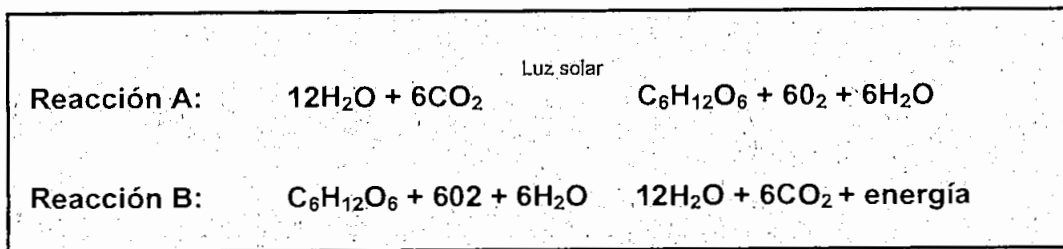


Figura 3.2. La reacción resumida para la fotosíntesis y la respiración aeróbica. Ambos procesos son importantes para determinar la concentración de oxígeno disuelto en un cuerpo de agua.

**Fotosíntesis.** El proceso de fotosíntesis, realizado por las algas y otras plantas verdes, produce o supe oxígeno molecular al agua y a la atmósfera de la Tierra (Reacción A). El aire de la tierra contiene mayormente gas nitrógeno ( $N_2$ ) y en menor concentración el gas oxígeno ( $O_2$ ). El oxígeno molecular presente en la atmósfera es producto de la actividad fotosintética de las plantas verdes, tanto de las especies terrestres como las acuáticas, incluyendo una gran contribución de las algas.

Todos los organismos aeróbicos, los que requieren el oxígeno molecular en sus procesos metabólicos, utilizan el oxígeno en forma continua durante todas sus vidas en la respiración aeróbica (Reacción B). Entre los organismos aeróbicos están los animales, las mismas plantas verdes, y muchos tipos de microorganismos.

La fotosíntesis resulta en la producción de oxígeno molecular. Además, las plantas verdes consumen bióxido de carbono en el proceso para auto-sintetizar sus propios "alimentos" en la forma de los carbohidratos. La producción de oxígeno molecular por la actividad fotosintética de algas es la principal fuente de oxígeno en cuerpos de agua estática usados en la acuicultura. Las algas son importantes alimentos naturales para algunas especies de peces.

**Difusión.** Otro proceso que contribuye oxígeno al agua es la difusión.<sup>3</sup> El aire siempre contiene una mayor concentración de oxígeno que el agua. Por ejemplo, a saturación a  $10^\circ C$ , el agua contiene 11 mg de oxígeno/L, mientras en el aire habrán aproximadamente unos 260 mg/L. Entonces, casi siempre existe un gradiente de concentraciones favoreciendo la difusión de moléculas de oxígeno a pasar desde el aire al agua.

El proceso de difusión puede suplir  $O_2$  al estanque en cualquier momento del día, mientras fotosíntesis contribuye oxígeno solamente durante las horas de luz. Durante las horas de la tarde en días con mucha insolación solar, el agua fértil de un estanque puede llegar y sobrepasar a su capacidad máxima de aguantar oxígeno en solución (= punto de saturación). Por ratos, el agua puede estar supersaturada con un gas (contener más gas de lo que puede aguantar). Bajo condiciones de super-saturación, existirá un gradiente favoreciendo la difusión de  $O_2$  desde el agua del estanque a la atmósfera. Esta es una condición normal en las horas de la tarde del día, y en cuerpos de agua fértil conteniendo una gran cantidad de algas ("agua verde").

El proceso de difusión es limitado por la alta densidad del agua y el movimiento lento de las moléculas de oxígeno a través del medio acuoso. La difusión de oxígeno ocurre únicamente donde el agua y el aire están en contacto. En un cuerpo de agua estática, solamente el agua superficial recibe oxígeno por difusión. Muchas veces el efecto neto de la difusión es mínimo. Cualquier factor

---

<sup>3</sup> Difusión es la tendencia de las moléculas de cualquier sustancia de querer separarse en el espacio. Debido a que el aire contiene una mucho mayor concentración de oxígeno que el agua, las moléculas de  $O_2$  en el aire tienden a difundirse al agua.

o proceso que aumente el área y tiempo de contacto entre el agua y el aire, incrementará la transferencia de  $O_2$  por el proceso de difusión.

El viento y el oleaje ayudan a remover y revolver la capa superficial de agua en contacto con el aire, y promueven una circulación del agua del estanque y una mejor oxigenación por difusión. Por eso, no es aconsejable sembrar árboles alrededor de los estanques. Los árboles actuarán como un rompe-viento.

El viento es un aliado del acuicultor. Ahora, un viento y oleaje demasiado fuertes harán daño a la estructura física de los estanques (erosión de los diques).

Los varios modelos y tipos de aireadores utilizados en la acuicultura funcionan a base de estos principios. Algunos diseños incrementan la difusión por un proceso donde el agua es bombeada o tirada al aire. Si la máquina logra separar el agua en gotas diminutas y las tire con gran fuerza, habrá un buen intercambio de  $O_2$  al pasar por el aire y caerse de nuevo en el estanque.

Otros modelos de aireadores funcionan comprimiendo el aire y forzándolo por un sistema de tubos perforados y sumergidos. El aire sale por las perforaciones y sube a la superficie, cediendo  $O_2$  al agua en el camino.

La fotosíntesis representa el proceso natural de mayor importancia en introducir oxígeno al agua de un estanque dedicado al cultivo de peces o camarones. Esta introducción de oxígeno es únicamente durante las horas de luz de cada día. En las horas de la tarde es cuando se encuentran los niveles más elevados de oxígeno disuelto en el agua.

En la noche, tanto las algas como todos los animales habitantes del estanque utilizan el oxígeno en procesos de respiración. A partir de la anochecer, la concentración del oxígeno en el agua desciende hasta que se levanta el Sol en la mañana siguiente y comienza de nuevo el proceso de Fs.

En resumen, la actividad fotosintética incrementa la concentración de oxígeno en el agua durante las horas de luz. La cantidad de  $O_2$  que contribuye depende en la fertilidad del agua, la intensidad y duración de la radiación solar, y en la composición (tipos y cantidades) de las algas formando la comunidad del fitoplancton. Normalmente se observa la mayor concentración de oxígeno disuelto en las horas de la tarde y en las aguas superficiales del estanque. Es en esta capa superficial de agua, donde reside la mayor parte del fitoplancton del estanque.

Los patrones de precipitación en Centro América son estacionales. Las lluvias torrenciales, las cuales son comunes en esta región del mundo, provocan una fuerte erosión de los suelos. El suelo erosionado es transportado en las aguas superficiales por escorrentía sobre los terrenos. La entrada de aguas con arcilla, y otras partículas del suelo en suspensión, en un proyecto acuícola resulta en aguas turbias, en la cual no habrá una adecuada penetración de la luz solar para promover el proceso de fotosíntesis.

También en la época lluviosa del año, la intensidad de la luz solar se reduce debido a la alta nubosidad del cielo. Bajo estas condiciones, la producción de oxígeno durante el día será reducida, y las fluctuaciones normales en los niveles de oxígeno en el agua cambiarán.

Observando bien su comportamiento, la tilapia y otras especies de peces y crustáceos, indican cuando el nivel de oxígeno en el agua es deficiente o crítico. Típicamente en las horas de la mañana, los peces aparecen en la superficie del agua con la parte superior de su cabeza y bocas expuestas al aire. Los peces están "boqueando" ("piping" en inglés), o sea, tragando un poco de aire con el agua superficial del estanque.

De nuevo, el agua de la superficie gana oxígeno por difusión y en momentos de déficit, es la capa con la mayor concentración. Los camarones penéidos también nadan en la superficie para intentar respirar el oxígeno atmosférico cuando no hallan suficiente en el agua del estanque. Adultos de *Macrobrachium rosenbergii* (el camarón de río, o de agua dulce) intentan salir del estanque, saltando desde el agua a la grama en la orilla de los estanques, en momentos cuando no encuentran oxígeno suficiente en solución para su respiración.

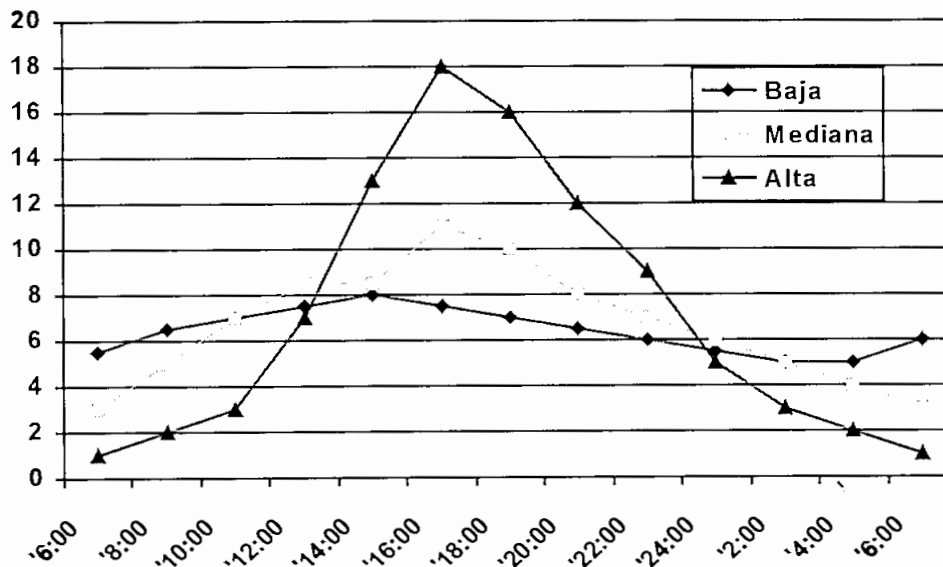


Figura 3.3. Los patrones para la fluctuación diaria de la concentración de oxígeno disuelto en el agua (ppm) con una baja, mediana, o alta floración del fitoplancton.

### Recomendaciones para el manejo del oxígeno disuelto:

1. Intente establecer y mantener una floración de algas en el agua del estanque de cada cultivo. El fitoplancton provee oxígeno y sirve de alimento natural en la nutrición de muchas especies de peces y camarones.
2. Hay que evitar una floración muy fuerte de algas en el agua del cultivo. El agua debe tener una coloración verdosa. Se puede sacar un poco de agua en una botella de vidrio transparente y su color verde debe ser obvio. Ciertos tipos de algas no son verdes, sino de color café o café-dorados. La turbiedad debido a la arcilla en suspensión es indeseable en la acuacultura. Con la experiencia, se aprende a diferenciar entre la turbiedad buena por presencia de algas, y la mala debido a arcilla.

Un objeto bajado en la columna de agua debe desaparecer a una profundidad de unos 30 cm cuando existe una adecuada floración del fitoplancton. Agua muy transparente (con una visibilidad >50 cm) indica poca fertilidad, y pocas algas en el agua. Cuando el objeto bajado desaparece muy cerca de la superficie (una visibilidad de <15 cm), indica una exagerada fertilidad y una altísima densidad de algas en el agua. Es malo permitir el desarrollo de una película de algas en la superficie del estanque.

Una acumulación de algas como una película, representa una situación inestable y peligrosa para el cultivo. La película de algas reduce la penetración de luz en el agua e interfiere con el proceso normal de fotosíntesis. Puede bloquear tanta luz que se mueren las algas por debajo de la superficie resultando en una repentina y drástica reducción del oxígeno disponible para los peces o camarones.

3. Evita la introducción de agua con mucha arcilla en suspensión al estanque. La arcilla reduce la penetración de luz y limita el proceso de Fs.
4. Esté preparado para cualquier emergencia con respecto al oxígeno disuelto. En caso de detectar niveles críticos, se puede renovar el agua del estanque dejando entrar agua con una alta concentración de oxígeno.
5. El diseño del sistema de drenaje debe permitir que el agua del fondo sale primero del estanque. El agua del fondo contiene menos oxígeno que el agua superficial, y una mayor concentración de amoníaco y otros desechos del metabolismo de los peces y camarones.
6. Los momentos más críticos en manejar los niveles de oxígeno en los estanques es en la madrugada de cada día y durante los últimos días o semanas de cada ciclo de producción. La fluctuación normal de oxígeno en el agua resulta en las concentraciones menores después de la

medianoche. A lo largo de los meses de cada ciclo, el agua del estanque adquiere una fuerte fertilidad y fuerte floración de algas. Poco a poco, el sistema se vuelve menos estable por el gran consumo de oxígeno en cada noche, y la gran producción de oxígeno durante las horas de luz.

Cualquier factor que interfiere o disminuye la tasa fotosintética del fitoplancton en el día, puede causar una mortalidad de los organismos del cultivo en la madrugada del día siguiente. En el caso de provocar una mortalidad por falta de oxígeno suficiente, son los organismos grandes los que mueren primero, normalmente.

### Aireación artificial

Para incrementar artificialmente la concentración de oxígeno en solución en unidades de producción acuícola, hay varios principios y fundamentos a entender. La aireación artificial tiene el propósito de promover la difusión de oxígeno del aire al agua del cultivo. Hay dos maneras de realizar eso. Se puede forzar el aire a través del agua, o tirar el agua al aire!

En forzar el aire a través del agua, lo que se quiere hacer es mover un gran volumen de aire a través de un sistema de distribución que termina en pequeños orificios por debajo de la superficie de agua. Es preferible en la acuicultura utilizar "sopladores" en vez de compresores de aire. Los compresores típicamente comprimen el aire a gran presión, pero mueven poco volumen a través del sistema de distribución. Los sopladores trabajan a baja presión y son capaces de mover grandes volúmenes de aire de manera eficiente.

El volumen de aire que sale de los orificios sumergidos depende en la fuerza del soplador, el diámetro de los tubos de distribución y de los mismos orificios de salida, y la profundidad en el agua donde emerge el aire en las burbujas. Los tubos de distribución y los orificios de menor diámetro, producen una mayor resistencia en el sistema, y menos aire será impulsado al agua.

La transferencia de oxígeno del aire al agua es con relación a: 1) el volumen de aire movido por el sistema; 2) la relación entre el área superficial y volumen de cada burbuja, y 3) el tiempo que la burbuja está en contacto con el agua (tiempo para subir y llegar a la superficie del agua). Formando burbujas más pequeñas (de menor diámetro) requiere más fuerza del motor y crea más resistencia en el sistema de distribución, pero resulta en una difusión mucho más efectiva de  $O_2$  al agua del cultivo.

La difusión del  $O_2$  al agua es por la superficie de cada burbuja. La transferencia del  $O_2$  al agua es mucho más eficiente desde burbujas pequeñas, no grandes. Pero formar burbujas pequeñas requiere una fuerza mayor (motor más grande) y un gasto mayor de energía por parte del soplador.



Una burbuja de 20mm diámetro tiene un área superficial de  $1260\text{mm}^2$  y volumen de  $4190\text{mm}^3$ , aproximadamente. La proporción entre su área superficial y volumen es de  $0.3\text{mm}^2$  por  $\text{mm}^3$  de volumen.

La burbuja de 20mm contiene aire suficiente para formar 296 burbujas más pequeñas de 3mm de diámetro, cada una. El área superficial de todas estas burbujas pequeñas suma a  $8360\text{mm}^2$ , o 6.6 veces superior de la grande. La proporción entre el área superficial total y volumen de estas burbujas será de  $1.99\text{mm}^2$  por  $\text{mm}^3$  de volumen.

Con las burbujas más pequeñas, habrá una mucha más rápida y eficiente transferencia del  $\text{O}_2$  del aire al agua. Se recomienda el uso de sistemas de aireación con sopladores y orificios de salida para formar burbujas de 3mm diámetro aproximadamente.

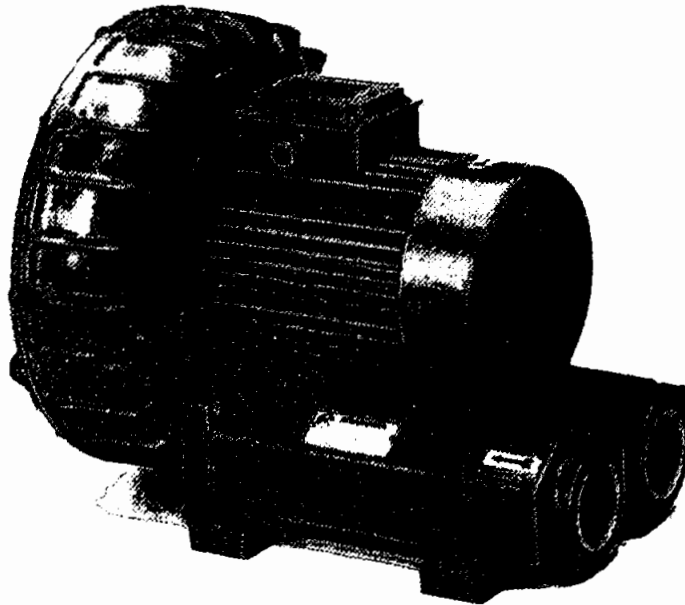


Figura 3.4. Un soplador de aire para usar en la acuicultura. Típicamente los sopladores mueven un mayor volumen de aire y trabajan a una baja presión (< 30 psi), en comparación con los compresores.

### El pH

El pH representa una medida de la concentración de iones de hidrógeno, o protones ( $H^+$ ), en el agua. El valor de  $pH = -\log[H^+]$ , o es igual al logaritmo negativo de la concentración de protones presentes en una muestra de agua.

La escala de pH es de 0 a 14. Un valor de siete es considerado neutro. Los valores por debajo de siete indican una concentración elevada de protones y condiciones de acidez. Los valores arriba de siete indican una baja concentración de protones y condiciones básicas o alcalinas.

El pH de aguas naturales es modificado en gran parte por la concentración de bióxido de carbono en solución. El  $CO_2$  actúa como ácido en el agua. Su acumulación tiende a bajar el pH del agua provocando la formación de protones adicionales.

Reacción de  $CO_2$  en el agua:



Durante las horas del día, las algas utilizan el  $CO_2$  en realizar fotosíntesis, su concentración se reduce y como consecuencia, sube el pH del agua. En la noche no hay actividad fotosintética. La respiración de los organismos aeróbicos (peces, camarones, fito- y zooplancton, bacterias y otros) produce  $CO_2$  y su concentración aumenta hasta la mañana del día siguiente. Los valores de pH más bajos en el agua de un estanque son encontrados en las horas de la madrugada.

### El bióxido de carbono

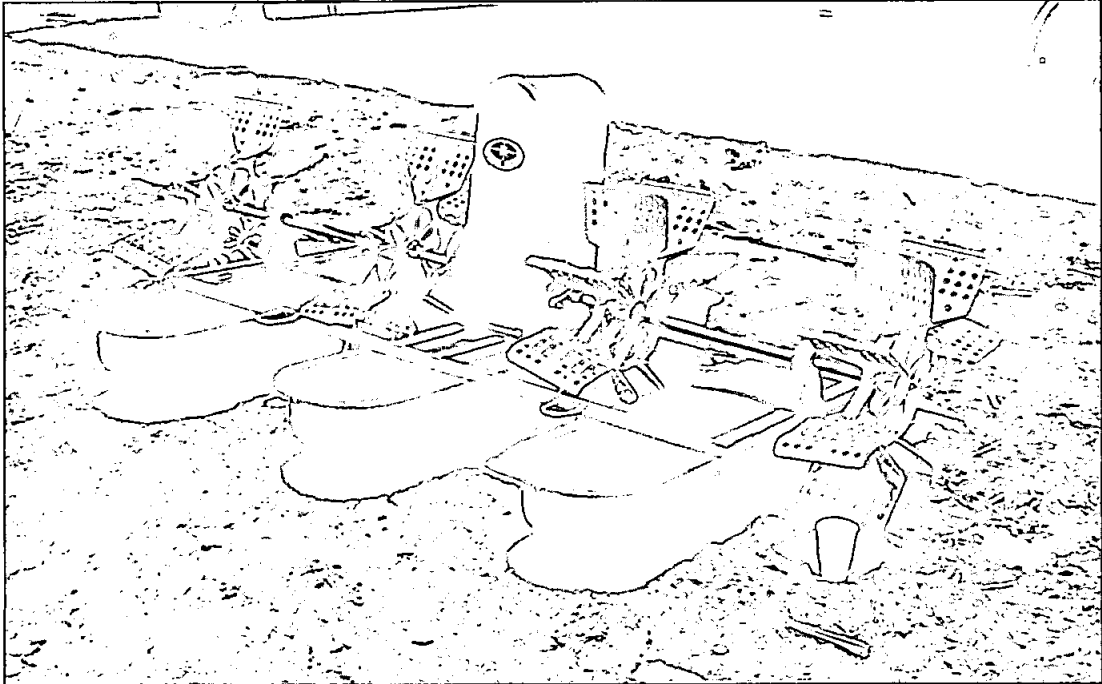
El  $CO_2$  está presente en la atmósfera en baja concentración (0.03%), y es muy soluble en el agua. El  $CO_2$  en el agua es el producto de la respiración aeróbica de los organismos, tanto de las plantas como de los animales. El bióxido de carbono es utilizado por las plantas verdes en fotosíntesis. En aguas fértiles, las algas realizan toda o la gran mayoría de la actividad fotosintética.

Los peces pueden tolerar concentraciones elevadas de  $CO_2$  en el agua mientras hay suficiente  $O_2$  para su respiración. Pueden sobrevivir hasta concentraciones de 60 ppm de  $CO_2$ . Lamentablemente en la piscicultura, cuando se experimentan concentraciones elevadas de  $CO_2$  en el agua, casi siempre el oxígeno esté presente en concentraciones mínimas (< 1.00 ppm).

El  $CO_2$  interfiere con el normal proceso de absorción de  $O_2$  por los peces. La acumulación de  $CO_2$  en el agua indica muchas veces, una cesación del proceso fotosintético en el estanque. En estas circunstancias, no habrá

producción de  $O_2$  por el fitoplancton y en seguida, no habrá suficiente oxígeno para la respiración de los peces.

Los problemas con altos niveles de  $CO_2$  son comunes cuando existe una floración exagerada de algas en el estanque. Si ocurre una mortalidad de estas algas, resultará en niveles particularmente elevados de  $CO_2$  en el agua debido a la falta de una producción de  $O_2$  por Fs, y una aumentada liberación de  $CO_2$  por el proceso de descomposición de las algas muertas.



### El amoníaco y amonio

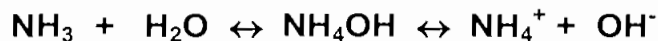
El amoníaco o el amonio no-ionizado ( $\text{NH}_3$ ) es el producto principal del metabolismo de proteína en peces, crustáceos y otros organismos acuáticos. También las bacterias excretan  $\text{NH}_3$  como producto de la descomposición de la materia orgánica en medios acuosos. El amoníaco proviene específicamente del proceso catabólico de desaminación de los aminoácidos (AAs). El  $\text{NH}_3$  es una sustancia química muy tóxica a la vida animal.

El amoníaco en el agua aumenta el consumo de oxígeno por los tejidos de peces y camarones, daña a las membranas delicadas de sus branquias y disminuye la capacidad de la sangre a transportar oxígeno. La exposición prolongada y sub-letal a amoníaco en el agua, aumentará la susceptibilidad de los peces y camarones a una variedad de enfermedades. El ciclo biogeoquímico para nitrógeno en sistemas acuáticos es muy similar para N en los suelos agrícolas.

El amoníaco presenta problemas especiales a los animales terrestres, quienes enfrentan diariamente la deshidratación. Ellos convierten el  $\text{NH}_3$  proveniente de los grupos aminos eliminados de los AAs en una variedad de desechos nitrogenados. Los mamíferos excretan urea producido por hacer reaccionar amoníacos con moléculas de bióxido de carbono. Por cada molécula de urea sintetizada, se gastan dos moléculas de ATP en el metabolismo. La urea es mucho menos tóxica que el amoníaco al animal. La urea puede ser concentrada en poca agua y excretada en la orina, conservando humedad en el cuerpo del animal terrestre.

Los peces y camarones tienen la ventaja de poder excretar sus desechos nitrogenados en la forma de  $\text{NH}_3$ , sin ninguna transformación química. El amoníaco es muy soluble en el agua y el  $\text{NH}_3$  difunde desde la sangre del pez o camarón, al medio acuoso. Mientras existe un gradiente favoreciendo la difusión de amoníaco desde la sangre del animal al agua, su eliminación es rápida y eficiente.

En el agua el amoníaco producido puede estar presente en dos formas: como el amoníaco o el amonio no-ionizado, o en la forma del amonio ionizado. La reacción de amoníaco en el agua es:



El amoníaco es muy tóxico para los peces mientras el amonio ionizado es relativamente inocuo, excepto a niveles muy elevados. Concentraciones de amoníaco tan bajas como 1 a 2 ppm pueden ser letales para los peces. Con 0.3 ppm de amoníaco en el agua, se puede impedir el crecimiento y normal desarrollo de los organismos acuáticos.

El pH y temperatura regulan la proporción entre amoníaco y el amonio ionizado en el agua. Por cada incremento de una unidad de pH del agua, la proporción de amoníaco aumenta por aproximadamente diez veces. Las temperaturas elevadas también favorecen la formación de una proporción mayor de la forma tóxica en los cultivos.

Cuando se cultivan los peces y camarones a muy elevada densidad de siembra y con alimento concentrado con alto nivel de proteína cruda, habrá eventualmente, una acumulación de amoníaco en el agua del recipiente. La remoción del exceso de amoníaco es logrado por procesos biológicos naturales (oxidación del  $\text{NH}_4^+$  a nitritos y a nitratos), la remoción de los desechos sólidos del sistema (alimento no consumido y material fecal) mecánicamente (filtración de los sólidos o sedimentación), o por dilución (cambiar todo o parte del agua en el sistema).

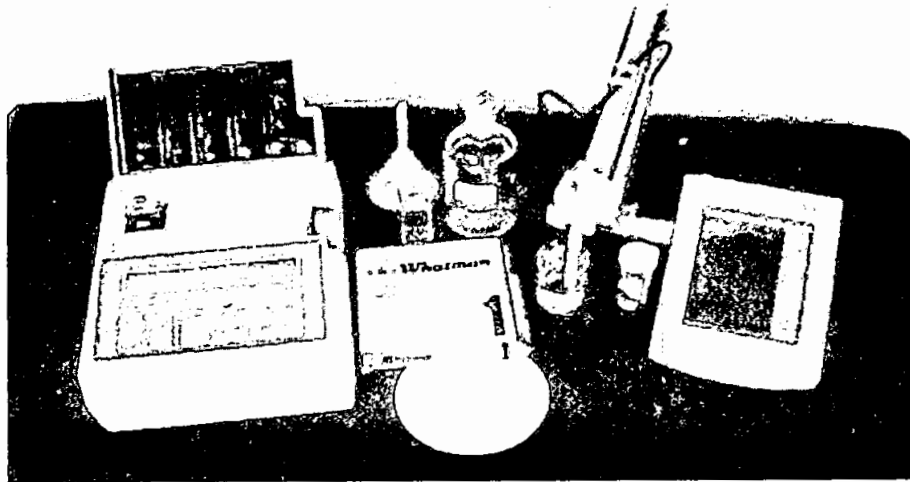


Figura 3.6. Un espectrofotómetro (izquierda) y un medidor de pH (derecha), dos equipos útiles en el análisis de la calidad de agua.

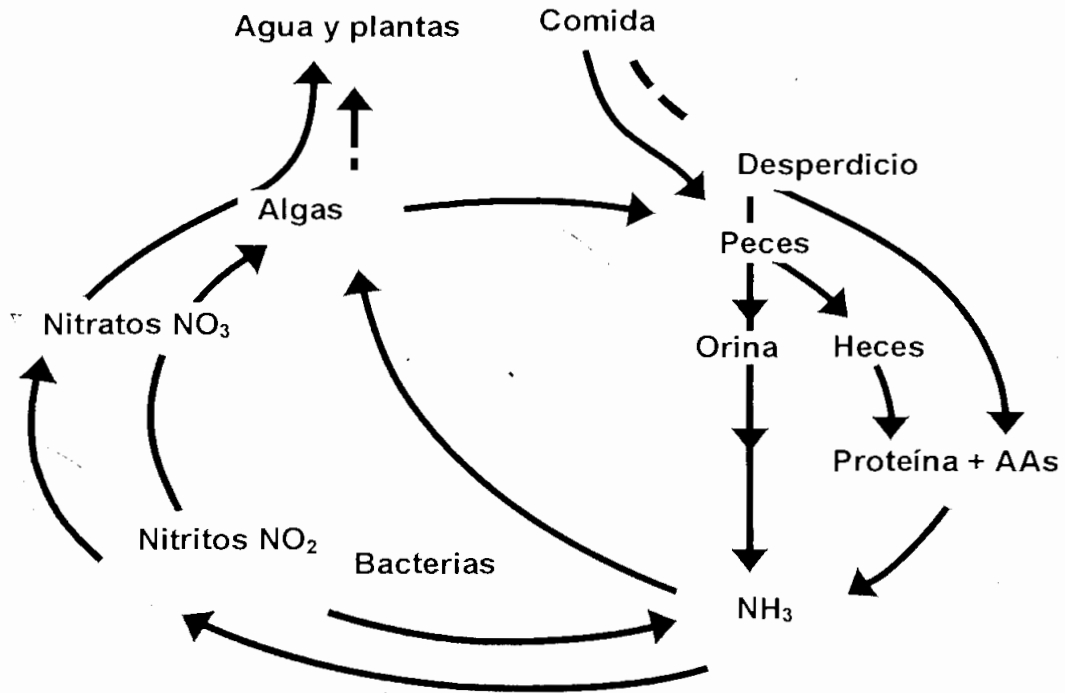
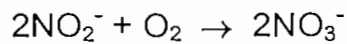
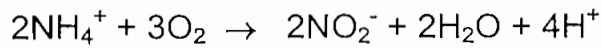


Figura 3.7. El ciclo de nitrógeno en medios acuáticos.

El proceso de nitrificación (oxidación) ocurre en dos reacciones y resulta en aumentar la concentración de protones en el agua:



Cuadro 3.3. El porcentaje de amoníaco (amonio no-ionizado =  $\text{NH}_3$ ) del total de  $[\text{NH}_3]$  y  $[\text{NH}_4^+]$  en solución acuosa a diferentes valores de pH y temperaturas.

Valor de pH	Temperatura en °C					
	20	22	24	26	28	30
7.0	0.40	0.46	0.52	0.60	0.70	0.81
7.2	0.63	0.72	0.82	0.95	1.10	1.27
7.4	0.99	1.14	1.30	1.50	1.73	2.00
7.6	1.56	1.79	2.05	2.35	2.72	3.13
7.8	2.45	2.80	3.21	3.68	4.24	4.88
8.0	3.83	4.37	4.99	5.71	6.55	7.52
8.2	5.94	6.76	7.68	8.75	10.00	11.41
8.4	9.09	10.30	11.65	13.20	14.98	16.96
8.6	13.68	15.40	17.28	19.42	21.83	24.45
8.8	20.08	22.38	24.88	27.64	30.68	33.90
9.0	28.47	31.37	34.42	37.71	41.23	44.84
9.2	38.69	42.01	45.41	48.96	52.65	56.30
9.4	50.00	53.45	56.86	60.33	63.79	67.12
9.6	61.31	64.54	67.63	70.67	73.63	76.39
9.8	71.53	74.25	76.81	79.25	81.57	83.68
10.0	79.92	82.05	84.00	85.82	87.52	89.05
10.2	86.32	87.87	89.27	90.56	91.75	92.80

### La alcalinidad y dureza del agua

La alcalinidad es la concentración total de bases en el agua expresada como mg/L o ppm de carbono de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Las especies químicas importantes en la alcalinidad de aguas naturales son el bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) y el carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ). Sencillamente, la alcalinidad es una medida de la capacidad de una muestra de agua de resistir cambios en su pH. En aguas conteniendo una mayor concentración de bases (bicarbonato + carbonato) habrá una mayor capacidad de amortiguamiento natural, y el agua sufrirá cambios menos drásticos en su pH. El bicarbonato es un excelente amortiguador de pH en aguas naturales.

Los peces y camarones son organismos adaptados a medios que cambian de pH gradualmente. En cuerpos naturales de agua, las fluctuaciones en pH son graduales y de limitada magnitud.

En los cultivos acuícolas los peces y camarones son sembrados con frecuencia a altas densidades. El cultivo es manejado con adiciones diarias de grandes

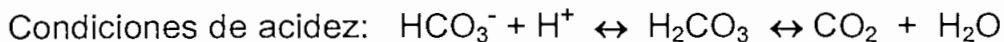
cantidades de alimentos al estanque. Este manejo puede resultar en modificaciones importantes en el pH del agua afectando la proporción de  $\text{NH}_3$  presente en el sistema. Así la alcalinidad, el pH y el amoníaco son factores interrelacionados en el manejo de los cultivos acuícolas y en el bienestar de los organismos acuáticos.

La dureza es la concentración total de iones metálicos bivalentes en el agua, principalmente iones de calcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ) y de magnesio ( $\text{Mg}^{+2}$ ), también expresada como mg/litro de carbonato de calcio. La dureza en aguas naturales es derivada de la disolución de la piedra caliza. El calcio y magnesio son elementos importantes en la productividad de sistemas acuáticos naturales y de sistemas acuícolas. No se entiende bien el papel específico de estos iones en la producción de peces y camarones.

Comúnmente la alcalinidad y dureza tienen magnitudes similares porque el calcio, el magnesio, el bicarbonato, y el carbonato, en el agua son derivados todos en cantidades relativamente iguales del proceso de disolución de minerales de piedras y suelos. Los niveles deseables de alcalinidad y dureza en el agua usada en el cultivo de peces son entre 20 a 300 mg/l para cada parámetro.

El bicarbonato es un amortiguador natural importante en mantener un pH adecuado en los estanques. El bicarbonato puede actuar como ácido, cediendo un protón al medio, o como base, aceptando un protón para convertirse en el ácido carbónico y luego, disociando en  $\text{CO}_2$  y el agua.

En condiciones alcalinas el bicarbonato puede ceder un protón al agua actuando como un ácido. Mientras en condiciones de acidez puede absorber un protón actuando como una base..





## La salinidad del agua

La salinidad es la concentración total de iones disueltos en el agua. Es importante como parámetro que influye en el bienestar del cultivo acuático y en el ritmo de crecimiento y tasa de mortalidad de peces y camarones. El agua de mar contiene aproximadamente 35,000 a 36,000 ppm de sal. Esta cantidad es equivalente a 35 kilogramos de sal en cada metro cúbico de agua de mar. La concentración de sales en el agua de mar puede variar por el efecto de la evaporación (aumentando la concentración de la sal), cercanía de ríos que desembocan al mar, y por las precipitaciones (diluyendo la concentración de la sal).

Es una enorme cantidad de sal la que se ha acumulado en los mares y océanos durante muchos millones de años en la historia de la Tierra. En vez de expresar esta cantidad en partes por millón, se utiliza en la acuicultura, la oceanografía, y en algunas ciencias afines, la unidad de parte por mil (ppt). Así, el agua de mar contiene 35 ppt de sal.

El agua de mar contiene una variedad de iones en solución. El agua dulce tiene muy poca o casi nada de iones en solución, típicamente menos de 1ppt de sal. Con alrededor de 1ppt de salinidad, se puede sentir el sabor de sal en el agua.

La sal disuelta reduce la capacidad del agua a mantener gas en solución. Es como las moléculas de sal ocupan los lugares donde el gas puede disolverse en el agua. Con una mayor concentración de sal en el agua, menos gas mantiene en solución.

En Centro América las lluvias son estacionales. La época seca del año corresponde, mas o menos, al invierno del hemisferio del norte (diciembre a abril). La época lluviosa es de mayo a noviembre.

Los esteros de la costa Pacífica Centroamericana son influenciados por el flujo de agua dulce de las lluvias en el interior de los países. Las salinidades de las aguas estuarinas alcanzan sus niveles mínimos durante la época lluviosa de cada año. La salinidad aumenta en el agua de los esteros durante los meses de la época seca de cada año.

Las lecturas de salinidad son tomadas con un salinómetro óptico o empleando un hidrómetro. El salinómetro es fácil de manejar y usar en el campo. Se puede tomar la lectura de salinidad con el salinómetro en pocos segundos.

Los salinómetros son instrumentos delicados y costosos, con precios entre USD 200 a 800 o más. Estos instrumentos sufren del daño físico ocasionado por las condiciones adversas del campo y de los efectos corrosivos de la sal.

Un hidrómetro es un instrumento usado para medir la gravedad específica o densidad de un líquido. El hidrómetro es simplemente un tubo sellado y calibrado con un peso determinado. Los hidrómetros comunes tienen costos

razonables ( $\pm$  USD 20). Se coloca el hidrómetro en una probeta llena con la muestra de agua. El hidrómetro flota según la densidad del agua. Se relaciona el nivel de flotación del hidrómetro con la gravedad específica o densidad del agua y su salinidad.

Cuadro 3.4. Los iones principales en solución en el agua de mar.

Elemento/especie	Forma química	Concentración ppm
Cloruro	$\text{Cl}^-$	19,000
Sodio	$\text{Na}^+$	10,500
Magnesio	$\text{Mg}^{++}$	1350
Azufre	$\text{SO}_4^{-2}$	885
Potasio	$\text{K}^+$	380
Calcio	$\text{Ca}^{+2}$	400
Bromuro	$\text{Br}^-$	65
Carbono	$\text{HCO}_3^-$ y carbono orgánico	28
Estroncio	$\text{Sr}^{+9}$	8
Boro	$\text{B}(\text{OH})_3$	5
Silicio	$\text{Si}(\text{OH})_4$	3
Nitrógeno	N orgánico, $\text{NO}_3^-$ , $\text{NH}_4^+$	1
Otras	varias	2300
	Total =	35,000 a 36,000

En la gran mayoría de los casos, no se puede modificar la salinidad del agua en los proyectos acuícolas. La salinidad afecta las relaciones osmóticas de los organismos. Ciertas especies acuáticas son capaces de adaptarse a fluctuaciones grandes de salinidad. Por ejemplo, los salmones son peces que nacen en el agua dulce, migran al mar para pasar parte de su vida allí, y luego, retornan al agua dulce para su reproducción (peces anádromos).

Hay varias especies eurihalinas de tilapias y de camarón. Por ejemplo, el *Litopenaeus vannamei* (camarón blanco del Pacífico) se adapta con facilidad a condiciones de agua salina. Esta especie presenta su mejor tasa de crecimiento durante la época lluviosa del año cuando el agua en muchas fincas del sur de Honduras tiene entre 15 y 25 ppt de salinidad. En varios países del mundo el camarón blanco es cultivado en agua dulce (< 1 ppt de salinidad).

Cuadro 3.5. Relación entre la densidad (g/ml) y la salinidad del agua (ppt = partes por mil) @ 15°C. Cualquier lectura tomada con un hidrómetro tiene que ser ajustada por la temperatura de la muestra.

g/ml	ppt	g/ml	ppt	g/ml	ppt
0.9992	0.0	1.0107	15.0	1.0222	30.1
1.0000	1.1	1.0114	16.0	1.0229	31.0
1.0015	2.0	1.0122	17.0	1.0237	32.0
1.0023	3.0	1.0130	18.0	1.0245	33.1
1.0030	4.1	1.0137	19.0	1.0252	34.0
1.0038	5.0	1.0145	20.0	1.0260	35.0
1.0046	6.0	1.0153	21.0	1.0268	36.0
1.0053	7.1	1.0160	22.0	1.0275	37.0
1.0061	8.0	1.0168	23.0	1.0283	38.0
1.0061	9.0	1.0176	24.1	1.0291	39.0
1.0069	10.1	1.0183	25.0	1.0299	40.1
1.0075	10.8	1.0191	26.0	1.0306	41.0
1.0084	12.0	1.0199	27.1	1.0314	42.0
1.0092	13.1	1.0209	28.0		
1.0099	14.0	1.0214	29.0		

Cuadro 3.6. La solubilidad del oxígeno con relación a la temperatura y salinidad del agua.

Temp °C	Salinidad en partes por mil								
	0	5	10	15	20	25	30	35	40
0	14.60	14.11	13.64	13.18	12.74	12.31	11.90	11.50	11.11
1	14.20	13.72	13.27	12.82	12.40	11.98	11.58	11.20	10.82
2	13.81	13.36	12.91	12.49	12.07	11.67	11.29	10.91	10.55
3	13.44	13.00	12.58	12.16	11.76	11.38	11.00	10.64	10.29
4	13.09	12.67	12.25	11.85	11.47	11.09	10.73	10.38	10.04
5	12.76	12.34	11.94	11.56	11.18	10.82	10.47	10.13	9.80
6	12.44	12.04	11.65	11.27	10.91	10.56	10.22	9.89	9.57
7	12.13	11.74	11.36	11.00	10.65	10.31	9.98	9.66	9.35
8	11.83	11.46	11.09	10.74	10.40	10.07	9.75	9.44	9.14
9	11.55	11.18	10.83	10.49	10.16	9.84	9.53	9.23	8.94
10	11.28	10.92	10.58	10.25	9.93	9.62	9.32	9.03	8.75
11	11.02	10.67	10.34	10.02	9.71	9.41	9.12	8.83	8.56
12	10.77	10.43	10.11	9.80	9.50	9.21	8.92	8.65	8.38
13	10.52	10.20	9.89	9.59	9.29	9.01	8.73	8.47	8.21
14	10.52	9.98	9.68	9.38	9.10	8.82	8.55	8.29	8.04
15	10.29	9.77	9.47	9.19	8.91	8.64	8.38	8.13	7.88
16	10.07	9.56	9.28	9.00	8.73	8.47	8.21	7.97	7.73
17	9.86	9.36	9.09	8.82	8.55	8.30	8.05	7.81	7.58
18	9.65	9.17	8.90	8.64	8.38	8.14	7.90	7.66	7.44
19	9.45	8.99	8.73	8.47	8.22	7.98	7.75	7.52	7.30
20	9.26	8.81	8.56	8.31	8.06	7.83	7.60	7.38	7.17
21	9.08	8.64	8.39	8.15	7.91	7.68	7.46	7.25	7.04
22	8.90	8.48	8.23	8.00	7.77	7.54	7.33	7.12	6.91
23	8.73	8.32	8.08	7.85	7.63	7.41	7.20	6.99	6.79
24	8.56	8.16	7.93	7.71	7.49	7.28	7.07	6.87	6.68
25	8.40	8.01	7.79	7.57	7.36	7.15	6.95	6.75	6.56
26	8.24	7.87	7.65	7.44	7.23	7.03	6.83	6.64	6.46
27	8.09	7.73	7.51	7.31	7.10	6.91	6.72	6.53	6.35
28	7.95	7.59	7.38	7.18	6.98	6.79	6.61	6.42	6.25
29	7.81	7.46	7.26	7.06	6.87	6.68	6.50	6.32	6.15
30	7.67	7.33	7.14	6.94	6.75	6.57	6.39	6.22	6.05
31	7.54	7.21	7.02	6.83	6.64	6.47	6.29	6.12	5.96
32	7.41	7.09	6.90	6.72	6.54	6.36	6.19	6.03	5.87
33	7.29	6.98	6.79	6.61	6.43	6.26	6.10	5.94	5.78
34	7.05	6.86	6.68	6.51	6.33	6.17	6.01	5.85	5.69
35	6.93	6.75	6.58	6.40	6.24	6.07	5.91	5.76	5.61

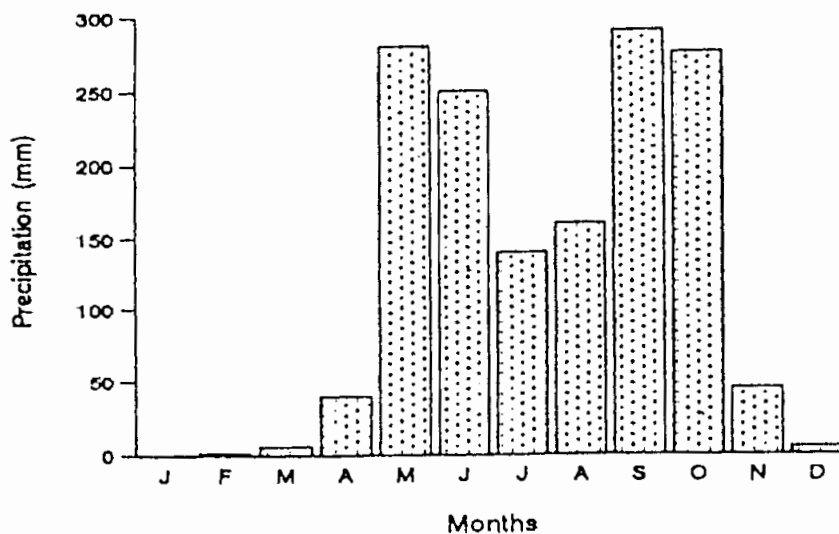


Figura 3.8. La precipitación mensual promedio en Choluteca.

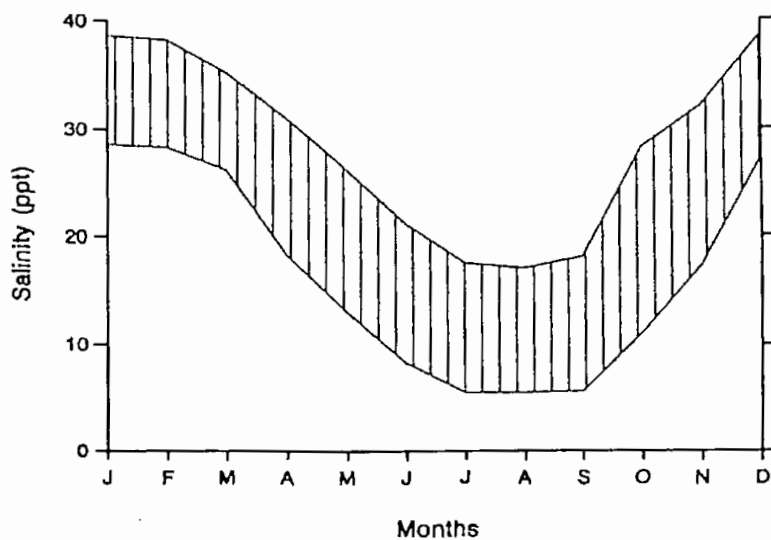


Figura 3.9. La salinidad del agua en los esteros del sur de Honduras.

Cuadro 3.7. La precipitación mensual y la salinidad del agua en una finca camaronera, Guayaquil, Ecuador, y en el Río Bang Pakong, Tailandia.

Mes	Ecuador		Tailandia	
	Lluvia	Salinidad	Lluvia	Salinidad
Enero	521	23.8	10	31.2
Febreo	206	8.4	31	31.2
Marzo	51	4.2	24	23.7
Abril	203	4.1	64	32.0
Mayo	10	3.8	185	29.3
Junio	0	5.0	160	10.3
Julio	0	9.2	171	7.3
Agosto	0	10.2	198	5.6
Septiembre	0	14.6	342	7.2
Octubre	0	20.7	221	18.5
Noviembre	0	22.3	44	28.2
Diciembre	76	23.1	8	27.9
Total =	1067		1458	
Promedio =		12.5		21.0

Cuadro 3.8. La clasificación de aguas naturales según su contenido de sal.

Denominación	Contenido de sal
Agua dulce	Menos de 1000 ppm
Agua salina	1000 a 10,000 ppm
Agua salobre	10,000 a 30,000 ppm
Agua de mar	30,000 a 36,000 ppm

### Referencias

BOYD, C.E. 1990. Water Quality in Ponds for Aquaculture. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Alabama 36849, USA. 482 pp. El trabajo de Dr. Boyd incluye muy claras explicaciones de los parámetros más importantes en cuanto la calidad del agua y su impacto en la acuicultura moderna.

HAUSER, B.A. 1996. Practical manual of wastewater chemistry. Ann Arbor Press, Chelsea, Michigan, USA. 135 pp.

## Capítulo 4. Manejo de Cultivos Acuícolas

La producción acuícola es fundamentalmente relacionada con tres factores, los cuales influyen directamente en el desarrollo de los organismos cultivados. Ellos son:

- **La densidad de siembra:** ¿Qué densidad de siembra se debe usar en el cultivo de peces o camarones? Esto se determina antes de comenzar un nuevo ciclo nuevo de producción, basándose en un conjunto de factores.

El objetivo es sembrar una densidad de animales adecuada para alcanzar un alto nivel de producción, aprovechando eficientemente los recursos disponibles para tal fin (capital, infraestructura, espacio físico, calidad del ambiente, aspectos nutricionales, etc.) y, a la vez, evitando algunos problemas o situaciones que pueden contribuir a una disminución de la tasa de crecimiento de los organismos o incrementar su tasa de mortalidad.

- **La nutrición y alimentación del cultivo:** El desarrollo de cualquier animal depende, en gran medida, en llenar sus requerimientos nutritivos básicos. En cultivar peces y camarones, es necesario contemplar cómo alimentar los organismos y cuáles nutrientes proveerles para lograr una producción elevada y rentable. La alimentación de un cultivo acuícola puede ser artificial (dieta completa o una dieta suplementaria, basada en los alimentos naturales que desarrollan en agua fértiles (producción integrada a base del fito y zooplancton, y el bentos, etc.).

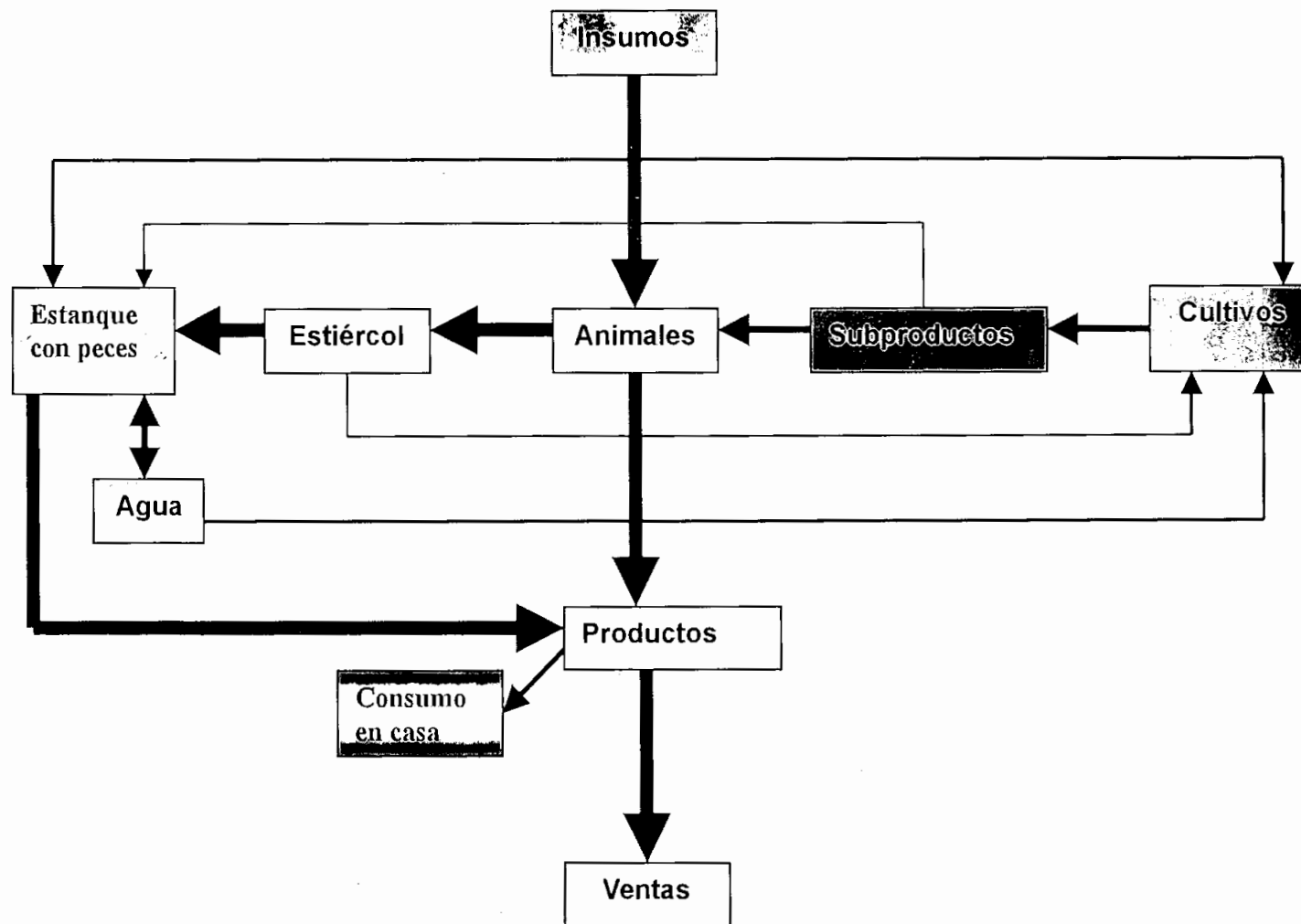
Otra opción es combinar los dos tipos de alimento (dieta artificial + los alimentos naturales) para hacer el cultivo más eficiente. La disponibilidad del alimento será el primer factor limitante en la intensificación de la producción de peces y camarones cultivados.

- **La calidad del agua:** En general los organismos acuáticos no están adaptados a aguantar cambios bruscos en la calidad del agua, sino a cambios graduales. Los peces son muy sensibles a cambios en la concentración de oxígeno disuelto, pH, temperatura, y otros factores de la calidad del agua. Para poder manejar bien los cultivos acuícolas, se necesita un entendimiento claro de los parámetros más importantes de la calidad del agua y conocimientos sobre varias reacciones y procesos químicos-físicos que ocurren en el agua (Capítulo 3). Con la intensificación del manejo de los cultivos acuícolas, habrán más y mayores problemas con la calidad del agua en las unidades de producción.

En mucho sentido, este folleto tiene como tema principal, explicar e ilustrar la relación de cada uno de estos factores con el buen manejo de un cultivo de peces o camarones.



Figura 4.2. Modelo de las interacciones entre los varios subsistemas en la piscicultura integrada. Los animales estarán estabulados y alimentados intensivamente para proveer nutrientes al estanque con el cultivo de peces. Los insumos incluyen el alimento para los animales, los alevines de los peces, y algunos otros para la finca.



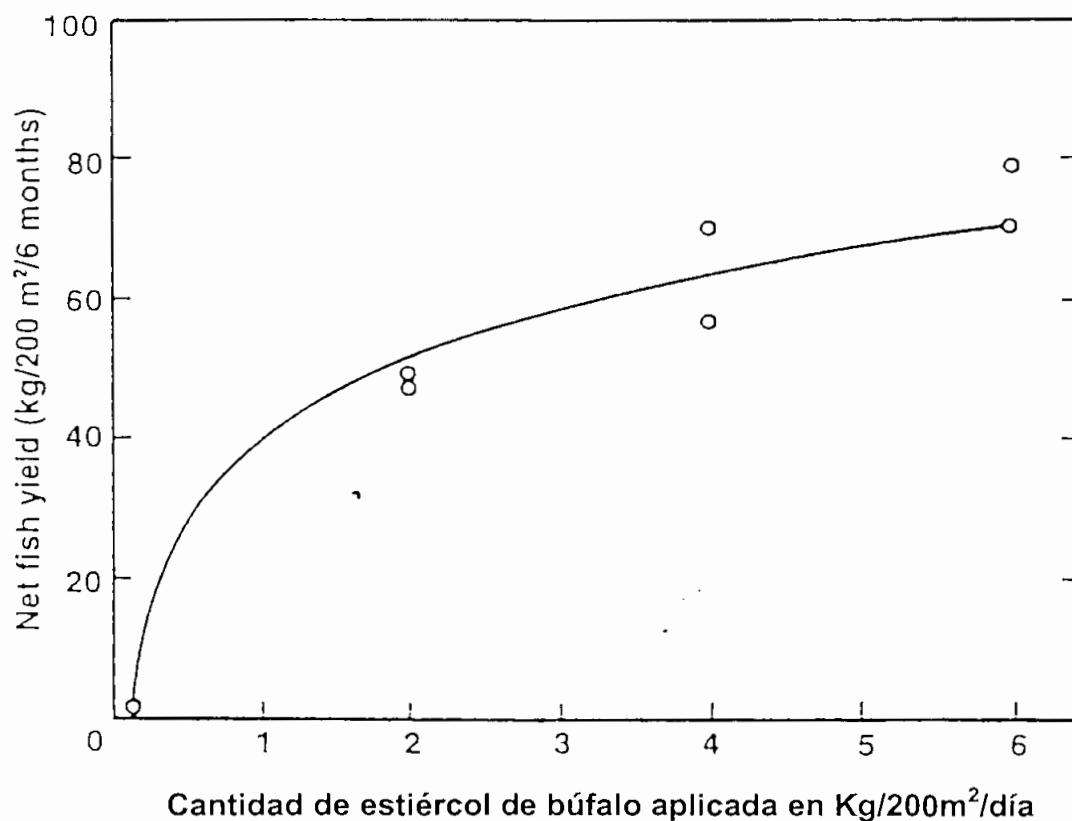
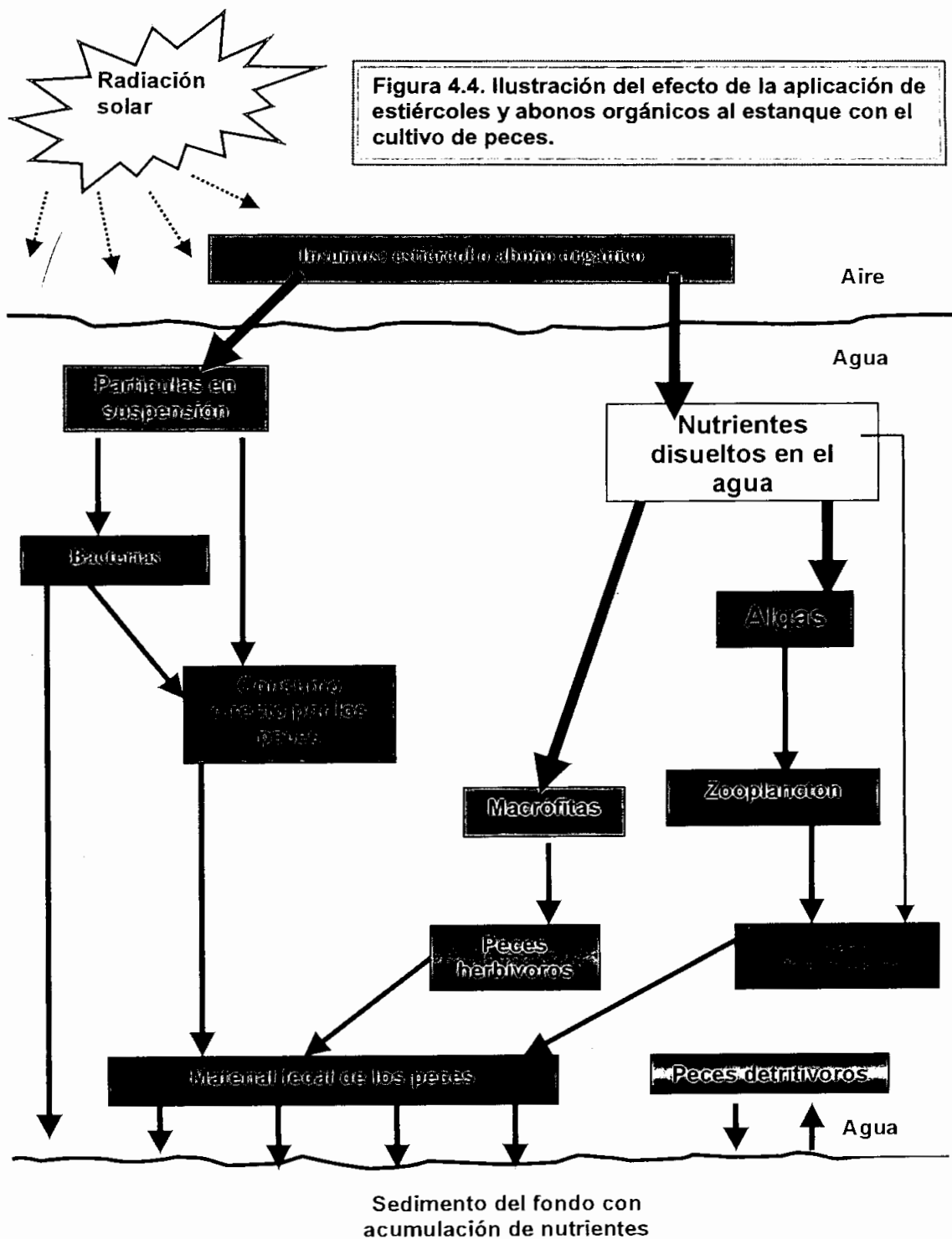


Figura 4.3. La relación entre la cantidad de estiércol de búfalo (kg de materia seca) y la producción neta de peces en ciclos de seis meses duración en Tailandia. Información tomada de: Edwards, P., H. Demaine, N. Innes-Taylor, y D. Turongruang. 1996. Sustainable aquaculture for small-scale farmers: need for a balanced model. Outlook on Aquaculture Vol. 25:19-26.



### El uso de fertilizantes en la producción acuícola

La productividad de los ecosistemas acuáticos generalmente está limitada por las bajas concentraciones de ciertos elementos nutritivos en el agua. Como regla general, los elementos nutritivos limitantes más importantes en los sistemas acuáticos son el fósforo y el nitrógeno (N y P).

En regiones con climas cálidos, se quiere incrementar la productividad natural del agua de los estanques dedicados a producir peces por medio de estimular el crecimiento y desarrollo del fitoplancton. Se puede realizar esto, estableciendo un programa de aplicación de fertilizantes al agua del estanque.

Se utilizan varias clases de fertilizantes químicos (minerales) y orgánicos (principalmente estiércol) disponibles localmente para incrementar la fertilidad del agua, y fomentar una proliferación de algas y otros tipos de microorganismos en el estanque. Los fertilizantes escogidos deben proveer N y P en cantidades adecuadas.

Como guía para contemplar establecer un programa de fertilización en un estanque, la biomasa del fitoplancton tiene una composición química aproximada de 45 a 50% de carbono, 8 a 10% de nitrógeno, y 1% de fósforo.

La producción de peces es basada en la productividad del fitoplancton en el agua. La productividad máxima alcanzable se ha estimado en unos 4 g de C/m<sup>2</sup>/día en sistemas con condiciones óptimas. La productividad neta máxima sería en el rango de 10 a 12 g de C/m<sup>2</sup>/día.

La proporción entre N y P en solución en el agua es muy importante. En algas la proporción es de 10:1, aproximadamente. En la práctica, la cantidad de cada macro-nutriente incluido en los fertilizantes es bastante diferente a esta proporción debido a que hay N entrando en el sistema por procesos naturales (fijación) y parte del P puede formar un precipitado insoluble combinando con cationes (con carga positiva, cómo el calcio) en el agua. Estos compuestos no son disponibles a los miembros del fitoplancton y terminan en los sedimentos del fondo del estanque.

Debido a la presencia de suelos arcillosos en los proyectos acuícolas, normalmente no es necesario fertilizar con potasio. Con una adecuada fertilización de los estanques se puede aumentar de 4 a 10, o más veces, la producción de peces y/o camarones.

Se fertilizan los estanques con estiércoles, fertilizantes minerales, o tal vez mejor, una combinación de los dos tipos. El objetivo de la fertilización es suministrar suficiente fósforo y nitrógeno para establecer y mantener durante todo el cultivo, una floración de algas en el agua y promover el desarrollo de una diversidad de alimentos naturales en el estanque. El agua del estanque debe

Las figuras muestran dos formas de integrar la producción de peces con el engorde de pollos o cerdos en la finca. Es mejor tener los animales estabulados al lado del estanque para evitar el transporte de los abonos y para que el cultivo de peces reciba una aplicación diaria del abono.

La orina de los animales contiene una cantidad importante del nitrógeno excretado. Un cerdo adulto excreta aproximadamente 30g de urea en 1.5 litros de orina por día.

Los abonos orgánicos pierden su contenido de nutrientes por los procesos de descomposición aeróbica (pérdida de carbono como el gas  $\text{CO}_2$ ), exposición a la lluvia y su disolución, y por la volatilización del nitrógeno (principalmente en la forma de  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_3$  y  $\text{NO}_2$ ). Es importante guardar los estiércoles en lugares protegidos del Sol y de la lluvia.

La acción bacteriana anaeróbica promueve los procesos de "denitrificación" de los nitratos en  $\text{NH}_3$  y  $\text{N}_2$  (gas).

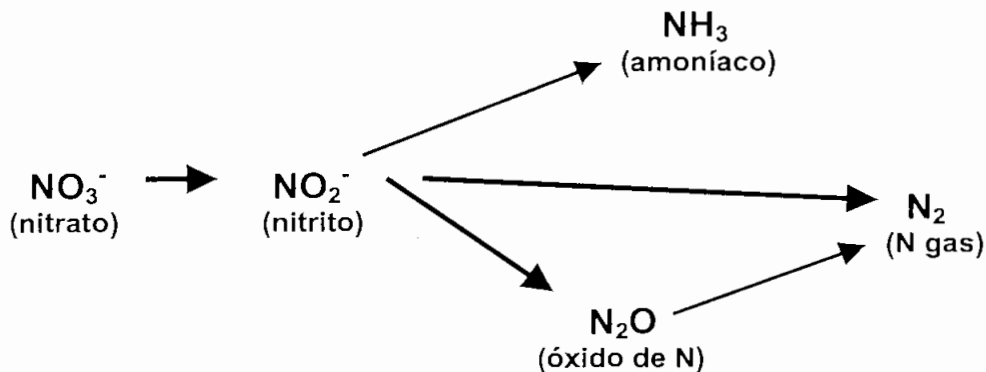


Figura 4.5. Ilustración de algunos procesos microbianos para la eliminación de N (o denitrificación) de ecosistemas como gas  $\text{NH}_3$  y  $\text{N}_2$ .

La pérdida de carbono es mayor en condiciones aeróbicas y con elevadas temperaturas. En general, con temperaturas elevadas, con exposición al aire, y con más tiempo de almacenamiento, la pérdida de nutrientes será mayor.

La cantidad máxima de abonos orgánicos que se puede aplicar al estanque dependerá en muchos factores. En general, es limitada por los procesos de descomposición y/o la tasa de su asimilación en el estanque, y a la disponibilidad del oxígeno en el agua. La materia orgánica provoca una fuerte demanda biológica de oxígeno (DBO) en el agua cuando es descompuesta por las bacterias aeróbicas, y otros organismos consumidores en el estanque. A

elevadas temperaturas los procesos de descomposición procederán más rápidamente.

Cuadro 4.3. Composición química de algunos tipos de fertilizantes minerales.

Nombre/tipo	Fórmula química	% de N	% de P
Fosfato de amonio monbásico	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	12	27
Urea	$\text{NH}_2\text{-CO-NH}_2$	47	0
Triple-Super-Fosfato (TSP)	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	0	19-24
Sulfato de amonio	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	21	0
Nitrato de amonio	$\text{NH}_4\text{NO}_3$	35	0

Cuadro 4.4. Composición química de algunos tipos de estiércoles y abonos orgánicos de utilidad en la piscicultura integrada. Cantidades son porcentajes en materia fresca.

Especie	% agua	N	P	K	Kg/día	C:N:P
Vacas lecheras	65-79	0.5	0.1	0.5	15-25	7:1:0.2
Ganado de carne	65-78	0.7	0.2	0.5	15-25	
Ovejas	50-70	1.1	0.3			
Cerdos	74-86	0.6	0.2	0.4	15-25	13:1:0.2
Ponedoras	30-75	1.1	0.4	0.4		9:1:0.4
Pollos de engorde	30-60	1.6	0.7	0.7		
Patos	60-82	3.7	1.7			

Es importante monitorear los niveles de oxígeno disuelto en el agua para evitar condiciones de anoxia en estanques fertilizados. La más importante lectura de la concentración de oxígeno en solución se toma en las horas de la mañana antes de la salida del sol.

La producción de la tilapia puede alcanzar o superar 6000Kg/ha/año empleando únicamente abonos orgánicos como fuentes de nutrimentos para el cultivo.

Fertilizantes minerales. Los fertilizantes minerales son empleados solos o en combinación con los estiércoles para fertilizar el agua de los cultivos de peces. En el cultivo de camarones para la exportación, no se emplean los abonos como fertilizantes por el daño a la imagen del producto y la posibilidad de contaminación del camarón con microorganismos.

Los fertilizantes minerales o químicos, contienen los nutrientes principales (N, P, K) en forma concentrada, y se puede seleccionar entre una gran variedad de formulaciones diferentes. Estos productos pueden ser almacenados y aplicados al agua fácilmente.

En los estudios económicos detallados realizados sobre el uso de los diferentes tipos de fertilizantes en la piscicultura, muchas veces resulta más barato emplear los fertilizantes minerales en vez de los orgánicos, por los costos menores de transportar, guardar, y manejar el producto químico.

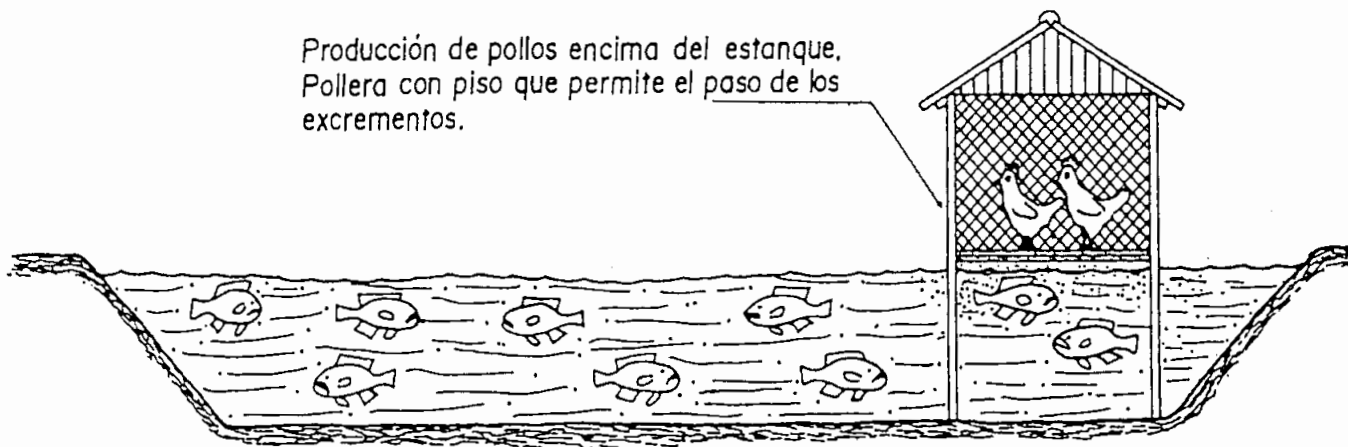
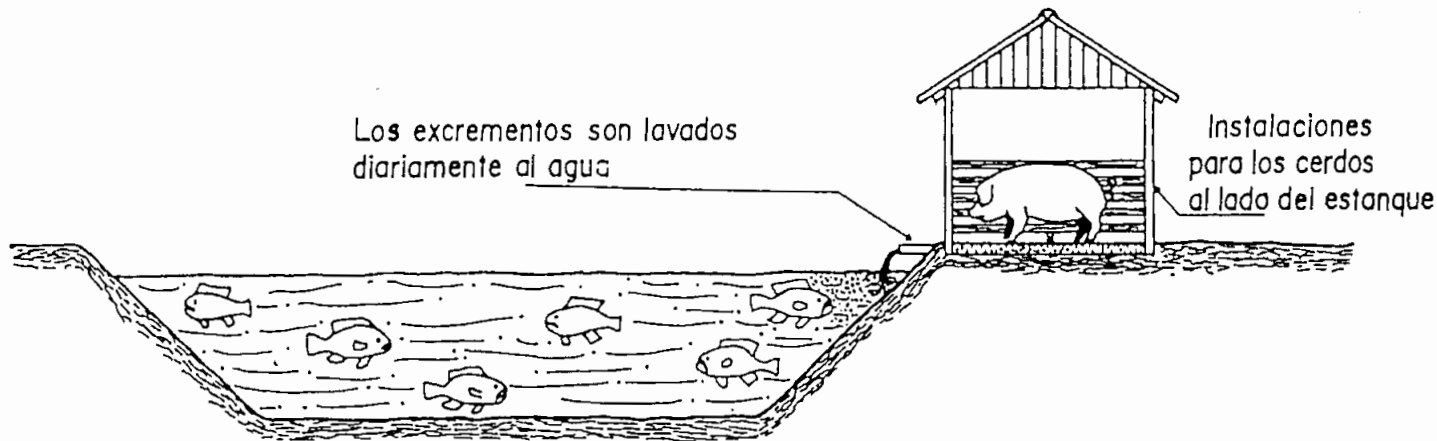






Figura 4.6. La aplicación de un abono orgánico en una bolsa para permitir su disolución lenta al agua del estanque.

La aplicación de los fertilizantes minerales se hace de una forma para permitir que el material entre en solución en el agua. Muchos ingredientes usados en formular los fertilizantes minerales son poco solubles en el agua y este proceso de disolución puede tomar varias horas o días.

Por ejemplo, para aplicar triple-super-fosfato (0-46-0) a un estanque, se recomienda disolver el fertilizante en un balde de agua antes de introducirlo al estanque. Su disolución en el agua puede tomar varias horas. Otra alternativa es colocarlo en una o varias bolsas, hechas de cualquier material permeable y resistente, las cuales son suspendidas de unas estacas en el agua del estanque. Según la recomendación siendo utilizada, se aplica más fertilizante a cada bolsa, semanal o mensualmente durante el transcurso del cultivo.

### **Cal agrícola**

La cal agrícola ( $\text{CaCO}_3$ ) no es un fertilizante. Es empleada en la piscicultura para ajustar el pH del agua y de los sedimentos del fondo del estanque. Las aplicaciones de cal mejoran los niveles de alcalinidad y dureza del agua. Por afectar el pH del agua, las aplicaciones de cal ayudan a crear condiciones que promueven la redisolución de parte del fósforo que se asocia con las partículas

del sedimento en el fondo. Además, la cal ayuda (en menor grado) en el proceso de sedimentación de las partículas de arcilla en suspensión en el agua.

La cal en el agua reacciona con el bióxido de carbono en la siguiente forma:



La reacción sugiere que la cal puede competir por el  $\text{CO}_2$  en solución en el agua con el fitoplancton y posiblemente causar una reducción en la tasa fotosintética en el agua del estanque.

Muchas veces la cal es aplicada a los sedimentos del fondo de un estanque que se encuentra completamente drenado y seco. La cal tiende a subir el pH del suelo y éste resulta en una mejor liberación del fósforo acumulado en los sedimentos al agua. Una aplicación de cal antes de comenzar un cultivo acuícola puede estimular una floración de algas y por consiguiente, una mejor producción a lo largo de varias semanas o meses.

La cal puede ser aplicada a un estanque con agua, pero es preferible que no tenga peces. El cambio del pH del agua que resulta de una aplicación de cal puede ser brusco y grande, y perjudicaría a los peces o camarones.

### EL USO DE CAL EN LA PISCICULTURA

Boyd y colaboradores realizaron una serie de investigaciones para observar el efecto del encalamiento sobre la calidad del agua y sobre la producción de peces de cultivo. Un factor importante es el tamaño de las partículas del material aplicado al encalar un estanque. Con partículas de diámetro menor la disolución del material será más completa y la alcalinidad del agua aumentará más. La figura 1 demuestra cómo el tamaño de las partículas de la cal agrícola incluye en el nivel de alcalinidad alcanzado y mantenido durante dos meses en el agua.

Las aplicaciones de cal ayudan en mantener mayores valores de pH en el lodo del fondo del estanque. Este sedimento absorbe una gran fracción del P en el sistema. Por ejemplo, allí es donde se fija mucho del P contenido en los alimentos concentrados ofrecidos al cultivo.

La absorción del P es mayor cuando el lodo tiene un pH bajo (condiciones de acidez). Mantener el lodo con un pH elevado (condiciones alcalinas o básicas) ayuda en movilizar el P del sistema, promueve una mayor floración de algas en el agua y una mayor producción de peces del cultivo.

El encalamiento de los estanques también influye en la dureza del agua. No se ha detectado una relación clara entre la dureza del agua y la producción de peces en cultivos.

Cuadro 4.5. Los valores de pH para el lodo tomado de estanques encalados y no encalados. Las aplicaciones de cal fueron realizadas en Marzo de 1972. Cada valor de pH es el promedio para cinco estanques.

Aplicación	Valor promedio de pH		
	Noviembre 1972	Agosto 1973	Enero 1974
Encalados	5.2	6.7	7.0
No encalados	5.4	5.5	5.5

Cuadro 4.6. Eficiencia de la conversión del N y P de la gallinaza en la biomasa de los peces con varias tasas de aplicación (kg/ha/semana) en ciclos de 145 días, en Tailandia.

Gallinaza	Producción de peces (kg/ha)	Insumo de N (kg/ha)	Insumo de P (kg/ha)	N (kg) en los peces	P (kg) en los peces	Eficiencia de conversión (% de N)	Eficiencia de conversión (% de P)
125	1619	72.5	116.5	157.1	47.9	217	41.1
250	1736	145.0	233.0	168.4	51.4	116	22.1
500	2488	290.0	446.1	241.4	73.7	83	15.8
1000	2458	580.0	932.1	238.0	72.6	41	7.8

Cuadro 4.7. Resumen de varias pruebas sobre la producción de policultivos de peces a base de fertilizantes minerales. Cada tratamiento fue replicado 6 veces en el tiempo. Las densidades de siembra oscilaban entre 1,000 a 1,850 peces/hectárea.

N	Kg/ha		Peces
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
<u>Experimento 1</u>			
0	0.0	0.0	104
0	0.0	16.8	114
0	22.4	16.8	299
0	22.4	0.0	385
<u>Experimento 2</u>			
0	0.0	0.0	97
0	22.4	16.8	272
0	22.4	0.0	287
28	22.4	0.0	317
0	44.8	0.0	418
<u>Experimento 3</u>			
0	0.0	0.0	122
0	44.8	0.0	471
28	44.8	0.0	533
0	44.8	16.8	534
<u>Experimento 4</u>			
0	0.0	0.0	157
28	44.8	0.0	741
0	44.8	0.0	787
0	67.2	0.0	831

Hickling (1962) realizó varias pruebas con diferentes fertilizantes minerales y la producción de policultivos de peces (tilapia + carpa grama + *Puntius*) en Malasia. Según sus resultados, las aplicaciones de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> fueron las que más influyeron en la producción de los peces.

Para lograr una óptima fertilización del agua en estanques para el cultivo de tilapia en agua dulce, se recomienda aplicar una o dos partes de N por cada parte de P. La dosis de fertilizante mineral sería de aproximadamente 0.3 a 0.5 kg de P/ha por día en adecuada proporción con N.

La urea es un fertilizante de bajo costo y disponible en todas las tiendas de suministros agrícolas. En el agua, la urea es descompuesta rápidamente en amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) y su elevada concentración en el agua puede afectar el bienestar del cultivo de peces o camarones. Además, algunas bacterias en el agua convierten al amoníaco en nitritos y nitrato, ocupando el oxígeno molecular en el agua y formando protones adicionales. El descenso en la concentración de  $\text{O}_2$  y del pH del agua también puede afectar negativamente a los peces y camarones cultivados. Usar un fertilizante con nitrato es más costoso, pero no resulta en un consumo adicional de oxígeno, ni en la formación de protones extras en el agua del estanque.

### **La nutrición y alimentación**

Se emplea la alimentación artificial en el cultivo de muchos tipos de peces y camarones para incrementar el nivel de producción. Son llamados alimentos "artificiales" porque son ofrecidos a los animales en forma "artificial" o sea, no natural. En su habitat natural, los peces y camarones no consumen los ingredientes usados comúnmente en formular estas dietas.

Los alimentos utilizados en la producción intensiva o semi-intensiva de peces o camarones pueden representar una dieta completa o solamente un suplemento a la alimentación principal del organismo proveniente del plancton y otros organismos en el estanque. Las dietas completas contienen todos los nutrientes y demás ingredientes para satisfacer totalmente los requerimientos nutritivos del camarón o pez a largo plazo.

Los alimentos artificiales para peces y camarones son mezclas de diferentes ingredientes que suministran al organismo los elementos nutritivos y energía que necesita para su crecimiento y desarrollo, su actividad diaria y para su reproducción.

La combinación específica de ingredientes seleccionados es basada en los hábitos alimenticios de la especie siendo cultivada y estudios de sus requerimientos nutritivos. El contenido total de proteína es uno de los factores más importantes en formular una dieta para peces o camarones. En la naturaleza, estos organismos consumen una dieta natural rica en proteína.

Aparentemente los peces de aguas cálidas utilizan una parte de la proteína en la dieta para suplir energía a sus diversos procesos metabólicos y fisiológicos. El piscicultor quiere que todo el contenido protéico de la dieta sea utilizado en

procesos de crecimiento (= producción). Por lo tanto, los alimentos artificiales para peces contienen altos porcentajes de proteína (de 25 a 50%) los cuales son balanceados con una adecuada cantidad de energía metabolizable para lograr un rápido crecimiento y una abundante y eficiente producción. Para el bagre americano la relación entre la cantidad de proteína y la energía en la dieta se mantiene relativamente constante durante todo su desarrollo.

Una ventaja de trabajar con peces herbívoros es la posibilidad de emplear raciones formuladas casi exclusivamente con fuentes vegetales de proteínas. Además, estos peces aprovechan mejor de la alta productividad de las algas del agua fértil en el cultivo. Los peces carnívoros u omnívoros requieren proteína de origen animal en la dieta, la cual es un ingrediente caro.

Solamente una pequeña fracción del contenido total de nutrientes en los alimentos concentrados usados en la producción de peces y camarones cultivados será retenida en su cuerpo e incorporado en el músculo del organismo. Una parte del alimento ofrecido no va a ser consumido por los peces o camarones (= desperdicio). Otra gran fracción del alimento no será asimilada durante su paso a través del tracto digestivo del animal. Estos componentes del alimento serán eliminados del pez o camarón como CO<sub>2</sub>, fosfatos, amoníaco, fibra no digestible, minerales, y otras sustancias inorgánicas, los cuales forman los principales productos de excreción (orina y heces) en los animales.

En general, alrededor de 70% de los componentes del alimento (N y P) no son incorporados en la biomasa de los peces y camarones cultivados.

Para poder comparar diferentes dietas utilizadas en el engorde de los animales, se calcula el **índice de conversión alimenticia (ICA)** para cada cultivo. El ICA indica la eficiencia de utilización del alimento alcanzada por los organismos del cultivo durante un período dado de su ciclo de producción. El ICA es calculado así:

$$\text{Índice de conversión alimenticia} = \frac{\text{cantidad de alimento suministrado}}{\text{producción neta de peces}}$$

Valores del ICA de 1.2 hasta 4.0 o más son obtenidos, dependiendo en la especie, su estado de desarrollo, las condiciones del cultivo, la calidad de la ración, y cómo la dieta es empleada en alimentar el cultivo. Un valor menor para el ICA significa un uso más eficiente del alimento y, probablemente, una mayor rentabilidad del cultivo.

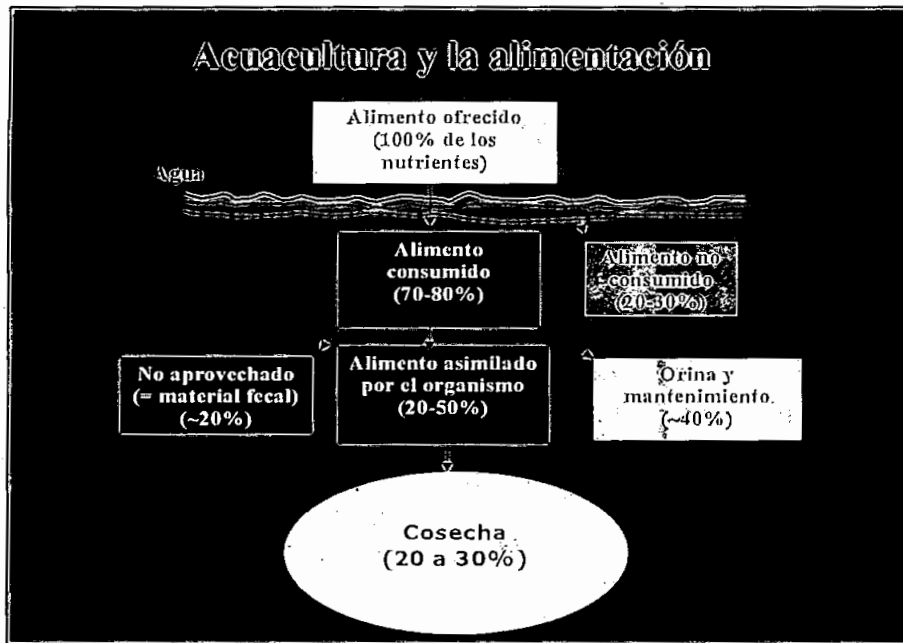


Figura 4.7. Flujo de nutrientes a partir del alimento concentrado en sistemas acuícolas manejados intensivamente.

Cuadro 4.8. Estimación de la cantidad de nutrientes en los insumos y en los peces cosechados, de un cultivo con ICA de 2:1, asumiendo una producción de 1000 kg de pez vivo. La carga representa la cantidad de los componentes del alimento que no son asimilados y se convierten en contaminantes en el agua del estanque.

Insumo	%	Cantidad (kg)	Producción	%	Cantidad (kg)	Carga (kg)
Alimento:		2000	Peces vivos:		1000	
Materia seca	92	1840	Materia seca	28	275	1565
C	47	865	C	46	126	740
N	4	74	N	8	23	51
P	1	17	P	3	8	9

La **eficiencia alimenticia** es el inverso del ICA. Se calcula dividiendo la ganancia de peso por la cantidad de alimento suministrado del cultivo:

$$\text{Eficiencia alimenticia} = \frac{\text{producción neta de peces}}{\text{cantidad de alimento suministrado}}$$

Los valores para la eficiencia alimenticia son decimales. Se interpreta el valor como que tal fracción del alimento ofrecido fue utilizada por el pez o camarón en incrementar su biomasa durante un tiempo determinado.

Los peces pequeños normalmente presentan los mejores valores de conversión (alimento convertido en biomasa). Durante la época de reproducción, cuando hay problemas con los niveles de oxígeno disuelto en el agua, problemas con enfermedades, u otra condición que pueda provocar estrés o tensión fisiológica en el cultivo, los valores para el ICA y de la eficiencia alimenticia tienden a subir.

Uno de los errores inherentes en este tipo de cálculo es el hecho de comparar un material básicamente seco (el alimento concentrado) con el incremento observado en el peso de organismos vivos (conteniendo aproximadamente 75-80% agua). Otro error es que los peces y camarones no solamente consumen el alimento artificial suministrado, pero también una gran variedad de alimentos naturales (i.e. algas, larvas de insectos, moluscos, etc.) que desarrollan en las aguas fértiles del cultivo. Así, hay que tomar en cuenta la realidad de la situación.

La eficiencia de utilización de los alimentos también depende en gran parte en la cantidad de alimento ofrecido al cultivo diariamente. Si estamos sobrealimentando el cultivo, no puede haber un buen valor para el ICA. En el caso de subalimentar un cultivo, el índice tendrá un valor bajo, pero probablemente los peces van a crecer lentamente por falta de suficiente comida.

En realidad, los peces y camarones deben de recibir la cantidad de alimento que van a consumir cada día. El apetito o consumo de alimento puede variar de día a día, según las condiciones del cultivo y del tiempo.

Típicamente se calcula la cantidad diaria de alimento artificial para un cultivo acuático como un porcentaje de la biomasa estimada de la población de peces o camarones en el estanque u otro recipiente. La biomasa de cada población es estimada según muestreos periódicos realizados durante el transcurso de cada cultivo. Se recomienda capturar y tomar datos de peso y longitud de 10% de la población de peces o camarones en cada cultivo. El intervalo entre muestreos variaría de siete a 30 días.



Los peces y camarones pequeños, de crecimiento rápido, requieren una cantidad mayor de alimento (alevines recién nacidos) en relación a su peso corporal que los individuos más grandes (mayores de 250 g).

En la crianza intensiva de algunas especies de peces, los niveles de alimentación pueden alcanzar 10 a 20% de su biomasa por día, para los alevines recién nacidos. Aquí la cantidad diaria de alimento ofrecida será dividida en seis a ocho porciones, cada una dada a intervalos de 3 ó 4 horas. Económicamente resulta mejor no ofrecer el alimento más de 4 veces por día en el engorde de peces y camarones.

La forma física del alimento también es una consideración muy importante en la acuicultura. Se puede obtener alimentos concentrados pulverizados o procesados como píldoras o pelets, de diferentes diámetros y longitudes.

Las tilapias son peces provistos de branquiespinas (pequeñas protuberancias en el arco del cartílago formando la unidad de sostén de cada branquia) con las cuales pueden filtrar el agua para obtener su alimentación en la forma de fitopláncton y otros organismos acuáticos microscópicos. La tilapia puede filtrar del agua partículas de un alimento pulverizado con sus branquiespinas. De acuerdo al número y tamaño de sus branquiespinas, se puede averiguar algo sobre los hábitos alimenticios de estos, y otras especies de peces.

Una fracción de la comida pulverizada tirada al estanque flota en la superficie y los peces suben hasta allí para comerla. Muchas veces los alimentos pulverizados son poco aprovechados por los peces del cultivo, debido al pequeño tamaño de las partículas. Además, los peces pueden seleccionar comer algunos ingredientes y no otros con los alimentos pulverizados. Estos problemas significarían una menor eficiencia en el engorde de los peces para el piscicultor. El uso de alimentos peletizados ayuda a reducir el desperdicio y asegura un consumo de todos los ingredientes del concentrado.

La calidad de los pelets es importante. Los pelets deben ser de un tamaño y color uniformes. Los pelets mal fabricados se desintegran fácilmente y los sacos contendrán una gran cantidad de polvo o "finos". Los finos son de menor valor en la alimentación de los peces. La cantidad de finos en cada saco no debe sobrepasar el 3% del total. La presencia de pelets de diferentes colores en un saco indica problemas con la mezcla de los ingredientes en la fábrica.

Los pelets sólidos para camarón se hunden rápidamente en el agua. Los camarones viven en el fondo del estanque y requieren un pelet que se mantenga en su forma sólida durante varios minutos u horas en el agua. Así el camarón tendrá suficiente tiempo para encontrarlo y comérselo antes de su disolución. Este punto tiene especial importancia en el engorde de *Litopenaeus vannamei* y otras especies de camarones cultivados.

Algunas compañías que se dedican a la fabricación de alimentos para peces producen un pelet flotante. Para fabricar pelets flotantes la mezcla de ingredientes es sometida a alto calor y presión elevada, antes de pasar por la máquina peletizadora, y ocurre un proceso de gelatinización del almidón en los ingredientes para sellar el exterior del pelet. Así el pelet formado tiene una densidad reducida y flotará en el agua durante varios minutos u horas.

El uso de pelets flotantes es muy importante en el manejo de cultivos comerciales de peces. Su uso permite observar a los peces cuando comen y evaluar directamente el consumo del alimento. El tamaño o diámetro del pelet debe ser adecuado para su fácil ingestión. Por ejemplo, se recomienda un pelet de 3mm para tilapias entre 10 a 30 gramos. En las etapas finales del engorde, los pelets pueden tener dimensiones de 6mm o más.

Los pelets deben flotar en la superficie del agua durante varios minutos u horas. El tiempo promedio de flotación y la cantidad de pelets que se hunde inmediatamente en el agua, son parámetros importantes para comparar la calidad de diferentes dietas para peces.

Al procesar una mezcla de ingredientes en pelets sólidos o flotantes para alimentar a camarones o peces, respectivamente, involucra someterlos a alto calor. El calor sirve para cocinar los ingredientes y así, son más digeribles por los peces y camarones del cultivo.

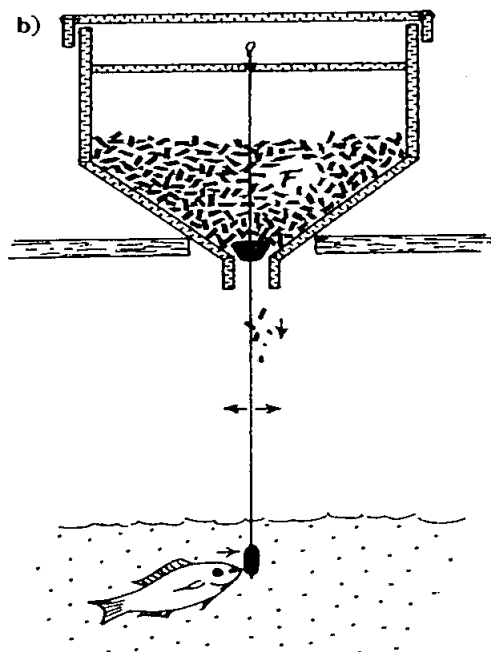


Figura 4.8. Ilustración del diseño y funcionamiento de un alimentador a demanda para peces. El mecanismo consiste en un péndulo que se extiende de la boca de una tolva con forma de embudo. Los peces aprenden a mover el péndulo para recibir el alimento a demanda.

Cuadro 4.8. Composición química de algunos ingredientes utilizados en formular dietas para peces y camarones cultivados.

Ingrediente	Materia seca (%)	Proteína Cruda (%)	ME <sup>2</sup> (Kcal/kg)	Lípido (%)
Harina de alfalfa	92	17	1400	2.7
Celulosa		0	0	0
Harina de anchovetas	92	65.5	3000	5.6
Harina de sardina	92	72.0		8.4
Caseína	91	85	4100	0.6
Harina maíz	92	9.6	3400	4
Harina soya		44	2200	6
Harina carne y hueso	93	50.4		9.7
Afrecho de arroz	91	12.7		13.7
Afrecho de trigo	89	15.2		3.9
Levadura de cervecería	93	43.8		0.8

### ¿Qué pasa cuando se observa a los peces en la superficie del agua con sus bocas abiertas?

Los peces respiran el oxígeno en solución en el agua. Muchas veces el agua del estanque no tiene suficiente oxígeno para la respiración normal de los peces. La tilapia es un pez resistente y normalmente aguanta los momentos cuando no hay mucho oxígeno en el agua.

En momentos cuando no hay suficiente oxígeno en el agua de un estanque, los peces se colocan cerca de la superficie del agua para tragar agua con el aire, y así pueden respirar bien. Es común observar los peces "boqueando" en las primeras horas de la mañana.

Para suplir oxígeno a los peces de cultivo, se recomienda echar agua fresca y limpia al estanque, de manera de un recambio de agua. El agua que echamos al estanque debe ser previamente agitada para introducir en ella oxígeno del aire. Esta agitación se puede lograr haciendo caer el agua sobre rocas o tablas antes de entrar en el estanque.

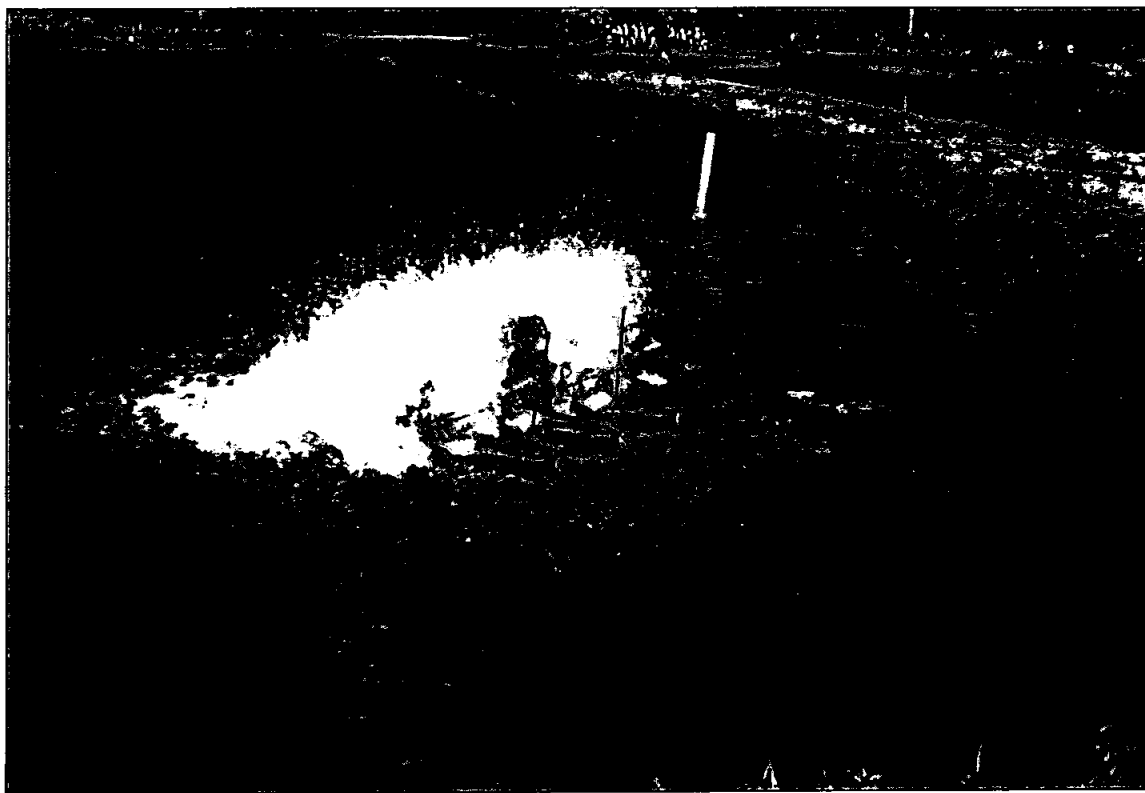
<sup>2</sup> ME significa energía metabolizable, o la cantidad de energía que el ingrediente contiene que es metabolizada en los procesos normales de digestión del organismo.

## ***Manejo de Cultivos Acuícolas***

---

Se recomienda suspender, durante varios días, la alimentación de los peces y las aplicaciones de estiércol al estanque cuando se observan los peces boqueando en la mañana.

Debemos ser atentos al comportamiento de los peces del cultivo y debemos estar preparados a tomar acción en caso de presentarse un problema. Los problemas de poco oxígeno en el agua de los estanques son bastante frecuentes. Lo triste es que los peces más grandes son los que se mueren primero por la falta de oxígeno. Por eso, el estanque debe ser construido cerca de la vivienda de la familia, y el terreno debe contar con una fuente de agua permanente para estas ocasiones de emergencia.



Cuadro 4.9. Presupuesto parcial para el cultivo del camarón tigre de mar en Indonesia con tres manejos<sup>3</sup>. Los costos totales de operación incluyen la obtención de la semilla o post-larvas (8-10%) y el alimento (que oscila entre el 50 y 70% de los costos totales en el manejo semi-intensivo e intensivo).

Parámetro de producción:	Manejo:		
	Extensivo	Semi-intensivo	Intensivo
Densidad de siembra (#/m <sup>2</sup> )	1	6	30
ICA esperado	--	1.8	1.8
Supervivencia (%)	40	50	60
Tamaño camarón (#/kg)	28	30	30
Duración ciclo (días)	--	120	120
Rendimiento (kg/ha/año)	180	1000	5600
Ingresos brutos (\$/ha)	930	5500	30700
Inversión de capital (\$/ha)	--	3500	27300
Costos totales operación	330	2700	19100
Ingreso neto (\$/ha)	600	2800	11600
Precio venta para no perder (\$/kg)	1.83	2.72	3.40

<sup>3</sup> Información tomada de: CHAMBERLAIN, G.W. 1991. Shrimp farming in Indonesia, Part I Grow-out techniques. World Aquaculture 22(2):12-27.



Figura 4.9. Los alimentos concentrados para peces y camarones proveen los nutrimentos para un crecimiento y desarrollo normal en el cultivo. La foto muestra dos marcas de alimento para tilapia en la forma física de píldoras o pelets flotantes.

## Referencias

- ANONIMO. 1983. Nutrient Requirements of Warm-water Fishes and Shellfishes. National research Council, National Academy Press, Washington, D.C., USA. 102 pp.
- D'ABRAMO, L.R., D.E. CONKLIN and D.M. AKIYAMA (editors). 1997. Crustacean Nutrition. Advances in World Aquaculture Volume 6. World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, USA. 587 pp.
- HICKLING, C.F. 1962. Fish Culture. Faber and Faber, London, Inglaterra. 295 pp.
- KNUD-HANSEN, C.F. 1998. Pond Fertilization: ecological approach and practical applications. Pond Dynamics/Aquaculture Collaborative research Support Program, Oregon State University, Corvallis, OR, USA. 125 pp.
- LITTLE, D. and J. MUIR. 1987. A Guide to Integrated Warm Water Aquaculture. Institute of Aquaculture, University of Stirling, Scotland. 238 pp. Excelente compendio de información sobre la integración del cultivo de peces con otros productos y actividades en la finca. El libro contiene mucha información valiosa.
- LOVELL, T. Nutrition and Feeding of Fish. An AVI Book, Van Nostrand Reinhold Publishers, New York, USA. 260 pp. Muy buen libro con los fundamentos de la nutrición y alimentación de peces cultivados. Incluye un capítulo sobre la alimentación práctica de la tilapia.
- PULLIN, R.S.V. and Z.H. SHEHADEH. 1980. Integrated Agriculture-Aquaculture Farming Systems, ICLARM Conference Proceedings 4. International Center for Living Aquatic Resources Management, 11960 Bayan Lepas, Penang, Malaysia. 258 pp. A pesar de su fecha de publicación, esta memoria tiene mucha información interesante sobre la integración de la producción agrícola con la acuícola. ICLARM es una institución con gran experiencia y mucha documentación valiosa sobre el tema de la integración.

# Capítulo 5. Biología y Cultivo de la Tilapia

## Descripción y taxonomía

El término "tilapia" proviene de un género que contenía una gran cantidad de especies de peces de África y del Medio Oriente. Luego estas especies fueron separadas en tres agrupaciones según sus hábitos reproductivos. Las especies mayormente de interés en la acuicultura son clasificadas actualmente en el género *Oreochromis*. Estos peces presentan la incubación bucal materna de los embriones y de los peces-larvas recién nacidos. A continuación se detallan algunas de las características importantes de las tilapias con relación a su biología y cultivo.

La clasificación de la tilapia es:

- Filo Chordata** (animales con notocordia, cordón nervioso dorsal y hueco, y hendiduras branquiales)
- Subfilo Vertebrata** (animales cordados con columna vertebral)
- Clase Osteichthyes** (peces modernos u óseos con esqueleto de huesos)
- Orden Perciformes**
- Familia Cichlidae** (son cíclidos; peces caracterizados por tener su línea lateral separada en dos partes; son peces distribuidos principalmente en África y en el Medio Oriente).

Los peces miembros de la Familia Cichlidae, o los cíclidos, nativos a Centro América son el guapote, la mojarra y el congo. Las "tilapias" fueron introducidas en toda la región Latinoamericana durante el período 1950 a 1970. Actualmente su cultivo comercial es importante en Costa Rica, Honduras, Ecuador, México, El Salvador, México, Colombia, Brasil, El Salvador, Belice y Nicaragua.

La tilapia es resistente a enfermedades y parásitos y tiene una carne blanca y sólida, con buen sabor y textura. El rendimiento en filete (sin piel) de tilapia es de 33-36% del peso vivo. En general estos peces presentan una buena tolerancia para adaptarse al agua salina y salobre (= eurihalinos). Se ha logrado adaptar a la tilapia a condiciones de agua de mar (= 36,000 ppm de salinidad) para su cultivo. En general estos peces se reproducen en la finca sin ningún arreglo o condición especial, sino en forma espontánea. Esta facilidad de reproducirse es una ventaja para su cultivo pero se vuelve como problema en el manejo del engorde del pez.



### Anatomía de la tilapia

**Anatomía externa.** La tilapia nada bien en el agua con su cuerpo aplanado e hidrodinámico. Usa sus aletas apareadas para girarse y estabilizarse en el agua (Figura 5.2). El mayor impulso del pez en la natación proviene de los movimientos laterales de su aleta caudal (cola).

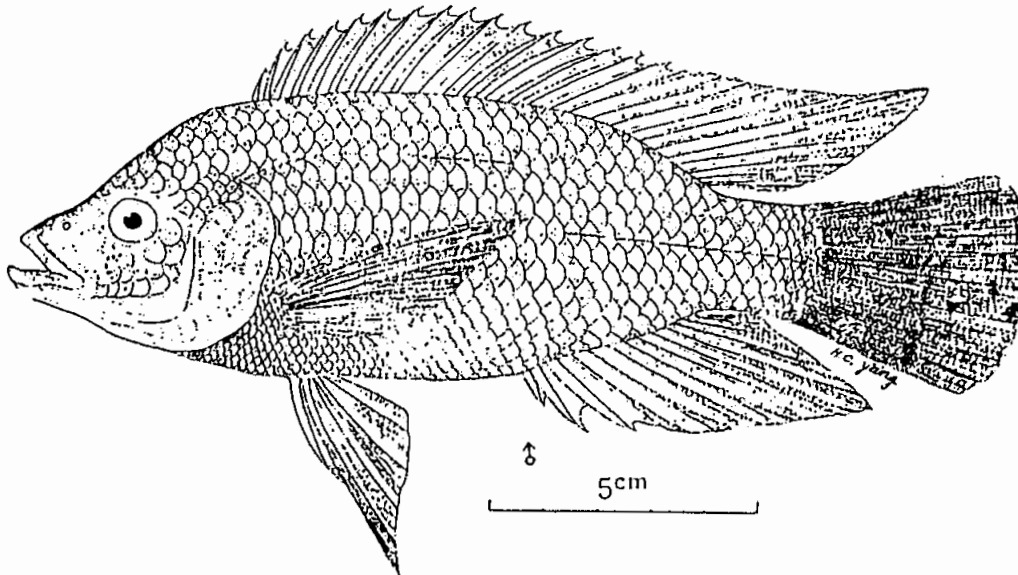


Figura 5.1. Un ejemplar de un macho adulto de la tilapia.

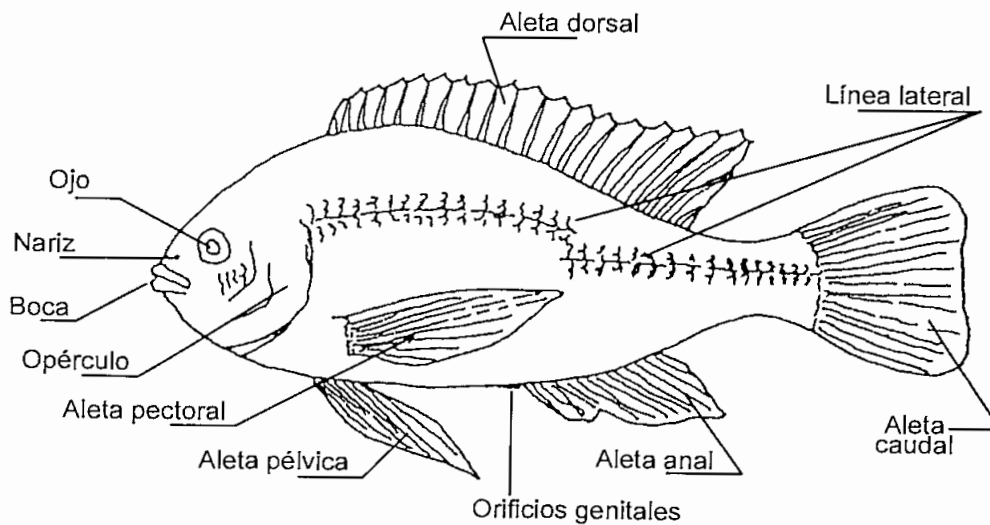


Figura 5.2. Anatomía externa de una tilapia. En el exterior de la boca del pez hay dos pre-maxilas, una superior y otra inferior. Los dientes de las pre-maxilas

serven para raspar algas y otros microorganismos de las superficies de rocas y de otros objetos en el agua. La parte anterior de las aletas dorsal y anal cuenta con espinas rígidas y peligrosas al momento de manipular los peces en la mano.

Con ejemplares mayores de unos 15 cm de largo y 50 g de peso se puede diferenciar los sexos de la tilapia comparando la morfología de sus orificios genitales (véase las figuras). Los machos de tilapia crecen más rápidamente que las hembras.

**Sistema digestivo de la tilapia.** La tilapia es clasificada como un pez herbívoro que consume el fitoplancton en medios acuáticos. Estos peces presentan un conjunto de adaptaciones para alimentarse en base de algas y otros alimentos naturales. Además, ellos aceptan comer una gran variedad de alimentos artificiales, como los granos básicos.

La tilapia presenta una dentadura especializada y branquiespinas para obtener su alimento natural. La tilapia cuenta con pequeños dientes en la pre-maxila superior e inferior (Figura 5.4). Estos dientes, con forma similar a un formol o cincel, son utilizados para raspar algas y otros tipos de microorganismos de las superficies de piedras y otros objetos sumergidos en el agua.

Las branquiespinas son pequeñas protuberancias presentes en el arco de cartílago que da sostén físico a cada branquia. El conjunto de branquiespinas de cada branquia actúa como un filtro de partículas en el agua. El material acumulado en las espinas es atrapado en moco y transferido a la faringe. Luego es triturado por acción de sus dientes faríngeos y tragado.

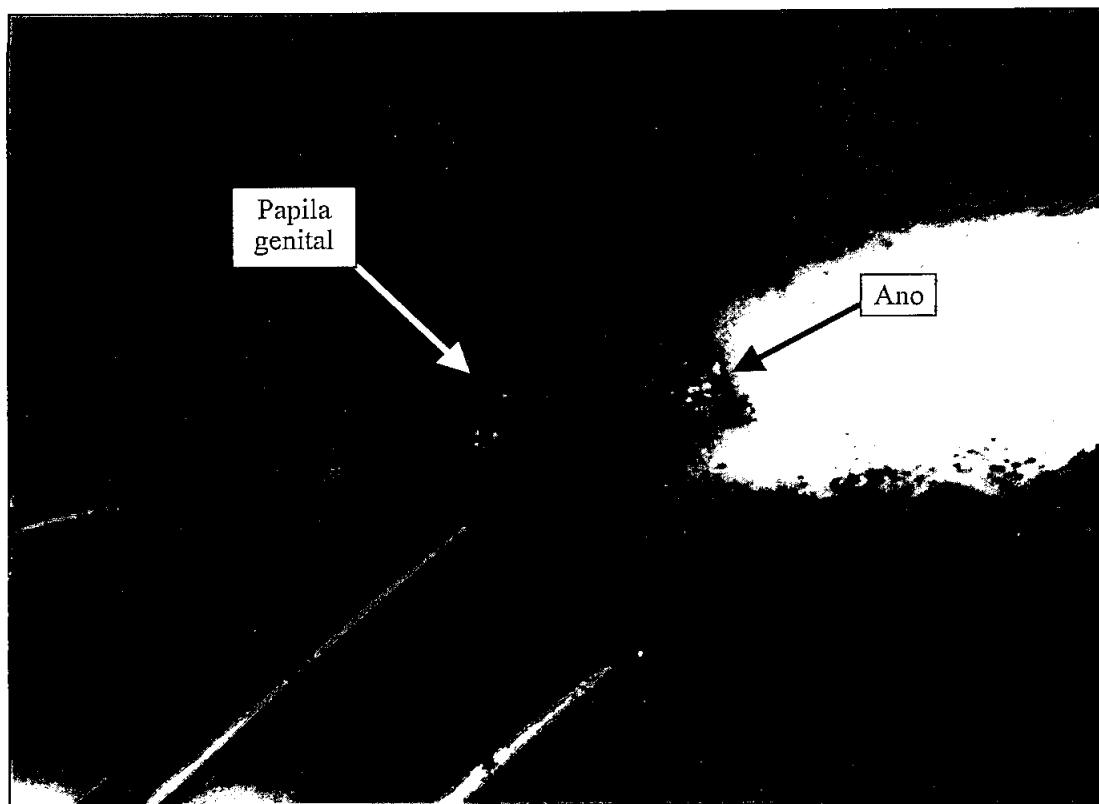


Figura Una fotografía de los orificios genitales de un macho adulto de tilapia. La fotografía es cortesía de la Universidad de Auburn, USA. El pez en la foto está orientado con su cabeza hacia la derecha y su cola a la izquierda. Se observa la panza o lado ventral del pez. Detrás del ano está la papila genital del individuo. Se observa el orificio del uréter en la punta de la papila (lado izquierdo). Con frecuencia los machos manipulados en la mano orinan por este orificio, hecho que ayuda en la comprobación de su sexo.

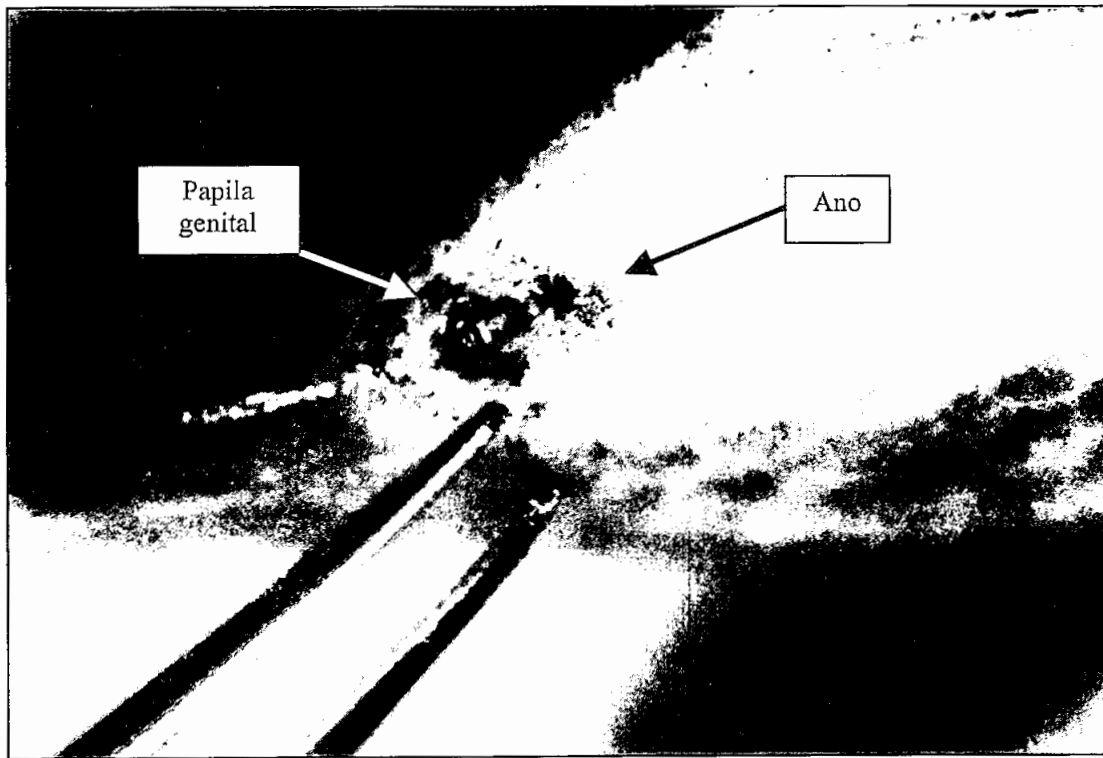


Figura Una fotografía de los orificios genitales de una hembra adulta de tilapia. La fotografía es cortesía de la Universidad de Auburn, USA. La papila genital de la hembra presenta el orificio del oviducto, por el cual ella expulsa los huevos en el momento de la postura. Este orificio es transversal y grande, en comparación con el orificio del uréter en el macho.



Figura Una hembra de tilapia mostrando la presencia de embriones en proceso de incubación en su cavidad bucal.

Similar a muchas especies de animales herbívoros, la tilapia presenta un sistema digestivo largo, aproximadamente 6 X más largo que el pez. El estómago de la tilapia, aunque no está bien definido anatómicamente, secreta ácido clorhídrico. Los alimentos ingeridos son desdoblados en un medio de acidez. La acidez ayuda en desdoblar la estructura de las paredes celulares de las algas y bacterias ingeridas y la proteína contenida en los alimentos.

La tilapia es un animal diurno y se alimenta de forma continua durante prácticamente todas las horas de luz de cada día. Se ha estimado el tiempo de evacuación del sistema digestivo de la tilapia en menos de 12 horas. Bajo las condiciones de los cultivos la tilapia acepta el alimento ofrecido durante las horas de la noche.

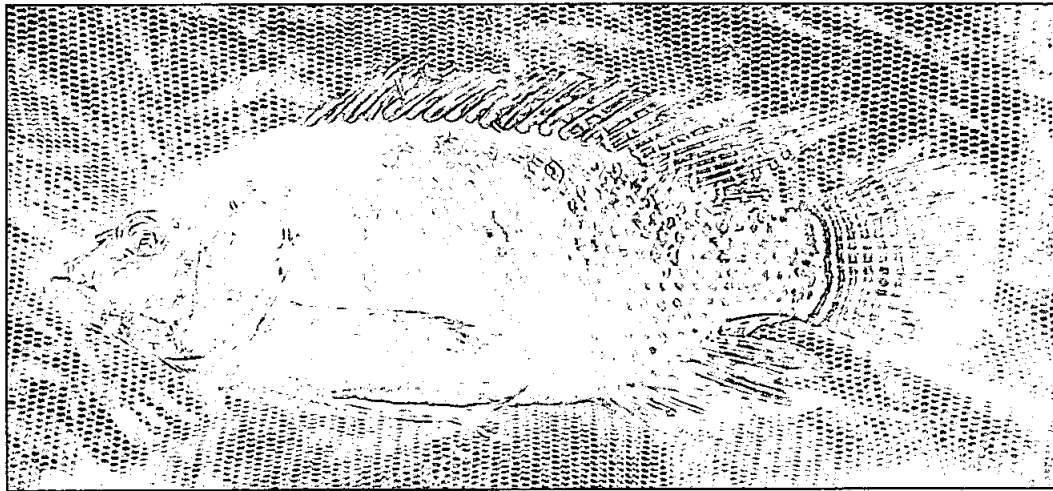


Figura 5.3. Un ejemplar de la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). Esta especie presenta siete o más barras verticales oscuras en cada lado del cuerpo y varias bandas claras y oscuras en la aleta caudal (cola). Estas bandas deben ser continuas desde el borde superior al inferior de la aleta, como se muestra en la foto. Este ejemplar presente siete bandas claras y continuas en su cola.

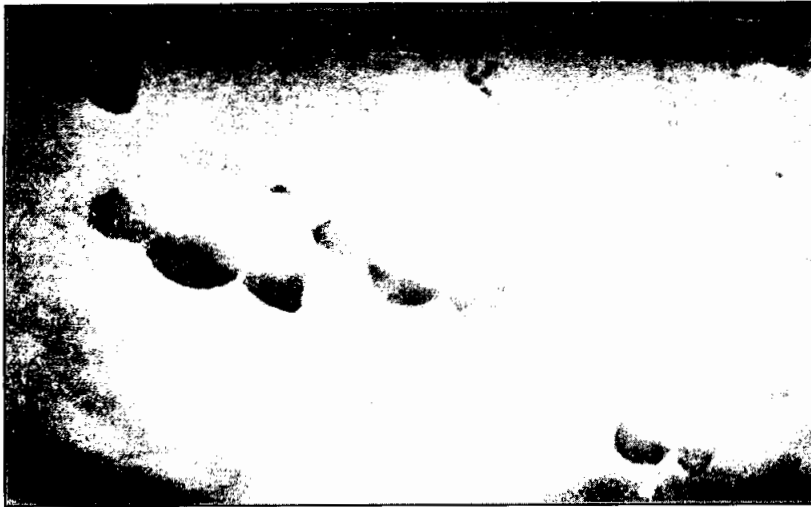


Figura 5.4. Fotografía de los dientes en la pre-maxila de una tilapia (45X).

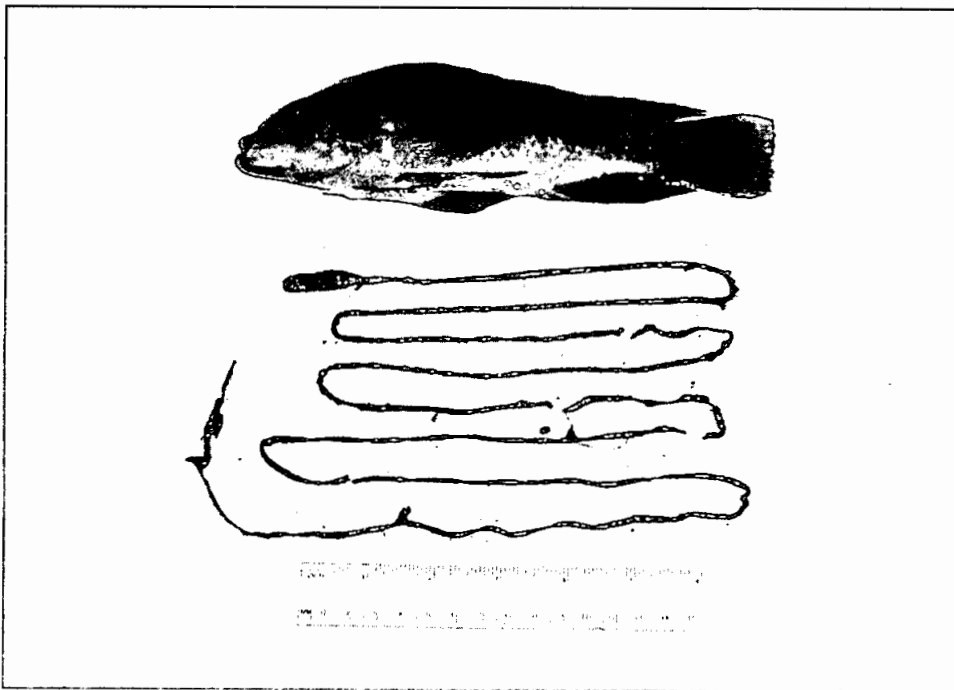


Figura 5.5. Fotografía del sistema digestivo de una tilapia de 25cm de largo. El tubo digestivo tenía un largo de aproximadamente 150cm.

## Anatomía del sistema reproductor

Hay una marcada diferencia en el ritmo de crecimiento entre machos y hembras de las varias especies de tilapia. Los machos de tilapia crecen más rápidamente que las hembras. El crecimiento de los machos es rápido durante su engorde, entre 1 a 5g/pez/día, y varía con relación a la temperatura del agua, la densidad de siembra de los peces en el recipiente, la alimentación, la calidad del agua, la disponibilidad de alimentos naturales y varios otros factores.

Poco se ha estudiado de la genética de este grupo de peces y pocos trabajos han sido realizado en el área de la genética aplicada. Todavía en estudios formales los peces extraídos directamente de los lagos y ríos de África crecen igual o mejor en comparación con las tilapias "domesticadas." Existe un gran potencial para incrementar la producción de tilapias con programas de mejoramiento.

Reproducción. La tilapia presenta hábitos reproductivos variados e interesantes. En medios naturales, los peces alcanzan su madurez sexual a una edad mayor y tamaño más grande, que los individuos manejados en cultivos. En cautiverio, se encuentran adultos de tilapia tan pequeños como de 10 g.

Hay especies de tilapia que protegen los huevos en los nidos construidos en el sedimento del fondo de un cuerpo de agua ("substrate brooders"). En algunas otras especies la incubación de los huevos y protección de los peces-larvas es en la cavidad bucal de uno de los parientes ("mouth brooders"). Las tilapias de interés mayormente en la acuicultura, son de los peces que realizan la incubación bucal materna.

Esta discusión de la reproducción de la tilapia será enfocada en los hábitos y comportamiento de la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). Se incluyen algunos comentarios sobre la reproducción de otras especies para poder compararlas con la tilapia del Nilo.

En general, la tilapia presenta un cortejo interesante. El macho sexualmente maduro excava un nido en el fondo del estanque removiendo partículas del sedimento con su boca. En este momento el macho tiene una coloración especial prenupcial. El macho busca una hembra receptiva. Una vez encontrada una hembra sexualmente madura, la pareja empieza a dar pasos nadando por encima del nido. Eventualmente la hembra comienza a poner huevos en el nido al pasar por ello. Para la tilapia del Nilo, la postura de huevos ocurre unas horas después del mediodía, típicamente.

Ella pone los huevos en pequeños grupos de 20 a 50 en cada pasada. Luego pasa él por el nido para fecundar cada grupo de huevos con semen o la lecha. Los huevos recién fecundados son recogidos en la cavidad bucal de la hembra. Enseguida comienza un ciclo nuevo con la hembra depositando, y el macho fecundando los huevos, los que terminan en la boca de la hembra.



La incubación bucal de los huevos es una adaptación que aumenta la probabilidad de una buena sobrevivencia de los embriones y de los peces-larvas que nacen después (Figura 5.6). Durante el período de incubación, tiempo que dura de 12 a 15 días, la hembra básicamente no está consumiendo alimento.

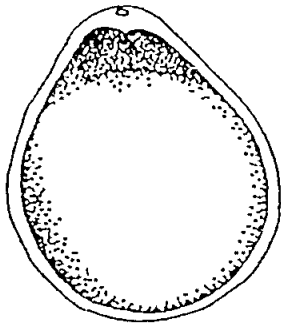
El número de huevos que pone una hembra es en relación al cuadrado de su longitud en centímetros. Así una hembra de 20 cm de largo pondría aproximadamente 400 huevos en cada postura. Una de 30 cm de largo total pondría cerca de 900 huevos.

$$\text{Número de huevos/postura} = (\text{largo de la hembra en cm})^2$$

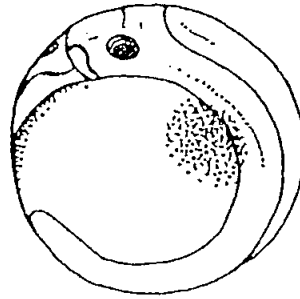
Una hembra puede poner huevos a intervalos de cuatro a seis semanas, mientras la temperatura del agua está arriba de 22°C. Bajo condiciones óptimas, la hembra puede poner a intervalos aún más cortos.

En algunos países el manejo de la reproducción de tilapia es intenso y los huevos fecundados son robados de las bocas de las hembras periódicamente. El hecho de remover los huevos del proceso de incubación sirve para acortar el tiempo entre posturas.

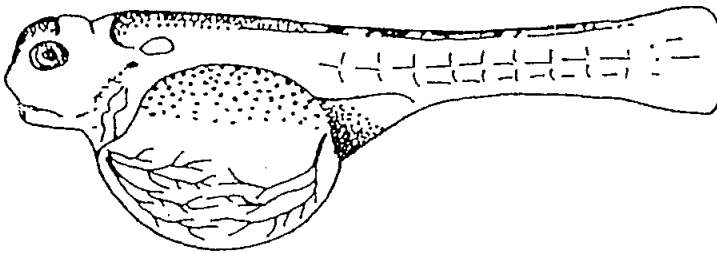
Los huevos pueden ser incubados artificialmente utilizando una variedad de técnicas y equipos. Básicamente la incubación artificial de huevos de tilapia es un intento para imitar lo que hace la hembra en el proceso natural. La incubadora consiste en un recipiente que recibe un flujo de agua oxigenada y limpia que permite mantener los huevos en movimiento lento y constante.



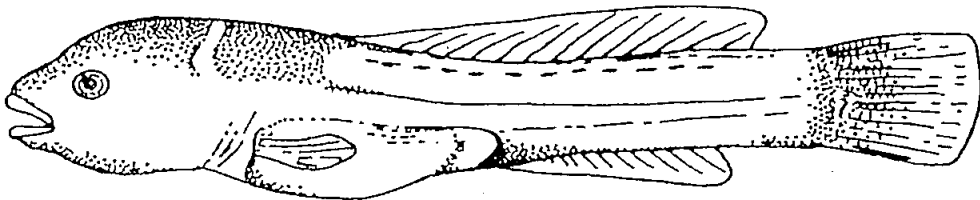
1° Clivaje  
(90 minutos p-f)



2 horas previa empollar  
(96 horas p-f)



1 día post-empollar  
(120 horas p-f)



8 días post-empollar  
(13 días p-f)

Figura 5.6. Ilustración del desarrollo temprano de las tilapias. El pez a ocho días post-empollar tiene una longitud total de unos 9 a 11mm y ya no tiene vitelo para su nutrición y desarrollo. A ese tamaño la tilapia comienza a ingerir el alimento por su boca.

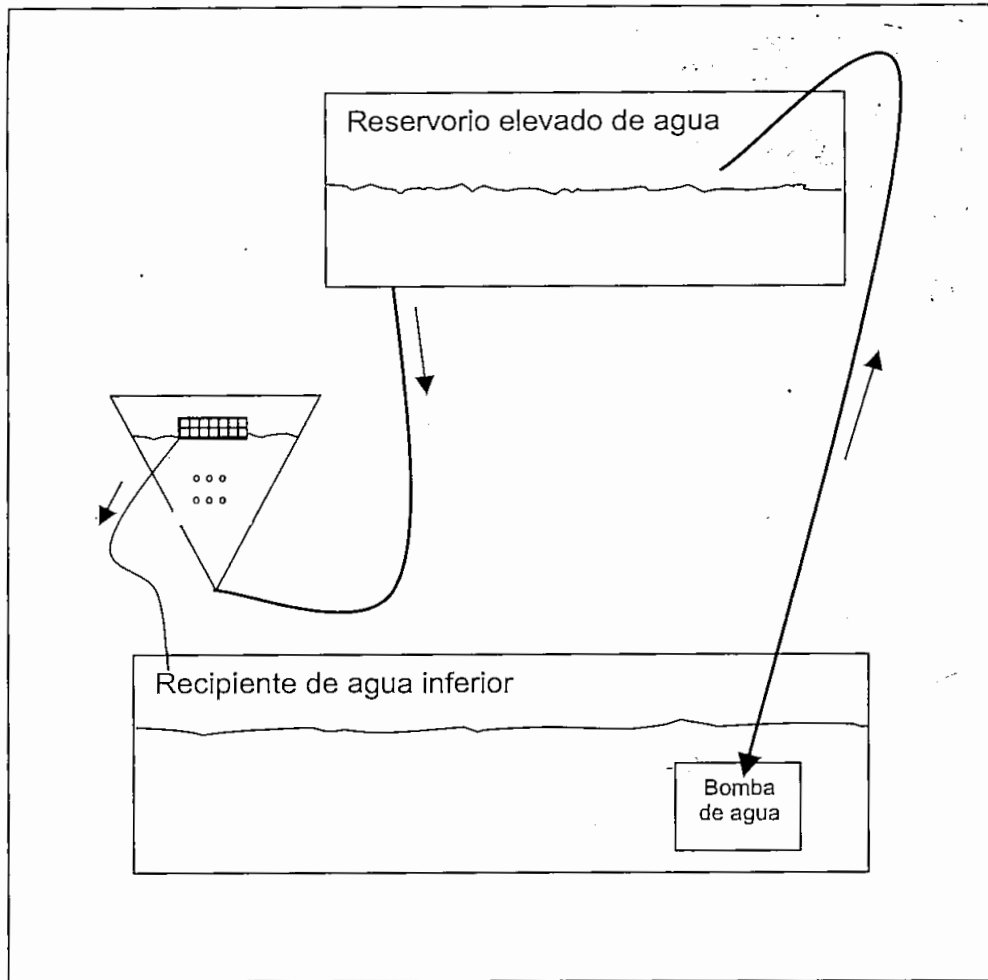


Figura del diseño básico de una incubadora para huevos de tilapia. El agua del reservorio elevado entra al embudo por debajo para mantener los huevos levantados y en movimiento. El agua sale por la ventana del embudo y cae en un recipiente con bomba para lograr la recirculación en el sistema. La ventana tiene una malla para que no salgan los huevos y pececillos recién nacidos con el agua.

El tipo de recipiente puede influir en la supervivencia de los peces:

Los alevines de tilapia son delicados. Es importante tratarlos con cuidado y no lastimarlos ni hacerles sufrir. En el manipuleo de los alevines se debe usar mucha precaución. El tipo de recipiente puede afectar el bienestar de los alevines y su supervivencia. Se realizó dos ensayos en Zamorano comparando tres tipos de recipientes para manejar los alevines de tilapia en la fase de su reversión sexual. Los recipientes eran pilas de concreto de  $7\text{m}^3$ , tanques de fibra de vidrio de  $0.30\text{m}^3$  y unas hapas de malla nylon de  $0.60\text{m}^3$  de espacio útil.

Las diferencias en la supervivencia de los peces fueron estadísticamente significativas a ambas densidades de siembra probadas. La mejor supervivencia fue observada entre los peces manejados en los tanques de fibra de vidrio. Se explicó las diferencias por la superficie áspera del concreto, y la superficie liso y uniforme de la fibra de vidrio.

	Densidad de siembra = $1000/\text{m}^3$		
	Pila	Hapa	Fibra vidrio
% supervivencia	69.5b	77.5b	93.0a
	Densidad de siembra = $2000/\text{m}^3$		
	Pila	Hapa	Fibra vidrio
% supervivencia	59.8b	51.0b	98.7a

## Cultivo de tilapia

En las Américas, la tilapia existe en cada país del continente, desde Canadá hasta Argentina. La tilapia ha escapado de muchas fincas en muchos de estos países, y ya forma parte de la ictiofauna de las aguas naturales de la región. Por ejemplo, en Centro América, hay pesca artesanal de tilapias en varios ríos y lagos de Honduras, El Salvador y Nicaragua. Además, se encuentran tilapias en los esteros adyacentes y en el Golfo de Fonseca.

El cultivo moderno de la tilapia comenzó después de la Segunda Guerra Mundial en diferentes partes de África. Los primeros intentos para lograr su cultivo fueron en países tropicales y los trabajos fueron organizados y dirigidos por los colonos europeos.

Además, durante la guerra, miembros del ejército japonés encontraron ejemplares de la tilapia (*Tilapia mossambica* = *Oreochromis mossambicus*) en un canal de riego durante la ocupación de la isla de Java, Indonesia. Luego el pez fue introducido a muchas islas del Pacífico para proveer proteína animal a las tropas y habitantes locales. Esta especie todavía lleva el nombre común de la "tilapia de Java."

La tilapia es cultivada comercialmente, y a nivel de subsistencia, en gran parte del mundo tropical. Su cultivo es un proceso que puede ser descrito por una secuencia de actividades y productos. Para poder realizar el proceso, se requiere algunos materiales e instalaciones especializados, y es necesario tomar decisiones sobre el uso de varios insumos en el sistema. El flujo de información es en dirección contraria al proceso de producción.

Especies para el cultivo. La tilapia es cultivada en muchas partes del mundo con clima tropical o subtropical. Durante mucho tiempo, la tilapia fue considerada como un "pez milagroso" o "pollo de agua," capaz de proveer alimentos (= proteína animal) y mejorar la dieta de todos los pobres, una solución potencial al problema del hambre en el mundo. Probablemente fueron tilapias los peces que utilizó Jesús en el milagro de alimentar la multitud en los tiempos bíblicos.

Muchos proyectos piscícolas con tilapia han sido organizados y realizados al nivel de subsistencia y con tecnologías inapropiadas. En Honduras hay miles de estanques en fincas de pequeños productores rurales en todo el país que fueron construidos en las décadas de los '70 y '80 para el cultivo de tilapia. La mayoría de estos estanques han sido abandonados o no han contribuido significativamente a mejorar el nivel de vida de las familias rurales. La situación en Guatemala, Nicaragua, El Salvador y otros países es similar.

Overview of Tilapia Culture

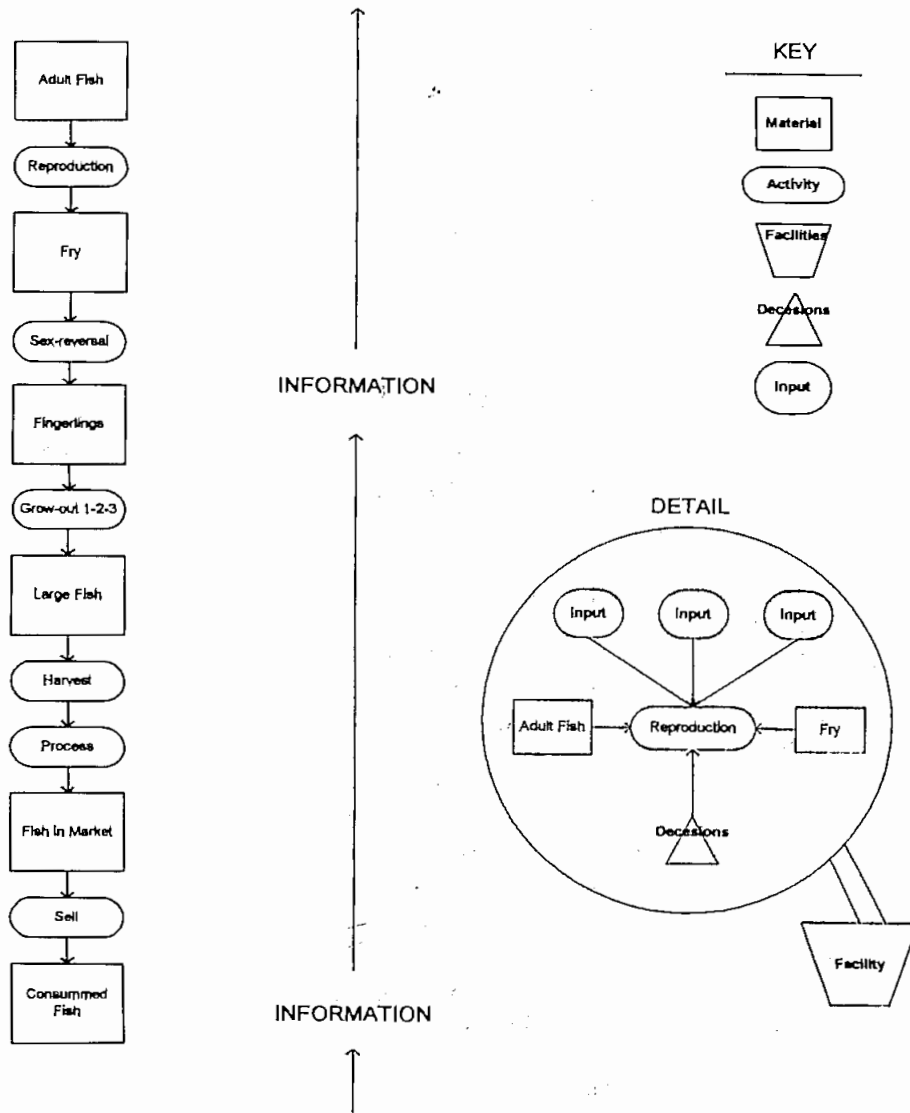


Figura 5.7. Diagrama esquemática del proceso de producción de tilapia: Los rectángulos representan a los peces en sus diferentes etapas y los óvalos son las diferentes fases de producción. A la derecha se describe en más detalle los insumos (= inputs) requeridos en una fase de producción (= reproducción). Los insumos más importantes incluirían al estanque, el alimento, equipo de pesca, aparatos para monitorear y alterar la calidad del agua).

El verdadero éxito del cultivo de la tilapia ha sido durante los últimos 20 años con el desarrollo de estrategias de manejo intensivo y comercial. Existen varias empresas en Centro América que suplen filetes frescos a los mercados en Norteamérica y en otros lugares. Para su cultivo comercial exitoso los peces son sembrados a elevadas densidades, se emplean grandes cantidades de los alimentos concentrados especializados para lograr su engorde rápido y eficiente, y se usan grandes recambios continuos del agua para mantener condiciones adecuadas para los peces.

Después de las carpas, la tilapia es el pez más importante en la piscicultura mundial, con una producción mayor de 1,200,000 toneladas métricas/año. La mayoría de esta producción proviene de la República Popular de China (70%) y de otros países asiáticos.

Hay varias especies de tilapia cultivadas en diferentes partes del mundo tropical y sub-tropical. Su cultivo tuvo un auge en la región en los años '94-'96 debido al Síndrome de Taura y los resultantes problemas en el cultivo comercial de camarones. Muchos camaroneros sembraron tilapias en sus fincas. En algunas fincas trabajaron con policultivos y en otras fueron monocultivos de los peces separados de los camarones.

Hoy día existen varias fincas comerciales de tilapia en Costa Rica, Honduras, Ecuador, El Salvador, Colombia y Brasil, en las cuales han logrado incrementar la producción considerablemente en los últimos años. La industria piscícola Latino-americana continúa en crecimiento con explotaciones nuevas y con el cultivo de tilapias en jaulas flotantes.

Sistemas de recirculación del agua. En los USA y Europa hay varias empresas cultivando tilapias en sistemas semi-cerrados y de recirculación del agua. Esto significa que la renovación o recambio del agua en el recipiente del cultivo se mantiene a un mínimo. El agua de cada tanque pasa por bombas y sistemas de filtración para utilizarla una y otra vez. Con un sistema bien diseñado y adecuadamente manejado, la renovación del agua se puede limitar en no más de 10 a 20% del volumen del sistema por semana.

Este tipo de producción es basado en el uso de altas densidades de siembra y los peces son engordados con alimentos concentrados balanceados. Para justificar los costos elevados de producción, los peces son comercializados vivos en mercados especiales. En varias ciudades importantes de Norte América y en Europa, hay comunidades étnicas de orientales y africanos quienes conocen las bondades de la tilapia y tienen una fuerte preferencia para comprar peces vivos en el mercado.

### Variedades de la tilapia para cultivar en Latinoamérica:

*Oreochromis niloticus*: La tilapia del Nilo es un pez tropical de crecimiento rápido, fuerte y robusto, de color azul-grisáceo. Este pez fue distribuido o introducido en muchas partes del mundo, debido a su fácil adaptación a una gran variedad de condiciones.

*O. aureus*: La tilapia azul, es un pez de crecimiento rápido, con buena tolerancia a temperaturas bajas. El pez es de color azul-grisáceo.

*O. mossambicus*: La tilapia de Java es la especie de tilapia utilizada en los primeros cultivos en varias partes de Asia y Africa. El pez presenta una fuerte pigmentación negra. El cuerpo de la tilapia de Java es largo y delgado. La tilapia de Java alcanza su madurez sexual precozmente a un tamaño muy pequeño (<10cm). Por su coloración oscura, resulta muy fácil separar los sexos de esta especie de tilapia. Es una especie muy tolerante al agua salada.

Tilapia roja floridiana: Es un pez de coloración rojiza, rosácea o amarillenta, de rápido crecimiento. Por su color llamativo, tiene buena aceptación en muchos mercados. Son peces muy visibles en el agua para los depredadores, especialmente las garzas y otras aves. La tilapia roja es un híbrido con parentesco mal entendido. Los híbridos de tilapia son por lo general, peces nerviosos y más difíciles de manejar que los de líneas puras.

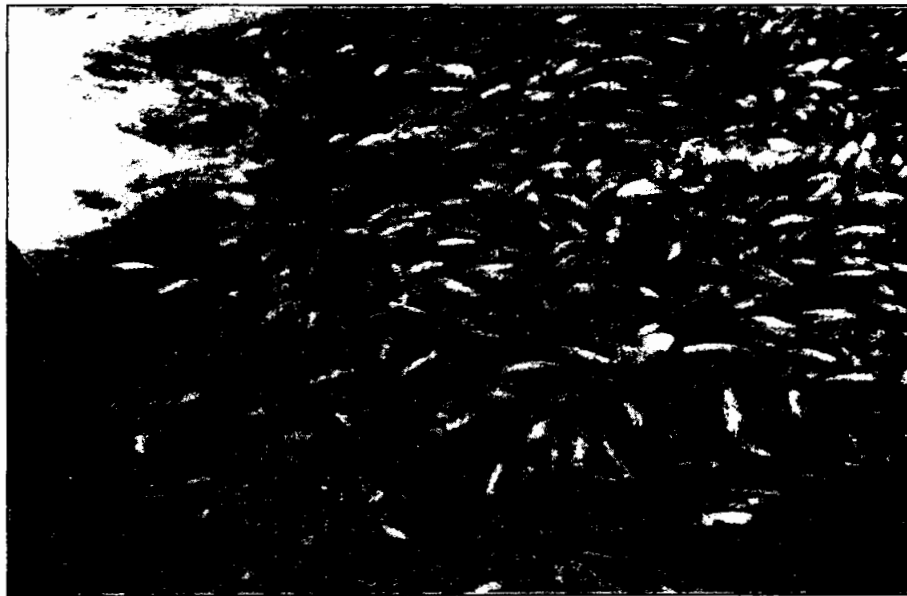


Figura En cultivos manejados con gran recambio de agua, la densidad de siembra de tilapia puede alcanzar más de 100 peces por m<sup>2</sup> de estanque.



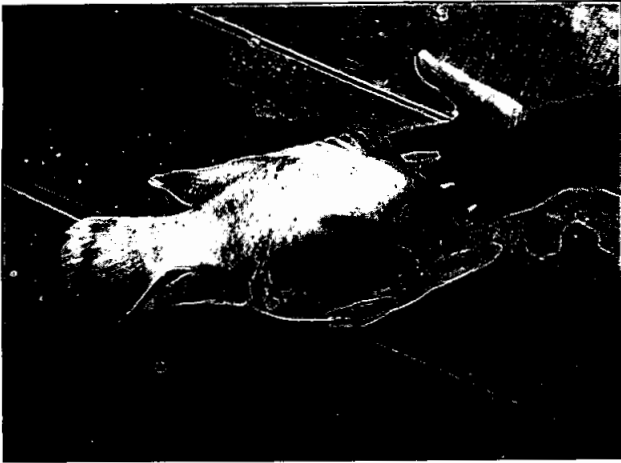


Figura Un ejemplar de la tilapia roja de aproximadamente 1000 g tomada de una jaula comercial.

### Manejo de los cultivos

En cultivos comerciales la densidad de siembra para tilapias llega hasta 20 o más peces/m<sup>2</sup> de espejo de agua en estanques de no más de 2000m<sup>2</sup> área superficial. Esto es equivalente a densidades llegando a 200,000 peces/ha. En los cultivos manejados con un recambio de agua arriba de 200% por hora, la densidad de siembra puede superar 100 peces/m<sup>2</sup> en estanques o canales pequeños, con unos 500m<sup>2</sup> espejo de agua. La regla general es que al intensificar el cultivo de peces, el área superficial del estanque es, cada vez, menor.

Al subir la densidad de siembra, el primer factor limitante encontrado será la concentración de oxígeno disuelto (OD) en el agua. Los mismos peces del cultivo enseñan cuando la concentración de oxígeno en el agua no es suficiente. A la madrugada del día, ellos se encuentran nadando por la superficie del agua tomando aire y el agua con la boca abierta "boqueando" cuando la concentración de O<sub>2</sub> en el agua es deficiente. Esta es una clara indicación que existe un problema con el OD en el agua.

Luego, a densidades todavía más elevadas, la producción será limitada por la acumulación de los desechos metabólicos en el agua. Probablemente, el desecho más importante como factor limitante en el cultivo será una acumulación de amoníaco (NH<sub>3</sub>) en el agua.

Así que, primero es necesario instalar aereadores para suplir oxígeno adicional a los organismos del cultivo. Luego habría que realizar una renovación del agua del sistema para lograr bajar (diluir) la concentración de amoníaco y mantener condiciones adecuadas en el cultivo o introducir filtros en el sistema para remover el amoníaco del agua.

### Fases de producción comercial para tilapia cultivada

El cultivo comercial de tilapia se realiza en varias fases o etapas más o menos distintas. Hay muchas opciones o posibilidades de variar la secuencia presentada aquí. Se incluye información sobre el tamaño y/o peso promedio de los peces al finalizar cada etapa.

Fase 1. Reproducción. El objetivo es obtener grandes números de alevines de tilapia de una edad y tamaño similares. La producción de alevines de tilapia se puede hacer en una variedad de recipientes, incluyendo a estanques excavados en la tierra, en tanques de concreto, fibra de vidrio u otro material, y en hapas de malla nylon.

Con un sistema manejado adecuadamente, la producción de alevines se estima en uno o dos por gramo de hembra/mes. En la cosecha de los estanques de reproducción, los alevines tendrán una longitud de 9 a 11 mm y un peso promedio entre 0.001 a 0.050 gramos.

La producción continua de números adecuados de alevines es indispensable para el éxito de una finca piscícola comercial. Es importante entender algunos aspectos de la biología de la tilapia para poder manejar su fase de reproducción.

La tilapia es pez no muy prolífico. En la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) cada hembra pone un número reducido de huevos en cada postura. La tilapia puede reproducirse durante todo el año a intervalos de 5 ó 6 semanas en lugares con climas tropicales. Así, a lo largo de todo el año, los peces son capaces de producir muchas crías.

Después del cortejo y fecundación por el macho, la hembra de tilapia incuba los huevos en su cavidad bucal. Allí desarrollan los embriones y es donde nacen los pececillos larvas. Los peces-larvas se mantienen en la cavidad bucal de la hembra durante el tiempo necesario para la absorción del saco vitelino.

Al comenzar a alimentarse por la vía oral, los alevines empiezan a salir de la boca de su madre para buscar alimentos en el medio. Debido a este cuidado especial, la mortalidad de huevos, embriones y larvas es bastante reducida en tilapia.

Peces reproductores. Se recomienda utilizar peces adultos con pesos entre 100 y 300 g en un programa de reproducción de tilapia. Peces de 100 g ya están sexualmente maduros. Arriba de los 300 g los peces son difíciles de manejar y frecuentemente se lastiman a trasladarlos entre las diferentes unidades usadas en cumplir con esta tarea. En cada proyecto debe existir un programa para reemplazar a los adultos reproductores, los cuales rápidamente alcanzan el tamaño o peso máximo recomendado para su descarte.

La reproducción masiva de tilapia se puede llevar a cabo en un estanque pequeño (<500 m<sup>2</sup>) provisto de una caja de cosecha en el área del drenaje.

Antes de llenar el estanque con agua se coloca una red o malla de 2.5 cm de luz, fijada al suelo en el interior de la caja de cosecha. Se siembra el estanque con aproximadamente 0.2 a 0.4 Kg de peces hembras/m<sup>2</sup>, empleando hembras de peso promedio entre 100 a 300 g. Se siembra el mismo día, un macho para cada dos o tres hembras en el estanque.

Según la temperatura del agua, se drena el estanque después de 15 a 24 días de cultivo. A bajar el nivel de agua en el estanque, se puede remover los peces adultos levantando la malla en el fondo de la caja de cosecha.

Dejando agua en la caja de cosecha, se procede a capturar los alevines empleando redes de mano. Con un manejo adecuado en un estanque de 500 m<sup>2</sup> de área superficial, esta cantidad de hembras producirá 80,000 o más de alevines de una longitud entre 9 y 12 mm en cada ciclo.

La meta es lograr producir uno o dos alevines por ciclo por cada gramo de hembra en la población de reproductores. Los pececillos de este tamaño son apropiados para comenzar el tratamiento con hormona y el proceso de reversión del sexo.

Modificando el manejo, se puede remover los adultos al final del período de reproducción y dejar los alevines en el mismo estanque para el tratamiento con hormona. Así los alevines delicados no son capturados y sufrirán menos estrés y mortalidad.

En algunas fincas comerciales los reproductores son manejados en estanques de tierra de unos 4000 m<sup>2</sup> de espejo de agua. Los alevines que resultan de la reproducción de los peces adultos son capturados, día por medio, en la orilla del estanque, a partir del día ocho de cada ciclo. Se puede manejar estanques así por unos 28 a 30 días.

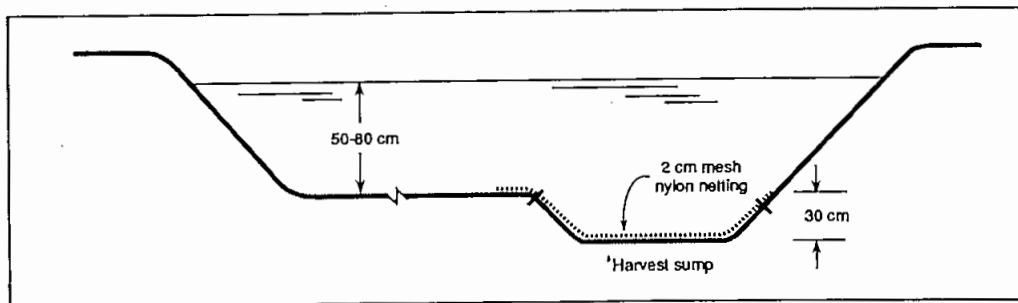


Figura. El perfil de un estanque diseñado para facilitar el manejo de los adultos y recolección de los alevines de tilapia. Se coloca una malla en la parte más honda del fondo (la caja de cosecha) para poder remover los adultos durante el proceso de drenar el estanque. El dibujo fue tomado de Popma y Green (1992).

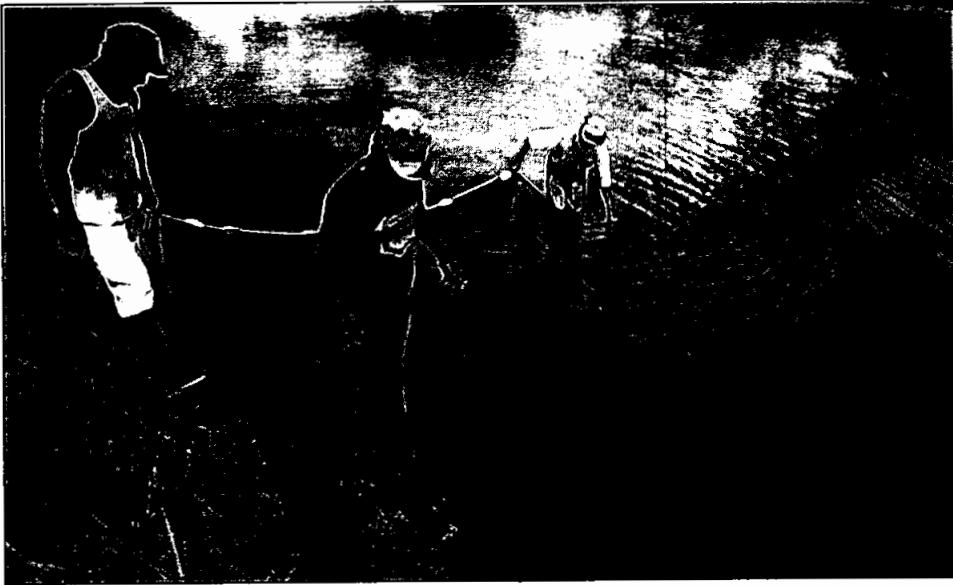


Figura Captura de alevines en la orilla de un estanque de 4000 m<sup>2</sup> con una red pequeña.



Figura Los alevines capturados en la orilla del estanque tienen que ser clasificados por su tamaño y contados antes de entrar en la fase de reversión sexual.

No es posible capturar todos los alevines en la orilla del estanque. Los que no son capturados eventualmente alcanzan un tamaño suficiente para empezar el canibalismo de los recién nacidos. Por esa razón, se recomienda no pasar de un mes para cada ciclo de producción.

Los alevines producidos en la reproducción de tilapia son clasificados según su tamaño usando un separador especial. Consiste en una caja fabricada de un marco de tubos de PVC cubierto de malla plástica de 3 mm de luz. El marco de PVC hace flotar el separador en el agua. Los peces capturados cada día son depositados en el separador flotando en el recipiente donde serán transferidos para la fase de reversión sexual. La malla retiene los peces mayores de 12 mm de largo. Los peces más pequeños pasan por la malla para comenzar su proceso de reversión sexual. La falta de alevines de tilapia de buena calidad y en cantidades adecuadas ha limitado la expansión de su cultivo en muchos países del mundo.

Fase 2. Reversión del Sexo. Es el período de tratamiento de los alevines con hormonas para lograr producir poblaciones de peces 100% del sexo masculino. La reversión del sexo se logra en un período de aproximadamente 28 a 30 días. Al finalizar el tratamiento de hormona, los peces tendrán una longitud de 25 a 35 mm y un peso promedio de 0.15 hasta 0.50 gramos. La dosis recomendada de hormona es de 60 mg de Metil-Testosterona en cada kilogramo de alimento preparado.

La tilapia alcanza su madurez sexual a un tamaño pequeño y a una edad temprana. En la fase de engorde, los peces empezarán a reproducir en el estanque. Esta reproducción no deseada, interferiría con el desarrollo normal de los peces sembrados originalmente en el estanque. La superpoblación del estanque provoca un efecto de enanismo general de los peces y reduciría la rentabilidad del cultivo. Este problema de la reproducción indeseada de los peces en los cultivos de engorde provocó muchas pérdidas económicas y la desilusión, en los primeros intentos para cultivar tilapia durante las décadas de los '50, '60 y '70.

El cultivo comercial exitoso de tilapia requiere controlar o eliminar por completo la reproducción de los peces en la fase de engorde. Hay varios procedimientos posibles para lograr formar poblaciones mono-sexuales de estos peces. Los machos de tilapia crecen mejor que las hembras, como consecuencia, es preferible trabajar con poblaciones de solamente machos para la fase de engorde de los peces. Una tilapia recién nacida es susceptible al tratamiento con hormonas exógenas. Las hormonas masculinas inducen una inversión del sexo en el pez hembra. Las hembras tratadas con la hormona desarrollarán todas las características de un macho normal (fenotipo masculino) y pueden funcionar perfectamente en la reproducción. El tratamiento resulta ser efectivo y económico al emplearlo. A continuación se detallan los pasos importantes para usar la 17- $\alpha$ -Metil-testoterona (MT) en producir poblaciones de machos de tilapia. Similarmente, el uso del estrógeno resulta en la producción de poblaciones mayormente de hembras.

### **Procedimiento de reversión sexual con MT**

Los peces. Es importante seleccionar peces de un tamaño adecuado para tratarlos con la hormona (largo máximo de 12 mm). La hormona tiene un efecto reducido en peces mayores de 12 mm de largo.

La hormona. La MT es una hormona sintética. Tiene un precio de aproximadamente US \$5.00 por gramo. La MT es un esteroide insoluble en agua pero soluble en alcohol. Este producto es sensible al calor y a la luz solar. Ambos factores son capaces de degradar la hormona rápidamente.

La hormona es administrada a los peces por vía oral, mezclándola en el alimento. La concentración recomendada de MT para efectuar la inversión de sexo en tilapia varía de 30 a 60 mg de MT por kg de alimento preparado.

El alimento. Los peces pequeños requieren de una dieta nutritiva y rica en proteínas. Se recomienda utilizar una dieta con 40% o más de proteína cruda en realizar la reversión sexual de tilapia. El alimento debe ser molido finamente para facilitar su ingestión por los peces pequeños.

La persona responsable para la preparación del alimento con MT debe trabajar con guantes de hule y una máscara de protección cubriendo su boca y nariz. La MT es absorbida por la piel humana. Se recomienda preparar el alimento con MT en bandejas de plástico y en un lugar bien ventilado. La cantidad necesaria de MT se disuelve en 500 ml de alcohol etílico (95%) para ser agregado a cada kilogramo de alimento.

El alimento que recibe el alcohol con MT tiene que quedar suficientemente remojado para asegurar una distribución uniforme del producto. Se recomienda usar 500 ml de la solución por cada kilogramo de alimento preparado. Luego de mezclar todo bien, se deja el alimento en un lugar fresco en la sombra para que se evapore el alcohol.

El alimento preparado con MT debe ser guardado en refrigeradora en bolsas selladas. Al tiempo, el alimento se mantiene durante unos 15 días sin deterioro importante.

Los peces a tratar se manejan en una variedad de diferentes recipientes. Se puede usar estanques, pilas de concreto, acuarios o hapas (hapas son bolsas de malla de nylon suspendidas en el agua). Una densidad de siembra adecuada sería de 3000 a 5000 alevines/m<sup>3</sup> de hapa. En estanques o pilas, la densidad de siembra para los peces varía entre 500 a 1500/m<sup>3</sup>.

Siempre se requiere tener los peces en agua de buena calidad, con suficiente oxígeno y condiciones óptimas para su buen desarrollo. Las hapas y pilas deben ser cubiertas por una malla para evitar la depredación de los alevines por aves. La malla no debe dar demasiada sombra, porque la luz solar es buena para la salud de los peces.

El alimento con MT debe ser ofrecido a los peces varias veces por día durante las horas de luz. Se recomienda dividir la cantidad para cada día en cuatro o más porciones. Los peces pequeños consumen una gran cantidad de alimento cada día. El nivel de alimentación debe ser de 15 a 20% de la biomasa de los peces por día al principio del período de tratamiento, reduciéndose a 10% en forma gradual, hasta concluir el uso de MT, a los 28 días de cultivo.

Cosecha de los peces tratados con MT. Los peces serán tratados durante unos 28 días. Dependiendo de las condiciones del cultivo, especialmente en la temperatura del agua y la densidad de siembra, los peces alcanzarán un peso final promedio entre 0.15 a 0.50 gramos. La sobre-vivencia de los alevines durante el período de inversión del sexo debe estar entre 70 y 90%. Los alevines son delicados y hay que tratarlos con mucho cuidado.

El tratar los peces con MT debe resultar en la producción de poblaciones con 97% o más de machos. Cuando el porcentaje de hembras sobrepasa 5% en los peces tratados con MT, hubo algún problema. Dos problemas comunes son:

- El tratar peces con un largo inicial mayor de 12 mm. Los peces grandes ya tienen comenzado el desarrollo de sus gónadas y la hormona no tiene efecto.
- La preparación y uso del alimento con MT. Asegure que la dosis es de 60 mg de MT/kg de alimento. Debe ofrecer el alimento con MT a los pececillos cuatro o más veces por día, durante 28 días. No deje el alimento con MT expuesto a la luz del sol o donde hay mucho calor. Use hormona fresca y de buena calidad.

Cuadro Cantidad de alimento a dar a los alevines de tilapia durante la fase de reversión del sexo. Las cantidades son gramos. Información tomada de Popma y Green (1990).

Largo promedio alevín (mm)	Ración diaria por 1000 alevines (g)	Largo promedio alevín (mm)	Ración diaria por 1000 alevines (g)
8	2	17	13
9	3	18	15
10	4	19	16
11	5	20	17
12	6	21	19
13	7	22	21
14	8	23	24
15	10	24	27
16	11	25	30

Cuadro Los detalles de los costos para la producción de alevines machos de tilapia en Zamorano durante su reversión de sexo con duración de 30 días. Estos peces machos, de unos 35 mm de largo y de 0.25 a 0.50 g cada uno, son vendidos en Honduras a precios entre USD 15.00 a 22.00 por millar. Se espera una supervivencia de los peces de aproximadamente 70% de los sembrados. En Zamorano se estiman los costos de producir los alevines de tilapia de 12 mm de largo en USD 1.20 a 2.00 por millar.

Descripción/concepto	Unidad	Costo unitario USD	Número unidades	Valor total USD
Ingresos (venta de alevines machos) =	1000	20.00	31.5	<b>\$ 630.00</b>
Costos variables:				<b>293.80</b>
Alevines de 12 mm de 0.01 g c.u.	1000	2.00	45	90.00
Alimento con MT	kg	4.00	20	80.00
Mano de obra	día-hombre	5.00	20	100.00
Bomba de agua	hora	0.33	40	13.20
Uso vehículo	km	0.22	30	6.60
Equipos (calidad agua, redes)	día	0.50	8	4.00
Costos fijos (depreciaciones):				<b>27.00</b>
Unidad de producción (pila de 15 m <sup>3</sup> )	día	0.50	30	15.00
Equipos análisis de agua, redes, otros	día	0.40	30	12.00
Ganancia = (I - CT) =				<b>\$ 309.20</b>
% de rentabilidad = $\{(I - CT)/CT \times 100\}$ =				<b>96%</b>



## **Técnicas para controlar la reproducción de tilapia:**

Existen varias estrategias o técnicas para poder controlar o eliminar por completo la reproducción de la tilapia en los cultivos de engorde. La reversión sexual es la técnica de mayor importancia en la producción comercial de tilapia en el mundo. Algunas otras técnicas o estrategias son:

1. Cosechas parciales periódicas. Se puede sembrar machos y hembras juntas y periódicamente cosechar los alevines para removerlos del cultivo. Esta técnica requiere de mucho mano de obra y siempre quedan alevines para interferir con el engorde de los peces sembrados originalmente. Las hembras siempre están reproduciendo y creciendo lentamente.
2. Cultivo de machos por separación manual de los sexos. Se puede identificar el sexo de la tilapia con facilidad examinando sus orificios genitales. El proceso requiere de mucho mano de obra y se termina con una cantidad de hembras de poco valor. Las hembras pueden ser procesadas en harina de pescado o consumidos por la familia. Siempre se equivoca en la identificación de los sexos de algunos peces, y unas hembras entrarán al cultivo.
3. Cultivo de machos por reversión sexual. Esta técnica fue descrita antes en el folleto. La técnica requiere de conocimientos, habilidades e infraestructura especiales. Hay consumidores quienes no quieren adquirir peces tratados con hormonas.
4. Policultivo con un pez piscívoro. En Centro América comúnmente se siembran ejemplares del guapote (*Cichlasoma mangüense*) con la tilapia en policultivo. El guapote es un pez piscívoro capaz de consumir los alevines de tilapia durante el engorde. La técnica requiere de un suministro de alevines de guapote y siempre las hembras dedican energía y esfuerzo al proceso reproductivo, y su crecimiento es inferior al macho.
5. Cultivo en jaulas. La tilapia cultivada en jaula no puede reproducir. La malla del fondo de la jaula no retiene los huevos puestos por la hembra, entonces no habrá reproducción. Siempre se está cultivando hembras, las cuales por su naturaleza son de crecimiento lento.
6. Cultivo a alta densidad. Se ha notado cuándo se cultivo la tilapia a alta densidad, los peces dejan de reproducirse.



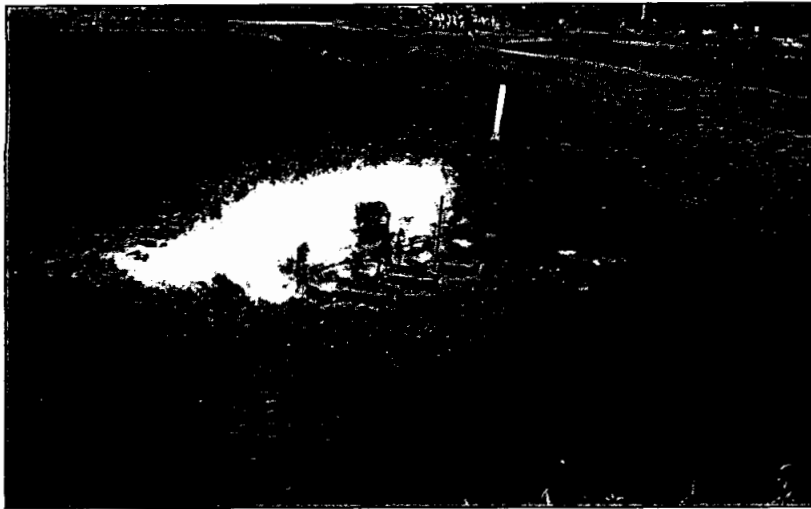


Figura Un aireador eléctrico en funcionamiento. El aparato consiste en un motor eléctrico montado sobre flotadores. La acción del motor hace girar a un eje horizontal con paletas de plástico. Las paletas levantan el agua al aire promoviendo una efectiva difusión de oxígeno y circulación del agua en el estanque.

Fase 3. Pre-engorde. Aquí se producen peces de un tamaño adecuado para asegurar su buena sobre-vivencia en las etapas finales del engorde. El pre-engorde toma de 60 a 90 días. El objetivo es producir peces de alrededor de 50 g de peso promedio o mayor, al finalizar esta fase, los cuales son transferidos a los estanques de engorde.

Comúnmente se realiza el pre-engorde de los peces en estanques excavados en la tierra de unos 4000 m<sup>2</sup> de espejo de agua. Los peces recién terminado su tratamiento con MT, son transferidos al estanque y sembrados a una densidad entre 20 a 40 por m<sup>2</sup>. La densidad de siembra varía según la calidad del agua y manejo dado al estanque. Con un recambio de agua de 20 a 50% por semana, y aireación continua, se siembran los peces a la más alta densidad.

Estos pececillos aprovechan bien de los alimentos naturales que desarrollan en aguas fértiles. Previa la introducción de los peces, se recomienda fertilizar estos estanques con estiércoles (gallinaza o de cerdos) o fertilizantes minerales hasta que el agua tome un color verde fuerte. Semanalmente se agrega más fertilizante para mantener una elevada productividad en el estanque. Los peces también pueden ser manejados con alimentos concentrados en el pre-engorde.

De nuevo, según las condiciones del cultivo, se espera una sobre-vivencia de los peces entre 70 a 80%, en la fase del pre-engorde. Los peces deberán alcanzar un peso promedio arriba de 50 g en el pre-engorde, y estar listos para la fase de engorde en su finca.

Fase 4. Engorde. Es la fase para producir peces de un tamaño comercializable. El tamaño o peso final del pez cosechado varía según las exigencias de los mercados dónde se coloca el producto. Para los mercados locales en Centro América, una tilapia con peso vivo entre 250 y 450 g es muy atractivo.

Se espera un crecimiento rápido de los peces durante su engorde. En buenas condiciones de temperatura, calidad de agua y nutrición, la tilapia puede ganar de 2 a 5 g/pez/día. Los peces son sembrados a densidades desde cuatro hasta 500/m<sup>2</sup> para su engorde.

La duración del engorde depende en la tasa de crecimiento de los peces en el cultivo y el tamaño del pez exigido en los mercados. En muchas fincas comerciales, la fase de engorde es dividida en varias sub-etapas (engorde 1, 2 y 3, por ejemplo).

En fincas comerciales, la tilapia es engordada en estanques excavados en la tierra, en jaulas y en canales revestidos de concreto. Normalmente en los estanques, el recambio de agua no supera a 25% por semana. Este hecho limita la densidad de siembra y velocidad del proceso de engorde de los peces.

En varios países se cultiva tilapia en jaulas flotantes. Las jaulas son bolsas de malla suspendidas de un marco flotante. Las jaulas son colocadas en lagos naturales o en reservorios. Las corrientes naturales de agua en el lago traen agua oxigenada a los peces y eliminan los desperdicios (material fecal, orina y alimento no consumido) de la jaula. La jaula es el equivalente acuático a un corral en la tierra, en la cual los animales son encerrados y engordados eficientemente ("feedlot"). En Honduras la densidad de siembra para el cultivo de tilapia en jaulas vacila entre 50 a 100 por m<sup>3</sup> de agua.

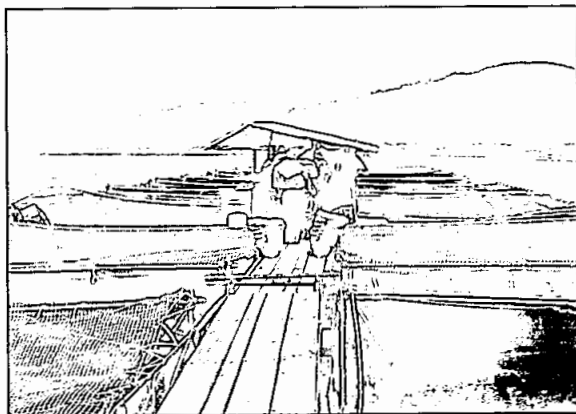


Figura Una fotografía de un juego de jaulas con plataforma flotante. Cada jaula mide 6 x 6 x 3 m, dando un espacio útil de unos 80 m<sup>3</sup> para el engorde de los peces.

En algunos sitios, aprovechando de la topografía local, se puede desviar agua de un río o quebrada y para disponer de una fuente para hacer recambios en recipientes diseñados para el cultivo de peces en canales. Si la fuente de agua es voluminosa, es factible sembrar tilapia a densidades mayores de 100 peces/m<sup>3</sup> de agua en el recipiente con dos o más recambios completos por hora. Para evitar problemas con la erosión de los diques, los estanques para este tipo de cultivo de peces tienen que ser revestidos de concreto u otro material resistente.

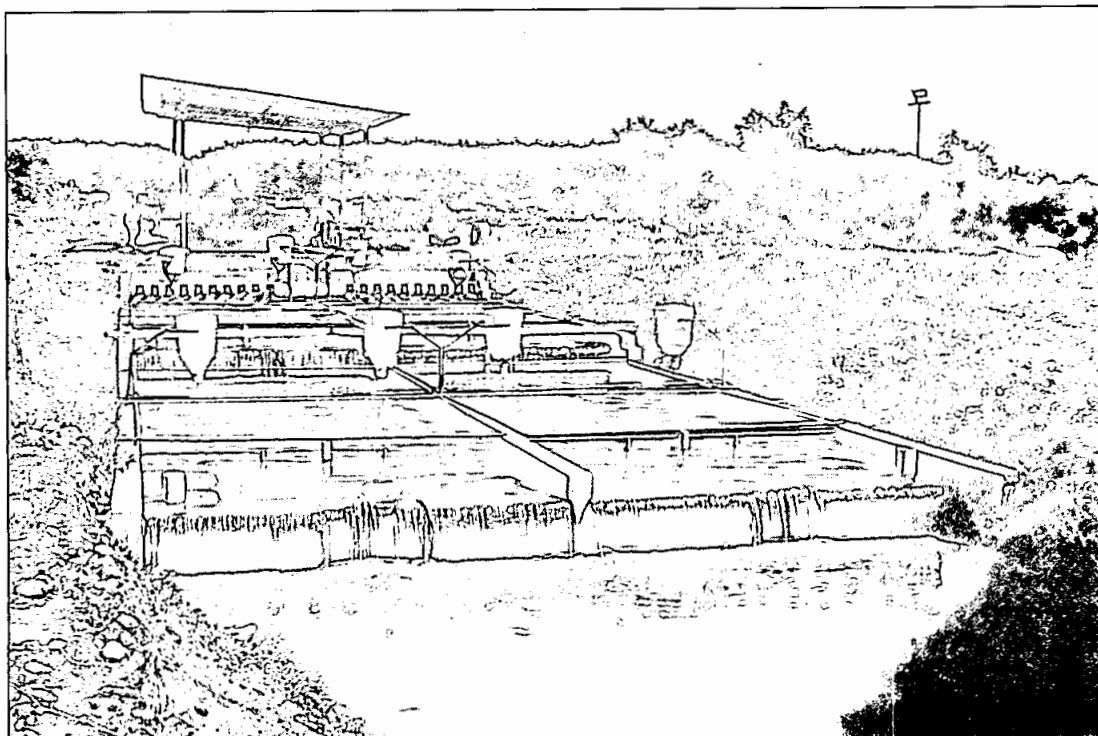


Figura Una pequeña finca de tilapia consistiendo en cuatro pilas o canales revestidos de concreto y de 30 m<sup>3</sup> de volumen cada una. El recambio de agua es equivalente a 200% por hora. Los peces son sembrados (500/m<sup>3</sup> de agua) recién terminado su reversión sexual y engordados sin transferencias, a un peso de 450 g en ciclos de ocho a diez meses. Los recipientes blancos puestos encima de cada pila son alimentadores a demanda.

### **Programación de la Producción de Tilapia**

A continuación se presentan unos criterios para ayudar programar la producción de peces en una finca comercial de tilapia. Los niveles de mortalidad presentados aquí pueden variar considerablemente según las condiciones de la finca (habilidad para manejar los cultivos, las aves depredadoras, ladrones, etc.).

**Meta: cosecha.** En la finca se quiere exportar mensualmente aproximadamente 10,000 lbs de filete de tilapia. Esto significa una cosecha de aproximadamente 30,000 lbs de pez vivo por mes. Cada pez tendrá un peso vivo promedio final de 675 g, entonces estaríamos cosechando aproximadamente 20,000 peces por mes.

**Fase de engorde.** Para poder cosechar 20,000 peces cada mes deberíamos sembrar unos 22,000 peces/mes para comenzar nuevos cultivos de engorde en la finca. Este cálculo es basado en una mortalidad esperada de 10% en esta última fase de la producción.

**Fase de pre-engorde.** Para mantener una cosecha de los 20,000 peces/mes en la fase de engorde, sería necesario sembrar unos 30,000 peces/mes en el pre-engorde. Durante el pre-engorde se esperaría una mortandad de más o menos 33% en los 60 a 90 días que dura.

**Fase de reversión sexual.** Esta fase dura unos 28 a 30 días y la mortalidad de los pececillos es elevada, tal vez de 50% de la población. Entonces, para poder sembrar los 30,000 peces requeridos en el pre-engorde, habría que sembrar 60,000 pececillos en la fase de inversión cada mes.

**Reproducción.** Cada hembra produce alrededor de un alevín por gramo de peso por mes. Entonces, para poder producir 60,000 alevines/mes, se debe manejar aproximadamente 60 kg de biomasa de hembras en sus estanques de reproducción.

Resumen de las fases de producción de tilapia  
en una finca comercial

Fase (Duración)	Densidad Siembra (peces/m <sup>2</sup> )	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Mortalidad esperada (%)
Reproducción (18-24 días)	0.1 kg	---	0.01	??
Reversión del sexo (25-30 días)	2000 a 5000	0.01	0.15 a 0.40	40 a 60
Pre-engorde (60-90 días)	10 a 20 o más	0.30	40 a 60 o mayor	30 a 40
Engorde 1 (2-3 meses)	10 a 100	60-120	200 a 250	5 a 10
Engorde 2 (6 meses o más)	4 o más	225	600 a 1000	3 a 10

### Nutrición y alimentación de tilapia

Características de la tilapia. La tilapia tiene su origen en África y ha sido introducida en el trópico y sub-trópico de varios países latinoamericanos donde ha demostrado un potencial de adaptación y producción. Sus muchas características deseables para el cultivo son un rápido crecimiento, una capacidad reproductiva en cautiverio todo el año, una resistente a muchas enfermedades y condiciones adversas en la calidad del agua.

La tilapia es de agua dulce pero puede sobrevivir, crecer y algunas especies pueden reproducirse, en salinidades de 40 g/L (40,000 ppm). Algunas de las especies cultivadas han demostrado resistencia a bajos niveles de oxígeno disuelto en el agua de hasta 0.1 ppm. Ellas crecen bien a valores de pH de un rango de 5 a 11, y toleran amonio no-ionizado hasta concentraciones de 2.4 mg/L (Lovell, 1988).

La tilapia no sobrevive a temperaturas menores de 12° C. Ellas paran su alimentación a temperaturas de 16°C o menores.

En su ambiente natural, los alevines y juveniles de tilapia se alimentan de pequeños invertebrados, especialmente crustáceos del zooplancton. Los adultos de tilapia son más dependientes de las algas verde-azules (cianobacterias), diatomeas, y varios tipos de macrófitas y detritus orgánico.

Las tilapias son peces provistos de branquio-espinas (las cuales son protuberancias en el arco del cartilago formando la unidad de sostén de cada branquia) con los cuales los peces pueden filtrar el agua para obtener su alimentación consistiendo en algas y otros organismos acuáticos microscópicos. Los alimentos ingeridos pasan a la faringe donde son mecánicamente desintegrados por los dientes faríngeales. Ellos son utilizados en triturar el alimento en pequeñas partículas. Esto ayuda en el proceso de absorción en el intestino, el cual mide de 6 a 8 veces más que la longitud del cuerpo de pez. Se ha detectado en tilapias un estómago o sección del intestino con pH reducido.

### **Proteína dietética**

El nivel recomendado de proteína en dietas balanceadas para tilapia cultivada en ausencia de los alimentos naturales son:

- a 50% de proteína cruda para alevines (menores de 30 g)
- 35 a 40% de PC para peces de 30 a 100 g
- 25 a 35% para peces con pesos mayores de 100 g

Las dietas prácticas usadas en el cultivo de tilapia en estanques varían entre 25 y 35% proteína para animales arriba de los 35 g. La cantidad de proteína varía de acuerdo al tamaño del pez, cantidad de alimento natural en el estanque, el sistema de cultivo y características de la dieta, tales como calidad de la proteína y niveles de energía.

La caseína es una excelente fuente de proteína para tilapia, seguida en calidad por la harina de pescado, harina de soya, torta de maní y las levaduras. La suplementación de amino-ácidos limitantes esenciales no es requerida cuando la proteína de la soya es combinada con la harina de pescado en las raciones para la tilapia.

### **Energía**

La relación entre la energía digestible y proteína (ED/P) en dietas para la tilapia disminuye mientras los peces incrementan de tamaño. Kubaryk (1980) reportó que ejemplares de la tilapia del Nilo con pesos individuales entre 1.7 a 7.0 g, presentaron su máximo desarrollo cuando la relación ED/P fue de 8.3 kcal/g. Para una dieta con 36% proteína, él encontró que mientras el contenido de ED incrementaba, el consumo de alimento disminuía.

La tilapia digiere muchos ingredientes relativamente bien, pero no digiere bien alimentos con altos niveles de fibra, tales como harina de alfalfa y pulpa de café. La grasa y las proteínas son más digestibles y son buenas fuentes energéticas para la tilapia, aparentemente más importantes que los carbohidratos.

Los alimentos balanceados para peces son mezclas de diferentes ingredientes

$$\text{Índice de Conversión Alimenticia} = \frac{\text{Cantidad de alimento suministrado}}{\text{Producción neta de tilapia}}$$

Valores de 1.2 hasta 4.0 para el ICA de cultivos piscícolas son obtenidos dependiendo de la especie, su estado de desarrollo, las condiciones del cultivo y la calidad de la ración. Los peces pequeños normalmente presentan los mejores valores de conversión (alimento convertido en biomasa). Cuando hay problemas de oxígeno disuelto en el agua, problemas con enfermedades u otras condiciones que provocan "trauma" o "estrés" entre los peces, los valores del ICA tienden a subir.

Ejemplo: El siguiente ejemplo servirá para ilustrar los cálculos necesarios para manejar la alimentación de un cultivo comercial de peces. Se trata de un engorde de tilapia en un estanque con 4000 m<sup>2</sup> de área superficial. El estanque fue sembrado con 8 peces/m<sup>2</sup> y los peces tenían un peso promedio inicial de 50 gramos.

Biomasa inicial del cultivo:

- # de peces x peso promedio (kg) = biomasa en kg/estanque
- 8 peces/m<sup>2</sup> x 4000 m<sup>2</sup> = 32,000 peces/estanque
- 32,000 peces/estanque x 0.050 kg/pez = 1600 kg/estanque

Entonces, estamos comenzando el cultivo con una biomasa inicial de 1600 kg de peces en el estanque de 4000 m<sup>2</sup> de área superficial.

Se ha determinado que el nivel alimenticio es de 5% de la biomasa del cultivo así:

Biomasa de peces x nivel alimenticio = cantidad de alimento/día

$$1600 \text{ kg} \times 5\%/\text{día} = 80 \text{ kg de alimento/día}$$

Entonces, se ofrecerá a los peces 80 kg de alimento/día durante el primer período del cultivo. Esta cantidad será dividida en varias porciones (2 veces en la mañana y 2 veces en la tarde de cada día) para asegurar un consumo adecuado y eficiente y para evitar cualquier desperdicio.

Siguiendo el ejemplo, al terminar 7 días del cultivo se realiza un muestreo del cultivo. Se encuentra en el muestreo que los peces hayan incrementado en peso a un promedio de 60 g. Los cálculos que hacemos, según los datos del muestreo, son:



$$\text{Peso promedio}_{7 \text{ días}} \times \# \text{ peces/estanque} = \text{Biomasa}$$

$$0.060 \text{ kg} \times 32000 \text{ peces/estanque} = 1920 \text{ kg}$$

$$\text{Biomasa}_{30 \text{ días}} = 1920 \text{ kg}$$

El nivel de alimentación para los días de cultivo 31 al 60 será de 4.8%, entonces se calcula la cantidad del alimento como se hizo arriba:

$$1920 \text{ kg} \times 4.8\%/día = 92.16 \text{ kg de alimento/día}$$

Así, cada semana del cultivo se ajusta la alimentación de acuerdo a los resultados de los muestreos de la población de peces. Habría que incluir un estimado de la mortalidad (muerte natural, depredación, robo, etc.) de los peces durante cada mes.

El cálculo de la producción de la primera semana será:

$$\text{Biomasa}_{7 \text{ días}} - \text{Biomasa inicial} = \text{Prod. Neta en kg/estanque/7 días}$$

$$1920 \text{ kg} - 1600 \text{ kg} = 320 \text{ kg/7 días/4000 m}^2$$

Esta cantidad expresada en kg/ha/año. Se hace la conversión:

$$320 \text{ kg/4000 m}^2/7 \text{ días} \times 365 \text{ días/año} \times 10,000 \text{ m}^2/\text{ha} = 320 \text{ kg} \times 52.14 \times 2.5$$

$$\text{Producción neta del cultivo} = 41,700 \text{ kg/ha/año}$$

El Índice de Conversión Alimenticia (ICA) para la primera semana se calcula así:

$$\text{Kg de alimento ofrecido/kg aumento en Biomasa} = \text{ICA}_{30 \text{ días}}$$

$$804 \text{ kg alimento/día} \times 7 \text{ días} = 560 \text{ kg}$$

$$\text{Aumento en Biomasa} = 3040 \text{ kg} - 1600 \text{ kg} = 320 \text{ kg}$$

$$\text{ICA} = 560 \text{ kg alimento}/320 \text{ kg aumento en Biomasa}$$

$$\text{ICA}_{7 \text{ días}} = 1.75$$

También calculamos el incremento diario de peso individual. Para nuestro ejemplo así:

|  $\text{Peso Ind. Inicial} - \text{Peso Ind. Final} / \text{tiempo} = \text{g/pez/día}$

$60 \text{ g} - 50 \text{ g} / 7 \text{ días} = 1.43 \text{ g/pez/día}$

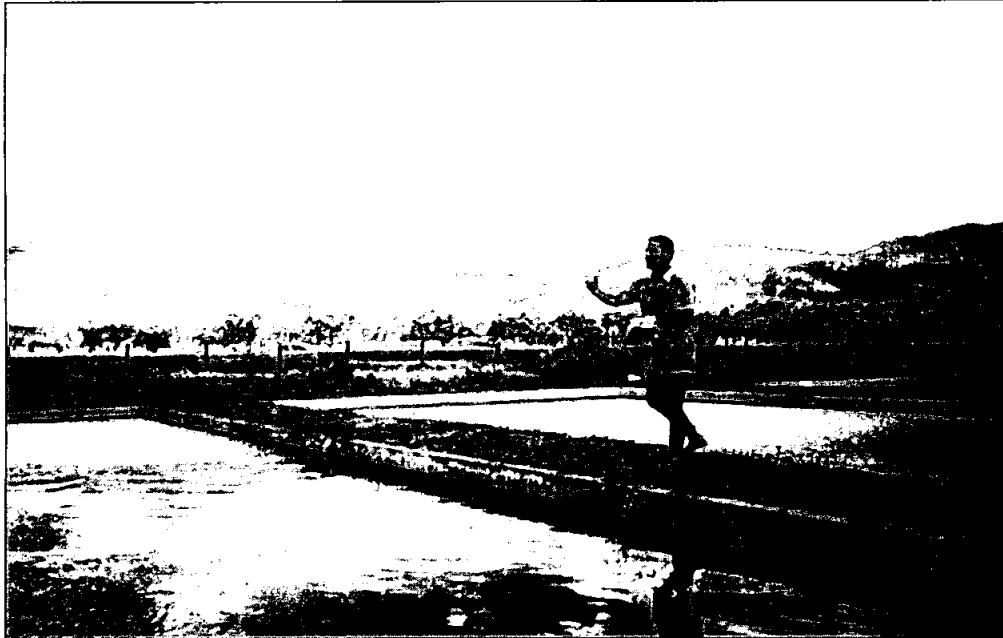


Figura. Se debe distribuir el alimento en todo el estanque para asegurar que cada pez tenga oportunidad de consumirlo. El alimento representa el costo mayor en la producción de peces cultivados con manejo intensivo.

### **Algunas recomendaciones generales sobre la alimentación de tilapia**

1. Debe ofrecer el alimento a los peces a la misma hora y en la misma forma todos los días. Los peces son organismos de hábitos y aprenderán a esperar sus alimentos artificiales cada día.
2. Es mejor ofrecer alimento al cultivo varias veces al día. Se recomienda proporcionar los alimentos por lo menos 2 veces al día: mañana (7-9 a.m.) y en la tarde (3-4 p.m.). De esta forma se puede mejorar significativamente la eficiencia de utilización del alimento.
3. Tome el tiempo para observar y estudiar los peces en el cultivo para que vaya conociéndolos. Algunas especies son más activas en ciertos momentos o partes del día y esta es la mejor oportunidad para alimentarlos.
4. Calcular bien la cantidad de alimento para cada cultivo basándose en datos obtenidos en muestras periódicas de la población.
5. En cada compra del alimento concentrado, consiga no más de lo que va a gastar en un mes. El concentrado almacenado mucho tiempo pierde parte de su valor nutritivo y pueden haber problemas con hongos, insectos y roedores.
6. Debe suspender la alimentación si los peces están "boqueando" en la superficie del estanque.
7. Es preferible ofrecer el alimento cuando las condiciones de calidad del agua son buenas u óptimas. Se debe reducir la cantidad del alimento o suspender la alimentación del cultivo si las condiciones son adversas.

**Algunos conceptos novedosos en la alimentación de tilapia:**

Participantes en el Programa Colaborativo de Apoyo a la Investigación en Acuicultura (A-CRSP), con financiamiento de la USAID, han estado probando la alimentación restringida de tilapia como una alternativa para reducir los costos de producción y generar menos contaminantes en el agua. Los resultados de sus investigaciones están resumidos en el siguiente cuadro. Las restricciones en la alimentación incluyen variar la fecha del comienzo del uso de alimento concentrado en el engorde de los peces (45 o 75 días después de haber sembrado los alevines), alimentar los peces con una ración calculada como 67% de la cantidad requerida (versus 100% de la cantidad estimada), y alimentar los peces en días alternos con la ración completa (versus la alimentación diaria normal).

Todos los ensayos fueron realizados en Las Filipinas en fincas comerciales. En ese país de Asia, la tilapia es comercializada a partir de unos 125 g de peso.

Cuadro Una comparación de varias estrategias para restringir el alimento en el engorde de tilapia para reducir los costos de producción<sup>2</sup>. Todos los ensayos eran de 150 días de duración y replicados en fincas comerciales empleando peces del Programa GIFT.

Parámetro	Tratamientos usados en los ensayos					
	Fecha iniciar alimentación		Cantidad de la ración diaria		Alimentando día alterno	
	45 días	75 días	100% ración	67% ración	Todos días	Día alterno
Peso inicial (g)	0.12	0.11	0.05	0.05	0.19	0.19
Peso final (g)	168	152	149	154	167	138
Producción en kg/ha	5140	4927	3137	3575	2994	2807
ICA	1.61	1.25	3.41	2.39	2.24	1.00
% supervivencia	84	87	57	65	55	63
Resultado en costo alimento	100%	73%	100%	80%	100%	44%
Resultado en ganancia	100%	106%	100%	>200%	pérdida	>200%

<sup>2</sup> Bolivar, R.B., E.B. Jiménez and C.L. Brown. 2003. Tilapia feeding strategies in semi-intensive pond culture: the PD/A CRSP on-farm trials. 2<sup>nd</sup> Tilapia Congress, San Fernando, The Philippines. November 13-14. HILAGA. 13 pp.

**Proyecto tilapia roja modelo de 10 hectareas  
Plan de Inversiones en USD**

<b>Destino-renglón</b>	<b>Total USD</b>	<b>Dinero propia</b>	<b>USD prestados</b>	<b>Descripción</b>
<b>I. Inversión Fija:</b>				
Estanques (total 8 ha)	88000.00	35200.00	52800.00	10 Hect. X\$8,800/ha
Pozo	9600.00	3840.00	5760.00	Perforación y aforo
Bomba	7200.00	2880.00	4320.00	15 HP-motor
Represa	2100.00	840.00	1260.00	
Pilas de manejo	4100.00	1640.00	2460.00	\$410 c/u
Const. Laboratorio	3100.00	1240.00	1860.00	
Const. Oficina-bodega	5600.00	2240.00	3360.00	
Otro equipo producción	4000.00	1600.00	2400.00	
Vehículo	8000.00	3200.00	4800.00	
Instalación eléctrica	3000.00	1200.00	1800.00	
Mobiliario + equipo oficina	4000.00	1600.00	2400.00	
Imprevistos	3000.00	1200.00	1800.00	
	<b>141700.00</b>	<b>56680.00</b>	<b>85020.00</b>	
<b>II. Capital de Trabajo</b>	<b>40000.00</b>	<b>16000.00</b>	<b>24000.00</b>	Para un ciclo produc.= 11 meses
<b>Total</b>	<b>181700.00</b>	<b>72680.00</b>	<b>109020.00</b>	
<b>% Participación</b>		<b>40.0</b>	<b>60.0</b>	

Precios mayoristas de venta de Tilapia Roja  
Mercado de Miami (1991)

Descripción producto	Precio US\$/lb	Origen del producto
Tilapia entera congelada	1.50 – 1.70	Costa Rica
	1.80	Jamaica
Filete fresco sin piel (3-4 onzas)	3.25	Costa Rica
	3.55	Jamaica
Entero desvicerado congelado	1.75	Jamaica
Filete sin piel (3-4 onzas) congelado	3.00 – 3.25	Colombia

El precio para Tilapia Roja en el mercado detallista, a parte de tener información muy escasa, se comportó de forma muy variable en las diferentes regiones de Estados Unidos. Sin embargo, es un indicativo que el producto se está dando a conocer en todo el país.

Precios al detalle de tilapia roja  
En el mercado norteamericano (1991)

Descripción producto	Precio US\$/lb	Mercado
Pescado entero fresco	4.49	Seattle, WA
	4.98	New Orleans, LA
	5.99	New York, NY





We were informed that the netting costs about Lps 8000 to 10,000 per cage. We estimated that there was about 100m<sup>2</sup> of netting for each cage. The netting for most cages has been purchased from Taiwan with the help of the TTM. The netting material is three meters wide. The cage has about one meter of netting above the water line. Total initial investment is estimated at about Lps 65,000 to 70,000 to construct each four-cage module.

Fish: The co-op purchases fingerlings from several sources for stocking their cages. We were told that fingerlings have been purchased from:

Company name	Description of fingerlings, prices, etc.
AquaFinca Saint Peter's Fish Farm	
Sabillón Fish Farm, Santa Barabara	5g fish @ Lp0.40 each, 12g fish @ 0.60 each
El Carao Fish Culture Station, Comayagua	Recent purchase of 56,000 fingerlings for El Carao. These fish are from stocks managed by the TTM.

They begin grow-out of the fingerlings (average weight about 5g) in cages with fine mesh netting and netting to protect against bird predation. The cages used for grow-out did not have protection from avian predators. They felt that larger fish are not susceptible to the attack of herons and kingfishers.

Stocking densities for fingerlings is 200 per m<sup>3</sup> of available cage space. The co-op has recently rented four fish ponds (about 1000m<sup>2</sup> each), close to the lake, that have been abandoned for several years. They are located along the highway in front of the lake and will be used as nursery ponds for growing the fingerlings to an adequate size for transfer to the grow-out cages.

At about 20g average weight, the fish are moved to cages with a larger mesh (12mm) for grow-out to market size (450g). Final stocking density in the grow-out cages is 70 to 80 fish/m<sup>3</sup>.

Grow out takes about 6-7 months during the dry season (March and April) when water temperatures are highest in Honduras. According to Francisco, during the wet season (May thru November) fish growth is slower due to lower average ambient temperatures. Wet season grow-out takes from 7 to 8 months. I think that Francisco includes December and January (months of low temperatures) in the wet season!

Francisco estimates their production costs at about Lps6.00-7.00/pound in the dry season and Lps7.00-8.00 during the rainy season. We are not sure if these costs include cage depreciation and labor. He mentioned that feed represents 60% of fish production costs.

¡Los peces rojos son algo menos fuertes en su constitución, y son fácilmente visibles en el agua del estanque, tanto para las aves depredadores de peces como para los ladrones! Los peces de color rojo no pueden sobrevivir en medios naturales a largo plazo. La tilapia del Nilo si es un peligro a la ecología local cuando escapa de las unidades de producción en una finca piscícola.

La calidad, sabor y textura de la carne de la tilapia no varían entre la tilapia del Nilo y la roja.

**Bibliografía**

- BEVERAGE, M.C.M. and B.J. MACANDREW (editors). Tilapias: Biology and Exploitation. Kluwer Academic Publishers, Fish and Fisheries Series 25, Dordrecht, The Netherlands. 505 pp.
- EGNA, H.S. and C.E. BOYD (editors). 1997. Dynamics of Pond Aquaculture. CRC Press LLC, New York, USA. 437 pp.
- POPMA, T.J. and B.W. GREEN. 1990. Aquacultural Production Manual: Sex Reversal of Tilapia in Earthen Ponds. Research and Development Series No. 35. International Center for Aquaculture, Auburn University, Alabama, USA. 15 pp.
- PULLIN, R.S.V. and R.H. LOWE-MCCONNELL (editors). 1982. The Biology and Culture of Tilapias (Proceedings of the International Conference on the Biology and Culture of Tilapias, 2-5 September 1980, Bellagio, Italy). International Center for Living Aquatic Resources Management (ICLARM), Manila, Philippines. 432 pp.

# CAPITULO 6. CULTIVO DE CAMARON DE MAR

**Introducción.** El cultivo comercial de camarones de mar es una actividad reciente del hombre que ha desarrollado rápidamente en los últimos 35 años. En América, la especie de mayor importancia es el camarón blanco del Pacífico, *Litopenaeus vannamei*. Esta especie está distribuida geográficamente en las aguas costeras del Pacífico, desde California hasta Perú.

## Clasificación

La clasificación taxonómica de *Litopenaeus vannamei* es:

Filo Arthropoda (animales con apéndices articulados, exosqueleto y cuerpos segmentados)

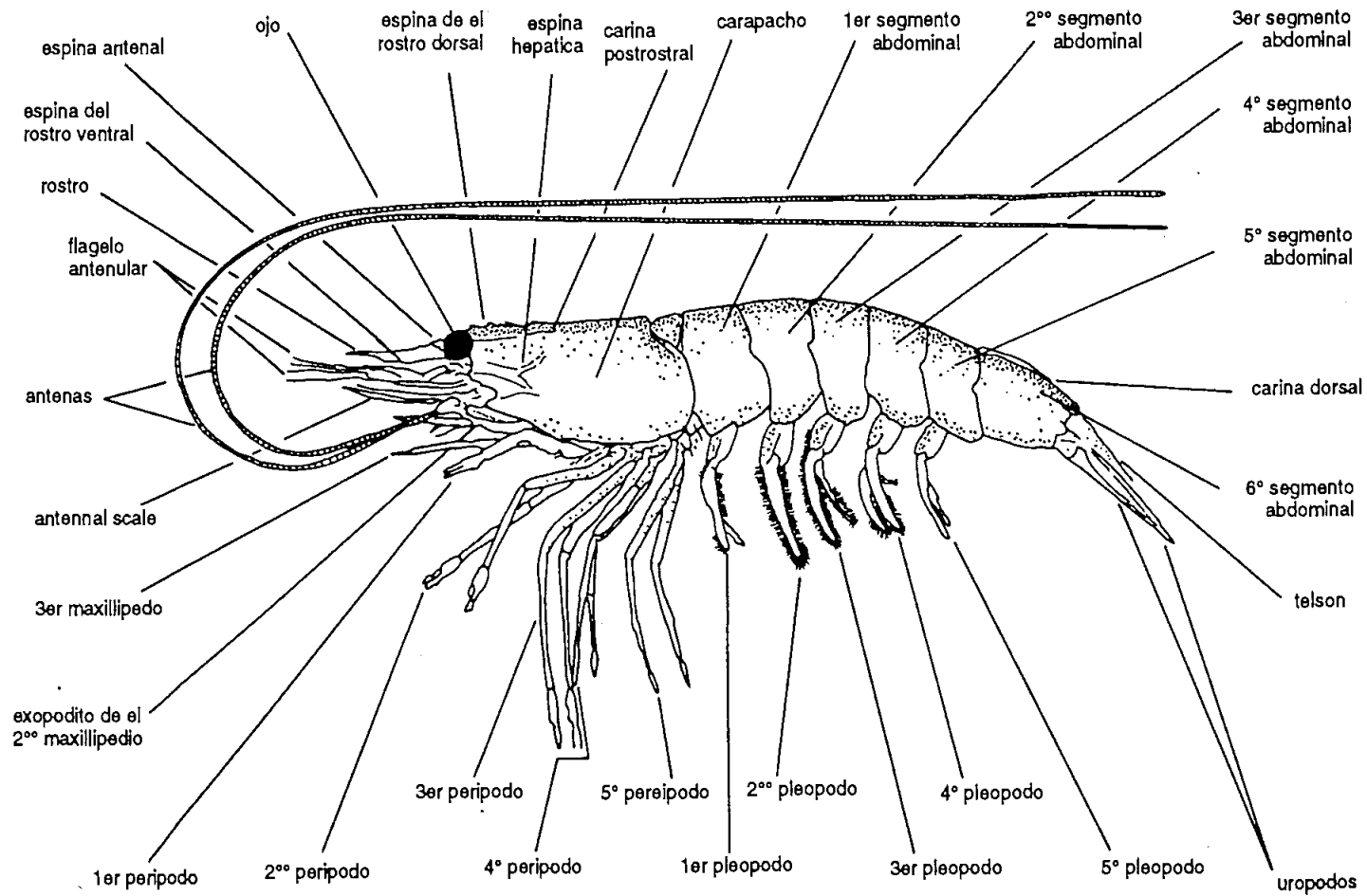
SubFilo o Clase Crustácea (artrópodos casi todos acuáticos, exosqueleto de quitina impregnada con sales de calcio = caparazón, con dos pares de antenas y apéndices birramios, i.e. presentan dos ramas articuladas en sus extremos, cuerpo organizado con la cabeza y tórax fusionados en un cefalotórax + el abdomen = cola),

Orden Decapoda (son artrópodos crustáceos de gran importancia económica para el hombre e importantes en la ecología de muchos sistemas acuáticos, especialmente en medios marinos, presentan cinco pares de patas ambulatorias con gran diferenciación entre ellas (camarones, langostas, cangrejos, aproximadamente 9000 especies)

Familia Penaeidae: camarones marinos; de gran importancia económica; huevo pelágico; eurihalinos.



Figura. Un juvenil de *Litopenaeus vannamei*.



Los camarones penéidos son miembros de la Orden Decapoda, crustáceos con cinco pares de patas ambulatorias. Otros decápodos conocidos son las langostas, cangrejos y muchos otros tipos de camarones. Los decápodos tienen un caparazón bien desarrollado y la parte de la cabeza está fusionada con el tórax (= cefalotórax). Algunas partes anatómicas de *Litopenaeus vannamei* son señaladas en la figura.

Los miembros del género *Litopenaeus* presentan pequeños dientes o protuberancias en ambas superficies del rostro (superior e inferior). Esta característica es utilizada para diferenciar entre las varias especies de *Litopenaeus*. Los camarones de la especie *L. vannamei* tienen 2 dientes en la parte inferior y 8 ó 9 dientes en la parte superior del rostro.

### Biología

Como en todos los artrópodos, el crecimiento del camarón es ligado a un proceso de muda. El camarón tiene que romper y salir de su exosqueleto viejo para poder expandir su cuerpo antes de que se endurezca el nuevo que se ha formado abajo. Su crecimiento es discontinuo, o en etapas. El tiempo entre mudas depende en el tamaño del camarón y la velocidad de su crecimiento. Las larvas presentan mudas frecuentes, a intervalos de 30 a 40 horas. Los juveniles de *P. vannamei* pueden mudar a intervalos de cada 5 días. Adultos toman más tiempo entre mudas; posiblemente de 15 a 21 días.

La frecuencia de la muda es mayor cuando la temperatura del agua es mayor. El proceso de mudar interfiere con la respiración normal del animal. A veces durante la muda individuos se mueren debido a la asfixia. Los animales sometidos a condiciones sub-óptimas presentan mudas más espaciadas en el tiempo o dejan de mudar por completo.

Los camarones recién mudados, con exosqueletos blandos, son susceptibles a los depredadores, incluso de los ataques de otros camarones del cultivo. Los animales recién mudados tienden a esconderse en el sedimento del fondo del estanque mientras endurece su nuevo esqueleto. El exosqueleto de animales pequeños endurece en pocas horas, en animales grandes puede tomar uno o dos días. Algunas especies de *Penaeus* realizan la cópula solamente en los momentos después de una muda de la hembra.

En su medio natural los camarones penéidos consumen una gran variedad de alimentos. Los camarones penéidos son caracterizados como omnívoros oportunistas. Ellos consumen lo que encuentran en el agua (algas, perifitón, bentos y materia orgánica). En cultivos extensivos, los camarones se nutren como carnívoros depredando pequeños crustáceos, anfípodos y poliquetos en el agua y en el sedimento del estanque (= bentos).

a otro probablemente contribuyó a la rápida y extensa diseminación de problemas patológicos importantes en todo el continente americano durante la década de los 90s.

Ahora los laboratorios cuentan con unidades de maduración y producción en casa de los nauplios. En el manejo de los adultos, como rutina, se le quita un ojo de cada hembra (= ablación ocular unilateral) para estimular un rápido desarrollo sexual del individuo. Las hembras tratadas así pueden realizar múltiples desoves en un periodo de tres a cuatro meses. En cada desove ella pondrá entre 250,000 y 500,000 huevos.

Las hembras con espermatóforo son trasladadas y aisladas en tanques para el desove. Luego los nauplios son contados y comienza un nuevo ciclo de producción de P-Ls.

Descripción de las etapas del desarrollo larvario de camarones penéidos.

Descripción de la etapa:	Duración de la etapa:
<b>Huevo fecundado:</b> los huevos fecundados del camarón son pelágicos; su desarrollo es óptimo en aguas oceánicas con temperatura de 26-28 C, salinidad de 35,000 ppm y oxígeno en solución entre 5 a 7 ppm.	Los huevos fértiles eclosionan en un tiempo de unas 14 a 18 horas.
<b>Nauplio:</b> La primera etapa larvaria es el nauplio; el cual se nutre del contenido del vitelo del huevo; longitud de unos 0.3 mm; hay cinco sub-etapas del nauplio; son planctónicos y positivamente fototáxicos; nadan activamente por periodos breves.	Para pasar por las cinco sub-etapas del nauplio toma unas 36 a 48 horas.
<b>Zoea:</b> también denominada como protozoea; cambio radical anatómico; cuerpo elongado de 1.0 mm de largo; mejor adaptado a nadar; apéndices especializados para alimentarse y antenas; tres sub-etapas; consumen fitoplancton; nadan continuamente en la columna de agua cerca de la superficie.	La etapa de zoea dura unas 120 horas y consume algas marinas, especialmente diatomeas.
<b>Mysis:</b> última etapa larvaria; tres sub-etapas; larva adquiere una anatomía parecida al adulto durante tres sub-etapas; desarrollo del telson y los pleópodos; se alimenta de zooplancton; nadan continuamente no cerca de la superficie del agua, reducida fototaxia.	La mysis dura entre 72 a 96 horas; su última muda es una metamorfosis a una post-larva (= P-L)
<b>Post-larva:</b> con una anatomía de adulto; son organismos bentónicos; hábitos alimenticios de omnívoros oportunistas; migran a los esteros y agua salobre por varios meses.	La duración de la etapa de P-L es variable



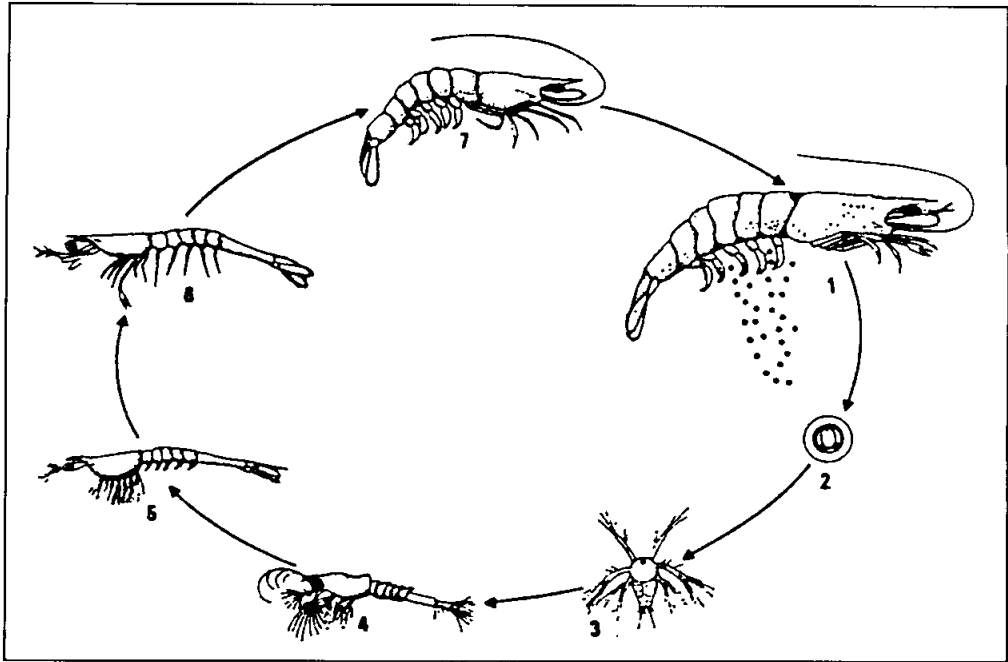


Figura. El ciclo de vida de un camarón penéido. 1. hembra adulta ovipositando en alta mar; 2. huevo fecundado; 3. nauplio pelágico; 4. zoea; 5. mysis; 6. post-larva; 7. juvenil.

### Engorde del camarón de mar

Instalaciones. Tradicionalmente en América, el camarón de mar es cultivado en estanques excavados en la tierra. Los estanques son construidos en playones o playas de suelo salado y mayormente libres de vegetación. Los playones son inundados dos veces por mes con las mareas más altas que coinciden con la luna llena y luna nueva.

Los playones presentan una topografía especial como lugares de depósito de sedimento. Son terrenos extremadamente planos con muy poco desnivel. Los estanques construidos en los playones típicamente tienen un espejo de agua que varía entre 15 a 30 ha (250 x 1000 m) y una profundidad promedio menor de un metro.

Los estanques son llenados de agua de un estero por acción de bombas axiales. Las bombas axiales son eficientes en elevar un gran volumen de agua poca distancia vertical y sin desarrollar mucha presión. Las bombas axiales en uso en el sur de Honduras tienen diámetros de 0.60 a 0.96 m y capacidad de 4,000 a 8,000 litros por minuto. Su capacidad de elevar agua se limita en unos 7 a 8 m. Típicamente estas bombas trabajan con 100 a 300 rpm del eje, demasiado lento para ser acoplado directamente a un motor eléctrico.

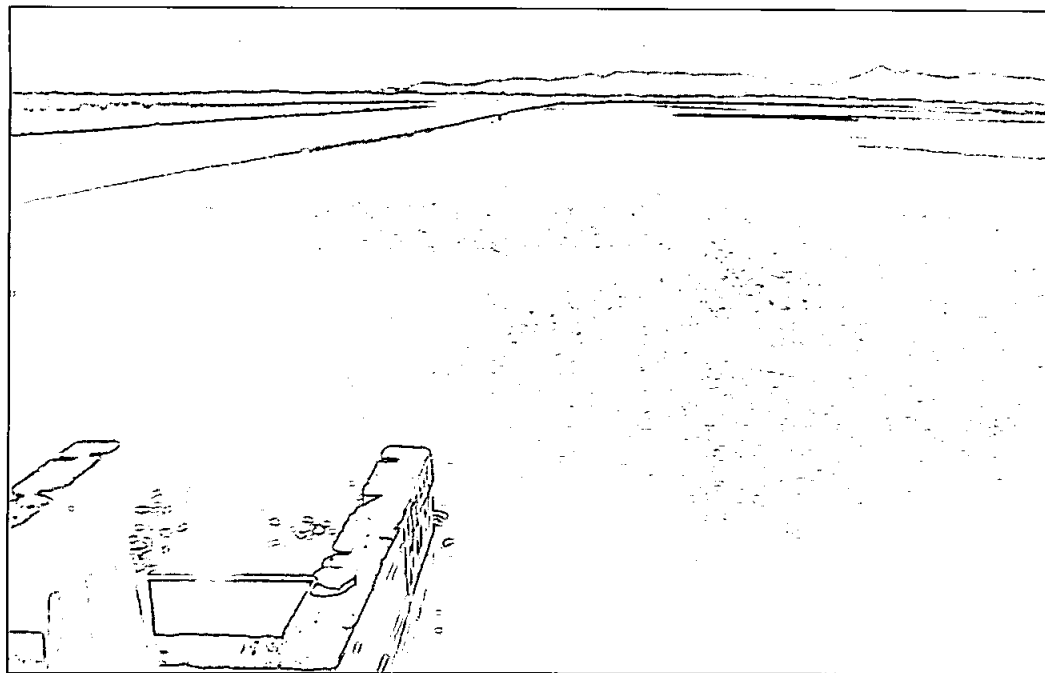


Figura. Estanque de aproximadamente 25 ha de extensión para el cultivo semi-intensivo del camarón de mar en el sur de Honduras. El estanque está siendo drenado y se ve en su interior el fondo descubierto y el canal al interior del dique para conducir el agua a la compuerta.

3. Debe regular estrictamente el uso de los fertilizantes minerales. Estos insumos, aplicados en cantidades excesivas, pueden provocar floraciones indeseadas de algas en el agua.
4. Debe descartar el uso de los abonos orgánicos en el cultivo comercial de camarones.
5. Igualmente, debe racionalizar el uso de los alimentos concentrados, los cuales también pueden causar una alta fertilidad en el agua y una proliferación del fitoplancton.
6. Debe almacenar el alimento en un lugar seco y seguro, evitando la contaminación y entrada de insectos y de otros animales.
7. Durante los períodos de las lluvias torrenciales, debe revisar los drenajes y diques de los estanques para poder detectar debilidades y erosiones en las estructuras.
8. Debe ser atento a las llamadas públicas de atención en cuanto inundaciones y tormentas excepcionales en el área.
9. Debe proteger las bombas colocando mallas enfrente de las entradas de agua para evitar daños ocasionados por ramas de árboles y otra basura pasando por la tubería de succión.
10. Debe tener un plan de emergencia para las inundaciones, la ruptura de un dique u otro problema de dimensión mayor en la finca.
11. Debe reducir el nivel del agua en los estanques en espera o anticipando una tormenta de lluvias intensas.
12. Debe revisar y mantener en buen estado todas las compuertas y drenajes de la finca.
13. Debe disponer en la finca de una tabla de las mareas publicada por una agencia local especializada.

Durante los últimos 10 años se ha notado dos cambios importantes en el manejo de los cultivos de camarón. Primero, en las fincas tecnificadas ya no se siembra P-L capturada en los esteros locales, sino que se siembra larva de laboratorio. Se sospecha que las larvas del estero son portadoras de los virus de Taura y mancha blanca. No hay control sobre la especie capturada en el estero y las larvas del estero vienen acompañadas por una gran variedad de otros tipos de animales.

Las P-Ls de laboratorio tienen un precio alto pero son distribuidas libres de las enfermedades y de una sola especie. Actualmente la producción de P-Ls de *L. vannamei* es continua durante todo el año.

**Mercados.** Tradicionalmente el camarón cultivado en América se exportaba como cola congelada en bloques de 5 lb. Este producto era enviado en contenedores de 35,000 lb hacia los mercados de Norteamérica. Recientemente, los productores de Centro y Sur América han desarrollado nuevos productos y mercados en Europa para incrementar su margen de ganancia y prosperar en estos tiempos difíciles. El camarón entero, la cola IQF, la cola pelada y enpanizada o cocida, son formas de agregar valor al camarón.

Durante la última parte de 2003 y 2004 los precios mundiales para el camarón han bajado de manera importante. El tamaño típico cosechado en las fincas camaroneras de América oscila entre 36-40, 41-50 y 51-60. Estos tamaños son consideradas como colas medianas o pequeñas, y sus precios han caídos a menos de USD 2.00 por libra.

## Alimentación de un vivero de post-larvas de *Litopenaeus vannamei*

**Introducción.** Las post-larvas (P-Ls) de camarones son recibidos en la finca para comenzar el proceso de engorde. Las P-Ls son sembradas en estanques pequeños (< 2 ha de extensión) o en tanques de concreto o de fibra de vidrio para tener un buen control del cultivo y de la calidad del agua. La densidad de siembra para las P-Ls durante el tiempo que estén en los viveros es de aproximadamente 800 a 1200/m<sup>2</sup>.

El agua del estanque puede proveer una variedad de alimentos naturales importantes en la nutrición de los camarones. Las diatomeas son especialmente importantes como alimento natural para post-larvas de muchas especies de camarón.

En algunas fincas las P-Ls reciben nauplios de *Artemia salinus* para complementar el alimento concentrado. Debido a su costo elevado, la artemia es suministrada durante unos pocos días durante el tiempo de su adaptación a las nuevas condiciones del estanque.

**Procedimientos.** Es importante monitorear la cantidad de alimento ofrecido a los animales y su consumo en el estanque. Los Cuadros 1,2, y 3 presentan información útil en seleccionar un alimento adecuado para su cultivo de camarón y en determinar la cantidad de alimento a ofrecerlos diariamente.

Los camarones son activos principalmente en las horas de la noche (hábitos nocturnos, desde las 18:00 a 6:00 horas). Así, se recomienda distribuir el alimento uniformemente en los estanques al final de la tarde o temprano en la noche de cada día. La recomendación no es seguida en muchas fincas camaroneras comerciales en América. El ofrecer el alimento en varias porciones diarias (hasta 4 veces/día) usualmente resulta en un índice de conversión más eficiente y costos de producción más bajos.

Los alimentos artificiales o concentrados para camarones tienen características especiales (Cuadro 1). Con el crecimiento de los camarones, deben cambiarse la composición y forma física del alimento. Mientras desarrollan los camarones, se ajusta el nivel de alimentación (cantidad del alimento en relación a la biomasa de los camarones en el cultivo) según los resultados de muestreos periódicos de la población y la experiencia del encargado del cultivo (Cuadro 3).

**Recomendaciones.** Se recomienda mantener un sistema continuo de monitoreo de la calidad del agua en los cultivos de camarones. La concentración de oxígeno disuelto (OD) en el agua es determinada dos veces al día (6:00am y a las 3:00pm). La lectura del disco Secchi (mediodía)

Cuadro 1. Algunas características de los alimentos concentrados para el camarón blanco del Pacífico (*Penaeus vannamei*) en las diferentes fases de su cultivo comercial.

Parámetro	Post-Larvas	Juveniles	Fase de crecimiento	Engorde final
Peso camarones (g)	Hasta 0.35	0.35-4.00	4.0-18.0	18.0-23.0
Forma física ración	Triturada	Pelet	Pelet	Pelet
Tamaño partículas	Migas	2-3 mm	3-5 mm	3-5 mm
% de proteína	30-40	30-40	20-30	±20
% de lípidos	8	8	6	5
Energía bruta (kcal/kg)	3500	3500	3200	2800

Cuadro 2. Ejemplos del nivel de alimentación usado con *Penaeus vannamei* en las varias etapas de su cultivo comercial.

Etapas	Densidad de siembra (#/m <sup>2</sup> )	Peso promedio individual (g)	Nivel alimentación (% biomasa/día)
Post-larvas	150-200	0.15	19.00
		0.30	15.00
		0.45	10.90
		0.60	8.60
		0.75	7.50
Juveniles	6-25	1.00	6.00
		2.00	4.83
		4.00	3.80
		8.00	2.76
		12.00	2.33
		16.00	1.93
		20.00	1.69

Cuadro 3. Indicadores para alimentar post-larvas de *Penaeus vannamei*.

Día del cultivo	Sobrevivencia estimada (% inicial)	Peso promedio del camarón (g)	Nivel de alimentación (% de biomasa)
1	100	0.003	100
2	98.8	0.004	75
3	99.6	0.006	62
4	99.4	0.007	50
5	99.2	0.009	45
6	99.0	0.011	42
7	98.8	0.012	40
8	98.6	0.014	35
9	98.4	0.015	30
10	98.2	0.017	25
11	98.0	0.019	20
12	97.8	0.02	19
13	97.6	0.02	18
14	97.4	0.02	17
15	97.2	0.02	16
16	97.0	0.04	15
17	96.8	0.06	14.5
18	96.6	0.07	14
19	96.4	0.08	13.5
20	96.2	0.09	13
21	96.0	0.10	13
22	95.8	0.14	12.5
23	95.6	0.19	12
24	95.4	0.23	12
25	95.2	0.27	12
26	95.0	0.31	11.5
27	94.8	0.35	11.5
28	94.6	0.39	11
29	94.4	0.44	11
30	94.2	0.50	10.5
31	94.0	0.55	10
32	93.8	0.61	10
33	93.6	0.66	10
34	93.4	0.72	9.5
35	93.2	0.77	9.5
36	93.0	0.83	9.5
37	92.8	0.88	9
38	92.6	0.94	9
39	92.4	1.02	9
40	92.2	0.10	9

### Cultivar el camarón en invernaderos

En Ecuador han estado probando el cultivo de camarón en invernaderos. El invernadero permite alcanzar y mantener una temperatura igual o mayor a 32° C para evitar problemas con los virus. Según resultados de estudios realizados en Ecuador, con temperaturas de 33° C el virus de la mancha blanca no provoca la muerte de *L. vannamei*.

La construcción de un invernadero representa una inversión fuerte y obliga implementar un manejo intensivo de los camarones para tener una rentabilidad en la actividad. La densidad de siembra en invernaderos oscila entre 45 a 100 individuos/m<sup>2</sup> en la fase de engorde. En pre-cría las densidades de siembra son entre 90 y 275/m<sup>2</sup>.

Para mantener buenas condiciones para el cultivo de camarón a estas elevadas densidades, se requiere utilizar aireación intensiva de los estanques cubiertos con plástico. La aireación utilizada es entre 32 a 40 HP por hectárea.

Las producción de camarón (engorde) en Ecuador en invernaderos ha alcanzado niveles de 5,900 kg/ha en ciclos de 80 días duración. El crecimiento promedio general de los camarones fue de 0.8 g/semana en las pruebas realizadas durante 2001 y 2002.



Materiales de referencia:

- JOHNSON, S.K. 1990. Handbook of shrimp diseases. Texas A & M University Sea grant College Program. 27 pp. Manual práctico sobre los problemas patológicos más comunes en el cultivo de camarones.
- VILLALON, J.R. 1991. Practical manual for the semi-intensive commercial production of marine shrimp Texas A & M University Sea Grant College Program, Texas A & M university. Texas. USA 104 pp. Excelente manual práctico sobre los procedimientos y técnicas para el cultivo comercial de camarones marinos en Latino Amérela. El folleto presenta los principios básicos y los pasos a tomar en producir camarones en cultivos semi intensivos. (Precio del folleto es de \$15.00 y está disponible en Español)).
- WYBAN, J.A. y J.N. SWEENEY. 1991. Intensive shrimp production technology. The Oceanic Institute, Honolulu, Hawaii. (Disponible en: ARGENT CHEMICALS, Redmond, Washington 98052). Excelente manual práctico sobre la biología y técnicas del cultivo intensivo de *Penaeus vannamei*. Incluye mucha información útil sobre el manejo de los reproductores y la crianza de post larvas como se practica en el Instituto Oceánico de Hawaii. 116 pp.

## Anexo 1. Glosario de Términos:

**Alcalinidad:** es la capacidad de un agua a resistir cambio en su pH; esta capacidad se relaciona con su contenido de bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) y carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), aniones que actúan como amortiguadores naturales de pH en el agua.

**Amoníaco:** sustancia tóxica a la vida animal, el amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) o amonio no ionizado, es producto del metabolismo de aminoácidos en el pez o camarón; su eliminación de animal acuático es por difusión simple al agua.

**Amonio:** forma ionizada de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y menos tóxico para los animales.

**Anádromo:** termino que describe a los animales que nacen en agua dulce, pasan un tiempo para su desarrollo en el mar y regresan a agua dulce para reproducirse (ejemplo: el salmón).

**Bentos:** comunidad de organismos que habita en, o en asociación con, los sedimentos del fondo de cuerpos de agua; la comunidad bentónica incluye a mucha diversidad de especies de micro-organismos, artrópodos y otros grupos importantes como los moluscos y variedad de gusanos.

**Catádromo:** término para describir a los animales que nacen en el mar y pasan parte de su vida en los esteros o ríos de agua dulce, para luego regresar al mar para reproducirse (ejemplo: el camarón blanco del Pacífico; *Litopenaeus vannamei*).

**Dureza:** cantidad de iones metálicos bivalentes en una muestra de agua; es la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  en el agua.

**Epilimnión:** la capa o estrato superior o superficial de agua que se forma por diferencia de temperatura en un cuerpo de agua; el agua de epilimnión es de mayor temperatura y menor densidad a la que está por debajo, y contiene frecuentemente oxígeno en solución.

**Estenohalino:** término descriptivo de los organismos con poca tolerancia a fluctuaciones en la salinidad del agua.

**Eurihalino:** término descriptivo de los organismos con amplia tolerancia a las fluctuaciones de salinidad del agua (ejemplos: la tilapia, el camarón blanco del Pacífico).

**Fitoplancton:** comunidad de organismos microscópicos y fotosintéticos que viven a la deriva en cuerpos de agua; la comunidad consiste en varios tipos de algas y bacterias fotosintéticas.

**Hidrómetro:** instrumento usado en medir la densidad del agua para evaluar su contenido de sales (= total de iones en el agua).

**Hipolimnión:** la capa o estrato inferior de agua que se forma por diferencia de temperatura en un cuerpo de agua; el agua del hipolimnión es de menor temperatura y mayor densidad a la que está encima, frecuentemente el agua del hipolimnión es pobre en oxígeno en solución.

**Homotérmico:** organismos de sangre caliente; animales que mantienen una temperatura elevada y relativamente constante en sus cuerpos, las aves y mamíferos.

**Maricultura:** cultivo de especies marinas, división de la acuicultura.

**Mysis (misis):** etapa larvaria tercera del camarón; cuerpo con anatomía parecida al camarón adulto; hábitos alimenticios zooplanctívoros.

**Nauplio:** primera etapa larvaria del camarón; se nutre del vitelo y nada libremente en la columna de agua.

**Pelágico:** organismos del mar abierto; los que pasan gran parte de sus vidas lejos de la orilla del mar.

**Plancton:** comunidad de organismos auto- y heterotróficos que viven a la deriva en cuerpos naturales de agua.

**Poiqilotérmico:** organismos de sangre fría; animales incapaces de mantener una temperatura elevada y constante en sus cuerpos.

**Protozoa:** segunda etapa larvaria del camarón; con cuerpo elongado para nadar en el agua y alimentarse con fitoplancton; también denominada zoea.

**Salinidad:** concentración total de iones en solución en el agua.

**Salinómetro óptico:** instrumento usado para determinar la salinidad de una muestra de agua.

**Termoclino:** en cuerpos de agua estratificada, es la zona en medio del epilimnión e hipolimnión, en donde la temperatura del agua cambia de cálida (superficie) a agua más fría (fondo)

**Zoea:** etapa que sigue a la protozoa; cuerpo más elongado que el zoea; se alimenta filtrando fito y zooplancton del agua.

**Zooplancton:** comunidad de organismos heterotróficos que vive a la deriva en el agua; consiste en bacterias, protozoarios, microcrustáceos y otros animales.

## Anexo 2. Composición Química de Especies Acuícolas

A continuación se presentan datos de la composición química para el camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*) y de dos especies de tilapia (*Oreochromis aureus* y *O. niloticus*). Esta información es útil para estudios de la nutrición de estos animales y para averiguar el destino de los nutrientes en la dieta y la contaminación del medio ambiente.

Composición química de ejemplares de *Litopenaeus vannamei* tomados de estanques en fincas camaroneras cerca de Choluteca, Honduras.<sup>1</sup>

Peso fresco (g)	Materia seca (%)	% de la material seca									ppm de la materia seca			
		Cenizas	C	N	P	S	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
1.7	25.5	13.6	42.8	10.6	1.29	0.59	2.99	0.31	0.96	0.38	585	52	67	80
5.2	25.8	12.5	44.3	11.5	1.30	0.83	2.43	0.30	1.02	0.35	520	25	66	61
10.7	27.6	12.0	44.5	11.1	1.29	0.68	2.68	0.32	0.90	0.32	356	55	81	74
15.9	27.5	13.7	44.8	11.0	1.11	0.61	2.40	0.26	0.83	0.35	397	28	84	48
24.2	28.9	12.4	43.5	11.3	1.26	0.51	2.39	0.29	1.29	0.34	287	11	71	79

<sup>1</sup> Información tomada de Boyd, C.E. y D.R. Teichert-Coddington. 1995. Dry matter, ash and elemental composition of *Penaeus vannamei* and *P. stylirostris*. Journal World Aquaculture Society 26(1): 88-92.

Composición química de *Oreochromis niloticus* y *O. aureus* cultivados en estanques.<sup>2</sup>

Especie	%	% de la materia seca								ppm de materia seca			
	Materia seca	Ceniza	C	N	P	Ca	Mg	K	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
<i>O. niloticus</i>	26.5	18.9	44.3	8.5	3.01	5.15	0.17	0.91	0.50	509	25	76	8
<i>O. aureus</i>	25.0	19.8	43.6	8.9	2.82	5.01	0.13	0.82	0.47	520	15	78	6

<sup>2</sup> Información tomada de Boyd, C.E. y B.W. Green. 1998. Dry matter, ash and elemental composition of pond-cultured tilapia *Oreochromis aureus* and *O. niloticus*. Journal World Aquaculture Society 29(1): 125-128.

### Anexo 3. Importación de Tilapia a los USA

Pais	2001		2002		2003	
	TM	USD	TM	USD	TM	USD
<b>Filete fresco</b>						
China	191	617305	844	2978700	857	2509600
Costa Rica	3108	16485000	3206	18389000	3996	22608600
Ecuador	4924	31806000	6615	40241000	9397	55937600
Honduras	1438	8634500	2873	17350500	2857	16911060
Taiwan	76	225500	246	698640	282	1148800
Total filete fresco 18 paises =	10236	60839000	14187	81694000	17952	101990500
Precio promedio USD =		5.94		5.76		5.68
<b>Filete congelado</b>						
China	2529	8597000	6026	20898600	15857	51501160
Ecuador	139	652650	272	1246000	186	877000
Indonesia	2179	10846000	2572	13043500	3583	17699000
Taiwan	2133	7213750	2760	11048100	2470	9623080
Viet Nam	53	198300	106	342350	73	126960
Total filete congelado 20 paises =	7372	28905000	12252	48490000	23249	84051050
Precio promedio USD =		3.92		3.96		3.62
<b>Tilapia entera congelada</b>						
China	10870	10497000	19615	20238500	28763	30496670
Ecuador	95	261630	16	38670	143	277300
Taiwan	27599	27020300	20660	23175300	19664	23748660
Total tilapia entera 15 paises =	38729	38052500	40748	44031300	49045	55164080
Precio promedio USD =		0.98		1.08		1.12
<b>Gran total =</b>			<b>67187</b>	<b>174215165</b>	<b>90246</b>	<b>241205610</b>