

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**



DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

Cultivo Intensivo de “Tilapia” en Jaulas Flotantes

Por:

FERNANDO ANTONIO HERNÁNDEZ GARCÍA

MONOGRAFÍA

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Mayo del 2004

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

Cultivo Intensivo de “Tilapia” en Jaulas Flotantes

Por:

FERNANDO ANTONIO HERNÁNDEZ GARCÍA

MONOGRAFÍA

Que Somete a Consideración del H. Jurado Examinador, como Requisito
Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Aprobada por el Comité de Tesis

Asesor Principal

Ing. Alberto Moyeda Dávila

Sinodal

Sinodal

Biol. Ma. Eliazer Bañuelos Covarubias

M.C. Luis Pérez Romero

Coordinador de la División de Ciencia Animal

Dr. Ramón F. García Castillo

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Mayo del 2004

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” y su gente:

Por haberme dado la oportunidad de ser educado y formado en su seno.

Al Ing. Alberto Moyeda Dávila:

Por su interés y apoyo ya que sus sugerencias fueron de una ayuda inestimable en la preparación y culminación de este trabajo.

A la Biol. Ma. Eliazer Bañuelos Covarrubias:

Por tomar tiempo, en medio de su ocupado programa de actividades, para leer y analizar mi escrito.

Al MC. Luis Pérez Romero:

Por sus observaciones y estar al tanto de los detalles en la preparación del último escrito del presente trabajo.

DEDICATORIA

*A nuestro Creador y Salvador, el Señor **Jesucristo**, quien me ha enseñado el valor y propósito de la vida.*

A mis padres: *Sr. Gervacio Hernández Mendoza y Sra. Lourdes del Carmen García de Hernández, por el amor que me han brindado expresándolo en sacrificio, esfuerzo, trabajo y apoyo en mi vida y formación profesional.*

A mis hermanos: *Carlos Enrique y Sandra Aurora, por los momentos que hemos compartido juntos, su gran apoyo y cariño.*

A mis abuelas: *por sus cuidados y consejos que me han impartido.*

A mis hermanos en la fe: *Armando, Franklin, Rafael, Modesto, Gerardo, Melquicedec, Gregorio, Eliseo, Antonio, Daniel, Isaac, Enrique, Sergio y Claudio, con quienes compartí ideales y enfrenté retos.*

A mis amigos: *Ismael, Abid Francisco, Marvin, Oscar, Rubelio, Salomón, Beatriz, Gregorio, Martín, Raúl, Rubén, Gerardo y Benito, por el privilegio de haberlos conocido, los momentos que compartimos juntos y su afecto.*

A mi país... **México**

por ser más que la abstracción de un gran territorio...

por ser el suelo que me vio nacer y crecer...

por ser mi tierra y mi gente...

por los desafíos y sueños que encierra bajo su sol, en sus mares, en sus
pequeños pueblos y en sus grandes ciudades.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE CUADROS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	3
III. JUSTIFICACIÓN	5
IV. OBJETIVOS.....	6
V. REVISIÓN DE LITERATURA	7
1. Historia de vida y biología	7
1.1.Taxonomía	8
1.1.1. Clasificación taxonómica	8
1.2. Características físicas	10

1.2.1. Patrones de banda y coloración	10
1.3. Comportamiento alimenticio	13
1.4. Reproducción	17
1.4.1. Madurez sexual	17
1.4.2. Comportamiento reproductivo	18
1.5. Requerimientos ambientales	22
1.5.1. Salinidad	22
1.5.2. Temperatura del agua	23
1.5.3. Temperatura del ambiente.....	25
1.5.4. Concentración de oxígeno disuelto	26
1.5.5. Turbiedad.....	27
1.5.6. Alcalinidad y dureza	28
1.5.7. Altitud y latitud	28
1.5.8. pH	29
1.5.9. Amoniacó	29
1.5.10. Nitrito	30
2. Estrategias de la Piscicultura que previenen la	
sobrepoblación e impedimentos del crecimiento	32
2.1. Métodos usados en la obtención de machos.	33
3. Especies de tilapia cultivadas comercialmente	
en México	38
4. Sistemas de producción acuícola	43

4.1. ¿Qué es el cultivo en jaulas flotantes?	44
4.1.1. Consideraciones para el cultivo en jaulas: Ventajas y desventajas	46
4.1.2. Especies adecuadas para el cultivo en jaulas	50
4.1.3. Selección de especies de tilapia a cultivar ..	50
4.1.4. Diseño de las jaulas	51
4.1.4.1. Componentes de la jaula	53
4.1.4.2. Materiales para las jaulas	54
4.1.4.2.1. Estructura sustentante ó marco de la jaula	55
4.1.4.2.2. Malla o red	56
4.1.4.2.3. Anillo de alimentación	57
4.1.4.2.4. Tapa de la jaula	57
4.1.4.2.5. Flotadores	59
4.1.4.2.6. Sistema de anclaje	60
4.1.4.3. Forma de las jaulas	60
4.1.4.4. Tamaño de las jaulas	61
4.1.4.4.1. Tamaño de la malla o red	63
4.1.4.4.2. Dimensiones del anillo de alimentación	64
4.1.5. Construcción de las jaulas	65

4.1.6. Selección del sitio y colocación de las jaulas	68
4.1.6.1. <i>Factores críticos o criterios del sitio</i>	70
4.1.7. Aireación	73
4.1.7.1. Jaulas grandes	77
4.1.8. Problemas del cultivo en jaulas	78
4.1.8.1. Signos de estrés en los peces	78
4.1.8.2. Signos de estrés del estanque ó problemas del estanque	81
4.1.8.3. Calidad del agua	85
4.1.8.4. Señales del error humano	85
4.1.8.5. Otros problemas y observaciones	86
5. Manejo de la producción	88
6. Técnicas de cultivo	89
6.1. Producción de juveniles	89
6.1.1. <i>Reproducción</i>	89
6.1.1.1. <i>Selección de reproductores</i>	90
6.1.1.2. <i>Fecundidad</i>	90
6.1.1.3. <i>Tallas óptimas de reproducción</i>	91
6.1.1.4. <i>Parámetros óptimos de reproducción</i> .	91
6.1.1.5. <i>Época de reproducción</i>	92
6.1.1.6. <i>Crianza de alevines</i>	92

6.1.1.7. Sexado	93
6.1.1.8. Compra y recibo de alevines	93
6.1.1.9. Transporte de alevines y adultos para cría	93
6.1.1.10. Aclimatación y producción de pececillos (juveniles)	94
6.2. Siembra	95
6.3. Nutrición y alimentación	96
6.3.1. Nutrición	96
6.3.1.1. Requerimientos nutricionales	99
6.3.2. Manejo y alimentación de los peces enjaulados	106
6.3.2.1. Manejo	107
6.3.2.2. Prácticas de alimentación	110
6.3.2.2.1. Niveles de alimentación	114
6.3.2.2.2. Alimentadores de demanda ..	124
6.3.3. Alimentación invernal	127
6.3.4. Las pautas en los alimentos y la alimentación	130
6.3.5. Alimentación alternativa	131
6.3.5.1. Elaboración de dietas	133
6.4. Crecimiento final	134

7. Producción total	138
8. Rutina de trabajo en estanques	140
9. Enfermedades y parásitos	141
9.1. Vacunas	145
9.2. Controles sanitarios	145
10. Muestreo, cosecha y tratamiento post-cosecha	147
11. Comercialización	150
12. Uso de registros	153
13. Costos	155
14. Situación económica en México	157
15. Situación económica internacional	157
16. Tendencias futuras en América	158
VI. CONCLUSIONES	159
VII. RECOMENDACIONES BÁSICAS	160
VIII. LITERATURA CITADA	161

ÍNDICE DE CUADROS

No. de cuadro	Página
Cuadro 1. Identificación según el patrón de pigmentación para las especies del género <i>Oreochromis</i>	12
Cuadro 2. Cruzas más comunes para la obtención de híbridos.....	35
Cuadro 3. Bondades y facilidades de cultivo que relativamente tienen las tilapias vs tilapia roja que son cultivadas comercialmente.....	41
Cuadro 4. Características nutricionales de la tilapia.....	42
Cuadro 5. Índices de siembra recomendados para jaulas pequeñas.....	96
Cuadro 6. Requerimientos típicos de proteína de la tilapia.....	101
Cuadro 7. Aminoácidos esenciales en dietas experimentales para tilapia en la Universidad de Arizona.....	102

Cuadro 8.	Mezclas de vitaminas y minerales usadas en dietas para tilapia en la Universidad de Arizona.....	105
Cuadro 9.	Niveles de alimentación recomendados diariamente, expresados como porcentaje de peso corporal, para tilapias de diferentes tamaños.....	115
Cuadro 10.	Tabla referencial de alimentación.....	116
Cuadro 11.	Consumo estimado para varios tamaños de bagre de canal cuando la temperatura del agua es superior a 21 °C.....	121
Cuadro 12.	Horario de alimentación invernal para peces enjaulados.....	128
Cuadro 13.	Algunas dietas que se emplean para la alimentación en el crecimiento de la tilapia.....	132
Cuadro 14.	Pesos finales promedio esperados para diferentes periodos de cultivo y pesos iniciales de tilapia.....	136
Cuadro 15.	Hoja de registro de observaciones diarias.....	154
Cuadro 16.	Costos fijos estimados de materiales y equipo para jaula.....	155

ÍNDICE DE FIGURAS

No. de figura	Página
Figura 1. Ciclo de vida de la tilapia del Nilo.....	21
Figura 2. Aletas y papila genital de la tilapia del Nilo.....	34
Figura 3. <i>O. niloticus</i>	38
Figura 4. <i>O. aureus</i>	38
Figura 5. <i>O. mossambicus</i>	39
Figura 6. <i>T. melanopleura (rendalli)</i>	39
Figura 7. <i>O. spp.</i> roja.....	40
Figura 8. Peces enjaulados son mantenidos en densidades extremadamente altas.....	53
Figura 9. Algunas formas y tamaños de jaulas.....	62
Figura 10. Construcción de una jaula cilíndrica de 1.2 x 1.2 m.....	66
Figura 11. Diseño de una jaula comercial de 3.6 x 1.8 x 1.2 m.....	68
Figura 12. Jaulas correctamente separadas atravesando el estanque sin embarcadero	72

Figura 13. Jaula a lo largo de un embarcadero con puentes aéreos montados sobre la tapa de la jaula.....	74
Figura 14. Puentes aéreos en el interior de las jaulas.....	76
Figura 15. Conectores de la tubería de PVC con el orificio constreñido.....	76
Figura 16. Vista transversal de un alimentador de demanda para cultivo en jaulas de tilapia viéndose del lado de la estructura de apoyo sobrepuesta.....	126

I. INTRODUCCIÓN

Debido al incremento acelerado de la población y a la búsqueda de actividades productivas que nos provean de satisfactores económicos, el hombre se ha visto en la necesidad de buscar nuevas fuentes de proteína de origen animal, tal es el caso de la Acuicultura (González, 2002).

La producción mundial de pescado creció sustancialmente a un promedio de 12% al año en el periodo 1989 – 2001 contribuyendo enormemente a la seguridad alimentaria mundial, y de la cual la tilapia es el segundo grupo de peces más importante en el ámbito mundial después de las carpas chinas, con una contribución a la producción de aproximadamente el 20% del volumen total de peces (CEA, 2001; Castillo, 2003).

En México, el cultivo de peces, en particular el de tilapia, ha cobrado interés durante los últimos años, de tal manera que actualmente ocupa el primer lugar en producción a nivel nacional y a nivel Latinoamérica, por lo cual se ubica a México como el país con mayor potencial de crecimiento, beneficiado por sus condiciones y preferencias económicas (Castillo, 2003).

Por otro lado, Masser (1997c) menciona que por sus características positivas, la tilapia ha sido cultivada por todas partes del mundo tropical y probablemente se posicione como el pez de agua dulce más extensamente cultivado.

El cultivo de tilapia representa una alternativa para aprovechar el recurso acuático produciendo carne de calidad y de atractivo valor comercial, tanto a nivel interno como externo, ya que se adapta a diversas condiciones o sistemas de cultivo sea en estanques, jaulas flotantes, cuerpos de agua naturales (arroyos, ríos, etc.), en los que la aplicación de una mejor tecnología continuarán siendo claves para el éxito económico (CENDEPESCA, 2001).

Fitzsimmons (s/a) menciona que la siembra y cosecha en reservorios es la principal fuente de tilapia, sin embargo, la industria está cambiando al cultivo en jaulas en estos mismos reservorios.

II. ANTECEDENTES

La cría comercial de peces se realiza en uno de los cuatro establecimientos de cultivo: estanques abiertos, estanques longitudinales (raceways), tanques, o jaulas.

Los orígenes del cultivo en jaulas son un poco confusos. Es probable que las primeras jaulas fueran usadas por pescadores como estructuras de retención hasta que el pez pudiera ser acumulado para comercializarlo. Las primeras jaulas verdaderas para productores de peces fueron desarrolladas al parecer en el Sudeste de Asia a finales del siglo XIX. Estas primeras jaulas fueron construidas de madera o bambú, y los peces eran alimentados con desperdicios para pescar y restos de comida.

El cultivo moderno en jaula comenzó en 1950 con la llegada de los materiales sintéticos para construcción de jaulas (Masser, 1988a); Fitzsimmons (s/a) menciona que alrededor de este mismo año fueron introducidas las primeras tilapias a las Américas.

En las universidades de Estados Unidos no se llevaron a cabo investigaciones sobre crianza de peces en jaulas sino hasta 1960. La investigación en jaulas estaba limitada sobre todo porque el cultivo en estanques abiertos a gran escala era más económicamente viable y, por lo tanto, recibía más atención de la investigación (Masser, 1988a).

La producción de tilapia en cantidades comerciales comenzó alrededor de 1975 (Fitzsimmons, s/a). Por otro lado, el cultivo en jaula ha recibido más atención tanto por investigadores como por productores comerciales. Factores tales como el creciente consumo de peces, la disminución de algunas poblaciones de peces silvestres, y la pobre economía del campo han producido un interés muy fuerte en la producción de peces en jaulas (Masser, 1988a).

Actualmente, el interés en el cultivo en jaula se ha reestablecido como una cosecha alternativa para agricultores fuera de las áreas tradicionales para piscicultura y en áreas con topografía no conducentes a estanques de dique. A medida que este interés continúe aumentando, más investigación en técnicas del cultivo en jaulas y especies alternativas ocurrirá (Masser, 1997c).

III. JUSTIFICACIÓN

Muchos pequeños agricultores o campesinos de recursos limitados están viendo por otras alternativas de los cultivos tradicionales de la agricultura; en este sentido, la acuicultura parece ser una industria que se está expandiendo rápidamente y una que puede ofrecer oportunidades incluso a pequeña escala, así, la demanda de peces de agua dulce en el mercado y la oportunidad de utilizar los recursos de agua existentes, justifican el desarrollo de este sistema de cultivo contribuyendo a la seguridad alimentaria del país y a mejorar los ingresos de los productores y, consecuentemente, su calidad de vida.

IV. OBJETIVOS

a) General

Integrar información actualizada relacionada con la tilapia y su cultivo intensivo en jaulas flotantes, y de esta manera, fomentar un mayor conocimiento y promover un desarrollo planificado de la actividad de acuicultura, específicamente la piscicultura en nuestro país, con especies reconocidas en el mercado internacional.

b) Específico

Presentar información dirigida a los productores agropecuarios que se encuentran abocados a la búsqueda de una alternativa económicamente rentable para la diversificación de sus actividades productivas.

V. REVISIÓN DE LITERATURA

1. Historia de vida y biología

La cosecha mundial de tilapia ha sobrepasado las 800,000 toneladas métricas, y ocupa el segundo lugar después de las carpas chinas como el pez de agua dulce más extensamente cultivado en el mundo.

La tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) fue una de las primeras especies de pez cultivadas. Ilustraciones de las tumbas Egipcias sugieren que la tilapia del Nilo fue cultivada hace más de 3,000 años aproximadamente. La tilapia ha sido llamada "El pez de San Pedro" en referencia a los pasajes bíblicos acerca de las multitudes alimentadas con pescados. La tilapia del Nilo sigue siendo la especie de tilapia más extensamente cultivada en África (Popma y Masser, 1999).

Algunas características acuícolas positivas de la tilapia son su buena tolerancia a las altas temperaturas, se reproduce rápidamente, tiene excelente calidad de carne, tolerancia a la pobre calidad del agua y el hecho de que

comen una amplia gama de organismos y alimento natural (Masser, 1997c; Popma y Masser, 1999).

Las limitaciones biológicas para el desarrollo comercial del cultivo de tilapia son su inhabilidad para resistir sostenidamente temperaturas del agua inferiores de 10 a 11 °C y madurez sexual precoz que da lugar a desovar o frezar antes de que los peces alcancen el tamaño de mercado (Popma y Masser, 1999).

1.1. Taxonomía

El nombre de “Tilapia” fue empleado por primera vez por Smith en 1840, es un vocablo africano que significa “Pez” y se pronuncia [tulä'pEu], derivado de la palabra “Thlapi” o “Ngege” en el idioma “Swahili” población indígena que habita en la Costa del Lago Ngami en África (Castillo, 2003).

1.1.1. Clasificación taxonómica (MEROPS, 2003).

Superreino	Eucariota
Reino	Animalia
Subreino	Metazoa
Phylum	Chordata
Subphylum	Vertebrata

Superclase	Neopterygii
Clase	Teleostei
Subclase	Euteleostei
Superorden	Acanthopterygii
Orden	Perciformes
Suborden	Labroidei
Familia	Cichlidae

"Tilapia" es el nombre genérico de un grupo de cíclidos endémicos de África. El grupo consiste de tres géneros importantes acuícionalmente: *Oreochromis*, *Sarotherodon* y *Tilapia*. Varias características distinguen estos tres géneros, pero posiblemente la más crítica se relaciona con el comportamiento reproductivo. Durante la segunda mitad del siglo XX, los piscicultores de todas las regiones tropicales y semitropicales del mundo comenzaron a cultivar tilapia. Hoy, toda la tilapia de importancia comercial fuera de África pertenece al género *Oreochromis*, y más del 90% de toda la tilapia cultivada comercialmente fuera de África es tilapia del Nilo. Las especies cultivadas menormente son la tilapia azul (*O. aureus*), tilapia Mozambique (*O. mossambicus*) y la tilapia Zanzíbar (*O. urolepis hornorum*). Los nombres científicos de las especies de tilapia han sido revisados mucho en los últimos treinta años, creando cierta confusión. El nombre científico de la tilapia del Nilo ha sido dado como *Tilapia nilotica*, *Sarotherodon niloticus*, y actualmente como *Oreochromis niloticus* (Popma y Masser, 1999).

1.2. Características físicas

La tilapia es de forma muy similar al pez luna o crappie pero puede ser identificada fácilmente por una interrupción de la línea lateral característica de los peces de la familia Ciclidae. Son de cuerpo comprimido lateralmente y profundo con aletas dorsales largas. La porción delantera de la aleta dorsal es fuertemente espinosa. Las espinas también se encuentran en las aletas de la pelvis y las anales. Tienen generalmente barras de verticales anchas hacia abajo de los costados de los alevines, pececillos, y algunas veces en los adultos (Popma y Masser, 1999).

1.2.1. Patrones de banda y coloración

Las principales especies cultivadas de tilapia generalmente pueden ser distinguidas por diferentes patrones de bandas en la aleta caudal. La tilapia del Nilo tiene bandas verticales marcadas, la tilapia azul tiene bandas interrumpidas, y la tilapia Mozambique tiene bandas poco visibles o no en la aleta caudal. El macho de tilapia Mozambique además tienen las fosas nasales respingadas. Los patrones de color en el cuerpo y las aletas también pueden distinguir las especies (Cuadro 1). El macho maduro de tilapia del Nilo tiene pigmentación gris o rosada en la región del cuello, mientras que la tilapia de Mozambique tiene una coloración más amarilla. Sin embargo, la coloración es a menudo un método no confiable para distinguir las especies de tilapia porque el

ambiente, el estado de madurez sexual, y fuente de alimento influyen grandemente en la intensidad del color.

La tilapia “roja” (*Oreochromis spp.* roja) ha llegado a ser cada vez más popular porque su aspecto similar al pargo o huachinango le da un valor comercial más alto. Las tilapias rojas originales eran mutantes genéticos. La primera tilapia roja, se produjo en Taiwán a finales de los años 60’s, fue una cruce entre una hembra mutante rojiza-anaranjada de tilapia Mozambique y un macho normal de tilapia del Nilo. Esta se llamó tilapia roja Taiwanesa. Otra raza roja de tilapia fue desarrollada en Florida en los 70’s por un cruzamiento de una tilapia Zanzíbar hembra de coloración normal con una tilapia Mozambique rojo-oro. Una tercera raza de tilapia roja fue desarrollada en Israel a partir de un mutante de tilapia del Nilo rosa cruzado con una tilapia azul silvestre. Las tres razas originales han sido cruzadas con otras tilapias rojas de origen no reportado u otras especies de *Oreochromis* silvestres. Consecuentemente, la mayoría de las tilapias rojas en las Américas son mosaicos de un origen incierto. La composición genética confusa y rápidamente cambiante de la tilapia roja, además de la ausencia de comparaciones de crecimiento “frente a frente” entre las diferentes líneas, hace difícil para un productor identificar la “mejor” cepa roja (Popma y Masser, 1999).

Cuadro 1. Identificación según el patrón de pigmentación para las especies del género *Oreochromis* (Castillo, 2003).

Área de pigmentación	<i>O. niloticus</i>	<i>O. aureus</i>	<i>O. urolepis hornorum</i>	<i>O. mossambicus</i>
Cuerpo	Verde metálico Macho maduro: ligeramente gris.	Gris azulado	Negro Acentuado en el macho.	Gris oscuro
Cabeza	Verde metálico	Gris oscuro	Gris	Gris oscuro
Color ojos	Cafés	Cafés	Negros	Negros
Región ventral	Gris plateado	Gris claro Algunas veces manchas difusas rojizas.	Gris	Gris claro
Papila genital	Blanca	Blanca a brillante claro	Rosada	Blanca
Borde de la aleta dorsal	Negra a oscura	Fuertemente Roja o rojiza	Roja	Ligeramente roja
Porción terminal de la aleta caudal	Roja, bandas negras bien definidas y uniformes en forma circular.	Roja, bandas difusas y punteadas.	Roja	Ligeramente roja
Perfil dorsal	Convexo	Convexo	Cóncavo	Cóncavo
Labios	Negros	Labio inferior blanco Gruesos	Negros	Negros

Otras razas de tilapia seleccionadas para color incluyen cruzamientos verdaderos de líneas Mozambique oro y amarillo y la tilapia "Rocky Mountain white" (una línea originada de un cruzamiento verdadero a partir de una tilapia azul mutante, subsecuentemente cruzada con una tilapia del Nilo). La mayoría de las razas seleccionadas para color no crecen lo suficiente al cultivar éstas con fines alimenticios.

Identificar la especie de un pez en particular, es muy complicado por el cruce natural que ha ocurrido entre las especies. La electroforesis es frecuentemente usada para determinar la composición de la especie de un grupo de tilapia (Popma y Masser, 1999).

1.3. Comportamiento alimenticio

La tilapia ingiere una gran variedad de organismos y alimentos naturales, incluyendo el plancton, algunas macrofitas acuáticas, invertebrados acuáticos planctónicos y bénticos, larvas de peces, detritos y materia orgánica en descomposición (Popma y Masser, 1999).

A pesar de la heterogeneidad en relación a sus hábitos alimenticios y a los alimentos que consumen, las tilapias se pueden clasificar en tres grupos principales (Alamilla, 2002):

1. Especies omnívoras:

O. mossambicus es la especie que presenta mayor diversidad en los alimentos que ingiere. *O. niloticus*, *O. spilurus* y *O. aureus* presentan tendencia hacia el consumo de zooplancton.

2. Especies fitoplanctófagas:

S. galilaeus y *O. macrochir* son especies que se alimentan principalmente de fitoplancton (algas microscópicas). *S. melanothron* consume células muertas de fitoplancton, *O. alcalicus* consume algas que crecen sobre la superficie de las piedras y rocas.

3. Especies herbívoras:

T. rendalli, *T. sparmanni* y *T. zilli* consumen vegetación macroscópica. Para poder cortar y rasgar plantas y hojas fibrosas poseen dientes faríngeos especializados, así como un estómago que secreta ácidos fuertes.

Los requerimientos nutricionales al igual que los hábitos alimenticios de los juveniles difieren considerablemente de los adultos. Los juveniles casi siempre son zooplanctófagos (mayor requerimiento de proteína) y posteriormente su alimentación se vuelve fitoplanctófaga o detritívora.

Los individuos de una especie pueden tener preferencias entre estos materiales y son más o menos eficientes dependiendo de la especie

y de la etapa de vida en que pacen en estos alimentos (Fitzsimmons, 1997).

Con alimentación altamente suplementada, los organismos y alimento natural comúnmente aportan del 30 a 50% del crecimiento en la tilapia.

Las tilapias son consideradas frecuentemente alimentadores de filtro porque pueden cosechar eficientemente el plancton del agua. Sin embargo, la tilapia no filtra físicamente el agua a través de las rastrilladoras branquiales tan eficientemente como los alimentadores de filtro del sábalo molleja y la carpa plateada. Las branquias de la tilapia secretan una mucosa que atrapa el plancton. El plancton rico en mucosa, o bolo, es entonces tragado. La digestión y asimilación del material vegetal ocurre a lo largo de la longitud del intestino. La tilapia Mozambique es menos eficiente que la tilapia del Nilo o azul en filtrar algas planctónicas.

La tilapia posee dos mecanismos que la ayudan a digerir algas filamentosas y planctónicas y plantas superiores suculentas (Popma y Masser, 1999):

1. Molienda física de los tejidos de la planta por medio de dos láminas faringeadas de diente fino.
2. Un pH estomacal inferior a 2, el cual rompe las paredes celulares de algas y bacterias.

Las tilapias cultivadas tradicionalmente, digieren de 30 a 60% de la proteína de las algas; las algas verde azules se digieren mas eficientemente que las algas verdes.

Cuando las tilapias se alimentan, no disturban el fondo del estanque tan agresivamente como la carpa común. Sin embargo, se alimentan con eficiencia en invertebrados bénticos vivos y bacterias cargadas de detritos. Las tilapias también se alimentan de invertebrados de las aguas intermedias. Generalmente no son consideradas piscívoras, pero los juveniles consumen alevines o crías de peces.

En general, las tilapias aprovechan el alimento natural tan eficientemente que se cosechan más de 3,000 kg de peces/ha pudiendo sostenerse en estanques bien fertilizados sin alimentación suplementada. El valor nutricional que el alimento natural aporta en los estanques es importante, aún para operaciones comerciales que alimentan peces intensivamente.

En estanques con bastante alimento con poco o ningún cambio de agua, los organismos y el alimento natural pueden generar un tercio o más de los nutrientes totales para el crecimiento. La tilapia digiere la proteína animal en los alimentos con una eficacia similar a la del bagre de canal, pero es más eficiente en la digestión de proteína vegetal, especialmente materiales muy fibrosos (Popma y Masser, 1999).

1.4. Reproducción

1.4.1. Madurez sexual

Todas las especies de tilapia son conocidas por su madurez temprana. Las especies de tilapia más comunes, *O. niloticus*, alcanzan su madurez sexual entre los 30-40 g. En condiciones ambientales favorables las tilapias pueden crecer 30-40 g en un intervalo de 2-4 meses. Una vez que han madurado, las tilapias pueden realizar la puesta todo el año mientras la temperatura del agua sea superior a los 24°C. Las tilapias hembras desovan en múltiples ocasiones. Normalmente, una hembra realiza 8-12 puestas en un año en condiciones favorables de temperatura. Cada puesta puede contener entre 200 y 2000 huevos (Trewavas, 1983; Suresh, 2000).

El CENDEPESCA (2001) cita que la tilapia generalmente alcanza la madurez e inicia la reproducción a un tamaño de 10 - 12 cm (32 g), aunque en altas poblaciones se ha observado hembras de 9 cm incubando huevos. Con el incremento de peso también se incrementa el número de huevos producidos.

Por otro lado, Popma y Masser (1999) mencionan que la madurez sexual en la tilapia está en función de la edad, el tamaño y las condiciones ambientales. La tilapia Mozambique alcanza su madurez sexual a un tamaño más pequeño y a una edad más joven que las tilapias del Nilo y azul. Las

poblaciones de tilapia en lagos grandes maduran a una edad más tarde y a un tamaño más grande que la misma especie criada en pequeños estanques. Por ejemplo, la tilapia del Nilo madura alrededor de 10 a 12 meses y de 350 a 500 g en varios lagos del Este de África. Bajo buenas condiciones de crecimiento esta misma especie llega a alcanzar la madurez sexual en estanques a una edad de 5 a 6 meses y de 150 a 200 g. Cuando el crecimiento es lento, la madurez sexual en la tilapia del Nilo se retrasa uno o dos meses pero los peces con el crecimiento impedido pueden desovar en un peso de menos de 20 g. Bajo buenas condiciones de crecimiento en estanques, la tilapia Mozambique puede alcanzar la madurez sexual siendo tan pequeña como a los 3 meses de edad, cuando rara vez pesan más de 60 o 100 g. En estanques de fertilización pobre, la madurez sexual de la tilapia Mozambique puede presentarse desde los 15 g.

1.4.2. Comportamiento reproductivo

De los tres géneros, *Oreochromis* es el más importante en acuicultura debido a que las principales tilapias más adecuadas para su explotación son de dicho género.

El comportamiento reproductivo de las especies de *Oreochromis* se describe a continuación (Trewavas, 1983; Suresh, 2000):

Cuando una hembra *Oreochromis* está lista para desovar, visita la zona de reproducción o *lek*. Esta zona consiste en una parte del fondo del estanque en la que varios machos han establecido nidos individuales bien defendidos

(generalmente a profundidades de agua de menos de 91 cm). Después de un breve cortejo, la hembra deposita los huevos en el nido mientras que simultáneamente el macho los fertiliza. Entonces la hembra recoge los huevos fertilizados en su boca (cavidad bucal) para *incubarlos* y abandona la zona de apareamiento. Después de un periodo de incubación de 10-15 días, los alevines eclosionados son liberados en aguas poco profundas. Luego la hembra reanuda su actividad alimenticia y reacondiciona sus ovarios durante 2-4 semanas y de nuevo está lista para una nueva puesta.

Popma y Masser (1999) mencionan que los alevines permanecen en la boca de su madre a través de la absorción de la membrana vitelina y a menudo buscan refugio en su boca después de varios días que ellos se comienzan a alimentar.

Las tilapias se dividen en tres géneros principales dependiendo de su comportamiento referido al cuidado parental (Trewavas, 1983; Popma y Masser, 1999; Suresh, 2000):

1. *Tilapia*: todas las especies son constructoras de nidos; los huevos fertilizados son protegidos por un progenitor en los nidos excavados en el fondo del estanque.

2. *Oreochromis*: los huevos son fertilizados en el nido pero la madre lo toma inmediatamente en sus bocas y los guarda en su boca durante la incubación y por varios días después de nacidos.
3. *Sarotherodon*: los huevos son fertilizados en el nido y son incubados en la boca del progenitor macho o hembra indistintamente.

Los huevos son incubados en la boca de la hembra durante 48 - 72 horas hasta que eclosionan, posteriormente las crías son protegidos durante 7-12 días por los padres que alejan a otros peces depredadores. La protección puede ser fija o desplazarse a medida que las crías nadan en busca de alimento (CENDEPESCA, 2001; Alamilla, 2002).

Por otro lado, el CEA (2001) señala que luego de liberados los alevines, la madre permanece cerca de ellos de 10 a 15 días; si durante este periodo si los alevines perciben alguna señal de peligro, por mínima que ésta sea, retornan a la boca de la madre como medida de protección.

La Figura 1 muestra de una manera esquemática el ciclo de vida de la tilapia del Nilo (Jackson, 2002).

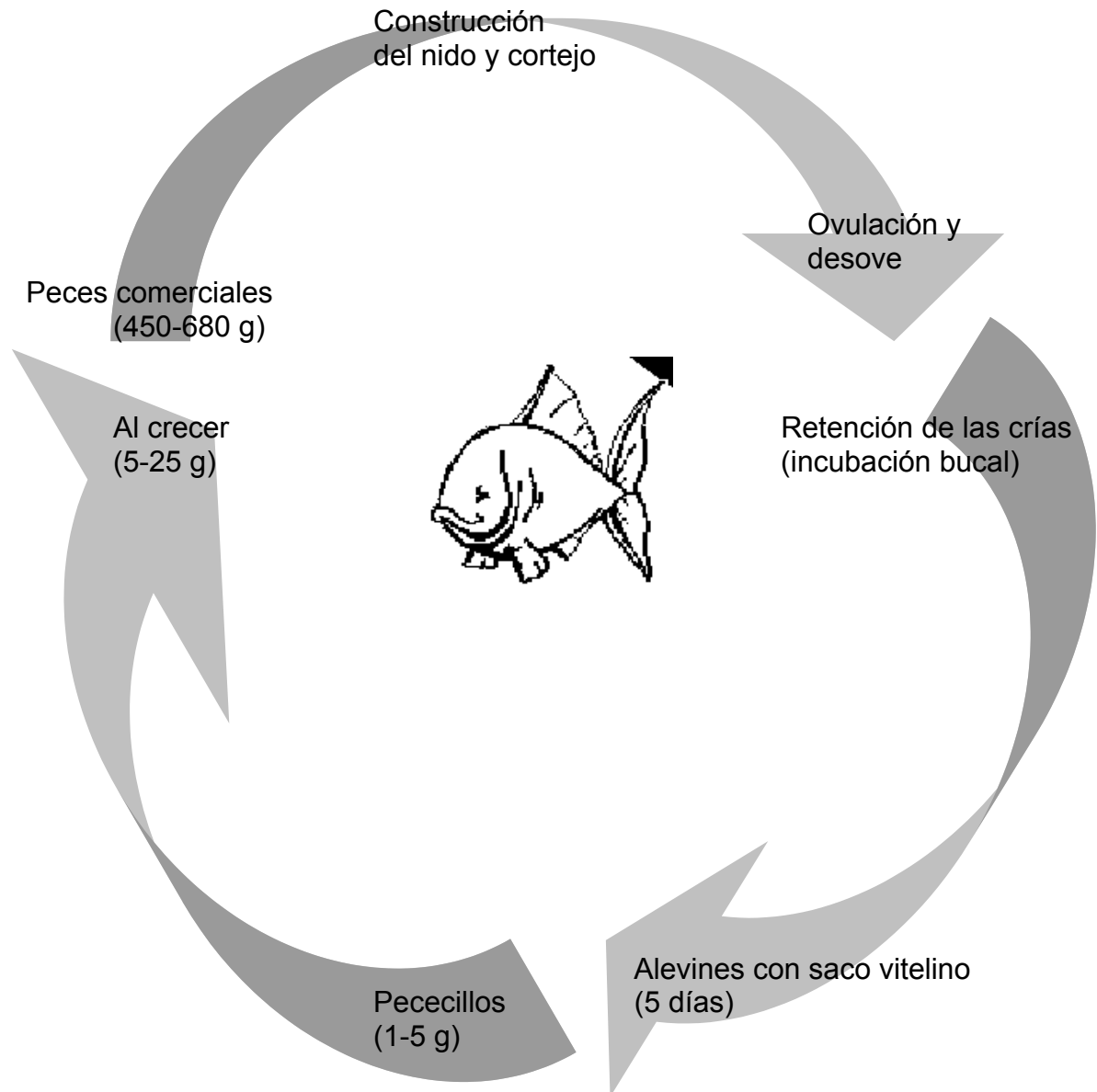


Fig. 1. Ciclo de vida de la tilapia del Nilo (Jackson, 2002).

1.5. Requerimientos ambientales

Dentro de sus áreas originales de distribución, las tilapias han colonizado hábitats mucho muy diversos: arroyos permanentes y temporales, ríos anchos y profundos, lagos profundos, lagos pantanosos, lagunas dulces, salobres o saladas, alcalinas, estuarios y lagunas costeras e incluso hábitats marinos. Las tilapias cultivadas habitan por lo general aguas lénticas (poca corriente), permaneciendo en zonas poco profundas y cercanas a las orillas donde se alimentan y reproducen (Alamilla, 2002).

La tilapia es más tolerante que la mayoría de los peces de agua dulce más comúnmente cultivados a la alta salinidad, temperaturas altas del agua, a bajo oxígeno disuelto, y a altas concentraciones de amoníaco (Popma y Masser, 1999).

Para que las tilapias sean cultivadas, se deben determinar parámetros físicos y químicos, llevándose el respectivo registro de los mismos como los que se mencionan a continuación (Rivelli, 2001):

1.5.1. Salinidad

Las tilapias son peces de agua dulce que tienen ancestros netamente marinos adaptados a los ambientes lóticos y lénticos de aguas continentales,

por lo tanto, conservan en mayor o menor grado la capacidad de adaptarse a vivir en aguas saladas (Castillo, 2003).

Popma y Masser (1999) mencionan que todas las tilapias son tolerantes al agua salobre. La tilapia del Nilo es la menos tolerante a la salinidad de las especies importantes comercialmente, pero crece bien en salinidades de hasta 15 ppm. La tilapia azul crece bien en aguas salobres hasta salinidades de hasta 20 ppm, y la tilapia de Mozambique crece bien en salinidades cercanas al agua de mar o resiste completamente. Por tanto, la tilapia de Mozambique y algunas *mossambicus* derivadas de tilapia “roja” son preferentemente cultivadas en agua salobre.

Algunas líneas de la tilapia de Mozambique han reportado tener oviposición en aguas marinas muy fuertes, pero su funcionamiento reproductivo comienza a declinar en salinidades arriba de 10 a 15 ppm. Las tilapias azul y del Nilo pueden reproducirse en salinidades de 10 a 15 ppm, pero funcionan mejor en salinidades por debajo de 5 ppm. El número de alevines decrece sustancialmente a salinidades de 10 ppm.

1.5.2. Temperatura del agua

La temperatura es el factor físico más importante que controla la vida de los animales de sangre fría. La temperatura es crítica en el crecimiento, reproducción y algunas veces la sobrevivencia. Cada especie de peces tiene un

rango de temperatura óptimo para crecer, así como temperaturas letales superiores e inferiores (Masser, 1997a).

La intolerancia de la tilapia a bajas temperaturas es una serie limitante para el cultivo comercial en regiones templadas. La temperatura letal más baja para la mayoría de las especies es de 10 a 11°C por unos cuantos días, pero la tilapia azul tolera temperaturas cercanas a los 9 °C.

La tilapia generalmente deja de comer cuando la temperatura del agua descende por debajo de los 17 °C. Se provocan enfermedades y mortalidad después del muestreo y manejo brusco y obligado, la cosecha y transporte por debajo de 18 °C. La reproducción es mejor en temperaturas del agua por arriba de los 26.7 °C y no ocurre por debajo de los 20 °C. En regiones subtropicales con una temporada fría, el número de alevines puede decrecer cuando la temperatura diaria del agua promedia menos de 24 °C. En tilapia del Nilo, después del día 16 a 20 del ciclo de oviposición con 227 g, la recuperación de alevines fue cercana a los 600 alevines por hembra que procreo a una temperatura del agua de 27.8 °C, pero solamente de 250 alevines por hembra a 24 °C (Popma y Masser, 1999).

Alamilla (2002) maneja que la reproducción se efectúa a temperaturas superiores a los 20 °C y el intervalo óptimo es de 24 a 29 °C.

Las temperaturas óptimas para la tilapia son de 26.7 a 32 °C. La temperatura óptima del agua para el crecimiento de la tilapia es alrededor de 29.5 a 31 °C. El crecimiento a esta temperatura óptima es generalmente tres veces mayor que a 22 °C, pero un crecimiento bueno es mantenido entre 24 y 35 °C (Popma y Masser, 1999).

Por otro lado, Coreas (2001) menciona que se requiere agua con temperatura del rango de 22 a 23 °C; el rango óptimo para crecimiento es de 28 a 32 °C.

Las tilapias pueden soportar temperaturas hasta de 15 °C en las aguas de cultivo, pero sus funciones fisiológicas se alteran, por otro lado, los límites superiores de tolerancia varían entre los 37 y 42 °C en las aguas de producción. Por debajo de la temperatura óptima el consumo de alimento y la conversión alimenticia declina hasta que se alcanza una temperatura en la cual cesa el crecimiento y el consumo de alimento se limita a una ración de mantenimiento. Debajo esta temperatura esta una temperatura letal inferior en la cual ocurre la muerte. Por encima de la temperatura óptima el consumo de alimento se incrementa mientras que la conversión alimenticia declina (Cabañas, 1995; Masser, 1997a).

1.5.3. Temperatura ambiente

Prefieren temperaturas elevadas. Por ello su distribución se restringe a áreas cuyas isothermas de invierno sean superiores a los 20 °C (Alamilla, 2002).

Cabañas (1995) señala temperaturas atmosféricas entre los 20 y 40 °C.

1.5.4. Concentración de oxígeno disuelto

El estrés por oxígeno es el problema más frecuentemente encontrado en la calidad del agua en el cultivo en jaulas. La concentración y disponibilidad de oxígeno disuelto (OD) son críticas para la salud y sobrevivencia de los peces enjaulados (Masser, 1997a).

Las tilapias sobreviven rutinariamente a las concentraciones de OD al amanecer de menos de 0.3 mg/L, considerablemente debajo de los límites de tolerancia de la mayoría de otros peces cultivados. La tilapia del Nilo crece mejor cuando se usan aireadores para prevenir de mañana que las concentraciones de OD disminuyan por debajo de 0.7 a 0.8 mg/L (comparado con estanques sin control de la aireación).

Aunque la tilapia puede sobrevivir a concentraciones extremas de OD por varias horas, los estanques de tilapia deben ser manejados manteniendo concentraciones de OD por encima de 1 mg/L (Popma y Masser, 1999).

El contenido de oxígeno en el agua no debe ser menor de 3 mg/L (3 cc) y lo recomendable es tener concentraciones que varíen entre 4 y 6 mg/L (o ppm). La concentración de oxígeno es el factor que más afecta el metabolismo, conversión alimenticia, crecimiento y, posiblemente, resistencia a enfermedades

o salud cuando este cae por debajo de su nivel por periodos prolongados (Cabañas, 1995; Masser, 1997a; Popma y Masser, 1999; Coreas, 2001).

1.5.5. Turbiedad

La turbiedad es el grado en el cual la luz penetra al agua. La penetración de la luz es bloqueada por partículas de suelo suspendido, material orgánico (detritos), y el plancton (plantas y animales microscópicos flotantes o suspendidos) del estanque (Masser, 1997a).

La turbiedad del agua tiene dos tipos de efectos: uno sobre el medio y se debe a la dispersión de la luz y el otro actúa de manera mecánica directamente sobre los peces.

Al impedir la libre penetración de los rayos solares, la turbidez limita la productividad natural del estanque, lo que a su vez reduce la disponibilidad de alimento para la tilapia. Es por ello que se recomienda que el agua de los estanques no sea turbia para que el fitoplancton se pueda desarrollar adecuadamente (Alamilla, 2002).

Masser (1997a) menciona además que la turbiedad causada por partículas de suelo suspendido y detritos pueden reducir la fotosíntesis y, por lo tanto, la producción de oxígeno.

Alamilla (2002) también menciona que la turbiedad del agua es provocada por partículas sólidas que forman suspensiones coloidales en el agua y pueden dañar

físicamente las branquias de los peces causando lesiones que facilitan infecciones por patógenos. En caso de que las aguas sean demasiado turbias (>100 ppm) conviene propiciar su sedimentación previamente a los estanques de cultivo, bien sea por medios físicos y/o químicos.

1.5.6. Alcalinidad y dureza

Una alcalinidad superior a 175 mg de CaCO₃/L resulta perjudicial, debido a que puede dañar las branquias de los peces (Alamilla, 2002).

1.5.7. Altitud y latitud

La altitud, como un factor limitante de distribución de la tilapia se relaciona no a la presión barométrica sino fundamentalmente a la temperatura, por lo que los límites donde se puede establecer el cultivo varían entre los 0 a los 1500 msnm. En función de la latitud y de las características microclimáticas, en México este límite se establece entre los 850 y los 2,000 msnm (Cabañas, 1995; Alamilla, 2002).

1.5.8. pH

El pH es una medida de la acidez relativa del agua. El pH en un estanque fluctúa diariamente debido a la captura y liberación de CO₂ durante la fotosíntesis y respiración. El pH es más bajo en o cerca del amanecer y más alto a medio día. El punto de acidez letal es un pH de 4 aproximadamente y el punto de alcalinidad letal es aproximadamente un pH de 11. Cuando el pH está fuera del rango deseado, el crecimiento de los peces es lento, se reduce la reproducción, y se incrementa la susceptibilidad a enfermedades (Masser, 1997a).

En general, la tilapia puede sobrevivir en un pH del rango de 5 a 10 pero es mejor un rango de pH de 6 a 9 (Popma y Masser, 1999).

1.5.9. Amoníaco

El amoníaco es el desecho nitrogenado primario producido por el pez de la digestión proteica. Cualquier desecho nitrogenado contenido en el abono hacia el estanque, fertilizantes inorgánicos, descomposición vegetal, y/o alimento no consumido es transformado en amoníaco por las bacterias en el estanque (Masser, 1997a).

Muertes masivas de tilapia pueden ocurrir en pocos días si los peces son transferidos repentinamente a agua con concentraciones de amoníaco no

ionizado mayores a 2 mg/L. Sin embargo, cuando se aclimatan gradualmente a niveles subletales, aproximadamente la mitad de los peces llega a sobrevivir 3 o 4 días en concentraciones de amoníaco no ionizado tan altas como de 3 mg/L. La exposición prolongada (varias semanas) a concentraciones de amoníaco no ionizado mayor de 1 mg/L causa pérdidas entre alevines y juveniles en agua con baja concentración de OD. Las primeras muertes por exposición prolongada pueden comenzar en concentraciones tan bajas como 0.2 mg/L. El amoníaco no ionizado comienza a deprimir el consumo de alimento en concentraciones tan bajas como 0.08 mg/L (Popma y Masser, 1999).

Los niveles subletales de amoníaco se identifican por causar daño en agallas y tejido, crecimiento pobre e incremento a la susceptibilidad a enfermedades (Masser, 1997a).

1.5.10. Nitrito

Las bacterias del género *Nitrosomonas* convierten el amoníaco en nitrito. El nivel de toxicidad por nitrito depende de la especie de peces y de la concentración de iones cloruro en el agua del estanque (Masser, 1997a).

El nitrito es tóxico para muchos peces porque hace que la hemoglobina sea menos capaz de transportar oxígeno; los iones cloruro reducen la toxicidad. Las tilapias son las más tolerantes al nitrito que la mayoría de los peces cultivados de agua dulce. Cuando las concentraciones de oxígeno son altas (6

mg/L) y la concentración de cloruros es baja (22mg/L), la concentración de nitritos en la cual el 50% de los peces muere en 4 días es de 89 mg/L como nitrito. En general, para cultivos de agua dulce la concentración de nitritos debe mantenerse debajo de 27 mg/L como nitrito (Popma y Masser, 1999).

Niveles subletales de nitrito reducen el transporte de oxígeno en el pez, resultando en pobre conversión alimenticia, crecimiento reducido e incremento a la susceptibilidad a enfermedades (Masser, 1997a).

2. Estrategias de la Piscicultura que previenen la sobrepoblación e impedimentos del crecimiento

Una de las limitaciones biológicas más fuertes para el desarrollo comercial del cultivo de tilapia es su madurez sexual precoz que da lugar a frezar antes de que los peces alcancen el tamaño de mercado, lo cual origina superpoblación e impedimentos del crecimiento en los peces. Para prevenir esto se implementan las siguientes estrategias (Popma y Masser, 1999):

1. Cría en jaula donde los huevos caen a través de la malla al fondo del estanque antes de que la hembra pueda coleccionar estos para incubarlos.
2. Policultivo con un pez predador, tal como pececillos de perca de boca grande, a razón de 1000 por hectárea.
3. Cultivar solamente machos (monosexo).

Cultivar puros machos es deseable en estanques no sólo para evitar la sobrepoblación e impedimentos del crecimiento sino también porque los machos crecen aproximadamente dos veces más rápido que las hembras. Las hembras, debido a la ovulación, gastan mucha energía, lo cual impide su crecimiento. Después de sexar los pequeños peces, los machos se dejan en el estanque, mientras las hembras son sacrificadas para que sirvan como abono agrícola (Popma y Masser, 1999; Monteverde, 2003).

2.1. Métodos usados en la obtención de machos

Los métodos para obtener predominancia de peces machos incluyen (Popma y Masser, 1999):

1. Separación manual de sexos basada en la examinación visual de la papila genital de los peces juveniles (“sexado manual”).
2. Hibridación entre dos especies seleccionadas que produzcan progenie de puros machos (por ejemplo, hembras Nilo o Mozambique cruzadas con machos azul o Zanzíbar).
3. Alimentación de los alevines recién salidos del huevo con alimento tratado con hormona masculina por 3 o 4 semanas para producir machos funcionales reproductivamente (“reversión sexual”).
4. Tecnología del macho YY.

El sexo de un pececillo de tilapia de 25 g puede determinarse por examinación de la papila genital localizada inmediatamente detrás del ano (Figura 2). En machos la papila genital tiene solamente una abertura (el poro urinario del uréter) a través del cual pasa tanto la lechaza como la orina. En hembras la salida de los huevos es a través de un oviducto separado y solamente la orina pasa a través del poro urinario. Colocar una gota de tinta

(azul de metileno o colorante de alimento) en la región genital ayuda a destacar la papila y sus aberturas (Popma y Masser, 1999).

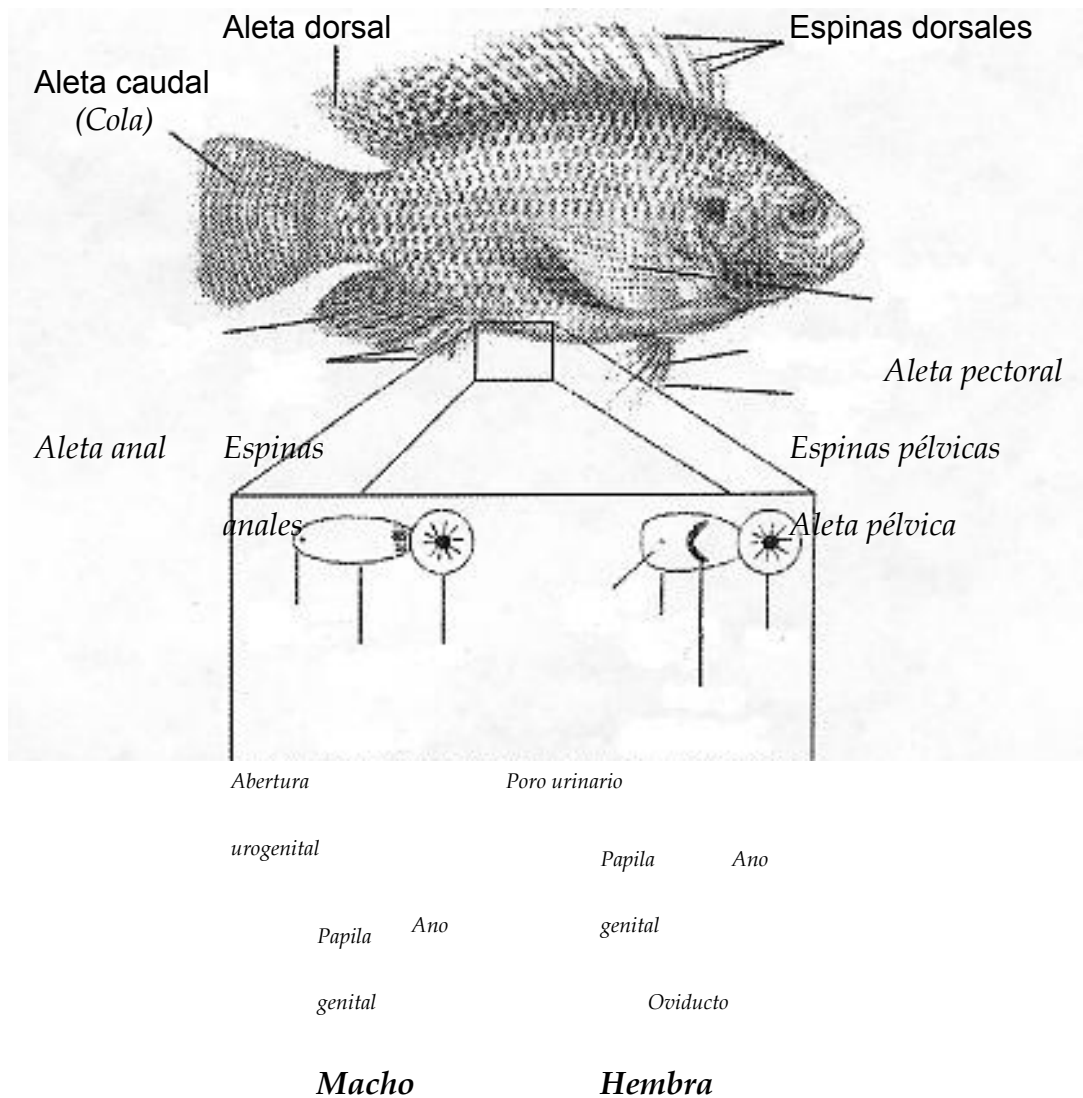


Fig. 2. Aletas y papila genital de la tilapia del Nilo (Popma y Masser, 1999).

Alamilla (2002) menciona que el sexado debe realizarse cuidadosamente para evitar introducir hembras al cultivo y de esta manera prevenir su reproducción indeseada en los estanques.

Es conveniente realizar esta operación tan pronto como sea posible para ahorrar espacio y no desperdiciar alimento que ocuparían y consumirían respectivamente las hembras.

Puesto que el sexado no se puede efectuar con facilidad antes de que los alevines hayan alcanzado los 50 g de peso, conviene prolongar la crianza de los juveniles hasta dicha talla, y en una misma operación efectuar el sexado y la siembra en los estanques o jaulas de engorda.

En la práctica es posible lograr que la población a engordar esté compuesta hasta por un 95% de machos.

Los inconvenientes de este método radican en la posibilidad del error humano y en el desperdicio de las hembras.

En cuanto al método de hibridación se utilizan varias razas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Cruzas más comunes para la obtención de híbridos (Alamilla, 2002).

Machos	Hembras	% de machos en F₁
<i>O. hornorum</i>	<i>O. niloticus</i>	100
<i>O. aureus</i>	<i>O. niloticus</i>	100
<i>O. niloticus</i>	<i>O. hornorum</i>	75
<i>O. hornorum</i>	<i>O. niloticus</i>	80
<i>O. aureus</i>	<i>O. mossambicus</i>	75
<i>O. hornorum</i>	<i>O. mossambicus</i>	75
<i>O. Mossambicus</i>	<i>O. niloticus</i>	80

<i>O. niloticus</i>	<i>O. hornorum</i>	75
---------------------	--------------------	----

Delgadillo (1998), hace mención que la reversión sexual es una técnica que consiste en transformar a las crías que genéticamente son hembras en machos funcionales.

En la reversión sexual, la hormona 17-alfa-metil testosterona modifica directamente las características sexuales secundarias (fenotipo), y tiene un efecto adicional sobre las gónadas, al afectar su normal desarrollo, pero en ningún momento afecta el genotipo, por lo que los individuos genéticamente mantienen la segregación normal esperada en el momento de la fertilización, lo que ocasiona una disparidad de tallas típicas de machos y hembras, pero con menor incidencia de enanismo.

Se debe tener presente que los países de la Unión Europea, EU e India, prohíben el empleo de hormonas en peces cultivados con destino al consumo humano (Phelps y Popma, 2000; Castillo, 2001).

La tecnología del macho YY permite obtener Tilapia Genéticamente Machos (GMT) a partir de machos reproductores "YY" que son conocidos como "Supermachos" (Super Male) sin emplear Ingeniería Genética, ni modificación genética, simplemente se emplea una primera fase de feminización (hormonal) y una segunda fase de pruebas de progenie, estos machos fértiles y viables solo producen machos. Estos individuos GMT tienen excelentes resultados en supervivencia, disminución de la territorialidad, alta eficiencia en la conversión alimenticia, mínima variación en talla, alto porcentaje de

crecimiento, grandes rendimientos en peso y disminución del tiempo de cosecha, con los siguientes rendimientos: en EU con excelente calidad de agua alcanza 800 g en 6 meses, en Europa en tanques con recirculación de agua han alcanzado los 900 g en 6 meses y en Centroamérica en raceways en condiciones super intensivas 1 kilogramo en 6 meses.

Actualmente, se ofrecen supermachos de *O. niloticus* y líneas puras de tilapia nilótica roja GMT, tilapia nilótica “pearl” GMT, tilapia mozambica GMT; la optimización de la tecnología fue desarrollada en Filipinas desde 1995, Tailandia desde 1997 e Inglaterra desde 1999 (Dunham *et al.*, 2001).

3. Especies de tilapia cultivadas comercialmente en México

Arredondo (1975) señalan que las especies manejadas en nuestro país son: *O. niloticus* (Figura 3), *O. aureus* (Figura 4), *O. urolepis hornorum*, *O. mossambicus* (Figura 5) y *Tilapia melanopleura (rendalli)* (Figura 6).



Fig. 3. *O. niloticus*



Fig. 4. *O. aureus*



Fig. 5. *O. mossambicus*



Fig. 6. *T. melanopleura (rendalli)* (U. S. Geological Survey)

En la actualidad está ocupando un lugar de gran importancia la cría artificial de tilapia roja (Figura 7) debido a su gran aceptación en el mercado por sus características organolépticas como son: sabor, color, consistencia de la carne, etc. Además de su disponibilidad en el mercado todo el año ya que en esta especie no hay veda. Actualmente se utiliza como una fuente de proteína para la gente de comunidades rurales, ya que este pez es muy rústico y se desarrolla en cuerpos de agua naturales (González, 2002).



Fig. 7. *O. spp. roja* (U. S. Geological Survey)

Cuadro 3. Bondades y facilidades de cultivo que relativamente tienen

las tilapias vs tilapia roja que son cultivadas comercialmente (Castillo, 2003).

Tilapias	<i>Tilapia roja</i>
Fácil adaptabilidad a todo tipo de ambientes.	Requiere condiciones especiales del medio, como por ej.: temperatura (24 a 30 °C).
Tecnología sencilla para su manejo y rusticidad.	Requiere de un paquete tecnológico depurado.
Poca exigencia genética.	Requiere un completo programa de selección genética.
Mimetismo natural contra predadores.	Su coloración y comportamiento la hace altamente susceptible a la predación.
Acepta todo tipo de alimentos, desde su productividad natural hasta alimentación suplementaria. Alta productividad.	Su condición genética y exigencia en rendimientos (crecimiento, carne), obliga a su alimentación con balanceados comerciales.
Responde en altas densidades de siembra.	Responden en altas densidades de siembra.
Su adaptación a la salinidad es variable.	Se adaptan fácilmente a altas salinidades.
Fácil reproducción En líneas puras se obtiene el 100% de machos.	La condición híbrida de muchas de las líneas, afecta la proporción de machos y hembras, aún después de la inducción sexual.
Alta resistencia a enfermedades.	Su coloración y condición mutante la hace más susceptible a pérdidas por mortalidad.

Cuadro 4. Características nutricionales de la tilapia (Fitzsimmons, 2002)

Información nutricional

Tamaño por ración 113 gramos

Raciones por envase 8

Cantidad por ración	
Contenido energético: 93	Calorías de la grasa: 9
	% de valor diario*
Grasa total: 1 g	2%
Grasa saturada 0.5 g	2%
Colesterol 55 mg	18%
Sodio 40 mg	2%
Carbohidratos totales	0%
Fibra dietética 0	0%
Azúcares 0	0%
Proteína 21 g	

Vitamina A 0%

Vitamina C 0%

Calcio 1%

Hierro 7%

**Los porcentajes de Valores Diarios están basados en una dieta de 2000 calorías (aprobada por el US FDA). Sus valores diarios pueden ser mayores o menores dependiendo de sus necesidades calóricas.*

	Contenido energético:	2000	2500
Grasa total	Menos de	65 g	80 g
Grasa saturada	Menos de	20 g	25 g
Colesterol	Menos de	300 mg	300 mg
Sodio	Menos de	2,400 mg	2,400 mg
Carbohidratos totales		300 g	375 g
Fibra dietética		25 g	30 g

Calorías por gramo:

Grasa: 9

Carbohidrato: 4

Proteína: 4

Nota: Un filete típico de 113 g (4 oz) contiene alrededor de 90 mg de ácido

graso 3 omega.

4. Sistemas de producción acuícola

Los sistemas de producción acuícola se clasifican típicamente según el tipo, la densidad de la biomasa y prácticas de alimentación. La división basada en flujo de agua proporciona una manera fundamental más útil para describir los procesos de la calidad del agua que controlan la producción (Krom et al., 1989).

Actualmente, los cultivos comerciales son realizados en sistemas que abarcan la modalidad extensiva, la semiintensiva y la intensiva en cerramientos tipo estanques excavados en tierra para cualquiera de ellas o en jaulas suspendidas en cuerpos de agua, en sistema intensivo. En todos estos casos, se trabaja con poblaciones monosexo macho, revertidas por hormona durante los primeros 30 días de alimentación en cultivo, hasta alcanzar una longitud total de 17 a 20 mm.

En sistemas extensivos se obtienen cosechas de 200 a 500 kg /ha/ciclo, sin aporte de alimento externo; mientras que en sistemas semiintensivos se cosechan entre 4,000 a 10,000 kg/ha/ciclo dependiendo de la calidad del alimento utilizado y de la temperatura del agua.

En sistemas intensivos en estanques, con aireación suplementaria y recambio parcial de agua (2 o más veces al día), se obtienen cosechas de más de 20,000 kg/ha. En esta misma modalidad, y utilizando jaulas suspendidas de bajo volumen (en cuerpos de agua apropiados) los rendimientos están comprendidos entre 50 y 300 kg/m³. (Popma y Lovshin, 1994; Wicki, 1998).

Un sistema de jaula puede ser considerado un sistema de flujo abierto, aunque en áreas con descargas restringidas, el sistema puede funcionar como un sistema de reuso con tratamiento mínimo del agua (Colt, 1991).

4.1. ¿Qué es el cultivo en jaulas flotantes?

El cultivo en jaulas podría definirse como el proceso controlado de crecimiento y engorde intensivo de peces en altas densidades, en dos etapas de siembra: de alevín a juvenil, y luego, hasta alcanzar una talla comercial en áreas de cultivo restringidas y delimitadas por mallas o redes que permiten el libre flujo de agua y mantienen cautivos a los peces donde todo el alimento requerido por el pez, es proporcionado por medio de una dieta balanceada, a través de muestreos basados en los requerimientos nutricionales (Coreas, 2001).

Otros investigadores definen este sistema de cultivo, como la práctica de la crianza de peces en jaulas, y puede aplicarse en cuerpos de agua existentes que por su naturaleza y dimensiones o características no pueden ser drenados ni pescarse con jábega y que de otro modo no podrían ser utilizados ni adecuados para la acuicultura sin modificar su cauce, forma o construcción. Esto incluye toda clase de aguas, corrientes o estancadas, lagunas, arroyos, lagos, depósitos grandes (presas o represas), estanques agrícolas, ríos, canales con descarga de agua fresca, estuarios y embalses costeros, pero se

encierra al pez en una jaula o redes lo cual permite pasar libremente el agua entre el pez y el encierro. Debe enfatizarse que el cultivo de peces en jaulas no es infalible ni simple. Por el contrario, la producción en jaula puede ser más intensiva en muchos canales que el cultivo en estanques y debe considerarse como una alternativa comercial solo donde el cultivo en estanques abiertos no es practicable (McGinty y Rakocy, s/a; Alamilla, 2002).

Pérez (2002) menciona que cultivar en jaulas es con el fin de acelerar el desarrollo de los peces, reducir por lo tanto, la duración del periodo de cultivo y la tasa de mortalidad. Este tipo de estructura de producción, facilita el aporte de oxígeno disuelto e impide la entrada de los depredadores.

Su estructura no es complicada y se pueden realizar cosechas a corto, mediano y largo plazo, según sea la exigencia del mercado (Coreas, 2001).

El cultivo en jaulas se puede efectuar tanto a escala comercial como a nivel de subsistencia familiar, principalmente en zonas tropicales y subtropicales donde la temperatura del agua sea superior a 20 °C (Alamilla, 2002).

4.1.1. Consideraciones para el cultivo en jaulas: Ventajas y desventajas

Como en cualquier proyecto productivo el cultivo de peces en jaula tiene una serie de ventajas y desventajas que deben ser consideradas cuidadosamente dentro del proceso de planificación de la actividad productiva antes de implementar el método de producción en jaula (Masser, 1988a).

El cultivo en jaulas ofrece varias ventajas importantes. El ciclo de procreación de la tilapia se interrumpe en jaulas, y por lo tanto poblaciones de ambos sexos pueden ser criadas en jaulas sin problemas de sobrepoblación o impedimento del crecimiento, las cuales son las mayores limitantes en el cultivo en estanques. Los huevos caen al fondo del recinto a través de la jaula o no se desarrollan si son fertilizados (la reproducción ocurrirá en jaulas con malla de 1/10 de pulgada (0.25 cm) o menos, lo cual es suficientemente pequeña para retener los huevos) (McGinty y Rakocy, s/a).

Otras ventajas de las jaulas incluyen:

- Muchos tipos de recursos acuáticos pueden ser usados, incluyendo lagos, embalses, estanques, arroyos y ríos los cuales en la mayoría de los casos tienen uso limitado para otros propósitos.
- La inversión inicial que se requiere es relativamente baja en un cuerpo de agua existente comparada con estanques y raceways, ya que sólo

contempla la construcción de las jaulas y controles en el aliviadero de la laguna por lo que su costo se puede capitalizar en poco tiempo (Masser, 1988a).

- Flexibilidad de manejo.
- La cosecha es fácil, sencilla y a bajo costo.
- Se tiene una observación cercana de los peces de la respuesta a la alimentación y salud de los peces, por lo tanto, mejor aprovechamiento de alimento suministrado.
- Estricto control de la población en cultivo (cuantificación de la mortalidad).
- Tratamiento fácil y económico de parásitos y enfermedades, (McGinty and Rakocy, s/a).
- El muestreo del crecimiento de los peces es sencillo.
- Permite el uso del estanque para la pesca deportiva o el cultivo de otras especies (Masser, 1988a).
- Ayuda a aumentar considerablemente la oferta de productos pesqueros en vista de la creciente demanda y la presión sobre los recursos marinos y continentales.
- Se produce proteína animal de buena calidad y altos volúmenes a través de la implementación y utilización de tecnologías apropiadas.
- Permite el aprovechamiento pleno y racional de factores presentes en el medio ambiente (se evita el desperdicio de agua) donde se lleva a cabo la operación y la intensificación de la producción acuícola a través de

altas densidades en la siembra y una optima alimentación para obtener rendimientos altos. Mejor productividad debido a la alta densidad de cultivo.

- Fácil localización y control de competidores y depredadores.
- Poco o ningún impacto ecológico negativo.
- El fácil suministro de alimentos artificiales y el control sobre otros alimentos naturales mejora la eficiencia en la conversión alimenticia.
- Los excrementos de los peces, desechos orgánicos y los productos tóxicos son eliminados de las jaulas por la circulación y flujo de agua.
- La cosecha causa poco daño físico a los peces, con tamaños bastante uniformes y su venta se puede realizar en el propio lugar presentando un producto de buena calidad vivo o fresco (Pérez, 2002).

Algunas desventajas distintivas son:

- Dependencia de dietas nutricionalmente completas, por lo tanto, el alimento debe ser completo nutricionalmente y conservado en un lugar fresco y seco.
- Menor tolerancia del pez a calidad de agua pobre por lo que en lugares cerrados, el síndrome de bajo oxígeno disuelto (SBOD) es un problema común y puede requerir aireación mecánica (Masser, 1988a).

- El riesgo de brotes o incidencia de enfermedades es mayor y pueden propagarse rápidamente cuando las reglamentaciones y recomendaciones sobre el manejo fitosanitario no se cumplen.
- Las pérdidas por vandalismo o hurto y riesgo de daño a las jaulas por predadores o tormentas (destruyendo infraestructura y redes) es un problema potencial produciendo bajos rendimientos en las cosechas (McGinty y Rakocy, s/a).
- Debe existir una fuente confiable proveedora de crías.
- Difícil de aplicar cuando la superficie del agua posee olas fuertes por lo que su ubicación esta restringida a áreas protegidas.
- Escape de peces durante el manejo y siembra de los mismos por lo que se hace bastante conveniente trabajar peces 100% machos, para no provocar reproducciones no deseadas en cuerpos de agua con un impacto ecológico negativo.
- Cuando se desarrolla el cultivo en zonas muy eutróficas, se obtienen sabores extraños en los peces cultivados, debido a la presencia de algas (verde – azul) del tipo Cyanophyta, lo que obliga al productor instalar un sistema de depuración que le permite comercializar y presentar un producto de buena calidad (Pérez, 2002).

4.1.2. Especies adecuadas para el cultivo en jaulas

Muchas especies de peces son adecuadas para cultivarse en jaulas. Las especies que han sido investigadas y exitosamente criadas en jaulas incluyen: el bagre de canal, la trucha, la tilapia, el robalo rayado, el pez tambor rojo, el pez luna branquia-azul y carpa.

Es mucha la variabilidad que existe en la investigación y la literatura comercial acerca de los tamaños adecuados de estanques, temporada de crecimiento, densidades de ocupación y tamaño de los juveniles a sembrar (Masser, 1997c).

4.1.3. Selección de especies de tilapia a cultivar

Varias especies de tilapia y sus híbridos se han criado en jaulas (Masser, 1997c).

La tilapia puede ser cultivada en altas densidades en jaulas de malla que mantienen una libre circulación del agua.

*Las especies o líneas de tilapia más apropiadas para el cultivo en jaulas son *O. niloticus* (tilapia del Nilo), *O. aureus* (tilapia azul), tilapia roja Florida, tilapia roja Taiwan, e híbridos entre estas especies y líneas. La elección de una especie para cultivo depende principalmente de su disponibilidad, estado legal, tasa de crecimiento y tolerancia al frío. La tilapia del Nilo tiene la tasa de crecimiento más rápida. La clasificación por la tasa de crecimiento de las especies o líneas restantes son: tilapia roja*

Florida > tilapia roja Taiwán > O. aureus. Los híbridos de O. niloticus x tilapia roja Taiwán crecen más rápido que O. niloticus. Los híbridos de O. aureus x tilapia roja Florida crecen en una tasa intermedia entre tilapia roja Florida y Taiwán.

La tolerancia al frío, es importante en latitudes hacia el norte, es mayor en O. aureus (McGinty y Rakocy, s/a).

Antes de intentar la cría de cualquier especie o línea en jaulas se deben considerar y examinar cuidadosamente el sitio, la calidad del agua, costos de construcción, comercialización y requisitos legales. Para ello, se deben conocer una serie de aspectos del cultivo en jaulas en los cuales se responderán preguntas sobre cómo construir y donde colocar las jaulas, cómo evaluar la calidad del agua, cómo manejar y alimentar al pez en la jaula y cómo evaluar el éxito y economía de la jaula (Masser, 1988a).

4.1.4. Diseño de las jaulas

Antes de iniciar el diseño detallado, es necesario definir los criterios de proceso para los componentes de la especie y del sistema o pasos del cultivo. Esto incluye tanto datos de la tasa de crecimiento como criterios de supervivencia y de calidad del agua (Colt, 1991).

Los modelos en cuanto a diseño varían con base a las características de cada cuerpo de agua (Coreas, 2001).

Tanto jaulas de superficie flotante como jaulas de superficie sumergida o fijas son usadas para el cultivo de tilapia. Cuando los embalses son poco profundos (estanques o arroyos), las jaulas se fijan sobre el fondo, pudiendo quedar el piso de la jaula en contacto con el fondo (corrales) o separado. Las jaulas sumergidas separadas del fondo del estanque son atadas a estacas guías dentro del substrato del fondo, mientras las jaulas flotantes requieren un dispositivo de flotación para mantenerse en la superficie (McGinty y Rakocy, s/a; Alamilla, 2002).

Cuando los embalses lo permiten y/o cuando son más profundos, resulta preferible el diseño de jaulas flotantes dejando una separación mínima entre el fondo y el piso de la jaula de 1 m para evitar que los peces tengan acceso al fondo donde se acumulan los excrementos y desechos, zona normalmente pobre en oxígeno disuelto (Alamilla, 2002).

Las jaulas para el cultivo de peces se han construido de una variedad de materiales y en prácticamente cada forma y tamaño imaginable. La construcción básica de la jaula requiere que los materiales de la jaula sean fuertes, durables, baratos, livianos y no tóxicos. La jaula debe retener al pez aún más permitir la máxima circulación del agua a través de la jaula. La circulación adecuada de agua es crítica para la salud del pez, en traer oxígeno al interior de la jaula y remover los desechos de la jaula. La localización de la jaula en el estanque es crítica para una adecuada circulación a través de la jaula. La circulación y aireación mecánica a través de la jaula puede ser necesaria si las densidades de ocupación son altas (Figura 8), las jaulas son grandes, o la calidad del agua se

deteriora durante la producción. La forma de las jaulas puede ser redonda, cuadrada, o rectangulares. La forma no parece afectar la producción en la mayoría de las especies de agua dulce. El tamaño de la jaula depende del tamaño del estanque, la disponibilidad de la aireación, y el método de cosecha (Masser, 1997b).



Fig. 8. Peces enjaulados son mantenidos en densidades extremadamente altas (Masser, 1997b)

4.1.4.1. Componentes de la jaula

Los componentes de la jaula consisten de (Masser, 1997b):

- Un marco.
- Una malla o red,
- Un anillo de alimentación,
- Una tapa,
- Flotadores.

Pérez (2002) cita como un elemento componente de la jaula el término “Estructura sustentante” equivalente al de marco de la jaula, en cuyo diseño se tiene que tomar en cuenta:

1. El peso del material propiamente y los factores que pueden incrementar estos pesos, tales como: las algas que se adhieren a las redes, cuyo peso adicional puede tener grandes repercusiones sobre el conjunto de la instalación.

2. Las fuerzas que actúan sobre la jaula, tales como: viento, oleaje, las corrientes submarinas y las mareas.

3. □□ Los agentes externos que influyen en el rendimiento de la explotación y en el deterioro de los materiales, caso de los depredadores, cuya presencia hay que tener muy en cuenta a la hora de diseñar las jaulas, ya que los daños que pueden ocasionar son múltiples y diversos.

4.1.4.2. Materiales para las jaulas

La mayoría de las compañías que surten a la piscicultura venden jaulas fabricadas, equipos para jaulas, o materiales para construcción (Masser, 1997b).

4.1.4.2.1. Estructura sustentante o marco de la jaula

Los materiales mas utilizados en la construcción de la estructura sustentante o marco de la jaula son: acero galvanizado (angulares, redondos, chapas, cables, etc.), hierro, cuadradillos y varillas de aluminio, tablones y tabloncillos (listones) de madera tratada, madera redonda, bambú, varilla de fibra de vidrio, materiales plásticos y tubos de PVC (Pérez, 2002).

Los marcos de madera, hierro, y acero (a menos que esté galvanizado) deben ser revestidos con una sustancia resistente al agua como resina epoxídica, a base de asfalto o pintura de piscina. Los tornillos u otros sujetadores usados para construir la jaula deben ser materiales resistentes al óxido (Masser, 1997b).

El acero cuando no es galvanizado o inoxidable se corroe rápidamente sobre todo cuando se utiliza en agua salada; además es un material muy pesado y por lo tanto de difícil manejo. Las uniones entre las diferentes partes que constituyen la estructura sustentante son las partes que reciben las mayores tensiones y roces producida sobre todo por el oleaje y el empuje del viento.

Todo aumento de peso dificulta el manejo de las estructuras y encarece los costos, de allí que la tendencia actual se inclina hacia los materiales más livianos y que necesiten menos mantenimiento.

La madera tratada y el bambú, es muy utilizada en aquellos lugares donde su abundancia, ligereza y economía se compensan con el fácil deterioro. Se estila mucho el uso de materiales mixto, PVC con madera.

El aluminio es un material liviano que no se oxida fácilmente, de allí que se utilice mas en agua salada, aunque es un material costoso (Pérez, 2002).

4.1.4.2.2. Malla o red

Los materiales malla o red más utilizados en la construcción de las jaulas son: mallas de alambre galvanizado; de mallas metálicas o de plástico sólido; mallas metálicas revestidas con plástico; las redes de hilo o nylon; recipientes de latón perforados; bambú; madera; etc., (Pérez, 2002).

La malla de alambre revestido es durable, rígida, más resistentes a la suciedad biológica y fáciles de limpiar que los materiales flexibles, pero es relativamente pesada e incomoda. La red de plástico es durable, semirígida y liviana y menos cara que la malla de alambre (McGinty y Rakocy, s/a).

En el caso de construir las jaulas de redes de hilo o nylon, obligan a colocar algún tipo de peso para que se mantengan con la forma que se les quiere proporcionar. En muchos casos se utiliza algún tipo de peso en las esquinas inferiores (fondo) de las mismas, o se puede utilizar tubos de PVC, rellenos de arena o con hueco para que se mantengan hundidos.

La mayor dificultad en el uso de las redes es su fragilidad ante los depredadores o ante los mismos peces que se están cultivando. De igual forma, este tipo de material es muy susceptible a ensuciarse por el crecimiento de algas en sus paredes, así como la adherencia de moluscos (Pérez, 2002).

Las jaulas hechas de red de nylon, no están sujetas a las restricciones de tamaño impuestas para otros materiales de construcción. La malla de nylon es barata, moderadamente durable, liviana y fácil de manejar. El nylon es susceptible a daño por predadores tales como tortugas, nutrias, caimanes y cangrejos. Una jaula adicional de malla más grande y cordel más fuerte puede ser necesaria alrededor de jaulas de nylon (McGinty y Rakocy, s/a).

4.1.4.2.3. Anillo de alimentación

Los anillos de alimentación pueden ser hechos de malla y se utilizan generalmente en jaulas chicas para retener el alimento flotante impidiendo el lavado a través de los lados de la jaula y así evitar desperdicios de alimento (McGinty y Rakocy, s/a).

4.1.4.2.4. Tapa de la jaula

Todas las jaulas deberán tener tapas para asegurar que el pez no escape y que los predadores (pájaros e incluyendo la gente) no tengan acceso a la jaula. Las tapas pueden ser hechas del mismo material de malla como el resto de la jaula o puede ser hecha de otros materiales, tales como madera terciada, masonite, o aluminio o acero liviano. La madera terciada, masonite y el acero necesitarán ser pintados con pintura exterior o de resina epoxídica. Algunos entusiastas de las jaulas creen que las tapas opacas (particularmente en aguas claras) reducen el estrés en los peces limitando su contacto visual con disturbios exteriores. No se ha realizado ninguna investigación científica para apoyar o para cuestionar esta observación. Debe ser recordado, sin embargo, que el manejador de las jaulas necesita ser capaz para observar el comportamiento alimenticio y tener acceso fácil a la jaula para quitar el alimento no consumido o algún pez muerto (Masser, 1997b).

Por otro lado, Pérez (2002) cita que las tapas pueden influir en la absorción de los rayos ultravioletas de la luz solar. Entre más opaca es la tapa mayor es el control sobre este factor, de igual forma, está puede tener influencia en el estrés que se causa a los peces al momento de la alimentación o mientras se realizan actividades en las mismas, ya que entre mas opacas son las tapas menor es la visibilidad de los peces al exterior y por tanto menor es el estrés que se pueda causar.

Las tapas o cubiertas son eliminadas con frecuencia en jaulas de nylon grandes si el borde superior de las paredes de la jaula se apoya de 30 a 60 cm por encima de la superficie del agua (McGinty y Rakocy, s/a).

4.1.4.2.5. Flotadores

La flotación puede ser dada por tambores de metal o plástico, tubería de PVC sellada, espuma de caucho impermeabilizado, botellas de plástico, o poliuretano expandido. Las jaulas también pueden ser suspendidas de muelles. Las botellas de plástico deben ser de plástico firme (botellas de anticongelante o blanqueador) y deben tener sus tapas impermeabilizadas con silicón sellador. Los flotadores deben ser colocados alrededor de la jaula de modo que floten uniformemente con la cubierta, cerca de 15 cm fuera de la superficie del agua (Masser, 1997b).

Pérez (2002) menciona otros dispositivos de flotación como el forro de fibra de vidrio; de PVC hinchables; de poliuretano de alta resistencia; de plásticos con válvulas de seguridad; de plástico hueco; de corcho y madera; de goma hinchable, etc.

Para la elección del más adecuado hay que tomar en cuenta las siguientes características: seguridad, durabilidad y costo.

Los bidones metálicos galvanizados son los más seguros pero resultan ser los más costosos, los de latón son más económicos, pero de menor

durabilidad, sobre todo en agua salada aunque vayan provistos de una capa de protección. En este tipo de estructura flotante los que pueden tener una mayor durabilidad y no son tan costosos son los de plásticos.

4.1.4.2.6. Sistema de anclaje

El sistema de anclaje depende de muchos factores tales como: forma y dimensión de la jaula, características del fondo, profundidad del anclaje, fuerza de la corriente de agua, oleaje, empuje del viento, variación del nivel del agua, si el anclaje es múltiple o individual o si el anclaje es aéreo o sumergido.

Los materiales más comúnmente utilizados en los anclajes son: anclas de acero galvanizado, bloques de hormigón, neumáticos de camión rellenos de hormigón, cadenas galvanizadas, grilletes, cables de acero galvanizado y bidones rellenos de hormigón.

4.1.4.3. Forma de las jaulas

Las jaulas pueden tener forma cuadrada o rectangular, cilíndrica, de prisma cuadrangular, etc.

La forma de la jaula tiene su mayor influencia en el intercambio más efectivo de agua, de allí que las jaulas cuadradas o rectangulares tienen una mayor eficiencia que las cilíndricas, dado que en las primeras la influencia del movimiento del agua es sobre todo el lado, mientras que en las jaulas cilíndricas, es menor el intercambio en las orillas. De

igual forma la ubicación de las jaulas con respecto a la corriente sobre todo las rectangulares tienen influencia en el intercambio (Pérez, 2002).

4.1.4.4. *Tamaño de las jaulas*

El tamaño de la jaula puede variar de 1 a más de 1,000 m³ (en grandes reservorios o cuerpos de agua). Mientras aumentan los tamaños de jaula, los costos por unidad de volumen disminuyen, pero la producción por unidad de volumen también decrece, resultado de una reducción en el índice de recambio de agua (McGinty y Rakocy, s/a).

Los tamaños de jaula más comúnmente utilizados son (Figura 9): cilíndricas – 1.2 x 1.2 m (diámetro x profundidad) (A); cuadradas – 1.2 x 1.2 x 1.2 m (B) y 2.4 x 2.4 x 1.2 m (largo x ancho x profundidad) (C); y rectangular – 2.4 x 1.2 x 1.2 (D) y 3.6 x 1.8 x 1.2 m (Masser, 1997b).

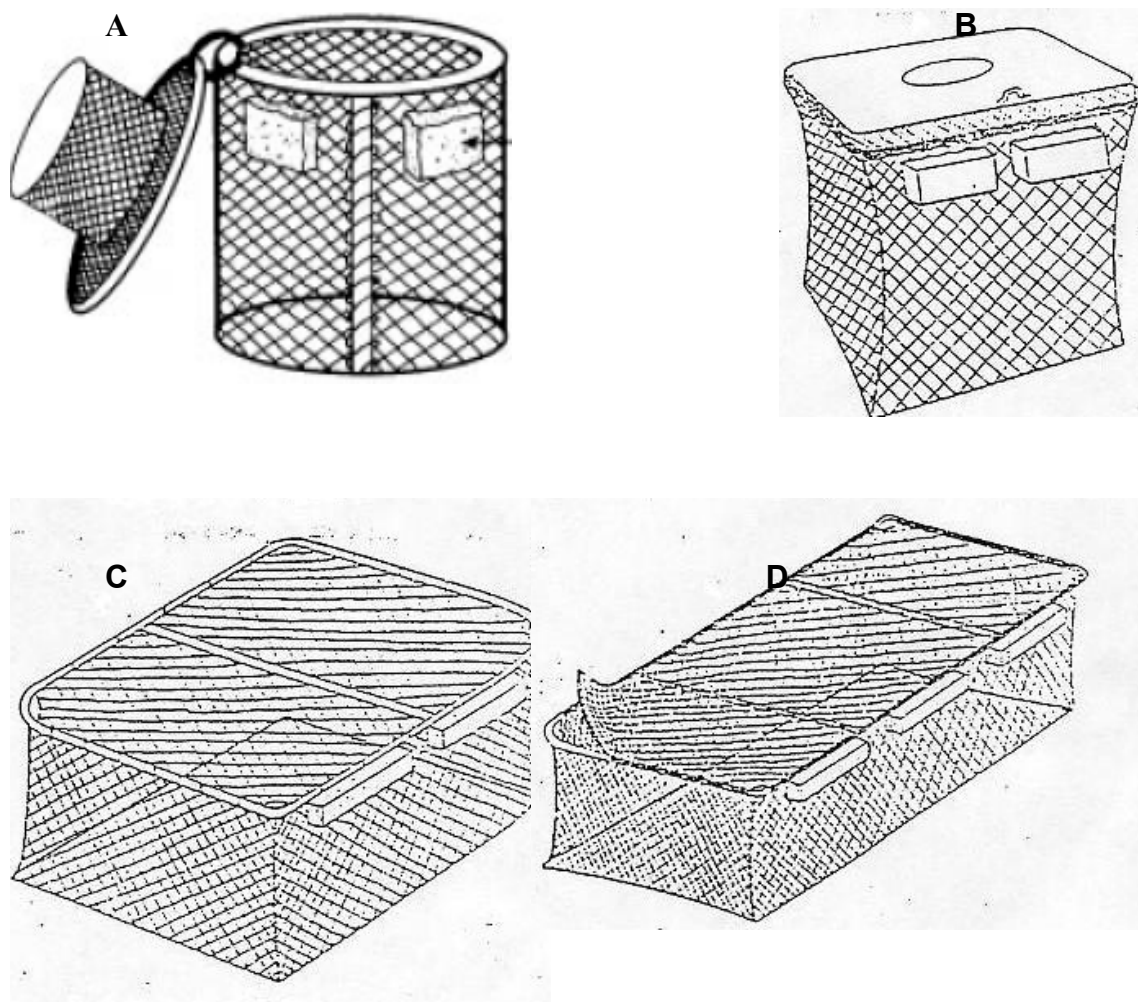


Fig. 9. Algunas formas y tamaños de jaulas (Masser, 1997b).

El tamaño de las jaulas depende la naturaleza del cultivo. Las jaulas para la reproducción y alevinaje suelen ser pequeñas, para facilitar su manejo y tener mejor acceso a los peces en forma individual. Para la engorda, el volumen de las jaulas puede variar entre 6 a 20 m³ cuando la explotación se efectúa con tecnología relativamente sencilla, mientras que para explotaciones industriales tecnificadas los volúmenes de las jaulas fluctúan entre 50 y 100 m³.

En función del costo y de las densidades permisibles de acuerdo al volumen de las jaulas, se recomiendan las siguientes dimensiones (Alamilla, 2002):

1. Para juveniles de 15 a 30 g: jaulas cilíndricas de 0.5 m^3 hechas de malla de plástico de 4 mm sostenidas por una estructura flotante rígida.

2. Para juveniles de 30 a 100 g: jaulas cúbicas de 1 m^3 iguales a las anteriores pero con malla de 8 mm.

3. Para engorda de peces de 100 a 300 g: jaulas cúbicas de 20 m^3 con malla de nylon (20 mm, hilo R470) o de plástico (malla 18-25 mm).

El uso de jaulas chicas se justifica por su facilidad de manejo y su mayor eficiencia en cuanto al intercambio de agua con el ambiente circundante. El incremento del área superficial (m^2) en relación con el volumen (m^3) de las jaulas, aumenta el intercambio de agua, por ejemplo, jaulas de 1 m^3 (1x1x1), tienen una relación de 4:1 mientras que las de 32 m^3 (4x4x2) y las de 98 m^3 (7x7x2) tienen una relación de 1:1 y de 0.57:1 respectivamente (Pérez, 2002).

4.1.4.4.1. Tamaño de la malla o red

El tamaño de la malla tiene un impacto significativo. Los tamaños de malla de jaulas para tilapia no deben ser menores $\frac{1}{2}$ pulgada, para proporcionar el espacio abierto adecuado y asegurar una buena circulación del agua a través de la jaula y, renovar el

suministro de oxígeno además de remover los desechos mientras retiene a los relativamente pequeños juveniles (10 a 13 cm) al inicio del ciclo de producción, pero un tamaño de malla de $\frac{3}{4}$ de pulgada es preferible, sobre todo si se confinan juveniles más grandes para prevenir el enredo en las branquias o escape. Por ejemplo, una malla de plástico de $\frac{3}{4}$ de pulgada como máximo puede retener juveniles de tilapia de 9 g mientras que una malla de 1 pulgada requiere juveniles pesando menos de 25 g con red de plástico y de 50 a 70 g con red de nylon. Un tamaño de malla de más grande facilita la entrada de peces. Estos peces crecerán muy grandes para nadar fuera de la jaula, pero los juveniles de tilapia no crecerán bastante grandes para alcanzar un tamaño comercial, de tal modo que representan una pérdida de alimento (McGinty y Rakocy, s/a).

Pérez (2002) menciona que el espacio entre las tramas normalmente es proporcionado por el grueso del hilo y que el intercambio de agua aumenta con el tamaño de la trama de la malla, pero disminuye con el aumento del espacio sólido entre las tramas.

4.1.4.4.2. Dimensiones del anillo de alimentación

El anillo de alimentación o collar puede ser hecho de malla de $\frac{1}{8}$ ó $\frac{3}{16}$ y debe tener de 30 a 38 cm de diámetro (Masser, 1997b).

Un anillo consiste de ventanas de mallas de trama chica ($\frac{1}{8}$ de pulgada o menos) suspendidas a una profundidad de 45 cm o más. Los anillos de alimentación deben

incluir solamente una porción del área superficial porque los anillos que rodean el perímetro total de la jaula pueden reducir el movimiento del agua través de la jaula. Sin embargo, los anillos de alimentación que son demasiado chicos permitirán que los peces más agresivos controlen el acceso a la alimentación. Si se usa alimento hundible, en jaulas chicas puede requerirse una bandeja de alimentación para minimizar pérdidas. Las bandejas rectangulares pueden ser hechas de hoja de metal galvanizado o malla (1/8 de pulgada; galvanizada o plástica) y se suspenden desde la cubierta a una profundidad de 15 a 45 cm (McGinty y Rakocy, s/a).

4.1.5. Construcción de las jaulas

El diseño de jaula más simple de construir es una jaula cilíndrica de 1.2 x 1.2 m hecha de malla plástica de ½ pulgada (Figura 10). La malla viene en un rollo de 1.2 m de ancho, y un total de 6.4 m de malla plástica es usado por jaula. Cuatro metros de malla son usados para el cilindro con 2 paneles de 1.2 m para el fondo y la tapa (A). El cilindro está formado alrededor de dos aros de metal, PVC, polipropileno, o aros de fibra de vidrio en el borde y fondo de la jaula (B, C y D). Un tercer aro es usado para formar la tapa (E). Las jaulas pueden ser acordonadas con alambre para timbre calibre 18 (alambre de cobre sólido revestido de plástico), alambre de acero inoxidable, o atadas con cable plástico negro (no deben atarse con cable blanco porque se deteriora con la luz solar) (Masser, 1997b).

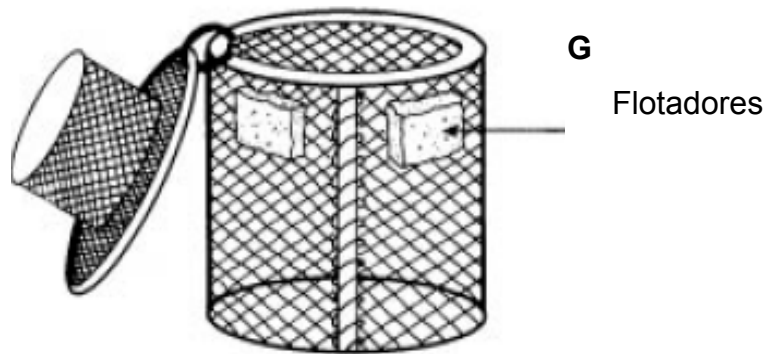
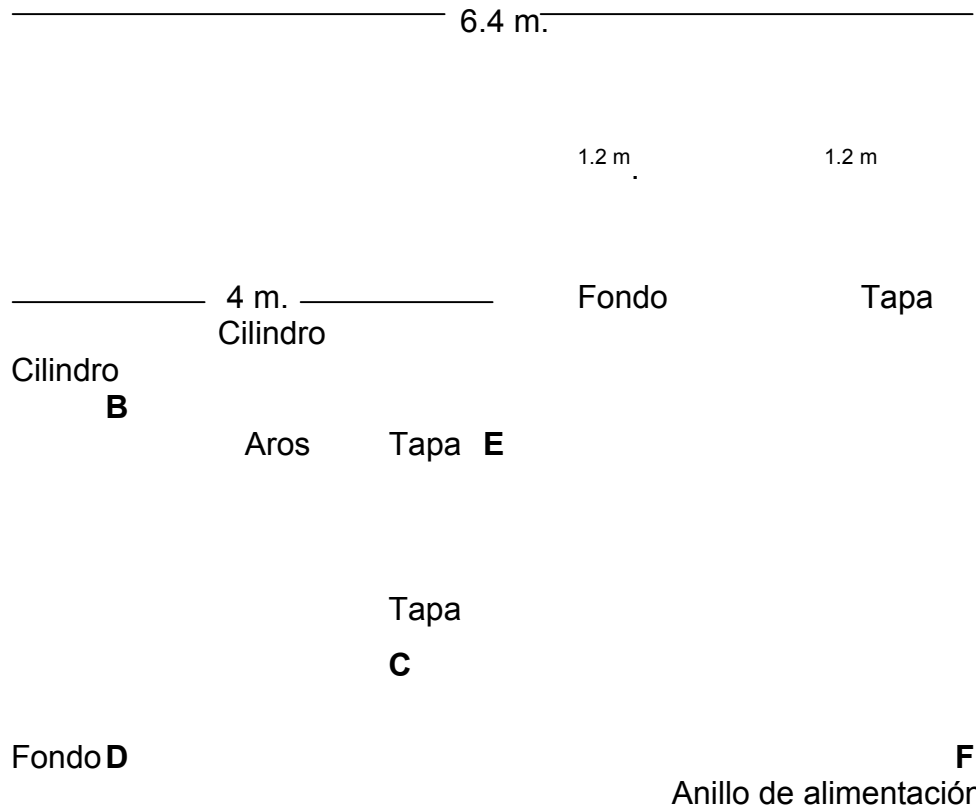


Fig. 10. Construcción de una jaula cilíndrica de 1.2 x 1.2 m (Masser, 1997b).

Todas las jaulas necesitan anillos de alimentación para retener el alimento flotante en el interior de la jaula. Los anillos de alimentación deben ser de alrededor de 38 cm de ancho y se deben unir a la jaula a fin de extender 7.5 cm sobre el nivel del agua y 30 cm en el interior de la jaula. Los anillos de alimentación pueden ser adheridos a la jaula o suspendidos por la tapa (F). El anillo de alimentación suspendido de la jaula reduce la cantidad de suciedad alrededor de los lados de la jaula. El anillo de alimentación es propenso a obstruirse porque su tamaño de malla es más pequeño. Incluso con un anillo de alimentación algo de alimento será arrastrado fuera de la jaula por los peces que se alimentan agresivamente.

Algunas jaulas han sido construidas con fondos de malla sólida o fina de manera que alimento hundible puede ser consumido durante el tiempo frío. La suciedad se ha visto como un problema en estas jaulas. Si alimento hundible va a ser consumido, probablemente es mejor construir una bandeja de alimentación desprendible de 7.5 cm o lados altos (para guardar el alimento que pueda perderse por la acción de nadar de los peces). La alimentación se puede dejar caer en la jaula sobre la bandeja y la bandeja puede ser removida para checar la respuesta a la alimentación y limpiarla si es necesario.

Las tapas de la jaula deben estar adheridas así no estarán expuestas a los posibles predadores con todo pueden ser abiertas fácilmente para remover peces muertos. Las tapas generalmente se unen de modo que abisagren a lo largo de un lado de la jaula y se atan con alambre o se enganchan a lo largo de los otros lados para un fácil acceso (G) (Masser, 1997b).

La Figura 11 muestra el diseño de una jaula de 3.6 x 1.8 x 1.2 m. Estas jaulas son generalmente hechas de red de nylon anudada revestida (revestimiento de red plástico comercialmente disponible) y flotan en un marco de PVC de 4 pulgadas. Los pesos del plomo a lo largo de las costuras del fondo de la jaula mantienen la forma de la jaula en el agua (Masser, 1997b).

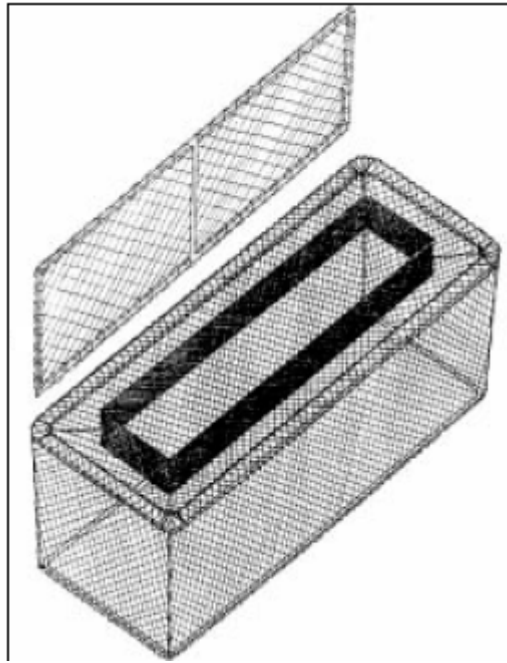


Fig. 11. Diseño de una jaula comercial de 3.6 x 1.8 x 1.2 m (Masser, 1997b)

4.1.6. Selección del sitio y colocación de las jaulas

En México, la mayoría del cultivo en jaulas es practicado en estanques o presas, sin embargo, no todos los estanques y presas son adecuados para el cultivo de peces en jaulas. Muchos fracasos en la producción en jaulas han ocurrido debido a la mala selección del sitio, por lo que antes de intentar el

cultivo en jaulas debe asegurarse que el cuerpo de agua que elegirá soporte el incremento de la demanda biológica puesta sobre él (Masser, 1997a).

Los cuerpos de agua grandes tienden a ser mucho más apropiados para el cultivo en jaulas que estanques pequeños porque la calidad del agua es generalmente más estable y menos afectada por los desechos de los peces. Las excepciones son aguas eutróficas ricas en nutrientes y materia orgánica. Estanques pequeños (0.40 a 2 hectáreas) se pueden utilizar para el cultivo en jaulas, pero provisiones de recambio de agua y aireación de emergencia pueden ser requeridas (McGinty y Rakocy, s/a).

La localización de la jaula en el estanque puede ser crítica para el éxito. Dos factores a considerarse en la colocación de la jaula son el acceso a la jaula y mantenimiento de la calidad del agua. La alimentación y manejo diario de la jaula hacen necesario el acceso fácil bajo casi cualquier condición atmosférica. El acceso puede ser por el embarcadero o por bote. Probablemente lo más crítico para el éxito de la jaula sea una localización que permita una buena circulación de agua (Masser, 1997b).

Las jaulas serán colocadas donde las corrientes de agua sean mayores, generalmente al lado barlovento. Las áreas tranquilas, estancadas deben evitarse. Sin embargo, áreas con agua áspera y corrientes fuertes también presentan problemas.

Las jaulas pueden ser amarradas individualmente o enlazadas en grupo a embarcaderos, balsas o líneas de cuerdas gruesas suspendidas a través de la superficie del agua. Por lo menos 4.5 metros deben separar cada jaula para optimizar la calidad del agua. El piso de la jaula debe estar 90 cm por encima del substrato del fondo donde la basura se acumula y los niveles de oxígeno pueden ser deprimentes. Sin embargo, profundidades mayores promueven el crecimiento rápido y reducen la posibilidad de parasitismo y enfermedades (McGinty y Rakocy, s/a).

Por otro lado, Alamilla (2002) recomienda la instalación de jaulas en áreas donde la profundidad sea superior a los 5 m.

4.1.6.1. Factores críticos o criterios del sitio.

Diversos sitios pueden ser adaptados para el cultivo en jaula. Los siguientes son criterios que deben ser considerados para maximizar la calidad del agua antes de colocar las jaulas y durante la implementación del cultivo en un estanque o presa (Masser, 1997a):

- El área superficial debe ser de por lo menos 0.2 ha. (2000 m²) y preferentemente de 0.4 ha. (4000 m²) o más grande (pero no deben incluir áreas infestadas de hierbas del estanque).

- El estanque debe ser por lo menos de 1.8 m de profundidad en un área considerable, y en la mayoría del estanque debe ser de más de 90 cm de profundidad. Un mínimo de 60 cm de agua son necesarios bajo la jaula son necesarios para mantener los desechos que caen por la jaula lejos de los peces.
- El estanque debe tener buena calidad de agua propiamente dicho y debe estar situado en un área donde recibirá la máxima circulación de agua a través de la jaula y que los vientos predominantes soplen a través de él (barrido por el viento).
- El estanque no debe tener acceso directo para el ganado o cantidades grandes de ganado en la línea divisoria de aguas.
- El estanque no debe tener una línea divisoria de aguas altamente erosionable ni una que permita la acumulación de grandes cantidades de detritos orgánicos.
- El nivel de agua en el estanque no debe fluctuar mucho (60 a 90 cm) durante el verano.
- El estanque no debe tener problemas crónicos con hierbas acuáticas, verdín superficial, superpoblaciones de peces salvajes, ni problemas de agotamiento de oxígeno. Las ensenadas, la presencia de malezas y árboles colgantes por encima de la jaula pueden reducir las corrientes de aire y causar problemas potenciales.
- El estanque debe tener una vía de acceso para todo estado del tiempo (Masser, 1997a).

- Lejos de disturbios frecuentes de la gente y/u otros animales (por ejemplo, perros, patos, etc). Los disturbios de la gente que camina frecuentemente por el muelle o embarcadero, la pesca y natación cerca de la jaula y/o de animales los cuales frecuentan el área del estanque excitarán al pez y se puede causar estrés, lesiones, reducción en su alimentación, y enfermedades secundarias.
- Por lo menos 3 m de separación entre jaulas (a menos que la aireación este disponible). Las jaulas no deben estar demasiado juntas (Figura 12). La cercanía próxima a otras jaulas puede incrementar la probabilidad de bajo oxígeno disuelto y propagación de enfermedades entre jaulas. El acceso a la electricidad o al sitio donde una rueda de paleta de tractor, una bomba de irrigación, u otro dispositivo de aireación que pueda proporcionar agua aireada deben ser considerados cuando colocamos jaulas (Masser, 1997b).



Fig. 12. Jaulas correctamente separadas atravesando el estanque sin embarcadero (Masser, 1997b).

4.1.7. Aireación

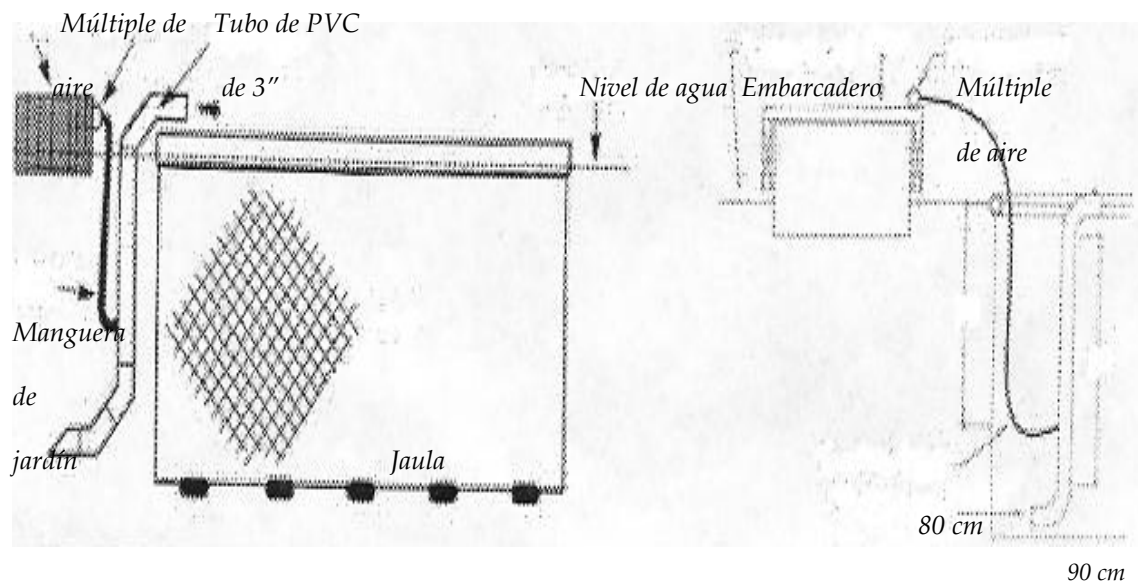
La aireación puede aumentar la calidad del agua, reducir el estrés, mejorar la eficiencia de la conversión alimenticia, e incrementar el índice de crecimiento y producción. La investigación ha demostrado que la aireación puede mejorar la producción en la jaula en un 20% o más. La aireación es necesaria más comúnmente en la noche o durante días calmos, nublados. La aireación en las jaulas puede ser proporcionada por varios tipos de aireadores mecánicos. La clave para la aireación de la jaula es crear una corriente que mueva el agua a través de la jaula. Los aireadores mecánicos como las ruedas con paleta, las bombas verticales, o aspiradores propelados pueden ser puestos cerca de la jaula donde crean corrientes a través de la jaula. Estos tipos de aireadores trabajan bien aireando las jaulas cercas de ellos y dentro su patrón de corriente. Sin embargo, los aireadores pueden no trabajar bien en la generación de corrientes que airean jaulas múltiples, particularmente jaulas escalonadas a lo largo de ambos lados de un embarcadero.

Las bombas de puente aéreo accionadas por sopladores regeneradores de grandes volúmenes, baja presión pueden ser medios eficientes y rentables de airear muchas jaulas espaciadas a lo largo de un embarcadero. La Figura 13 muestra cómo se pueden construir los puentes aéreos de tubería de PVC de 3 pulgadas (o 4 pulgadas) y conectarlos por una manguera de jardín de 5/8 de pulgada a un múltiple de 2 pulgadas o más grande para suministrar aire a las jaulas atadas al embarcadero. Cada puente aéreo

mueve aproximadamente 227 litros por minuto dentro de la jaula. Un puente aéreo generalmente suficiente para airear una sola jaula pequeña (jaulas de 1.2 x 1.2 o 1.8 x 1.8 m), pero jaulas más grandes (3.6 x 1.8 m) necesitan 2 o más puentes aéreos. Tanto como 27 puentes aéreos puede ser accionados por un solo soplador regenerador de 1 caballo de fuerza. Las claves para usar puentes aéreos múltiples en jaulas múltiples son (Masser, 1997b):

- Construir todos los puentes aéreos en las dimensiones exactas (todos idénticos), poner o unir todos los puentes aéreos a la misma profundidad en relación a la superficie del agua, y
- Construir orificios de restricción en la conexión del múltiple del aire y de la línea de aire (que van a cada puente aéreo).

Embarcadero



*Manguera de
jardín
Tubo de PVC
de 3"*

Fig. 13. *Jaula a lo largo de un embarcadero con puentes aéreos montados sobre la tapa de la jaula del caso (izquierda) y en el interior (derecha) (Masser, 1997b).*

La mayoría de los puentes aéreos deben construirse de aproximadamente 90 cm de largo con un "codo" en el extremo superior (los codos en el fondo son opcionales). Los puentes aéreos se pueden unir al exterior de la jaula o colgar en la jaula (Figura 14). Los puentes aéreos no levantarán el agua más que unos cuantos centímetros sobre la superficie del estanque y por lo tanto se deben unir a la jaula tan cerca de la superficie del agua como sea posible. Los puentes aéreos deben ser unidos a la (s) jaula(s) en el mismo nivel y ser colocados verticalmente, no inclinados. El lugar que conecta la manguera con el puente aéreo debe estar entre 75 y 85 cm por debajo del nivel del agua, y todos los puentes aéreos deben tener mangueras unidas en el mismo nivel. Un orificio de constricción (Figura 15) se debe poner en la línea de aire que va a cada puente aéreo, donde estos se conectan al múltiple del aire. El tamaño del orificio debe estar entre 1/8 y 3/16 pulgada de diámetro (el diámetro 3/16 de pulgada es común) y todos del mismo tamaño. El orificio de constricción distribuye igualmente el aire a todos los puentes aéreos y estabiliza el agua que fluye en cada puente aéreo (Masser, 1997b).

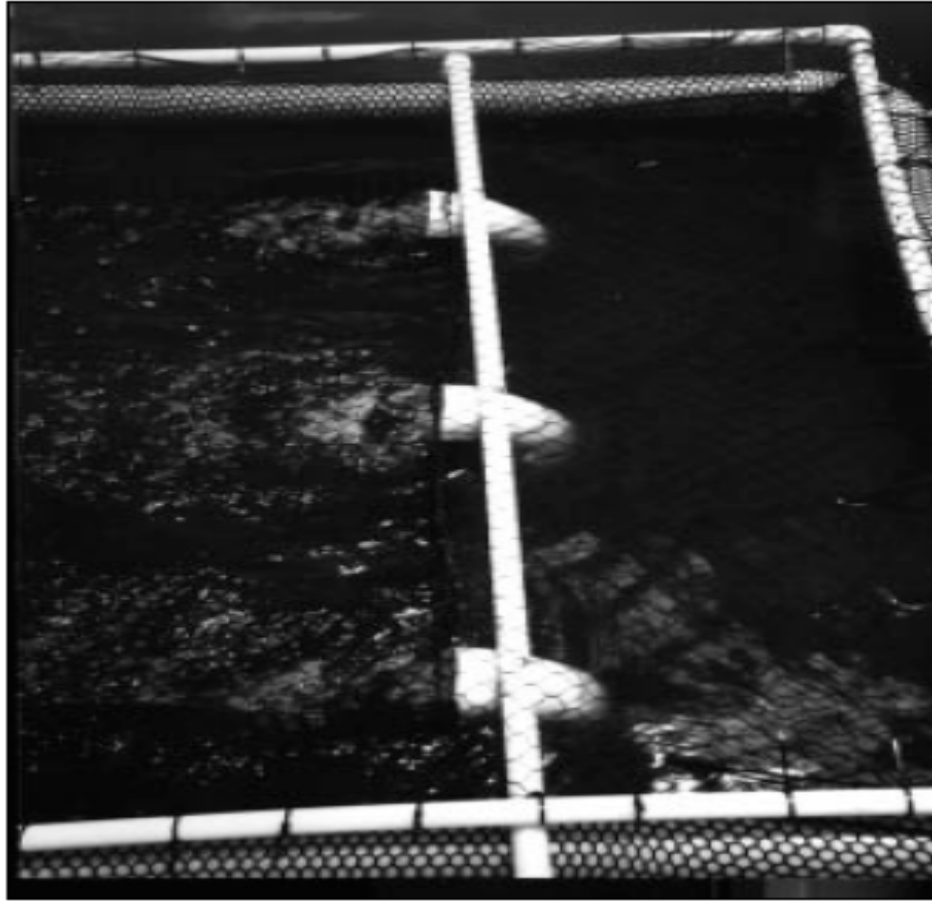


Fig. 14. Puentes aéreos en el interior de las jaulas (Masser, 1997b).

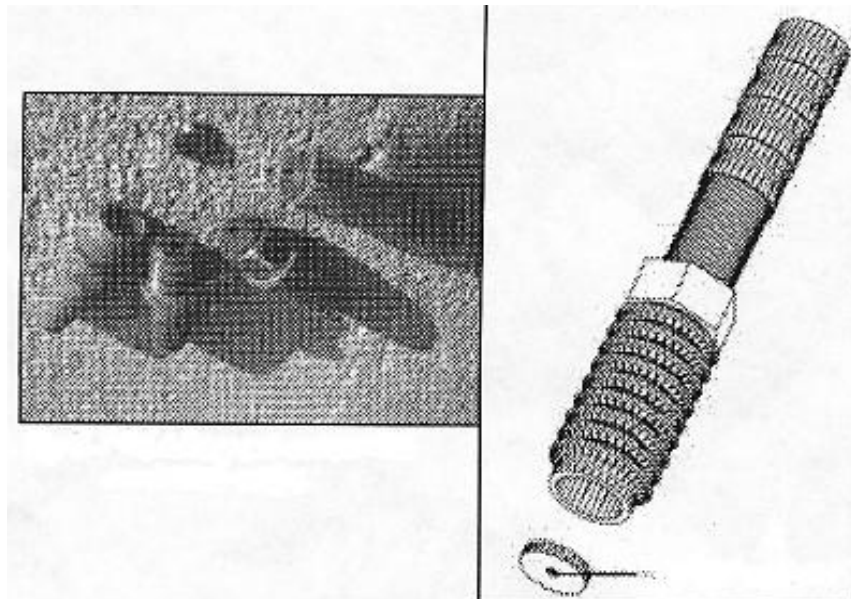


Fig. 15. Conectores de la tubería de PVC con el orificio constreñido (Masser, 1997b).

4.1.7.1. Jaulas grandes

Jaulas más grandes que las que están descritas aquí se han construido y se han utilizado particularmente en los grandes lagos, los depósitos, los ríos, las bahías, y los estuarios. Muchas veces las jaulas grandes son llamadas net pens porque se construyen de red de nylon. La mayoría de las empresas comerciales que cultivan en jaulas en aguas cálidas usando jaulas grandes (por ejemplo, 6 x 6 x 3.6 m) han fracasado. La mayoría de estos fracasos parecen haber sido causados por calidad del agua y problemas asociados a enfermedades. Algunos proyectos de investigación y de demostración se han conducido usando jaulas grandes con dispositivos de aireación. Estas jaulas aireadas han trabajado bien en producir pescados pero se ha hecho poco esfuerzo de evaluar la rentabilidad de estos sistemas. Parecería, sin embargo, que las jaulas grandes pueden ser diseñadas que maximizarán el número de peces sostenibles por la charca y soportaran realmente densidades crecientes sobre los actuales niveles recomendados incluyendo sistemas de aireación en el diseño (Masser, 1997b).

4.1.8. Problemas del cultivo en jaulas

Debido a su naturaleza intensiva, el cultivo en jaula puede tener problemas. La prevención puede resolver o minimizar algunos de ellos.

4.1.8.1. Signos de estrés en los peces

Un problema de la mayoría de los establecimientos del cultivo de peces es que los peces son difíciles de observar. Los estanques son generalmente turbios y la observación de los peces es imposible. Los peces son generalmente tímidos y tratan de esconderse de la gente. Muestrear peces para observarlos puede afectar al pez y propiciar enfermedades secundarias. Esta es la razón por la cual la observación durante la alimentación es crítica. La alimentación es la única vez en la que el pez está dispuesto a venir a la superficie para la observación. Los peces en jaulas son grupos de individuos y muchas veces se comportan diferentemente, semejantes a grupos de personas. En algunas jaulas los peces se estarán dispuestos a alimentarse con gente alrededor de ellos. Otros esperaran hasta que la gente se vaya y todo esté tranquilo. Esto es crítico para ver de cerca y observar el comportamiento de la alimentación de los peces para reconocer cambios en el comportamiento. Generalmente los cambios en el comportamiento son causados por cambios en su ambiente (por ejemplo, el estanque) o en su salud. Estos cambios pueden ser los primeros signos de estrés.

Aprenda a reconocer los signos comunes de estrés que pueden incluir (Masser, 1988b):

- Una reducción en la cantidad de alimento consumido.
- Interrupciones de su alimentación repentinamente.
- Peces en la superficie boqueando por aire.
- Peces nadando erráticamente.
- Decoloraciones son vistas en la piel de los peces.
- Peces muertos o moribundos.
- Algún otro comportamiento extraño.

Aquí están algunas razones posibles o problemas que pueden producir estos comportamientos:

Una reducción en la alimentación podría significar enfermedad, parasitismo, oxígeno bajo, o uno de los varios problemas de calidad del agua (por ejemplo, amoníaco). ¿El estado del tiempo ha cambiado? ¿El color del agua del estanque ha cambiado? Si es un día fuertemente nublado y sin viento, puede ser simplemente una baja temporal pero no un problema crítico de oxígeno. Si el estanque está cambiando de color o ha aparecido verdín superficial repentinamente, puede también ser oxígeno bajo. Un paro repentino en la alimentación generalmente sugiere problemas de oxígeno; las enfermedades, los parásitos y otros problemas en la calidad no afectan a todos los peces inmediatamente. Asimismo, los peces en la superficie boqueando por

aire (observados generalmente en o antes del amanecer), cuando el día anterior parecían bien, es un signo de oxígeno críticamente bajo, por lo tanto, debe airear inmediatamente.

Decoloraciones en la piel, manchas, desgaste de la aleta, natación errática, u otros comportamientos extraños son generalmente signos de enfermedades o parásitos. Si las enfermedades o parásitos son el problema, entonces generalmente peces muertos comienzan a aparecer pronto. Usualmente algunos peces mueren cada día indicando algún tipo de problema de enfermedad o parásito que se propaga lentamente. Peces muertos más progresivamente cada día es un signo de un problema muy serio de enfermedad. Peces moribundos o peces con enfermedades o parásitos sospechosos deben ser diagnosticados inmediatamente. Lleve una muestra viva de peces y una muestra de agua a su laboratorio de diagnóstico de enfermedades de peces más cercano. Para ello debe informarse sobre cómo empaquetar correctamente y enviar muestras de peces.

Cualquier laboratorio de diagnóstico de enfermedades deberá ser capaz de darle las mejores alternativas de tratamiento para la enfermedad o parásito. Si el diagnóstico es una enfermedad bacteriana interna, el tratamiento más práctico es generalmente dar de comer un alimento medicado (por ejemplo, terramicina). Si una bacteria o parásito externo es el problema un tratamiento al agua puede ser necesario.

Dependiendo de la enfermedad, el tratamiento del agua puede requerir el tratamiento completo del estanque o puede ser posible empaquetar la jaula en plástico y tratar sólo la jaula. Tratar el estanque completo puede ser demasiado

caro para ser justificado, pero algunos parásitos pueden eliminarse solamente tratando al estanque entero. El tratamiento empaquetado puede causar estrés serio del oxígeno si la aireación adicional no es proporcionada dentro del empaquetado y únicamente deberá usarse para ciertas enfermedades que no se propagan por el estanque (Masser, 1988b).

4.1.8.2. Signos de estrés del estanque o problemas del estanque

Los problemas se presentan frecuentemente cuando estanques pequeños (menores a 0.4 hectáreas) son usados para el cultivo en jaula por una acumulación de nutrientes y/o de una sobrealimentación. El estrés del estanque en este caso es sinónimo con problemas que se centran generalmente alrededor del deterioro de la calidad del agua, oxígeno bajo, aumento del amoníaco o nitrito, y las floraciones excesivas de algas. Los ejemplos comunes de problemas del estanque son (Masser, 1988b; Masser, 1997a):

- Floraciones excesivas de plancton.
- Verdín superficial.
- Olores fuertes.
- Crecimiento excesivo de hierbas (macrofitas).
- Un cambio rápido en el color del agua.

Todos estos son sintomáticos de nutrientes excesivos y pueden dar comienzo a problemas en cualquier estanque como envejecimientos (un proceso llamado eutroficación). En la mayoría de los estanques de acuicultura esto es sintomático de poblaciones excesivas y/o sobrealimentación. Floraciones excesivas de plancton (menos de 30 cm de visibilidad en un disco de Secchi) pueden causar agotamientos de oxígeno en la noche o en días fuertemente nublados. Lo mismo es cierto del crecimiento excesivo de macrofitas. También el verdín superficial puede sombrear fuera del resto del florecimiento del fitoplancton, causando agotamientos de oxígeno y se ha identificado con problemas de mal sabor. Los olores fuertes se identifican con la descomposición de material vegetal y generalmente indican hasta agotamientos de oxígeno causados por la descomposición. Los cambios rápidos en el color también indican muertes del fitoplancton y hasta agotamientos de oxígeno. En algunos casos el control químico de las plantas puede ser autorizado. En la mayoría de los casos la aireación adicional será necesaria para mantener a los peces. Ocasionalmente en muertes severas de plancton la aireación adicional puede no ser capaz de mantener el oxígeno encima de los niveles críticos en la jaula. En estos casos puede ser necesario liberar a los peces en el estanque esperando a que puedan esparcirse y sobrevivir, o moverlos a otro estanque.

La capacidad para reconocer y prevenir los problemas potenciales de oxígeno es generalmente mejor que intentar salvar a los peces después que el oxígeno disuelto disminuye en el estanque. Recuerde que el estrés por oxígeno es una de las principales causas de infecciones secundarias, por lo tanto, infórmese sobre las enfermedades o como medir y predecir los niveles de oxígeno disuelto en los estanques (Masser, 1988b).

Estos problemas pueden también ocurrir en estanques mayores a 0.4 ha. pero no son tan comunes. La profundidad adecuada del estanque (1.8 m o más) es importante para mantener los desechos de los peces lejos de la jaula, manteniendo la circulación adecuada de agua a través de la jaula, y para reducir la posibilidad de invasión de hierbas alrededor de la jaula. Los estanques muy profundos son más susceptibles a experimentar problemas de bajo oxígeno disuelto en el verano.

Las características de la línea divisoria de aguas del estanque pueden ser críticas para el éxito del cultivo en jaulas. El ganado con acceso directo al estanque, o localizado en grandes cantidades dentro de la línea divisoria de las aguas, puede causar problemas en la calidad del agua. Los desechos del ganado pueden fertilizar excesivamente el estanque generando florecimientos excesivos de algas, deterioro en la calidad del agua, y desastres eventualmente. Esto es particularmente cierto de los estanques pequeños (menores de 2 hectáreas). El ganado de ser encerrado fuera del estanque y no permitir usar la cercanía de la línea divisoria de aguas del estanque como un área de descanso. Mientras que las riberas son pisoteadas, la erosión aumenta y los estanques envejecen prematuramente. Aún los estanques frecuentados por el ganado en años anteriores pueden contener grandes cantidades de materia orgánica.

La línea divisoria de las aguas altamente erosionada puede causar problemas de turbiedad/enarenamiento que pueden irritar las agallas de los peces y causar una reducción en las concentraciones de oxígeno disuelto. Las líneas divisorias de aguas donde grandes cantidades de materia orgánica lavan

dentro del estanque pueden resultar en un agotamiento del oxígeno debido a la rápida descomposición bacteriana del detrito.

Los estanques que tienen una mayor línea divisoria de aguas de la que es necesaria para llenar y mantener el nivel de agua también pueden tener problemas. Líneas de aguas excesivamente grandes pueden causar cambios de temperatura rápidos, movimientos, y agotamientos asociados al oxígeno debido a los intercambios del agua después de lluvias fuertes.

Los estanques que tienen problemas crónicos tales como infestaciones severas de hierba, verdín superficial, muertes de peces, poblaciones de salvajes con el crecimiento impedido, y cambios severos en el nivel del agua durante el verano no son buenos candidatos para el cultivo en jaula. Estos problemas se deben tener primero bajo control. Puede ser necesario tratar químicamente las hierbas o introducir carpa herbívora, eliminar peces salvajes, y/o renovar (reconstrucción) el estanque. Finalmente, una vía de acceso para todo estado del tiempo al estanque es esencial para el cuidado, salud y supervivencia del pez enjaulado. Un día o más sin acceso al estanque podría conducir a una catástrofe (Masser, 1977a).

4.1.8.3. Calidad del agua

El manejo de la calidad del agua es un elemento clave en un manejo exitoso de los peces. La mayoría de los periodos de crecimiento pobre, brotes de enfermedades y parásitos, y muertes de peces pueden ser indicios de problemas en la calidad del agua. El manejo de la calidad del agua es indudablemente uno de los problemas más difíciles que enfrenta el piscicultor. Los problemas de la calidad del agua son aún más difíciles de predecir y manejar (ver **Requerimientos ambientales**) (Masser, 1997a).

4.1.8.4. Señales del error humano

Los errores cometidos comúnmente por la gente incluyen (Masser, 1988b):

- Selección de estanques con problemas preexistentes.
- Mala construcción de la jaula.
- Poblaciones de peces de tamaño inadecuado o de mala calidad.
- Poblaciones con demasiados peces por jaulas.
- Poblaciones con demasiados peces por estanque.
- Poblaciones con pocos peces por jaula.
- Alimentación con alimento de mala calidad.

- Sobrealimentación
- Disturbios y manejo deficiente de los peces.
- Falta de observación de los peces.

Estos problemas son muy comunes, particularmente con aquellos piscicultores que apenas comienzan.

4.1.8.5. Otros problemas y observaciones

La bio-suciedad o suciedad biológica es un problema común en las jaulas. La bio-suciedad es el crecimiento de algas y briozoarios (animales de cuerpo blando, gelatinoso) en los lados de la jaula. Estas criaturas obstruyen el flujo del agua a través de la jaula y causa problemas en la calidad del agua (SBOD).

Cheque periódicamente los lados de la jaula (pero no suspenda la jaula fuera del agua) y remueva únicamente los organismos de la bio-suciedad con un cepillo tieso o escoba. No fatigue a los peces.

La sobreinvernación en jaulas es otro problema. Algunas especies sobreinvernan mejor que otras, pero en general, la sobreinvernación debe ser disuadida. Procure alimentar a los peces en los días cálidos y soleados del invierno y prepárese para dar alimento medicado a los peces si problemas bacterianos se desarrollan en la primavera.

Visite el estanque y observe los peces diariamente. Planee a continuación y esté preparado para las emergencias. Si usted es inexperto y se presenta algún problema, consiga ayuda (Masser, 1988b).

5. Manejo de la producción

Las tilapias son peces de origen tropical, por lo que el rango geográfico para su cultivo es dependiente de la temperatura. Sus mejores crecimientos se obtienen a temperaturas atmosféricas entre 34° y 36°C, no afectándolas las bajas concentraciones de oxígeno disuelto existentes en estas condiciones. Prefiere rangos de temperatura de agua para un crecimiento óptimo de 28 a 31 °C. El crecimiento disminuye significativamente en temperaturas por debajo de 20 °C; no es posible cultivarlas en regiones donde las temperaturas invernales sean menores a 15° C, en cultivos a cielo abierto y la muerte ocurrirá por debajo de 10 °C. Esta limitante convierte a las tilapias en especies potencialmente aptas para cultivo en las zonas de mayores temperaturas de nuestro país, entre los paralelos 22 y 28° de latitud sur para ciclo completo y hasta aproximadamente 30°, únicamente para la fase correspondiente al engorde hasta mercado; siempre teniendo en cuenta la observación de registros de temperaturas, de acuerdo a las diferentes altitudes existentes sobre el nivel del mar. Solamente los estados más del sur tienen temperaturas apropiadas para cultivar tilapia en jaulas. En la región del sur la tilapia puede ser mantenida en jaulas de 5 a 12 meses por año dependiendo de la localización (McGinty y Rakocy, s/a; Monteverde, 2003).

6. Técnicas de cultivo

6.1. Producción de juveniles

6.1.1. Reproducción

Las instalaciones para la reproducción pueden ser acuarios grandes, jaulas flotantes, tanques de concreto con divisiones y compartimientos dispuestos en ingeniosos arreglos (longitudinales, concéntricos, niveles verticales variables, etc.). La mayoría aprovecha aspectos específicos del comportamiento y de los hábitos reproductivos y/o alimenticios de las especies en cuestión, lo que les confiere diversas ventajas en cuanto a eficiencia, facilidad de manejo, ahorro de mano de obra, energía, agua, etc...

*Para la reproducción de *O. aureus* se necesita una temperatura superior a los 20°C, la cantidad óptima de oxígeno es de 5 a 6 ppm, un pH de 7 - 8 y la alcalinidad y dureza de 80 a 100 mg de CaCO₃/L.*

**O. aureus* es de incubación bucal por lo que no requiere instalaciones específicas para su reproducción, esta se lleva a cabo en estanques elevados semi-rústicos (con paredes de concreto, fondo de tierra) y no se les coloca ningún tipo de nidos.*

Algunos otros reproductores son concentrados en estanques de concreto donde se les coloca en nidos que consisten en bolas de polietileno con 3/4 de grava y/o gravilla (Alamilla, 2002).

6.1.1.1. Selección de reproductores

El éxito de la sobrevivencia de los alevines y crías y la calidad en general de la producción depende en gran parte de la buena selección de los reproductores, por lo tanto debemos tomar en consideración las siguientes características (Alamilla, 2002):

- *Peso de 250 a 500 g.*
- *Talla de 12 a 13 cm.*
- *Edad de 6 a 12 meses.*
- *Deben tener la cabeza y cola pequeña en relación al resto del cuerpo (mayor proporción de carne).*
- *Deben estar sanos sin parásitos ni malformaciones.*
- *Proporción de machos:hembras. La densidad de organismos en un estanque es de 1/2 m². La proporción de hembras y machos es de 4:1.*

6.1.1.2. Fecundidad

En general, las especies de los géneros Sarotherodon y Oreochromis producen un menor número de huevos y de mayor tamaño que las especies del género Tilapia.

En el primer caso, la fecundidad varía entre pocos cientos y mil a dos mil huevecillos por desove, mientras que en el segundo caso la fecundidad puede alcanzar varios miles de huevecillos por desove.

En condiciones de cautiverio todas las tilapias tienden a producir un mayor número de huevecillos por desove que las poblaciones silvestres. Esto es una medida adaptativa para asegurar la sobrevivencia de la especie cuando las condiciones son adversas (Alamilla, 2002).

6.1.1.3. Tallas óptimas de reproducción

Se toman en consideración las siguientes características (Alamilla, 2002):

- *Peso de 250 a 500 g.*
- *Talla de 12 a 13 cm.*
- *Edad de 6 a 12 meses.*

6.1.1.4. Parámetros óptimos de reproducción (Alamilla, 2002):

- *Temperatura: 24 a 29 °C.*
- *Dióxido de carbono: 5 a 6 ppm.*
- *Salinidad: 20 ppm.*
- *Turbidez: 25 cm.*
- *PH: 7 – 8.*
- *Amonio: 0.1 ppm.*
- *Nitritos: 4.6 a 5 ppm.*

- *Alcalinidad y dureza: 80 a 100 mg de CaCO₃/L.*

6.1.1.5. Época de reproducción

En México, la temporada de reproducción abarca desde finales de marzo o comienzos de abril hasta finales de mayo, justo cuando la temperatura del agua es de 20 a 22 °C.

6.1.1.6. Crianza de alevines

*Una vez capturados los juveniles jóvenes, se les cría intensivamente para que se desarrollen rápidamente y homogéneamente antes de proceder a su engorda. Durante este período de crianza se efectúa también la inducción sexual, inducida hormonalmente para obtener poblaciones monosexadas de machos. Para ello se administra la hormona testosterona, vía oral, añadida al alimento (ver **Métodos usados en la obtención de machos**) (Alamilla, 2002).*

6.1.1.7. Sexado

*El sexado manual es relativamente sencillo aunque resulta muy laborioso, tardado y requiere destreza por el personal que lo realiza. En muchas de las especies de tilapia que se cultivan, ambos sexos pueden ser diferenciados a simple vista debido al desarrollo diferencial de la papila genital que presenta al alcanzar los 50 a 70 g. En el caso del macho, la papila genital posee solamente un orificio, mientras que la de la hembra posee dos y por lo general la papila misma es más pequeña (ver **Métodos usados en la obtención de machos**) (Alamilla, 2002).*

6.1.1.8. Compra y recibo de alevines

Si se compran alevines, éstos deberán entregarse preparados y empacados en el establecimiento de origen contemplándose al acondicionarlos, las horas de viaje que deberán soportar (Monteverde, 2003).

6.1.1.9. Transporte de alevines y adultos para cría

Si el transporte debe hacerse desde largas distancias, sería más factible que fuera por avión, aunque también se pueden transportar por tierra, pero entre menos tiempo tarde es mejor. Queda claro que para poder transportar cualquier organismo, se debe contar con suficiente aireación, y no deben excederse las densidades de manejo, ya que

esto ocasionaría una mortandad del 100%. Lo ideal es transportar, si son crías de 1.5-3 cm en densidades de 5 o 6 por litro de agua en doble bolsa de nylon con 2/3 partes de aire y 1/3 de parte de agua y las mismas protegidas por cajas de cartón o telgopor para su traslado (Alamilla, 2002; Monteverde, 2003).

Otra solución sería transportar los reproductores, que es más fácil y mejor ya que las crías por su tamaño y debilidad son más propensas a morir cuando son muy manejadas, y los reproductores no, además de que la producción ya se realizaría en el lugar deseado, y ya se tendría una producción continúa.

Para el transporte de organismos grandes se pide lo mismo, que se cuente con suficiente aireación, oxígeno, y densidades de 1 organismo por cada 10 litros.

Otra ventaja sería que si se transportaran sólo reproductores, éstos serían sólo unos cuantos, dependiendo de la producción que se desee, en cambio si se transportan crías, éstas serían demasiadas y con bastantes bolsas que ocuparían mayor espacio y se tendría menor control de los parámetros y una alta mortalidad (Alamilla, 2002).

6.1.1.10. Aclimatación y producción de pececillos (juveniles)

Al llegar al lugar de cultivo se debe proceder a la aclimatación de los peces igualando las temperaturas de las balsas con la de los estanques (Monteverde, 2003).

Las jaulas pueden ser usadas para la producción de juveniles. Alevines de un gramo pueden criarse en jaulas de malla de ¼ de pulgada hasta en 3,000

peces/m³ de 7 a 8 semanas hasta que promedien alrededor de 10 g cada uno. Los peces de 10 g pueden criarse dentro de jaulas de malla de ½ pulgada. Las jaulas ocupadas con peces de 10 g a razón de 2,500 por m³. producirán juveniles de 25 a 30 g en 5 a 6 semanas. Después de clasificarlos, los peces de 25 a 30 g pueden ponerse hasta en 1,500 peces/m³ para producir juveniles de 50 a 60 g en 5 semanas, o hasta 1,000 peces/m³ para producir juveniles de 100 g en 9 a 10 semanas. Los peces deberán clasificarse por tamaño cada 4 ó 6 semanas. Los peces y hembras con el crecimiento impedido deben desecharse (McGinty y Rakocy, s/a).

6.2. Siembra

Los índices o densidades de siembra son dependientes de la especie o línea, volumen de la jaula y tamaño de la malla, área superficial del estanque, disponibilidad de la aireación, y tamaño deseado al mercado. En general, las densidades de ocupación o siembra son calculadas sobre el número de kilogramos de peces que pueden ser criados por hectárea superficial del estanque o por metro cúbico de jaula. Un estanque sin aireación puede producir de 560 a 1,680 kg de peces/ha superficial. En un estanque con aireación, de 2,800 a 4,480 kg de peces/ha superficial han sido obtenidos. Los kilogramos máximos de producción por metro cúbico de jaula rara vez excede los 227 kg en jaulas pequeñas y 178 kg en jaulas grandes (< a 7.5 m³). Generalmente la producción en jaula llega a ser entre 80 y 130 kg/m³.

Los juveniles deberán ser sembrados de 10 a 12 cm de largo (o más grandes). Algunos índices de siembra recomendados para jaulas pequeñas son dados en el Cuadro 5 (Masser, 1997c).

Cuadro 5. Índices de siembra recomendados para jaulas pequeñas (Masser, 1997c).

Tamaño de la jaula	Índice de siembra
1.22 x 1.22 m. (redonda o cilíndrica)	250 – 400
1.22 x 1.22 x 1.22 m. (cuadrada)	320 – 500
2.44 x 1.22 x 1.22 m. (rectangular)	640 – 1,000
2.44 x 2.44 x 1.22 m. (cuadrada)	1,280 – 2,000
3.66 x 1.83 x 1.22 m. (rectangular)	1,500 – 2,300

6.3. Nutrición y alimentación

6.3.1. Nutrición

Una de las grandes ventajas de la tilapia para la acuicultura es que se alimentan con un nivel trófico bajo (ver **1.3. Comportamiento alimenticio**). Esto proporciona una ventaja a los productores porque los peces pueden ser criados en condiciones extensivas que dependen de la productividad natural de un cuerpo de agua o en sistemas intensivos que pueden operar con bajos costos de alimentación (Fitzsimmons, 1997).

Hoy la ciencia de la nutrición de peces ha progresado al punto que dietas balanceadas y completas pueden ser formuladas para las especies de importancia comercial. Estas dietas completas se obtienen de fábricas de alimento comercial y se utilizan en los sistemas que no pueden proporcionar ninguna nutrición confiable. Entre éstos se incluyen las jaulas en las cuales los peces enjaulados en la mayoría de los casos no recibirán alimento natural o en el mejor de los casos son colocadas en agua con baja productividad que no proporcionan los nutrientes suficientes para todos los peces en el sistema y, por lo tanto, deben tener una dieta completa nutricionalmente que es esencial para la salud y crecimiento de los peces enjaulados (Fitzsimmons, 1997; Masser, 1997d).

Esta dieta debe tener niveles adecuados de proteína y energía, balanceada en aminoácidos esenciales y en ácidos grasos esenciales, y suplementada con un arsenal completo de vitaminas y minerales. Muchas fábricas de alimento comercial fabrican tanto suplementos como dietas completas. El productor en jaulas debe estar seguro de que está comprando una dieta completa -una que sea adecuada para la especie que cultiva (Masser, 1997d).

En sistemas intensivos, como las tilapias cultivadas en jaula tienen la ventaja que pueden ser alimentadas con un alimento preparado que incluya un alto porcentaje de proteínas vegetales. Los peces carnívoros requieren harina

de pescado u otras proteínas animales en sus dietas, que en general son más caras que las proteínas vegetales. Los estudios nutricionales en que se sustituyen las proteínas vegetales suplementadas con suplementos de aminoácidos específicos pueden reducir los costos, sin embargo no al nivel en que se puede alcanzar con dietas de tilapia (Fitzsimmons, 1997).

Una dieta para explotaciones intensivas es formulada bajo la premisa de que la especie cultivada dependerá en un 100% del aporte nutricional proveniente del alimento balanceado (Purina-México, 2003).

Los alimentos balanceados para tilapias pueden ser fabricados de acuerdo con los diversos métodos y procesos, dependiendo de la intensidad del cultivo.

Las dietas balanceadas para tilapias pueden ser fabricadas con dos procesos principales (Monteverde, 2003):

- Peletización.- proceso de compactación mecánica que ocurre cuando la mezcla es presionada dentro de una cámara de presión y obligada a salir por unos orificios de una anillo externo (matriz).

Una característica de los alimentos peletizados para animales acuáticos es el requerimiento de aglutinantes ya sean artificiales o naturales para permitir una mayor estabilidad física una vez que esté en contacto con el agua.

- Extrusión.- mezcla de materias primas sometida a un proceso de precocido en acondicionadores, después es forzada a pasar por una rosca para

llegar al cilindro extrusor. Este tipo de alimento tiene ciertas ventajas como por ejemplo su alta estabilidad en el agua sin la necesidad del uso de aglutinantes, en su proceso ocurre una mayor gelatinización de los almidones, la inactivación de los factores antinutricionales, aumento de la digestibilidad, mejores condiciones sanitarias para la reducción de la carga bacteriana existente en la materia prima, obtención de productos de diferentes densidades con capacidad de flotar o de hundirse, mayor resistencia. La desventaja en el proceso es el elevado costo por la necesidad de implementar sistemas especiales para la adición en la dieta.

6.3.1.1. Requerimientos nutricionales

La tilapia exhibe sus mejores tasas de crecimiento cuando se alimenta con una dieta balanceada que proporcione una mezcla apropiada de proteína, carbohidratos, lípidos, vitaminas, minerales y fibra. Jauncey y Ross (1982), El-Sayed y Teshima (1991) y Stickney (1996) proporcionan revisiones excelentes que examinan los detalles de la nutrición de la tilapia. Los requerimientos nutricionales son ligeramente diferentes para cada especie y varían más notablemente con la etapa de vida. Los peces alevines y pececillos requieren una dieta más alta en proteína, lípidos, vitaminas y minerales y más baja en carbohidratos mientras que se están desarrollando el músculo, órganos internos y el hueso con crecimiento rápido (Fitzsimmons, 1997).

Los requerimientos de proteína para un crecimiento máximo están en función de la calidad de la proteína y del tamaño del pez y se han reportado tan altos como el 50% de la dieta para los pecillos pequeños. Sin embargo, en los alimentos comerciales para estanques el contenido de proteína cruda del alimento es generalmente de 26 a 30%, del cual un décimo o menos son de origen animal. El contenido de proteína y la proporción de proteína animal pueden ser altamente escasos en sistemas de recirculación o de fluido (Popma y Masser, 1999).

Los peces jóvenes necesitan más calorías de la grasa y de los carbohidratos para el metabolismo basal y un bajo porcentaje de proteína para crecer (Cuadro 6). Por supuesto que la cantidad absoluta que el pez está comiendo todavía aumentará pues el pez es mucho más grande. Los peces adultos necesitan incluso menos proteína, no obstante los aminoácidos que compensan esa necesidad de proteína deben estar disponibles en ciertas relaciones (Cuadro 7). En las formulaciones de la alimentación se ajustarán fuentes de proteína para responder al patrón deseado de aminoácidos durante el ciclo de crecimiento. Las reproductoras pueden requerir niveles elevados de proteína y grasa para incrementar la eficiencia reproductiva (Santiago et al., 1985; Chang et al., 1988).

Los requerimientos de energía digestible para un crecimiento óptimo económicamente son similares a los del bagre de canal, y se ha estimado en 8.2 a 9.4 KCal ED (energía digestible) por g de proteína dietética (Popma y Masser, 1999).

Cuadro 6. Requerimientos típicos de proteína para la tilapia (Fitzsimmons, 1997).

Primera alevín de alimentación	45 – 50 %
0.02 – 2.0 g	40 %
2.0 – 35 g	35 %
35 g – cosecha	30 – 32 %

La tilapia requiere los mismos diez aminoácidos esenciales que otros peces de agua caliente, y, por lo que se ha investigado, los requerimientos de cada aminoácido son similares a los de otros peces (Popma and Masser, 1999).

Cuadro 7. Aminoácidos esenciales en dietas experimentales para tilapia en la Universidad de Arizona (Fitzsimmons, 1997).

Aminoácidos esenciales	g/kg de dieta	% de proteína
Arginina	15	7.5
Histidina	5	2.3
Isoleucina	9	4.3
Leucina	15	7.0
Lisina	16	5.0
Metionina	5 (74% de cistina)	1.7
Fenilalanina	15	4.5
Treonina	10	3.6
Triptófano	2	1.0
Valina	12	5.8

En general, los requerimientos de lípidos para los peces menores de dos gramos representan el 10% de la dieta. Esto disminuye a 6-8% a partir de los dos gramos hasta la cosecha. Los lípidos deben contener tanto ácidos grasos de 3 omega como de 6 omega (Fitzsimmons, 1997).

Por otro lado, Popma y Masser (1999) mencionan que la tilapia tiene un requerimiento dietético de ácidos grasos de la familia linoleico (n-6).

Cada ácido graso debe representar el 1% de la dieta, aunque algunos reportes sugieren que los peces crecen mejor con una proporción más elevada de 6 omega a 3 omega. El componente de la fibra es generalmente el recíproco del contenido de lípidos. Eso está comenzando en 6-8% en peces pequeños

hasta 35 g y está aumentando hasta el 10% por arriba de 35 g. Los carbohidratos generalmente representan menos del 25% de la dieta para los peces menores a un gramo y aumentan a 25 - 30% para los peces mayores de un gramo hasta la cosecha (Fitzsimmons, 1997).

Los carbohidratos son provistos a menudo por ingredientes menos costosos en la dieta. El maíz, el trigo, el arroz y un número de subproductos agrícolas son fuentes típicas del carbohidrato. La proporción de la energía provista por los lípidos y los carbohidratos a las proteínas disponibles en la dieta es a menudo una medida crítica. Shiau (1997) proporciona una revisión comprensiva de la utilización del carbohidrato y de la fibra en tilapia.

Las vitaminas y los minerales son críticos a la nutrición apropiada en tilapia e investigaciones considerables se han conducido para determinar estos requerimientos (Watanabe, et al., 1997; EL-Sayed y Teshima 1991; Roem, et al., 1990; Jauncey y Ross 1982). Las premezclas comerciales están disponibles que permiten que los fabricantes de alimento compren un grupo entero de micronutrientes más bien que procurar determinar cuánto está disponible de la productividad del sistema y de los otros ingredientes (Cuadro 8).

Al parecer también tiene requerimientos similares de vitaminas como el de otras especies de peces de aguas cálidas. Las premezclas de vitaminas y minerales son similares a los agregados a las dietas del bagre de canal

generalmente incorporadas en alimentos comerciales de tilapia. El comportamiento alimenticio de la tilapia le permite usar una masa (alimentos no peletizados) más eficientemente que el bagre de canal o la trucha, pero la mayoría de los alimentos comerciales de tilapia son peletizados para reducir la pérdida de nutrientes (Popma y Masser, 1999).

Cuadro 8. Mezclas de vitaminas y minerales usadas en dietas de tilapia en la Universidad de Arizona (Fitzsimmons, 1997).

Vitaminas	mg/kg	Unidades internacionales
Tiamina	11	
Ácido fólico	5	
Riboflavina	20	
Vitamina B ₁₂	0.01	
Piridoxina	11	
Colina	275	
Ácido pantoténico	35	
Ácido nicotínico	88	
Ácido ascórbico (C)	375	
Vitamina K	4.4	
Vitamina A		4,400
Vitamina D3		2,200
Vitamina E		66
Minerales		
		g/kg
Calcio (Ca)	3.0	
Fósforo (P)	7.0	
Magnesio (Mg)	0.5	
Hierro (Fe)	0.15	
Zinc (Zn)	0.20 (Nota: No debe ser mayor a 0.3 (300 ppm))	
Cobre (Cu)	0.003	
Manganeso (Mn)	0.013	
Selenio (Se)	0.0004	
Yodo (I)	0.001	

Las necesidades nutricionales específicas varían por especie, la edad de los peces, el sistema de producción, y la salinidad. La nutrición de la tilapia es crítica para favorecer los incrementos en la eficiencia y rentabilidad en el crecimiento de los pequeños productores para autoconsumo y los grandes productores en el comercio internacional (Fitzsimmons, 1997).

6.3.2. Manejo y alimentación de los peces enjaulados

La producción eficiente y económica de cualquier especie acuática, requiere la conjunción de dos situaciones: el uso de alimentos en cuya formulación se contemple la cobertura de los requerimientos nutricionales de la(s) especie(s) bajo cultivo y el empleo de una técnica de manejo y alimentación adecuada (Purina-México, 2003).

El estrés en los peces inducido por las prácticas de manejo y mala alimentación es una causa común de problemas en el cultivo en jaulas. El estrés por manejo ocurre siempre que los peces son capturados (jabegación y sujeción), movidos (transportación), o confinados (siembra). Los problemas asociados con prácticas de alimentación incorrectas son particularmente agudos en las jaulas puesto que no hay alimentos naturales generalmente disponibles para los peces enjaulados, y el deterioro de la calidad del agua por el alimento desperdiciado tiene un efecto más directo sobre los peces confinados.

Los problemas comunes en la alimentación en el cultivo en jaulas incluyen (Masser, 1997d):

- Alimento de mala calidad
- Alimento incompleto.
- Alimentación inadecuada o subalimentación.
- Sobrealimentación.
- Alimentación en el momento inoportuno del día.

Muchos de estos problemas no tienen una solución simple y algunos grados de estrés ocurrirán. En la mayoría de los casos la meta del manejo deberá ser simplemente reducir el estrés total puesto en el pez por las prácticas de manejo y alimentación (Masser, 1997d).

6.3.2.1. Manejo

Los peces enjaulados son confinados en altas densidades en una área pequeña. Debe ser obvio, por lo tanto, que los peces enjaulados están en una situación donde el estrés frecuente sea probable que ocurra.

La mayoría de los productores en jaula comienzan fuera de producir sus propios pececillos. Si los pececillos se compran de fuentes exteriores, es posible que pudieran haber sido fatigados en la manipulación.

Los tensionadores comunes en el manejo durante la cosecha, sujeción y transporte de los estanques de pececillos a los estanques de cultivo incluyen (Masser, 1997d):

- Shock de calor o frío.
- Deficiencias de oxígeno.
- Exposición a enfermedades.
- Niveles altos de amoníaco y nitrito.
- pH.
- Atestamiento.
- Manejo rudo.

El primer encuentro que el piscicultor usualmente tiene con los pececillos es en la compra. Por lo tanto, es en la compra que el piscicultor debe hacer una determinación de la salud de los pececillos (es decir, calidad). Los pececillos de calidad a sembrar que están libres de enfermedades y de tamaño uniforme son esenciales para una producción exitosa en jaulas.

Compre los peces de un productor reputable que garantice su producto. Si es posible, los pececillos deben ser inspeccionados por un especialista certificado de enfermedades de peces. Si eso no es posible busque signos de enfermedades y estrés, tales como (Masser, 1997d):

- Abrasiones o decoloraciones de la piel, cuerpos delgados y variaciones del color de la piel dentro del grupo.

- Condiciones de las aletas y agallas, aletas desgastadas o pálidas, agallas hinchadas y erosionadas.
- Comportamiento extraño, natación débil o errática.

Todos estos son indicadores de problemas, por lo que no se debe iniciar con peces fatigados o enfermos o, probablemente conducirá a desastres y no harán del cultivo en jaula una experiencia positiva.

Sembrar en jaulas es siempre fatiga sobre los peces. El equipo apropiado y la experiencia son importantes en la transportación de los peces. Transporte los peces en un contenedor bien oxigenado con agua a la misma temperatura que el agua de los peces donde estaban cuando fueron comprados. Para reducir el estrés y quitar ciertos parásitos durante el transporte, agregue sal al contenedor en que los lleva. Siembre los peces en el estanque a las temperaturas en las cuales no sufran estrés. Si las temperaturas del estanque y del agua en que son transportados difieren por más de algunos grados, temple a los peces lentamente adicionando agua del estanque para igualar la temperatura. Una espera de por lo menos 20 minutos es necesaria para un cambio de 12 °C en la temperatura del agua. La falta de ajustar correctamente la temperatura puede conducir a la muerte inmediata o puede disminuir la capacidad de los pececillos a resistir infecciones y conducir a enfermedades secundarias o parásitos. Finalmente, no alimente a los peces por 1 o 2 días después de la siembra. Deje a los peces recuperarse del transporte y adaptación a la jaula.

Cualquier problema que ocurra inmediatamente después de la siembra fue traído con los pececillos, o es una indicación de un problema del estanque.

El productor en jaulas debe conocer su estanque y calidad del agua antes de sembrar, y no sembrar peces en estanques con problemas.

Durante la etapa de crecimiento los peces deben ser disturbados lo menos posible. Mover la jaula, levantar la jaula para observar a los peces, pescar con red, nadar o pescar cerca de la jaula, colocar la jaula donde sea disturbada por otros animales puede afectar a los peces. El estrés puede conducir a una reducción en el consumo de alimento (es decir, crecimiento reducido) e incrementar la incidencia de enfermedades (Masser, 1997d).

6.3.2.2. Prácticas de alimentación

Después de una siembra adecuada, el aspecto de más importancia del cultivo en jaulas es proporcionar alimento de buena calidad en las cantidades correctas a los peces de la jaula. El estrés nutricional es común en el cultivo en jaula. De hecho, la mayoría de los fracasos tanto de la investigación como del cultivo comercial en jaulas antes de 1975 se pueden relacionar con la calidad del alimento. La dieta debe ser nutricionalmente completa, conteniendo vitaminas y minerales. El contenido de proteína debe ser de 32 a 36% para tilapias de 1 a 25 g y de 28 a 32% para peces más grandes.

Los peces enjaulados deben ser alimentados con un alimento peletizado flotante. El alimento flotante es atrapado y retenido efectivamente en el interior del anillo de alimentación y permitirá al piscicultor la oportunidad de observar la respuesta a la alimentación de los peces. Puesto que toma cerca de 24 horas para que los pellets flotantes de alta calidad se desintegren, los peces pueden

ser alimentados una vez diariamente en la cantidad apropiada, pero alimentaciones dos veces al día son mejores.

Buenos resultados pueden obtenerse de pellets hundibles, pero cuidados adicionales deben tomarse para asegurar que no se desperdicien. Los pellets hundibles se desintegran rápidamente en agua y tienen una mayor tendencia a ser sacados o a caer a través de las paredes de la jaula (a menos que la jaula tenga un fondo) y no será consumido por el pez. Los pececillos grandes generalmente pueden aceptar pellets con diámetro de 1/4 de pulgada. Más de una alimentación es necesaria cada día; la tilapia no puede consumir sus requerimientos diarios de alimento para un crecimiento máximo en una sola comida de corta duración. Los peces de menos de 25 g deben ser alimentados al menos tres veces al día (McGinty y Rakocy, s/a; Masser, 1997d).

Los pellets que se hunden pueden ser (McGinty y Rakocy, s/a):

- Dados de comer lentamente con la mano, dando tiempo para que el pez se coma el alimento antes de que éste se hunda completamente o salga de la jaula.
- Colocados en bandejas sumergibles.
- Colocados en alimentadores de demanda.

Alimentar lentamente a mano es ineficaz. El uso de una bandeja permite colocar rápido el alimento sobre la bandeja, pero alimentaciones diarias

múltiples son aún requeridas. La cantidad correcta de alimento se debe pesar diariamente (McGinty y Rakocy, s/a).

Los peces comerán más agresivamente cerca de su temperatura preferida u óptima y cuando los niveles de oxígeno son altos (es decir, alrededor de 60% de saturación). El oxígeno está generalmente en los niveles aceptables (a menos de que esté densamente nublado) entre la media mañana y al atardecer. Los peces se adaptarán generalmente a cualquier hora de alimentación tan largo como sea constante. Los cambios en el horario de alimentación deben ser hechos gradualmente (por ejemplo, no cambiando más de 30 minutos por día). La mayoría de los estudios han mostrado que los peces crecerán más rápido y tendrán mejor conversión alimenticia si sus raciones diarias de alimentación se dividen en dos alimentaciones dadas por lo menos con 6 horas de separación.

La investigación reciente en el cultivo en jaulas ha mostrado que la alimentación crepuscular puede incrementar el crecimiento y mejorar la eficiencia alimenticia. La alimentación crepuscular no debe ser practicada sin los medios de aireación en la noche. La alimentación crepuscular puede comenzar dentro de la hora antes a la puesta del sol y puede continuar por una hora o más después de la puesta del sol. La clave de la alimentación crepuscular es no sobrealimentar. Si la aireación mecánica no está disponible, no considere la alimentación crepuscular.

Alimentar correctamente en las cantidades apropiadas de alimento es extremadamente importante. En la sobrealimentación se desperdicia alimento y

dinero, y se causa un deterioro en la calidad del agua conduciendo al estrés e incremento en la incidencia de enfermedades. La subalimentación reduce la tasa de crecimiento, la producción total y las ganancias. Una regla general empírica para las especies de agua caliente es alimentar a todos los peces que comerán en 10 o 30 minutos cuando la temperatura del agua es superior a 21 °C. Mantener un buen registro de la alimentación es esencial para favorecer a un productor exitoso de peces.

Es una buena práctica ofrecer a los peces enjaulados la mitad de la cantidad del alimento que consumieron el día anterior, para no sobrealimentar si hay problemas del estado del tiempo, calidad del agua o enfermedades que reduzcan el consumo. Después de adicionar el alimento observe la respuesta a la alimentación, adicione más alimento según lo necesiten en intervalos de 20 a 30 minutos. Si los peces no consumen el alimento después de 20 a 30 minutos, no agregue más alimento. Muchos productores e investigadores han encontrado que el bagre de canal continuará consumiendo alimento por varias horas si se alimenta en el crepúsculo. La clave es dar tanto alimento al pez como desean comer (saciedad) sin dejar restos o desperdicios de alimento. A mayor alimento consumido mayor producción de peces! (Masser, 1997d).

6.3.2.2.1. Niveles de alimentación

Tablas o programas de índice de alimentación se requieren para hacer los incrementos periódicos en la ración diaria (McGinty y Rakocy, s/a).

McGinty y Rakocy (s/a), Lovshin (1997) y Masser (1997d) proporcionan revisiones excelentes en el cálculo de los niveles de alimentación aplicando metodologías muy similares en la alimentación de tilapias en cultivo.

McGinty y Rakocy (s/a) mencionan que los ajustes en la alimentación pueden ser hechos diariamente, semanalmente o cada 2 semanas. Los peces deben ser muestreados cada 4 o 6 semanas para determinar sus pesos promedio y el índice de alimentación correcto para calcular los ajustes en la ración diaria. Los ajustes se pueden hacer entre periodos de muestreo estimando el crecimiento de los peces basado en una supuesta proporción de conversión alimenticia (peso del alimento dividido por la ganancia de peso).

Ejemplo: con una proporción de conversión alimenticia de 1.5, el pez ganaría 10 g por cada 15 g de alimento. El índice de alimentación correcto, expresado como porcentaje de peso corporal, es multiplicado por el peso estimado para determinar la ración diaria. Los niveles de alimentación recomendados se enlistan en el Cuadro 9 (McGinty y Rakocy, s/a).

Cuadro 9. Niveles de alimentación recomendados diariamente, expresados como porcentaje de peso corporal, para tilapia de diferentes tamaños (McGinty y Rakocy, s/a).

Peso del pez (g)	Nivel de alimentación (%)
1	11.0
2	9.0
5	6.5
10	5.2
15	4.6
20	4.2
30	3.6
60	3.0
100	2.5
175	2.5
300	2.1
400 +	1.5

Las tablas referenciales de niveles de alimentación sirven como guías o referencia para la estimación de la ración diaria óptima o cantidad de alimento a ser suministrados a los peces, pero no son siempre exactas, pues la cantidad de alimento consumido por las tilapias varía con las condiciones ambientales (temperaturas fluctuantes u OD, ph, amoniaco), condiciones de estrés y de salud, fase de desarrollo, densidad de siembra, etc. Su uso debe estar siempre asociado con el monitoreo del consumo, tanto de las dietas extrusadas como las peletizadas (McGinty y Rakocy, s/a; Lovshin, 1997).

A este respecto, Lovshin (1997) también presenta una tabla similar de alimentación (Cuadro 10) para estimar las cantidades de alimento a ser suministradas a los peces.

Cuadro 10. Tabla referencial de alimentación (Lovshin, 1997).

Peso promedio de los peces (g)	Porcentaje de biomasa (%)	Frecuencia de alimentación (no. de veces por día)
< 5,0	7 – 10	4
5,0 a 20,0	4 – 6	4 a 3
20,0 a 100,0	3 – 4	3 a 2
100,0 a 200,0	2 – 3	2
200,0 a 400,0	1,5	1

Para el uso de la tabla en el Cuadro 10 se toma como parámetro base el concepto de Biomasa que se obtiene a través del número de peces existentes multiplicados por el promedio de su peso. Para que éste cálculo de biomasa sea técnicamente útil se hace necesario el muestreo de los peces cada 30-45 días.

La óptima cantidad de alimento que se les debe suministrar corresponde al 90% de la cantidad de alimento que consumirían para saciarse. Cantidades menores (por ejemplo 80%) resultan en una mejor conversión alimenticia pero con crecimiento reducido. Cantidades mayores (por ejemplo cerca de 100%) resultan en una mala conversión alimentación pero mejor crecimiento.

El suministro de alimento diario debe aumentar a medida que los peces van creciendo por tanto, la cantidad debe ser ajustada en intervalos aproximados de 7-14 días.

Existen dos métodos que pueden ser utilizados para ajustar correctamente la alimentación diaria (Lovshin, 1997):

a) Método del cálculo, para alimento peletizado o extrusado,

Procedimiento:

- Determine el peso promedio al momento de sembrar y a intervalos de 30-45 días usando muestras de por lo menos 50 animales, pesándolos y luego devolviéndolos inmediatamente al estanque. El peso medio es obtenido dividiendo el valor obtenido de la suma de los pesos por el número de animales muestreados.
- Determine la biomasa multiplicando el peso medio obtenido por el número estimado de peces existentes.
- Determine a través de la tabla referencial el peso medio obtenido por el número estimado de peces existentes.
- Determine a través de la tabla referencial, la tasa de alimentación adecuada para el tamaño de los peces.
- Calcule la cantidad de alimento a ofrecer usando la biomasa y multiplicándola por la tasa de alimentación encontrada en la tabla.

- Alimente con la cantidad calculada conforme a la frecuencia sugerida en la tabla por los próximos 7 días o hasta el próximo ajuste.
- Entre cada período de muestreo (cada 30-45 días aprox.) aumente la cantidad de alimento ofrecido por día en un 10 o 15% cada semana.
- La cantidad de alimento diario que se debe suministrar puede ser dividida en dos o tres porciones iguales. Alimentar más una vez por día no resulta necesario para los peces adultos y alimentar más frecuentemente que lo recomendado en la tabla puede resultar económicamente ineficiente.

b) Método de la saciedad (alimento extrusado):

Procedimiento:

- Estime la cantidad de alimento a suministrar diariamente basándose en el peso medio estimado con la biomasa total de los peces. Utilice la tabla referencial como guía.
- Alimente los peces hasta que se sacion de la siguiente manera:
 - Ofrezca en una sola vez el 75% de la ración diaria.
 - Espere a que toda la ración sea consumida y adicione más alimento en cantidades de aproximadamente el 10% de la ración diaria.
 - Repita este último procedimiento hasta que los peces dejen de alimentarse. El total de alimento suministrado es el punto de saciedad.
- Suministre esta cantidad de alimento durante los próximos 7 días

- En el octavo día aumente la ración alimenticia en un 10% y repita el procedimiento anteriormente descrito

Los procedimientos descritos son los mismos para cada alimentación sin importar si los peces son alimentados una o varias veces al día. Sin embargo, a medida que se aumenta la frecuencia de alimentación, la cantidad de alimento necesario a la saciedad en cada alimentación declina casi proporcionalmente. La cantidad de alimento requerido por día para tres alimentaciones diarias será apenas del 5-10% superior que la cantidad a ser ofrecida para una alimentación/día (Lovshin, 1997).

Por otro lado y de manera similar, Masser (1997d) presenta una tabla referencial de alimentación calculada en base a un porciento de peso corporal por día, basado en el tamaño del pez y la temperatura del agua, y además menciona que los peces pequeños consumen un porcentaje más grande de su peso corporal que los peces más grandes, y todos los peces aumentan su consumo mientras que las temperaturas del agua se acercan al rango óptimo de temperatura. Los pececillos pequeños comerán generalmente de 4 a 5% de su peso corporal. Después de que los pececillos alcanzan un tamaño considerable el nivel disminuye a 3% y a un tamaño cercano a la cosecha baja hasta 2% o menos (Cuadro 11).

Los productores experimentados en el cultivo en jaulas prefieren estimar los niveles de alimentación. Hay dos métodos comúnmente usados para determinar las cantidades adecuadas de alimento. El primer método estima el

crecimiento basado en la conversión alimenticia y semanalmente se ajusten los niveles de alimentación por esta estimación. El segundo método estima el crecimiento basado en un muestreo de peces de la jaula y los niveles de alimentación se ajustan basados en este muestro.

Método de conversión alimenticia

Este método requiere que el peso inicial del pez sembrado sea conocido y llevar los registros del peso total del alimento dado a comer cada semana.

Para iniciar la primera semana determinar el peso promedio de los peces sembrados (peso total de los peces sembrados en kilogramos dividido por el número de peces sembrados). Use el Cuadro 11 para encontrar el porcentaje de peso corporal que los peces de un tamaño deben consumir. Multiplique el porcentaje de peso corporal por el peso total de los peces sembrados en la jaula. Esta es la cantidad de alimento que debe ser consumido cada día para la primera semana.

Una nueva estimación debe ser recalculada cada semana, basada en crecimiento estimado. El crecimiento estimado es calculado multiplicando la cantidad total de alimento (en kilogramos) dado de comer durante la semana por el cociente de conversión alimenticia estimado (CCA) de $0.454/0.817$ (0.454 kilogramos de ganancia por cada 0.817 kilogramos de alimento consumido o 0.556). Este peso estimado del crecimiento se agrega al peso total al comenzar la semana. Este nuevo peso total es dividido por el número de peces (menos los muertos) para obtener un nuevo peso de los peces individuales. Utilice el

Cuadro 11 para obtener el porciento de peso corporal estimado de los peces a consumir ahora y multiplicar esto por el peso total de la jaula. Esta es la nueva cantidad de alimento que debe ser dada de comer diariamente para la siguiente semana. Esto suena complicado pero con un poco de práctica llega a ser fácil. Las fórmulas y el ejemplo que siguen deben ayudar.

En este ejemplo, los peces promediaron 0.227 kilogramos cada uno en la semana 10 y no había habido muertes; por lo tanto, 300 peces x 0.227 kilogramos = 68.1 kilogramos = peso total de la jaula. En ese peso de jaula consumían 1.7 kilogramos de alimento cada día por 6 días o 10.22 kilogramos durante la semana (Masser, 1997d).

Cuadro 11. Consumo estimado para varios tamaños de bagre de canal* cuando la temperatura del agua es superior a 21 °C (Masser, 1997d).

Peso promedio/ longitud por pez (g/cm)	% peso corporal que consumen
9.00/10.00	5.00
18.00/12.50	4.00
27.00/15.00	3.00
113.00/24.00	2.75
226.00/30.00	2.50
340.00/34.00	2.25
454.00/38.00	2.00
380.00/43.00	1.75

*Aplicable a la mayoría de las especies de agua caliente.

Método de conversión alimenticia:

Ganancia de peso estimada = kilogramos totales de alimento consumido x 0.556 (CCA)

Peso nuevo total de la jaula = ganancia de peso estimada + peso total de la jaula de la semana anterior

Peso promedio de los peces individuales = peso nuevo total de la jaula/número total de peces en la jaula

Peso nuevo del alimento diariamente = peso nuevo total de la jaula x % peso corporal que consume (Cuadro 11)

Ejemplo para la semana 10, jaula de 300 peces, alimentando 6 días por semana:

Ganancia de peso estimada (semana 10) = $10.22 \times 0.556 = 5.68$ kilogramos

Peso nuevo total de la jaula (semana 11) = 5.68 kilogramos + 68.1 kilogramos = 73.78 kilogramos

Peso promedio de los peces individuales = $73.78/300 = 0.25$ kilogramos

Peso nuevo del alimento diariamente = $73.78 \times (2.5/100) = 73.78 \times 0.025 = 1.84$
kilogramos

Consumir 10.22 kilogramos de alimento con una conversión alimenticia de 0.454/0.817 (o 0.556) da una ganancia de peso estimada de 5.68 kilogramos durante la semana 10. La adición de estos 5.68 kilogramos de ganancia de peso a los 68.1 kilogramos de peces (estimado) en la jaula en el comienzo de la semana 10 da un nuevo peso total de la jaula de 73.78 kilogramos. Puesto que los 300 peces pesan 73.78 kilogramos, o 0.25 kilogramos cada uno, comerán 2.5 por ciento (o $2.5/100$ por ciento = 0.025) de su peso corporal según el Cuadro 11. Por lo tanto, el nuevo nivel de alimentación (kilogramos) es 73.78×0.025 o 1.84 kilogramos de alimento diariamente. Esta cantidad debe ser dada de comer cada día por seis días la siguiente semana (Masser, 1997d).

Estimación midiendo el crecimiento

Este método calcula los niveles de alimentación basado en el peso de una muestra de peces de la jaula. Este se debe hacer en intervalos de dos semanas y generalmente requiere que por lo menos 10 peces sean pesados de cada jaula. El peso total de la muestra de peces es dividido por el número de peces muestreados, para obtener el peso promedio de los peces individuales. Este peso es usado con el Cuadro 11 para estimar el porcentaje del peso corporal que consume. El peso promedio de los peces es multiplicado por el número de peces en la jaula para obtener el peso total en la jaula, que entonces es multiplicado por el porcentaje del peso corporal que consume para obtener el nuevo nivel de alimentación diariamente. Las fórmulas y el ejemplo que siguen deben ayudar a entender.

En este ejemplo los peces promediaron 0.245 kilogramos cada uno en la semana 10 y no había habido muertes; por lo tanto, $300 \text{ peces} \times 0.245 = 73.5$ kilogramos = peso total en la jaula. En 0.245 kilogramos cada pez debe consumir 2.5 por ciento (o 2.5 dividido por 100 por ciento = 0.025) de su peso corporal por día (Cuadro 11). Por lo tanto, el nuevo nivel de alimentación (kilogramos) es 73.5×0.025 o 1.84 kilogramos de alimento diariamente. Esta cantidad debe darse de comer cada día por las siguientes 2 semanas.

La manipulación es agotadora en los peces, no solo en los peces tomados sino también en los otros peces en la jaula intentan evitar ser capturados. Durante periodos de calidad del agua cuestionables o de

condiciones atmosféricas extremadamente calurosas puede ser mejor evitar el manejo de los peces y estimar la ganancia de peso (Masser, 1997d).

Método de muestreo:

Peso promedio de los peces = peso de 10 peces/10

Nuevo peso total de la jaula = peso promedio de los peces individuales x el número de peces en la jaula

Nuevo peso del alimento diariamente = nuevo peso total de la jaula x % peso corporal que consume (Cuadro 11)

Ejemplo para la semana 10, jaula de 300 peces:

Peso promedio de los peces = $2.45/10 = 0.245$ (kilogramos)

Nuevo peso total de la jaula = $0.245 \times 300 = 73.5$

Nuevo peso del alimento diariamente = $73.5 \times 0.025 = 1.84$

6.3.2.2.2. Alimentadores de demanda

Los alimentadores de demanda han sido usados exitosamente con peces enjaulados por eliminar el trabajo (pesado del alimento, muestreo de peces, cálculos) e incertidumbre de los programas de niveles de alimentación dejando la alimentación de los peces a ellos mismos (McGinty y Rakocy, s/a; Masser, 1997d).

Los problemas con los alimentadores de demanda son (Masser, 1997d):

1. Los peces deben ser entrenados para usar los alimentadores.

2. Los alimentadores necesitan ser ajustados frecuentemente.
3. El productor debe observar el comportamiento alimenticio de los peces para cortar el paso a problemas de la calidad del agua y enfermedades.

El alimentador de demanda en la Figura 16, consiste de un embudo de polietileno de 28 cm con una palanca insertada dentro de un cubo de plástico de 19 L el cual es montado en la tapa de la jaula.

El cubo sostiene 5.5 kg de alimento, suministrados alrededor de 3 días para una jaula de 1 m³. Los peces aprenden rápidamente que el alimento es liberado cuando golpean una barra de cobre que se extiende desde el embudo al agua. Los alimentadores de demanda y los programas de nivel de alimentación producen crecimientos y conversión alimenticia comparables, pero los alimentadores de demanda reducen el trabajo en casi 90%. Los programas de nivel de alimentación pueden ser usados con alimentadores de demanda agregando una cantidad calculada de alimento diariamente en vez de rellenar el alimentador siempre que esté casi vacío o llenarlos diariamente a la hora en que normalmente inicia la alimentación, para que el comportamiento alimenticio pueda ser observado inmediatamente (McGinty y Rakocy, s/a; Masser, 1997d).

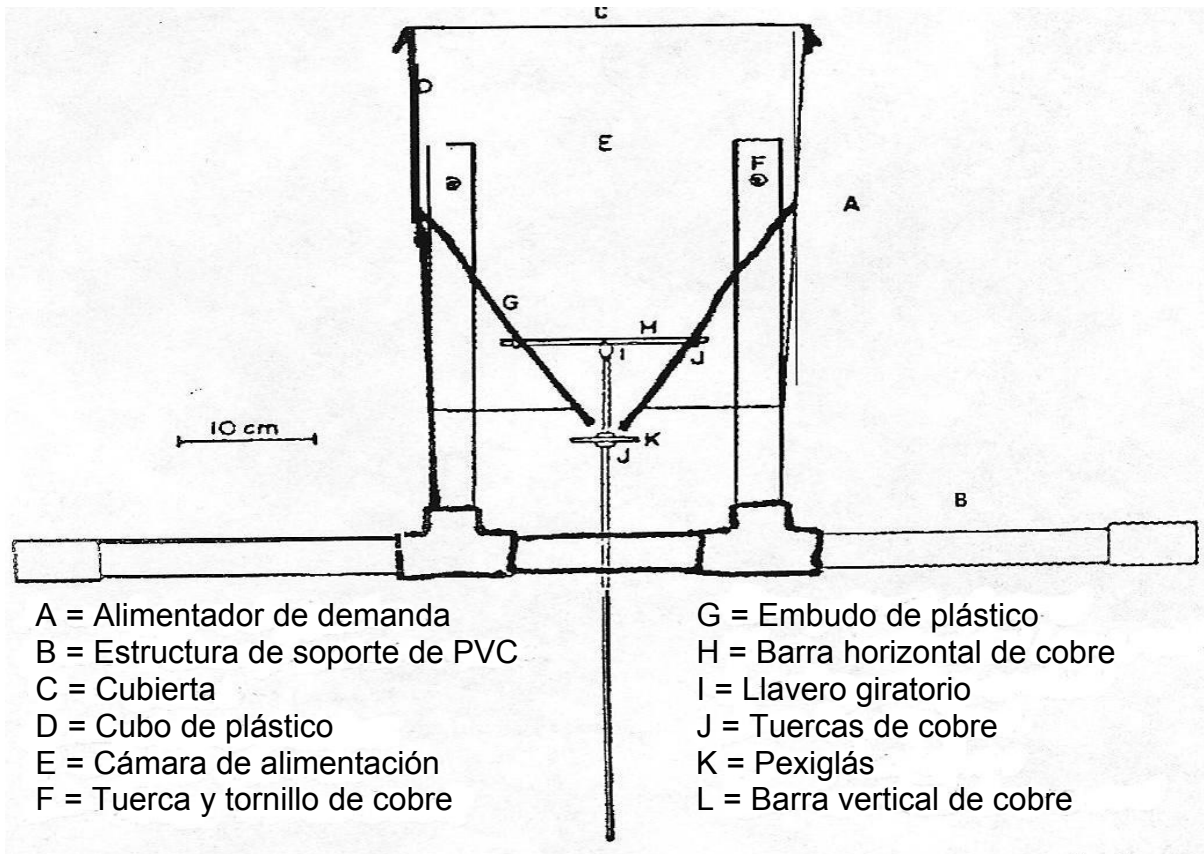


Fig. 16. Vista transversal de un alimentador de demanda para cultivo en jaulas de tilapia viéndose del lado de la estructura de apoyo sobrepuesta (McGinty y Rakocy, s/a).

Si se alimenta en alimentadores de demanda al crepúsculo o en la noche, es mejor llenar éstos al crepúsculo. Una vez más, la alimentación crepuscular (y alimentación de demanda de los peces que comen en la noche) no debe ser practicada a menos que la aireación nocturna esté disponible!

Los alimentadores de demanda se deben utilizar solamente por los productores experimentados quienes han producido peces usando la alimentación manual y el sentido para observar el comportamiento de los peces.

Los peces en jaulas deben ser alimentados por lo menos 6 días a la semana, a menos que sea impedido por mal estado del tiempo, mala calidad del agua, o enfermedades. La cantidad diaria de alimento para la alimentación necesitará incrementarse como los peces crecen. La alimentación debe suspenderse durante periodos de días densamente nublados (a menos que haya aireación disponible) y si la temperatura del agua excede los 35 °C (Masser, 1997d).

Dado que los pellets flotantes son redondos y uniformes en tamaño, son mejores los alimentadores de demanda, pero en los pellets hundibles también funcionarán. Los pellets hundibles se desintegran rápidamente y obstruyen el alimentador si los peces chapotean; en tamaños menos uniformes de pellets hundibles hacer ajustes en el mecanismo sensible de disparo es más difícil.

Con alimentos de alta calidad, buenas condiciones de crecimiento y prácticas de alimentación eficaces, proporciones de conversión alimenticia tan bajas como 1.3 se han obtenido. Generalmente, las proporciones de conversión alimenticia tienen un rango de 1.5 a 1.8 (McGinty y Rakocy, s/a).

6.3.3. Alimentación invernal

Muchas especies de peces de aguas cálidas pueden sobreinvertar en jaulas. La tilapia es la excepción y morirá cuando la temperatura del agua llegue alrededor de los 13 °C. Los peces enjaulados pueden ser alimentados durante el invierno en un nivel de alimentación reducido. El Cuadro 12 da pautas

generales de la alimentación del bagre de canal durante el invierno en jaulas (Masser, 1997d).

Cuadro 12. Horario de alimentación invernal para peces enjaulados (Masser, 1997d).

Temperatura °C	% del peso total del pez a dar de comer	Frecuencia alimenticia
19-21	2.0	Cada dos días
16-18	1.5	Cada dos días
13-15.5	1.0	Cada dos días

En el invierno, los problemas por la baja concentración de oxígeno disuelto y reducción en los niveles de descomposición de los desechos o desperdicios de la alimentación de los peces, del ganado circundante y materia orgánica se hacen presentes. En general, el nivel de alimentación máximo recomendado no es mayor de 39 kilogramos de alimento por hectárea superficial de estanque por día (39 kg/ha/día). Incluso en este nivel de alimentación los problemas pueden ocurrir en algunos estanques. En este nivel de alimentación el número máximo de kilogramos de peces que deben ser cultivados en jaulas sería de 1,962 kilogramos /hectárea, calculando que un pez de 454 gramos consumirá 2 por ciento de su peso corporal diariamente ($1,962 \times 0.02 = 39$).

Los niveles de alimentación recomendados para el estanque pueden ser incrementados si la aireación es disponible. La aireación puede ayudar a mantener las concentraciones de oxígeno disuelto y soportar los altos niveles

de descomposición, o al menos, mantiene a los peces vivos durante los periodos de oxígeno bajo. El nivel de alimentación con aireación es de 67 kilogramos/hectárea/día. En este nivel el número máximo de kilogramos de peces que deben ser cultivados en jaulas sería de 3,364 kilogramos/hectárea ($3,364 \times 0.02 = 67$).

Los niveles de alimentación por arriba de estos niveles son practicados por productores en jaulas muy experimentados. La palabra clave es la experiencia. Los productores en jaulas que comienzan no deben apremiar sus estanques hasta que hayan obtenido la suficiente experiencia en calidad del agua y manejo de los peces. Desafortunadamente, mucha de su experiencia es generalmente obtenida por la muerte de los peces (Masser, 1997d).

6.3.4. Las pautas en los alimentos y la alimentación (Masser, 1997d)

1. La observación de los peces en la hora de la alimentación es vital. El comportamiento alimenticio es el mejor indicador de la salud de todos los peces. Peces alimentándose activamente indican que todo está bien, por el momento. Un comportamiento alimenticio malo se debe ver siempre con suspicacia.
2. Reducir los niveles de alimentación cuando las temperaturas del agua caen por debajo de 15.5 °C o encima de 32 °C.
3. Reducir o suspender la alimentación en días densamente nublados o sin viento. Estas condiciones atmosféricas reducen la producción y difusión de oxígeno, particularmente si son secuenciales, y pueden conducir a bajo oxígeno disuelto. Alimentar solamente complicará el problema. Suministre la aireación si está disponible.
4. La calidad del alimento debe ser excelente. Compre alimento que sea completo y manténgalo almacenado en un lugar muy seco y fresco. El alimento debe ser dado de comer dentro de los 90 días de su fecha de elaboración.
5. Nunca de alimento contaminado con hongos o decolorado.
6. Los alimentadores automáticos o de demanda no son recomendables para la mayoría de las especies de aguas cálidas porque es necesario observar la alimentación de los peces (excepto por productores experimentados con sistemas de aireación).
7. Mantener registros exactos de la cantidad de alimento dado de comer.
8. Nunca proporcione más de 39 kilogramos de alimento/hectárea/día sin aireación o 67 kilogramos de alimento/hectárea/día con aireación.

6.3.5. Alimentación alternativa

Alamilla (2002) cita que comprar alimento para tilapia es muy caro, por lo que hay alternativas, en las cuales uno mismo puede preparar su alimento con ingredientes comunes y baratos, sólo hay que saber el grado nutricional de cada ingrediente y los requerimientos de la especie además de su edad y/o tamaño (Cuadro 13).

Los siguientes ingredientes pueden ser utilizados en la formulación de dietas para tilapia (Alamilla, 2002):

- Harina de pescado
- Harina de pluma hidrolizada
- Harina de carne
- Harina de soya
- Harina de cacahuete
- Harina de algodón
- Salvado de arroz
- Solubles de destilación (secos)
- Premezclas vitaminadas
- Premezclas minerales
- Suplemento de lípidos

Cuadro 13. Algunas dietas que se emplean para la alimentación en el crecimiento de la tilapia (Alamilla, 2002).

Ingredientes	Cantidad	% proteína	Lípidos	Digestibilidad
Dieta A				
Harina de pescado	39	24,18	2,811	33,852
Harina de hoja de mangle	5	0,395	0,21	3,55
Pasta de coco	15	1,53	8,61	7,35
Harina de algas marinas	5	3,876	3,876	23,35
Harina de tubo de yuca	34	0,405	0,073	4,665
Total	98	30,386	15,58	72,767
Dieta B				
Harina de pescado	30	18,6	2,163	26,04
Harina de soya	14	5,418	1,372	13,202
Harina de salvadillo	20	2,62	0,36	19,52
Harina de sorgo	18	2,034	0,414	17,1
Harina de trigo	8	0,88	0,176	7,76
Harina de maíz	8	0,664	0,184	7,36
Total	98	30,216	4,669	90,982
Dieta C				
Harina de pescado	40	24,8	2,884	34,72
Harina de mangle	15	1,185	0,63	10,65
Pasta de coco	15	1,53	8,61	7,85
Harina de algas marinas	15	1,215	1,71	10,35
Harina de tubo de yuca	13	1,482	0,1898	12,129
Total	98	30,202	14,0238	75,699

Cada una de las dietas lleva el 1% de vitaminas y minerales y otro 1 % de algún aglutinante, esto para que el alimento no se desbarate rápidamente a la hora de estar en contacto con el agua. Es por eso que solo tenemos en la tabla el 98 % y con estos 2 % se completa el 100 % de nuestras cantidades.

Tomemos de base que se hará 1 kilo de alimento y esto representa el 100% (Alamilla, 2002).

6.3.5.1. Elaboración de dietas

Para elaborar las dietas conviene hacer lo siguiente (Alamilla, 2002):

Para obtener las harinas de soya, sorgo, maíz, serán precocidos durante 10 minutos para eliminar efectos tóxicos y aumentar la digestibilidad.

Para el trigo y salvadillo se muelen sin dar ningún procesamiento. Para harina de pescado, se lava bien, se da un precocido de 5-10 min, se prensa para eliminar el agua, se pone a secar durante 72 h y se muele finamente.

Se hace el mismo método para la harina de hoja de mangle y de algas marinas, sólo que con un precocido de 10-20 min y el prensado es mayor.

Para la harina de yuca se lava, se remoja por 12 h esto para eliminar la linamarina (tóxico) y después se raya en laminillas y se sigue el método del pescado con cocción de 20 min y prensado.

Pasta de coco, este se obtiene del coco, solo se pone a secar y se muele finamente.

Todos los ingredientes deben de estar finamente molidos, para que se mezclen homogéneamente.

Para elaborar la harina, solo se mezclan todos los ingredientes y se agrega una poca de agua sólo para poder realizar una mezcla, consistente, posteriormente, se les da la forma final, ya sea en pellets, o churritos.

Importante:

El tamaño del alimento estará en función de la abertura bucal del organismo a alimentar, éste debe de tener la mitad de diámetro que tiene la boca.

La dieta que da mejor resultado en cuanto a crecimiento y aprovechamiento, es la dieta B (Alamilla, 2002).

Finalmente, la manera de ofrecer el alimento, así como la frecuencia de alimentación, son factores que si se manejan adecuadamente, contribuirán al éxito del cultivo (Purina-México, 2003).

6.4. Crecimiento final

Alamilla (2002) cita que la mayor tasa de crecimiento la presentan los machos de 6 a 8 meses, el crecimiento promedio de estos es de 18 a 25 cm, con un peso de 150 a 250 g. Por otra parte, cuando la temperatura esta fuera

de sus valores mínimos y máximos, junto con el pH actúa como inhibidor del crecimiento.

McGinty y Rakocy (s/a) mencionan que el tamaño óptimo del juvenil para ser puesto en las jaulas de crecimiento final es determinado por la longitud de la estación de crecimiento y el tamaño comercial deseado. Cuando es más corta la estación de crecimiento los más grandes de los juveniles deben ser criados. El uso de poblaciones de machos que crecen el doble del índice de las poblaciones de hembra resultará en peces más grandes, mayor producción y una reducción en el periodo de crecimiento. En regiones templadas, de inviernos largos, juveniles de 1 año de edad de 60 a 100 g (9 a 15 peces/ kg), son generalmente usados para producción de peces de 454 g o más en jaulas. Si los peces de 227 g son aceptados por el mercado, entonces puede ser posible criar los más pequeños, juveniles de 20 a 30 g (33 a 51 peces/kg) los cuales fueron producidos durante la primavera del mismo año.

El índice de ocupación de tilapias juveniles depende del volumen de la jaula, tamaño de cosecha deseado y nivel de producción, y la longitud del periodo de cultivo. Los pesos de cosecha esperados de las tilapias masculinas se dan en el Cuadro 14.

Cuadro 14. Pesos finales promedio esperados para diferentes periodos de cultivo y pesos iniciales de tilapia (McGinty y Rakocy, s/a).

Longitud de la estación de crecimiento (semanas)	Peso final promedio esperado (g) ^a		
	30 g.	60 g.	100 g.
12	200	270	350
16	250	340	440
20	310	410	520
24	370	480	600
28	420	550	690

^a Los valores son para poblaciones de machos

Índices altos de ocupación pueden usarse en jaulas pequeñas de 1 a 4 m³. Los índices de ocupación óptimos por m³ varían de 600 a 800 peces para producir peces promediando 227 g; de 300 a 400 para producir peces promediando 454 g; y 200 a 250 para producir peces promediando 680 g.

El recambio de agua es menos frecuente en jaulas grandes, y por lo tanto el índice de ocupación debe ser reducido consiguientemente. En jaulas de 100 m³, el índice de ocupación óptimo es aproximadamente de 50 peces por m³ para producir peces de 454 g (McGinty y Rakocy, s/a).

En densidades más bajas de ocupación, la tilapia tendrá excelente conversión alimenticia porque filtran el alimento o plancton que pasa a través de la jaula. La tilapia se debe cosechar antes de que la temperatura del agua alcance los 15.5 °C (Masser, 1997c).

En regiones templadas, son requeridas cosechas completas. Las jaulas de crecimiento final deben ocuparse cuando la temperatura alcance alrededor de 21 °C y cosechar cuando la temperatura descienda por debajo de 21 °C.

En regiones tropicales y subtropicales con una estación de crecimiento de todo el año, un sistema de producción escalonada puede usarse para facilitar la comercialización por cosechas regulares garantizadas, por ejemplo, semanal, bisemanal, o mensual. La estrategia exacta dependerá del número de jaulas disponibles y del potencial de producción total del cuerpo de agua.

Ejemplo: Si 10 jaulas están disponibles para colocarse en un estanque con suficiente potencial de producción y el crecimiento toma 20 semanas, entonces una jaula puede ser ocupada cada 2 semanas. Comenzando en la semana 20, la primer jaula puede ser cosechada y reocupada, seguida por otra jaula cada 2 semanas. Un sistema escalonado requiere una fuente regular de juveniles (McGinty y Rakocy, s/a).

7. Producción total

La producción total en jaulas se incrementa mientras los índices de ocupación se incrementan. Sin embargo, hay una densidad en la cual la tilapia es demasiado y la calidad del agua se deteriora a un punto que causa una declinación en la tasa de crecimiento. En jaulas pequeñas de 1 a 4 m³, generalmente una reducción en el crecimiento comienza en niveles de producción alrededor de 114 kg/m³. En jaulas de 100 m³, la producción se debe limitar a 23 kg/m³. La tilapia continúa creciendo arriba de estos niveles en índices decrecientes gradualmente, pero tienen pobre conversión alimenticia y el riesgo de pérdida debido al agotamiento de oxígeno o de enfermedades es muy grande. Para un volumen de ventas máximas de peces comerciales, es mejor limitar la producción a niveles que no depriman el crecimiento.

El número total de jaulas que pueden desplegarse en un estanque, y por lo tanto la producción total de peces, es principalmente una función del índice de alimentación máximo permisible para todas las jaulas en ese cuerpo de agua. La entrada total de alimento está relacionada al número y tamaño del pez en las jaulas y está limitada por el área superficial del estanque.

Si la aireación de emergencia no está disponible y si todas las jaulas en el estanque son ocupadas inmediatamente, entonces un índice de alimentación máximo diario de 36.6 a 50.5 kg/ha de estanque debe ser seguro por un periodo limitado cercano al final del ciclo de la producción. En este índice es posible producir en total alrededor de 2,240 a 3,360 kg de pescado en jaula por ha. de

estanque cada 20 semanas. Si un sistema de ocupación escalonada y cosecha es usado para la producción continua a lo largo de todo el año, entonces el índice de alimentación máxima diaria no debe exceder de 22 a 33.6 kg/ha por lo que este índice de alimentación será aplicado continuamente.

Mientras la entrada de alimento total se incrementa, la calidad del agua eventualmente comienza a deteriorarse hasta llegar a ser inadecuada para los peces en la jaula. Aunque la supervivencia de la tilapia es mayor de 95%, la tilapia enjaulada es más susceptible que la tilapia no enjaulada al estrés de pobre calidad de agua, particularmente bajas concentraciones de OD. El OD debe ser supervisado regularmente después de la tarde o temprano en la mañana especialmente cuando intentamos maximizar la producción total y el equipo de aireación de emergencia debe estar disponible.

La investigación reciente ha demostrado que la tilapia roja Florida puede ser cultivada en jaula en agua de mar fuerte. Los juveniles deben aclimatarse de agua dulce a agua salada durante varios días y después ser puestos en jaulas. La tilapia en agua de mar es más susceptible al estrés por manejo, y cuidado adicional es necesario para controlar parásitos y enfermedades. Adicionalmente, la bio-suciedad de la malla de la jaula y los daños por corrosión y acción de las olas son preocupaciones en agua de mar. Por lo demás, las técnicas de cultivo son similares las descritas para agua dulce (McGinty y Rakocy, s/a).

8. Rutina de trabajo en estanques (Monteverde, 2003)

- Medición de la concentración de oxígeno disuelto: Se debe realizar a primera hora de la mañana, horario que se considera crítico debido a la actividad respiratoria del estanque durante la noche.
- Control de la densidad de fitoplancton: Se efectúa por medio del disco de Secchi. Este es un disco de 20 cm de diámetro, con dos cuadrantes pintados de negro y dos pintados de blanco. Este disco, (unido a una soga marcada cada 0.10 m) se sumerge en el agua debiendo dejar de verse entre los 25 y 40 cm de profundidad, si el estanque tiene una productividad adecuada.
- Si el disco se deja de ver a una profundidad menor de 25 cm se debe proceder a recambiar el agua del estanque con rapidez.
- Alimentación: La cantidad de alimento a ofrecer en cada uno de los estanques estará de acuerdo a la biomasa bajo cultivo. La ración se ofrecerá a partir de media mañana cuando la temperatura de agua de los estanques sea conveniente (Las enzimas digestivas de estos peces no están activas a temperaturas templadas) y por las tardes, respetando el mismo horario cada día y distribuyéndola en las zonas elegidas como comedero.
- Submuestreos: La toma de submuestras del total de la población existente en cada estanque deberá ser realizada periódicamente con el objeto de determinar el crecimiento de los animales y ajustar la ración alimentaria.

9. Enfermedades y parásitos

Las tilapias se caracterizan por tolerar aguas adversas mejor que la mayoría de las especies acuícolas. La calidad ambiental juega un papel importante en el proceso de las enfermedades; las tilapias han sido clasificadas como "resistentes a las enfermedades". Esto básicamente significa que a la mínima presencia de seres patógenos, ellas son las últimas en enfermar. En otras palabras, las tilapias son más resistente a enfermedades virales, bacterianas y parasitarias que otros peces comúnmente cultivados, especialmente a temperaturas óptimas de crecimiento. La linfocistosis, columnaris, enfermedad de Whirling, y septicemia hemorrágica pueden causar gran mortalidad, pero éstos problemas ocurren más frecuentemente con temperaturas de agua por debajo de los 20 °C (Popma y Masser, 1999; Monteverde, 2003).

La enfermedad de columnaris es causada por una mixobacteria (*Flexibacter columnaris*), en general la tilapia debe estar muy expuesta para contraer esta enfermedad y existe mas riesgo en los sistemas abiertos. Esta enfermedad no presenta síntomas específicos, pero pueden manifestarse con llagas en las aletas o sobre la piel.

Se le puede tratar temporalmente con antibióticos, sulfato de cobre y potasio que pueden ser efectivos (Monteverde, 2003).

Agentes causales de algunas enfermedades:

Protozoarios

- *Ichthyophthirius multifiliis*: causa el "Ich" o Mancha Blanca. Se desarrolla entre 20° a 24 °C (Alamilla, 2002).

Popma y Masser (1999), cita que este protozooario, puede causar serias pérdidas de alevines y juveniles en sistemas intensivos de recirculación.

- *Trichodina* y *Chitodonella*: afectan principalmente la piel y branquias (Alamilla, 2002).

Además, los protozoarios externos *Trichodina* y *Epistylis* también pueden alcanzar densidades epidémicas o estrés en alevines o peces jóvenes en cultivo intensivo (Popma y Masser, 1999).

Esta enfermedad puede tratarse temporalmente con sal y sulfato de cobre (Monteverde, 2003).

- *Ichthyobodo necatrix* (*Costia necatrix*): no es muy frecuente la mortalidad asociada a este parásito (Alamilla, 2002).

Helmintos (gusanos)

Monogénea

- *Cichlidogyrus*: es un género que infesta particularmente a la cíclidos en todo el mundo, aunque sus efectos no son perjudiciales al crecimiento de las tilapias (Alamilla, 2002).

- *Gyrodactylus*: afecta a la tilapia fácilmente cuando ésta se lesiona al ser manipulada indebidamente (Alamilla, 2002).

Cestodos, nematodos

- *Contracaecum*: se llega a enquistar en los músculos y en la cavidad pericardial.

Crustáceos parásitos

Argulus, *Ergasitus* y *Lemea*: los parásitos se incrustan en las capas más profundas de la piel e incluso en la musculatura, causando severas úlceras y lesiones que impiden que el pez pueda ser comercializado (Alamilla, 2002).

Enfermedades micóticas

Saprolegnia infecta lesiones de los peces, y *Branchyomices* cuando la calidad del medio es adversa por alto contenido de materia orgánica, ataca las branquias dañando su sistema respiratorio (Alamilla, 2002).

Monteverde (2003) cita que años recientes la infección bacteriana por *Streptococcus inae* se ha convertido en una de las enfermedades más significantes en el cultivo de tilapia alrededor del mundo y ha causado fuertes pérdidas, particularmente en sistemas cerrados, sin embargo, también se presenta en sistemas recirculantes y sistemas intensivos de fluido.

Los síntomas clínicos son (Monteverde, 2003):

- Letargo.
- Debilidad.
- Pérdida de apetito.
- Descolorimiento en el ano y en la base de las aletas.
- Hemorragia en los ojos, agallas, órganos internos y músculos.
- Sangre en el fluido abdominal.
- hinchazón en el bazo, hígado y riñón.

Este tipo de enfermedad responde a una terapia a base de antibióticos sin embargo toman mucho tiempo para obtener resultados.

Otra enfermedad que ha causado un impacto muy fuerte en la granjas de tilapias es la causada por la bacteria *Aeromonas hydrophyla* . Los síntomas son muy parecidos al *Streptococcus*. Por lo general afecta a los cultivos donde la calidad del agua es bastante pobre y donde exista sobrepoblacion. Esta enfermedad responde temporalmente a la terapia de antibióticos pero es importante señalar que los peces deben ser cambiados de ambiente de manera inmediata (Monteverde, 2003).

9.1. Vacunas

Monteverde (2003) menciona que las vacunas inyectables están en proceso de desarrollo, sin embargo los resultados primarios parecen prometedores. Una de las desventajas de este proceso es su alto costo, y estas deben ser aplicadas manualmente de manera individual. En el caso de no hacerlo su costo sería mucho más alto.

9.2. Controles sanitarios

Es imprescindible la prevención, en cada una de las fases de cultivo, evitando situaciones de estrés a los organismos. En primer lugar, la mejor manera para evitar enfermedades está en comprar peces limpios. Un granjero puede reducir su riesgo de enfermedades mediante un manejo esmerado y al implementar los siguientes métodos (Monteverde, 2003; Wicki y Gromenida, 1998):

- Mantenga alimentación buena de los peces.
- Evite sobre población.
- Mantenga buena higiene personal.
- Lavarse las manos con jabones antibacteriales.
- Desinfectante para los pies.
- Desinfectar los camiones.

- Evitar el ingreso de predadores que pudieran actuar como vector de enfermedades.
- Limitar visitantes.

10. Muestreo, cosecha y tratamiento post-cosecha

Para sacar peces durante el muestreo o cosecha, la jaula es parcialmente levantada fuera del agua y los peces son capturados con una red de inmersión. Esta es una de las mayores ventajas de las jaulas y generalmente la razón por la cual la gente selecciona el cultivo en jaulas en el primer lugar (McGinty y Rakocy, s/a; Masser, 1988c).

Una muestra de peces puede ser entonces ser contada, pesada y regresada a la jaula para su crecimiento adicional, o todos los peces de la jaula pueden cosecharse. Si la uniformidad del tamaño es importante, 4 semanas o más pueden requerirse para la cosecha completa, porque no todos los peces alcanzan un tamaño deseado de cosecha al mismo tiempo (McGinty y Rakocy, s/a).

La cosecha puede comenzar cuando los peces alcanzan el tamaño de mercado. El tamaño de mercado depende de la especie criada y del mercado que ha sido identificado. El tiempo que tardan los peces en alcanzar el tamaño de mercado generalmente depende del tamaño de los pececillos sembrados y de todas las condiciones durante la etapa de crecimiento. La tilapia debe ser cosechada antes de que la temperatura del agua descienda mucho por debajo de 15.5 °C en la disminución. Esto puede ayudar en la planeación de los mercados.

No todos los peces crecen en la misma tasa. Algunos peces que alcanzan el tamaño comercial precozmente pueden ser sacados. Sin embargo, debe advertirse que la reducción en la densidad de población por cosecha parcial, antes que las temperaturas del agua descendan alrededor de 15.5 °C, pueden inducir al estrés e incrementar las peleas entre los peces remanentes debido a que la densidad es más baja. Las peleas pueden ocurrir si los peces en la jaula llegan a ser demasiado grandes. El incremento de peleas puede conducir a lesiones y enfermedades bacterianas relacionadas.

Antes de la cosecha es importante muestrear a los peces por posibles malos sabores. El mal sabor es causado por más de un agente. El mal sabor es más común en los meses calientes pero pueden ocurrir en cualquier época del año. Si los peces saben a lodo, moho, aceite, o tienen un sabor extraño, deberá esperar y cosechar éstos en una fecha más tarde. El mal sabor desaparecerá con el tiempo (usualmente alrededor de las dos semanas) y buena calidad de agua. Sus esfuerzos en la comercialización se verán mermados si usted vende peces de mal sabor.

Suspender la alimentación 2 días antes de la cosecha. Esto da a los peces el tiempo para vaciar su sistema digestivo y reducir los problemas en la captura y procesamiento. Registrar en la cosecha el número de peces cosechados y su peso (registrar las longitudes podrían también ser útiles). Estos registros son necesarios para analizar el éxito de su empresa (Masser, 1988c).

El CEA (2001) menciona que bajo condiciones ideales, la tilapia llega a desarrollarse hasta los 850 g en un año; algunos productores consideran ideal el peso de 500 g en un año.

En la mayoría de los países el peso promedio en que la tilapia es cosechada para ser comercializada es de 550 g.

(Monteverde, 2003) menciona que el tipo de cosecha dependerá fundamentalmente del mercado al que se pretenda acceder, la frecuencia y el volumen de entrega. De acuerdo a estas premisas, las cosechas se pueden regular parcialmente en zonas donde las temperaturas lo permitan; logrando así, una entrada constante a mercado con producto fresco.

El peso individual a la cosecha estará entre los 500 y 600 g, tamaño óptimo para la entrega del producto entero, eviscerado o fileteado. La pérdida en peso para el caso de eviscerado con cabeza es del 12 %, mientras que para el filete pelado se encuentra entre el 60 y el 66 % (Popma y Lovshin 1994).

El producto a la cosecha deberá ser inmediatamente colocado en agua con hielo para proceder a su procesado de tal forma que sus características organolépticas se mantengan en forma óptima.

Hielo: Se debe considerar 1 a 1.5 kg de hielo por cada kg de producto cosechado (Monteverde, 2003).

11. Comercialización

El sistema de entrega del producto puede variar desde la venta a pie de estanque en el establecimiento, hasta la presentación del producto empacado en pescaderías o supermercados (Monteverde, 2003).

En México, existen tres puntos en la trayectoria del producto en que éste es objeto de comercio: en el mercado de producción, en el mercado de mayoreo y semi-mayoreo, y el mercado detallista. Este último pone los productos al alcance del consumidor o comprador.

La compra venta de la producción de tilapia tiene lugar directamente entre los productores o pescadores y los introductores mayoristas, quienes acuden a los sitios de desembarque o a pie de granja y compran a los productores a precios muy bajos, ya que, en la mayoría de los casos, éstos no tienen alternativa de venta, principalmente por la falta de agresividad del pescador o por la falta de proceso post-cosecha que otorgue mayor vida o mayor precio al producto.

La tilapia es un producto con un amplio mercado, tanto en el interior del país como en el extranjero. La demanda comprende varias presentaciones, desde el pescado fresco entero, hasta el congelado, eviscerado, fileteado, ahumado y otras formas más elaboradas (Alamilla, 2002).

A manera de ayudar al productor a obtener los mejores beneficios de su producto, idealmente debe identificar el mercado antes de sembrar, sin embargo planea siempre la comercialización hasta antes de que se cosecha. No tener un plan de comercialización causará frustración y reducirá su oportunidad de tener una empresa de provecho. La mayoría de los pescados pueden ser vendidos vivos o procesados.

Varios mercados posibles existen para los peces. Cuáles mercados son mejores para poder depender del número o volumen de peces que usted tiene que vender, su capacidad de transportar los peces, su capacidad para procesar los peces, y su proximidad a mercados conocidos. Los posibles mercados incluyen (Masser, 1988c):

- Venderlos vivos directamente a los consumidores.
- Venderlos directamente a los consumidores de pescados procesados.
- Venderlos vivos con cuotas de pesca o redadas al pie del estanque.
- Ventas a plantas de procesamiento local.
- Ventas a restaurantes locales o almacenes que venden alimentos comestibles o ultramarinos.

Los productores pequeños, con solamente unos cuantos cientos de peces a vender encontrarán probablemente su máximo beneficio en las ventas directas al consumidor. Las ventas de pescados vivos o procesados reducen los costos del intermediario y traen todo el beneficio de regreso al piscicultor.

Ventas de pescados vivos a la orilla del estanque o comercialización en el lugar de las granjas también eliminan la necesidad de procesar los pescados. Los mercados de ventas en vivo pueden tomar un tiempo para desarrollarse pero son mercados excepcionalmente provechosos (Masser, 1988c).

12. Uso de registros

Cualquier negocio debe llevar buenos registros para ser rentable y exitoso. En la piscicultura no es diferente. Mantener un buen registro es esencial para entender los éxitos, fallas y rentabilidad de la empresa piscícola. Los registros que se debe llevar incluyen (Masser, 1988c):

- Costo de los materiales de la jaula y otros equipos.
- Costo de los pececillos, peso y longitud.
- Costo de artículos diversos (por ejemplo, productos químicos, etc.).
- Costo del alimento y total de kilogramos comprados.
- Fechas de siembra y cosecha.
- Número y peso total de peces cosechados.
- Ingresos por la venta de los peces.
- Observaciones diarias del estanque y los peces.

Las observaciones diarias deben incluir la cantidad de alimento dado de comer, condiciones atmosféricas, apariencia y comportamiento de los peces (Cuadro 15). Esta información será de valor incalculable en el entendimiento y predicción de problemas actuales y futuros (Masser, 1988c).

13. Costos

El rango de variabilidad a través de las diferentes regiones en los precios de los pececillos, precios del alimento, precios de los materiales y equipo, longitud de la etapa de crecimiento, y condiciones atmosféricas generales hacen muy difícil establecer buenos presupuestos regionales.

El Cuadro 16 muestra algunos costos liberados de materiales y equipos para jaula que deben ser estimados. Los costos de la jaula y equipo se deprecian generalmente sobre 5 años o más (Masser, 1988c).

Cuadro 16. Costos fijos estimados de materiales y equipo para jaula (Masser, 1988c).

Artículo	Costo/jaula
Jaula flotante	\$5,500.00 ¹
Red de inmersión	\$680.00
Básculas ²	\$5,100.00
Misceláneo ³	\$1,800.00
Total/jaula	\$1,3080.00

1 El costo está dado para una jaula cuadrada de 6 m³ (2m x 2m x 2m) con marco de tubería de acero, red alquitranada o red de plástico y con tambos o boyas. Por otro lado, si se compran los materiales para construir la jaula, el costo por jaula se calcula tomando en cuenta la forma y tamaño de la jaula, comprando la red (por ejemplo, un rollo entero de red) y aros (jaula cilíndrica) únicamente.

2 Usada para pesar los peces y el alimento. El costo está dado considerando una báscula electrónica con capacidad para 30 kg.

3 Incluye productos químicos, cubetas, ropa, etc. Los costos por aireadores no se incluyen ya que estos varían dependiendo del tamaño del estanque y la densidad de población.

Por otro lado, los costos de producción aproximados se calculan en función del precio del pececillo y el precio del alimento, basados en un índice de conversión alimenticia de 1.8 (se llevaría 0.817 kilogramos de alimento para producir 0.454 kilogramos de peces) (Masser, 1988c).

14. Situación económica en México

La tilapia es una especie de gran oferta y demanda en el país, su consumo es el más alto entre las especies del agua dulce. El análisis de mercado está basado en la tilapia común (gris y café oscuro), que es la que se comercializa en mayores volúmenes en el país, sin embargo, se considera que para el mercado nacional, la tilapia roja podrá atender el nicho más amplio de la sociedad (clase media), y por lo tanto su comportamiento irá acorde al presentado por la tilapia común (Alamilla, 2002).

15. Situación económica internacional

El cultivo de las variedades rojas de tilapia, tendrá una vocación para la exportación, ya que el mercado internacional, especialmente el de los Estados Unidos, presenta una demanda creciente de éste producto, principalmente en la presentación de pescado entero eviscerado. Sin embargo, se destaca que éste mercado es en extremo exigente en lo relativo a calidad tamaño y estado sanitario del producto. Derivado de lo anterior deberán incrementarse las medidas sanitarias, mejorarse y sostener las condiciones de calidad del producto (Alamilla, 2002).

16. Tendencias futuras en América

Según Fitzsimmons (s/a) las tendencias futuras de la producción de tilapia en las Américas incluyen:

- Se favorecerá la intensificación en cada país prácticamente.
- **La producción será de 75% *O. niloticus*, 20% líneas rojas, *O. aureus* y *O. mossambicus* principalmente para hibridación.**
- La producción será de 50% en estanques intensivos, 25% en jaulas y 10% en sistemas intensivos de recirculación.
- El procesamiento y "valor agregado" será intensificado en los países productores.
- La producción en las Américas alcanzará las 500,000 toneladas métricas para el 2010 y 1,000,000 de toneladas métricas para el 2020.
- El policultivo con camarones llegará a ser común en la mayoría de las áreas camaroneras.

En US la producción se incrementará lentamente, intensificando sus métodos actuales de producción.

VI. CONCLUSIONES

La tilapia es un pez utilizado para la acuicultura de autoconsumo o comercial en aguas cálidas dado su amplio rango de adaptación a diferentes condiciones ambientales, mismas que le confieren bondades y facilidades de cultivo bajo diferentes sistemas de producción.

El cultivo intensivo de tilapia en jaulas flotantes es una alternativa factible ya que se pueden cultivar en los diversos cuerpos existentes de agua lo que reduce los costos de inversión en infraestructura.

Es un producto de amplio mercado tanto a nivel nacional como internacional, lo que plantea un buen escenario para desarrollar el sistema de cultivo en jaulas flotantes.

VII. RECOMENDACIONES BÁSICAS PARA PRODUCTORES

- Cuando use alimento comercial, asegúrese de adquirir un producto certificado que contenga información nutricional confiable que indique a cualquier comprador del alimento lo que puede esperar como resultado de suministrar dicho alimento.
- El alimento debe tener un mínimo de 32 a 36% de proteína para tilapias con un peso de 1 a 25 g, y de 28 a 32% para peces de mayor peso, de 3 a 7 % de grasas y, 4 a 7% de fibra con aditivo de minerales y vitaminas.
- Alimentar por lo menos 6 días a la semana y a la misma hora, para lo cual debe apoyarse en las tablas de alimentación para determinar la frecuencia de alimentación/día de acuerdo peso de los peces.
- No sobrealimente. Para ello, también recurra a las tablas referenciales de alimentación para ajustar la cantidad de alimento a ofrecer de acuerdo al peso promedio de los peces.
- Apóyese en asesoría técnica continua o cada vez que se considere necesario.

VIII. LITERATURA CITADA

- Alamilla T., H. 2002. *Cultivo de tilapia*. México

<http://www.zoetecnocampo.com/Documentos/tilapia/tilapia.htm>

- Arredondo F., J. L. 1975. *Algunos aspectos sobre la taxonomía de la tilapia*. *Piscis* 1(2):24-28.

- Cabañas, L. P. 1995. *Diseño y operación de un sistema intensivo de cultivo de crías de tilapia (Oreochromis spp)*. *Tesis de Licenciatura*. UNAM. México, D. F. 66 p.

- Castillo, L.F. 2001. *Expectativas en la comercialización de tilapia roja en el año 2001*. *Panorama Acuícola*. Vol. 6 No. 6: 48-50.

- Castillo, L. F. 2003. *Tilapia roja 2003. Una evolución de 22 años, de la incertidumbre al éxito*. Cali, Colombia.

<http://ag.arizona.edu/azaqua/ista/reports/Castillo.pdf>

- CENDEPESCA (Centro de Desarrollo Pesquero). 2001. *Guía técnica para el cultivo de tilapia en estanques*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. El Salvador.

<http://www.agronegocios.gob.sv/comoproducir/guias/GUIA%20TECNICA%20TILAPIA.pdf>

- CEA (Centro de Estudios Agropecuarios). 2001. *Piscicultura*. Grupo Editorial Iberoamérica. México, D.F. pp. 10, 36-37, 91.

- Chang, S. L., C. M. Huang and I.C. Liao. 1988. Effects of various feeds on seed production by Taiwanese red tilapia. *In: Proceedings of the 2nd International Symposium on Tilapia in Aquaculture*. Pullin, R.S.V., Rhukaswan, T., Tonguthai, K. and Maclean, J.L. (eds.). ICLARM, Bangkok.

- Colt, J. 1991. *Aquacultural Production Systems*. *J. Anim. Sci.* 69:4183-4192.

- Coreas, Pedro. 2001. *Cultivo de peces en jaulas flotantes*. Depto. de comunicaciones. CENDEPESCA. Oficina Zonal de Ilopango, Unidad de Acuicultura, Lago de Ilopango. San Salvador.
<http://www.mag.gob.sv/html/Publicaciones/InformaciondeInteres/jaulasflotante.pdf>

- Delgadillo, S. M. 1998. *Sincronización de la producción de Oreochromis mossambicus, su reversión sexual y alevinaje a escala comercial*. Taller: *La planta experimental de producción acuícola 5 años después de su creación*. UAM-I. p.p. 67-75.

- Dunham, R. A., K. Majumdar, E. Hallerman, D. Bartley, G. Mair, G. Hulata, Z. Liu, N. Pongthana, J. Bakos, D. Penman, M. Grupta, P. Rothlisberg and G. Hoerstgen-Schwark. 2001. *Review of the Status of Aquaculture Genetics*. In: *Aquaculture in The Third Millennium. Technical Proceedings of the Conference on Aquaculture in the Third Millennium*. R.P. Subasinghe, P. Bueno, M.J. Phillips, C. Hough, S.E. McGladdery and J.R. Arthur. (eds.). Bangkok, Thailand, 20-25 February 2000. NACA, Bangkok and FAO, Rome. pp. 137-166.

- El Sayed, A. F. M. and S. I. Teshima. 1991. Tilapia nutrition in aquaculture. *Reviews in aquatic sciences*. 5 (3-4):247-265.

- Fitzsimmons, K. s/a. *Tilapia Production in the USA and Latin America*. American Tilapia Association.
<http://www.ag.arizona.edu/azaqua/ista/Malaysia/Tilapia%20Production%20in%20the%20USA%20and%20Latin%20America.doc>

- Fitzsimmons, K. 1997. Introduction to tilapia nutrition. *In: Tilapia Aquaculture: Proceedings of the Fourth International Symposium on Tilapia in Aquaculture*. Fitzsimmons, K. (ed.). Northeast Regional Agricultural Engineering Service Publication, No. NRAES - 106. Ithaca, N. Y. p.p. 9-12.
<http://ag.arizona.edu/azaqua/ista/reports/nutrition.doc>

- **Fitzsimmons, K. 2002. ¿What is the nutritional value of tilapia? American Tilapia Association.**
<http://ag.arizona.edu/azaqua/ista/nutrition.htm>

- González M., M. 2002. *Comportamiento de Tilapia del Nilo (Oreochromis niloticus variedad Stirling) en la reversión sexual, aplicando diferentes tasas y frecuencias alimenticias. Tesis de Licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. pp. 1.*

- Jackson, L. 2002. Alternative Use of Produced Water in Aquaculture and Hydroponic Systems at Naval Petroleum Reserve No. 3.
<http://www.gwpc.org/Meetings/PW2002/Power-Points/Lorri-Jackson.pdf>

- Jauncey, K. and B. Ross. 1982. A Guide to Tilapia Feeds and Feeding. University of Sterling, Scotland.

- Krom, M. D., A. Neori and J. Van Rign. 1989. Importance of water flow rate in controlling water quality processes in marine and freshwater fish ponds. *Bamidgeh* 41:23.

- Lovshin, L. L. 1997. Tilapia farming: A Growing Worldwide Aquaculture Industry. *In: Simpósio sobre Manejo e Nutrição de Peixes. Anais. Campinas: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal. pp. 137-164.*

- Masser, M. P. 1988a. *¿What is Cage Culture? Southern Regional Aquaculture Center. SRAC Publication No. 160. USA.*
<http://srac.tamu.edu/160fs.pdf>

- _____ 1988b. *Cage Culture. Cage Culture Problems. Southern Regional Aquaculture Center. SRAC Publication No. 165. USA.*
<http://srac.tamu.edu/165fs.pdf>

- _____ 1988c. *Cage Culture. Harvesting and Economics. Southern Regional Aquaculture Center. SRAC Publication No. 166. USA.*
<http://srac.tamu.edu/166fs.pdf>
- _____ 1997a. *Cage Culture. Site Selection and Water Quality. Southern Regional Aquaculture Center. SRAC Publication No. 161. USA.*
<http://srac.tamu.edu/161fs.pdf>
- _____ 1997b. *Cage Culture. Cage Construction, Placement and Aeration. Southern Regional Aquaculture Center. SRAC Publication No. 162. USA.*
<http://srac.tamu.edu/162fs.pdf>
- _____ 1997c. *Cage Culture. Species Suitables for Cage Culture. Southern Regional Aquaculture Center. SRAC Publication No. 163. USA.*
<http://srac.tamu.edu/163fs.pdf>
- _____ 1997d. *Cage Culture. Handling and Feeding Caged Fish. Southern Regional Aquaculture Center. SRAC Publication No. 164. USA.*
<http://srac.tamu.edu/164fs.pdf>
- McGinty, A. S. and J. E. Rakocy. *s/a. Cage Culture of Tilapia. Southern Regional Aquaculture Center. SRAC Publication No. 281. USA.*
<http://srac.tamu.edu/281fs.pdf>
- MEROPS –the Peptidase Database. 2003. *Oreochromis niloticus* (Nile tilapia)
<http://merops.sanger.ac.uk/speccards/peptidase/SP002816.htm>

- Monteverde R., P. 2003. Perfil de producto. Tilapia. Proyecto CORPEI – CBI. Expansión de la oferta exportable del Ecuador.
http://www.ecuadorexporta.org/productos_down/perfil_de_tilapia_en_ecuador342.pdf

- Pérez A., H. 2002. *Recintos acuáticos flotantes. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.*

http://www.red-arpe.cl/document/jaulas_flotantes.pdf

- Phelps, R. P. and T. J. Popma. 2000. *Sex Reversal of Tilapia. In: Tilapia Aquaculture in the Americas. B. A. Costa-Pierce and J.E. Rakocy, (eds.). Vol. 2. The World Aquaculture Society. Baton Rouge, Louisiana, United States. pp. 34-59*

- Popma, T. J. y L. Lovshin. 1994. *Worldwide prospects for commercial production of tilapia. Auburn, Alabama, USA.*

- Popma, T. and M. Masser. 1999. *Tilapia. Life History and Biology. Southern Regional Aquaculture Center. SRAC Publication No. 283. USA.*

<http://srac.tamu.edu/283fs.pdf>

- Purina-México. 2003.

<http://www.agribands.com.mx/Screens/Tilapia.aspx>

- Rivelli, S. 2001. Ensayo de cultivo de tilapia en jaulas. *Revista AquaTIC*, nº 15.
<http://www.revistaaquatic.com/aquatic/art.asp?t=&c=134>

- Roem, A. J., R. R. Stickney, and C. C. Kohler. 1990. Vitamin requirements of blue tilapias in a recirculating water system. *Progressive Fish Culturist* 52:15-

- Santiago, C. B., M. B. Aldaba, E. F. Aubuan, and M. A. Laron. 1985. The effects of artificial diets on fry production and growth of *Oreochromis niloticus* breeders. *Aquaculture*. 47:193.
- Shiau, S. Y. 1997. Utilization of carbohydrates in warmwater fish - with particular reference to tilapia, *Oreochromis niloticus* x *O. aureus*. *Aquaculture*. 151:79-96.
- Stickney, R. R. 1996. Tilapia update, 1995. *World Aquaculture* 27(1):45-50.
- Suresh, A. V. 2000. Ultimos avances en el manejo de reproductores de tilapia. *Revista AquaTIC*, nº 10.
<http://www.revistaaquatic.com/aquatic/art.asp?t=&c=87>
- Trewavas, E. 1983. Tilapine Fishes of the Genera *Sarotherodon*, *Oreochromis* and *Danakilia*. British Museum (Natural History), London.
- *U. S. Geological Survey*

<http://nas.er.usgs.gov/fishes/accounts/cichlida.html>
- Watanabe, T., V. Kiron and S. Satoh. 1997. Trace mineral in fish nutrition. *Aquaculture* 151:185-207.
- Wicki, G. A y Gromenida N. 1998. Estudio de desarrollo y producción de Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Revista AquaTIC*, nº 2.
<http://www.revistaaquatic.com/aquatic/art.asp?t=&c=26>