

CULTIVO DE TILAPIAS EN SISTEMA DE “BIOFLOCOS”, SIN RENOVACION DE AGUA por F. Kubitz, Panorama da Acuicultura, mayo-junio, 2011 (traducido y adaptado por Dir. Acuicultura).

Los “bioflocos”, están constituidos por partículas orgánicas en suspensión en el agua o adheridas a las paredes de los estanques de producción acuícola. Dichas partículas engloban el material orgánico particulado sobre el que se desarrollan microalgas, organismos microscópicos diversos (protozoarios, rotíferos, hongos, oligoquetos), junto a otros microorganismos y en especial, una gran diversidad de bacterias heterotróficas.

El cultivo de peces en sistemas de bioflocos es una derivación de los sistemas de recirculación de agua, en los que no se utilizan ni filtros mecánicos, ni biológicos convencionales y tampoco recirculación. Los residuos orgánicos generados en la producción (heces, mucus de los peces y sobras de las raciones) son desintegrados y mantenidos en suspensión dentro de los propios tanques, sirviendo como sustrato para el desarrollo de las bacterias heterotróficas. Estas bacterias se encargan de la depuración de la calidad del agua, utilizando compuestos nitrogenados potencialmente tóxicos para los peces (como amoníaco, nitrito o nitrato) para la síntesis de proteínas y de la biomasa microbiana, que enriquecen los bioflocos. Para que esto ocurra en forma eficiente, es necesario mantener adecuados niveles de oxígeno, pH y alcalinidad en los tanques de cultivo. Otro punto importante es asegurar una relación C: N próxima a 20:1 en los residuos orgánicos presentes en el agua, lo que se realiza a través de la adición de una fuente de carbono y/o de la alimentación de los peces con ración de bajo contenido de proteína.

La relación C: N de los residuos dependerá mucho de los niveles de proteína de la ración que sea utilizada. Cuanto mayor sea el porcentaje de proteína, mayor será el tenor de nitrógeno en la ración, resultando en residuos con baja relación C: N. Una ración con 16 % de proteína, posee una relación C:N próxima a 20:1, ideal para la formación de bioflocos. Sin embargo, las raciones empleadas en los cultivos de peces generalmente contienen niveles de proteína por encima de 28%, o sea una relación C:N menor de 11:1. Así, el Carbono termina siendo un elemento limitante para el desarrollo de la biomasa bacteriana y la formación de los bioflocos. Por ello, el productor deberá realizar aplicaciones periódicas de una fuente rica en carbono (azúcar, melaza, harina de trigo, de mandioca, cáscara de arroz, porotos, residuos de pastos, entre otras posibilidades). Estas aplicaciones generalmente son definidas con base en la concentración de nitrógeno en el agua de los tanques o estanques .

Producción de juveniles de tilapia de 25 g bajo condiciones experimentales:

Esta primera experiencia evaluó la producción de juveniles de tilapia y la evolución de la calidad de agua en un sistema experimental con bioflocos ***bajo condiciones de “cero”renovación de agua.*** El ensayo fue montado dentro de un “tendalero agrícola” de la empresa Aqua Genetica, utilizando ocho tanques circulares en fibra de vidrio como tanques experimentales. En cada tanque fueron aplicados 2 kilos de sal marina, elevando la salinidad hasta 3,33 g/L o 33,3 ppt. El objetivo de la sal fue el de prevenir una infección fúngica en los peces y evitar problemas con la toxicidad del nitrito. En cada tanque se instaló y ajustó un mecanismo de “air lift” fabricado con un tubo de PVC y codo de 50 mm, fijado a la pared de la caja. Este mecanismo proveía tanto a la aireación como al movimiento circular del agua en los tanques, conduciendo los desechos de los residuos orgánicos hacia el centro del mismo.

En el centro de cada tanque, bien cerca del fondo, se fijó un difusor de aire cilíndrico (6,5 cm de diámetro y 8 cm de ancho con entrada de aire de 0,5 de pulgada), que tenía como función, tanto la aireación del agua, como la de mantener en suspensión los residuos orgánicos que llegaban al centro del tanque. El mecanismo de "air lift" y los difusores recibían el aire proveniente de un compresor radial (soplador de aire), de 0,75 CV. En cada una de los tanques fueron sembrados 260 alevinos de tilapia, con peso promedio próximo a 6,0 a 6,5 g. Se compararon dos tipos de ración: una con 40% de proteína y otra con 36 % de proteína en pellets de alrededor de 2 mm de diámetro (cuatro tanques para cada tipo de ración). Los peces fueron alimentados dos veces al día (9 y 16 horas) siendo aplicado a cada tanque y en cada ofrecimiento, la misma cantidad en peso de ración.

La primera semana sirvió para que los peces se adaptaran y también para dar inicio a la formación de una flora microbiana en las aguas de los tanques. Al final de la primera semana, los peces fueron capturados, contados y pesados en grupo. El peso promedio inicial fue de alrededor de 7,3 g. A partir de este punto, el ensayo se extendió por más de 42 días (6 semanas), con una alimentación para los peces de alrededor del 3% de PV/día, dividido en dos ofrecimientos diarios, siempre ofreciendo cantidades iguales de ración en todos los tanques. No se realizó renovación de agua alguna, solo la reposición semanal del volumen de agua perdido por evaporación.

Monitoreo de la calidad del agua: diariamente, fueron medidos los niveles de oxígeno y temperatura del agua, a las 7 y 17 horas. Dos veces por semana se analizaron los valores del pH. Una vez por semana se realizaron los análisis sobre alcalinidad total, amoníaco total y nitrito.

Las correcciones del pH del agua: el pH del agua, para mantenerlo a los límites adecuados (próximos a 7,0-7,5) se hizo a través de aplicaciones de cal hidratada en los tanques en que el pH llegaba a 6,5 o menos (en dosis equivalentes a 10 g por cada aplicación en cada uno de los tanques).

Aplicaciones de una fuente de Carbono: como fuente de Carbono, se utilizó melaza en polvo. Como las raciones de 40 a 36 % de proteína poseen una relación C:N próximo a 8:1, la cantidad de melaza mezclada se estimó de forma a que proveyera una relación de 12:1 de Carbono: Nitrógeno, para alcanzar una relación próxima a los 20:1; considerada adecuada para el desarrollo de las bacterias heterotróficas. Así, con base en los valores medios semanales de amoníaco total (78% de N) y de nitrito (30 % de N) se calculó la cantidad de material de carbonado (melaza en polvo) a aplicarse en el agua. Por ejemplo, si el valor promedio del amoníaco total en los 8 tanques era de 20 mg/L ($20 \times 78 \% = 15,6 \text{ mg}_N/\text{L}$) y el de nitrito 8 mg ($8 \times 30\% = 2,4 \text{ mg}_N/\text{L}$), la suma de estos valores equivalía al valor medio estimado de N en el agua (18 mg_N/L). Este valor era multiplicado por los 600 litros de agua de cada tanque ($18 \text{ mg}_N/\text{L} \times 600 \text{ l} = 10.800 \text{ mg}$ 10,8 g de N por tanque). Así, la dosis de melaza aplicada en cada tanque (iguales para todos los tanques) era calculada, redondeando, como $10,8 \times 12 = 129,6 \text{ g}$ o 130 g.

La respuesta productiva: los resultados de las respuestas productivas de los juveniles se resumen en la Tabla 1. Después de 42 días de ensayo, los alevinos obtuvieron 22 a 25 g, con ganancias de peso individual de 0,35 y 0,42 g/día. La biomasa media final, se aproximó a los 10 kg/m³, sin renovación de agua. La ganancia en peso individual y el incremento en biomasa podrían haber sido mayores (resultado de las bajas temperaturas entre 18 y 26 °C en el período comprendido entre 21/04 y 15/06 de 2010). Aún así, los índices de conversión alimentaria fueron satisfactorios, de entre 1,10 y 1,25. La ración con 36 % de proteína permitió reducir en 30% el costo de la ración por kilo para los juveniles, con un desempeño en crecimiento y en conversión alimentaria ligeramente superior al registrado con la ración de 40% de proteína. Esto indica que puede haber posibilidad de una reducción adicional de los niveles de proteína de las raciones, cultivando juveniles de tilapia en sistemas con bioflocos; contribuyendo más aún a la reducción de los costos de la ración por kilo

producido de pescado. Esto es una posibilidad que deberá proseguir evaluándose en ensayos futuros.

La sobrevivencia media fue superior al 99% para ambas raciones empleadas. No se encontraron parásitos en los raspados de mucus de branquias y de superficie del cuerpo de los juveniles que fueran aleatoriamente muestreados durante el ensayo. Es bien probable que la gran diversidad de organismos presentes en el agua (y en los bioflocos) pueda haber ejercido competencia con los potenciales organismos patógenos, reduciendo su proliferación en los tanques experimentales, así como en el tracto digestivo de los peces. Esta es una de las características informadas por otros investigadores que vienen trabajando con o sin sistemas de bioflocos en peces y camarones.

Calidad del agua durante el ensayo : la concentración media del OD se mantuvo por encima de los 6 mg/L durante el período, gracias a la aireación por aire y difusión continua (compresor radial y difusores air lift). Durante las eventuales disminuciones de energía, se accionó un generador para mantener en funcionamiento el soplador. Los niveles de gas carbónico se elevaron desde 2 mg/L hasta cerca de 16 mg/L a partir del inicio y hasta el final del ensayo, en virtud del aumento de biomasa microbiana y de los peces (mayor respiración).

Aspecto del agua y evolución de los demás parámetros de calidad del agua:

Del 1° al 7° día: en los dos primeros días el agua de los tanques aún se encontraba bien transparente, aunque comenzaba a presentar un aspecto levemente opaco/aceitoso y un tono ligeramente verdoso, indicando que las microalgas ya comenzaban a beneficiarse de los nutrientes aportados a través de las raciones. Los valores de pH y alcalinidad iniciales de 7,5 y 30 mg de carbonato de Calcio/L, se elevaron hasta 8,0 y 102 mg/L, respectivamente en el 7° día.

Del 7° al 14° día: hacia el 7° día, el agua ya presentaba un color verdoso indicando la presencia de fitoplancton (microalgas). La densidad del fitoplancton aumentó gradualmente con el pasar de los días, hasta el día 14°. En las primeras dos semanas el productor podrá notar una elevación de los valores de pH del agua (debido a la fotosíntesis) en sistemas expuestos a la luz. También notará un aumento en la concentración de amoníaco total del agua, visto que la población de bacterias aún no está bien establecida. La concentración media de amoníaco tóxico llegó a 1,9 mg/L a los 14 días, con valores próximos a 2,5 mg/L registrados en algunos tanques con carácter transitorio, resultando en una reducción temporaria del consumo de alimento, sin mortalidad que pudiese ser atribuida a ello.

Del 14° al 28° día: raspando las paredes internas de los tanques con los dedos de una mano, ya podía sentirse la presencia de un film bacteriano cerca del día 14. A partir del día 21 ya fue posible notar un color marrón en el agua de la mayoría de los tanques, aún ligeramente verdosa debido al fitoplancton. Este tono marrón es un indicativo de la presencia de una masa bacteriana en suspensión en el agua. Los valores de alcalinidad total y pH declinaron a partir del día 14° hasta el final de la experiencia, en virtud de la generación de gas carbónico y del consumo de alcalinidad en los procesos microbianos de descomposición de la materia orgánica y la nitrificación. Los valores de pH fueron mantenidos por encima de 6,5 a través de la adición regular de cal hidratada. Esto también contribuyó a mantener los valores de alcalinidad total, próximos a los 30 mg/L. Aún así, los valores medios de pH y de alcalinidad total, quedaron fijos en 6,2 y 18 mg/L de carbonato de Calcio, comparados a los valores de 7,5 y 30 mg/L de carbonato respectivamente, para estos parámetros. Entre el día 14 y el 21, los niveles de amoníaco total declinaron rápidamente, mientras que los correspondientes a los nitritos se elevaron, indicando que las bacterias comenzaban a establecerse y trabajar en la forma deseada para el sistema, estimuladas por la presencia de nitrógeno amoniacal y el carbono. Los tanques comenzaron a presentar una formación de espuma en la superficie del agua hacia el día 21 y el 28. Muchas veces la espuma mostraba ser bastante

espesa, llegando a cubrir casi la totalidad de la superficie de cada tanque. En las paredes laterales de los tanques comenzó a aparecer una borra orgánica espesa y de coloración marrón, con un suave olor (sin llegar a ser de putrefacción) y este material contenía detritos orgánicos y una gran cantidad de microorganismos adheridos (bacterias, microalgas, protozoarios, poríferos y algunos oligoquetos que fueron viables bajo microscopio).

Del día 28 al 47: las aplicaciones de melaza en polvo se iniciaron en el 7° día y fueron mayores en las primeras 4 semanas, en función de los niveles más elevados de amoníaco y nitritos en el agua. Posteriormente al día 35, las dosis de melaza aplicadas fueron cada vez más reducidas, con los niveles de amoníaco y nitrito, alcanzando valores más bajos y estables. La cantidad de espuma en la superficie de los tanques fue disminuyendo con el tiempo y, hacia el día 35 o 40, la mayoría de los tanques ya no presentaban gran cantidad de espuma. En ese momento, el agua presentaba color marrón más acentuado, similar a un té oscuro. La cantidad de material particulado en suspensión en el agua aumentó considerablemente, llegando a representar un volumen de sólidos decantados por cerca de un 8-15% del volumen total del agua. A partir del día 28, los niveles de amoníaco total ya habían declinado hasta cerca de un tercio del pico observado a los 14 días, y la concentración de nitrito alcanzó el valor medio máximo de 43 mg/L. Diversos tanques alcanzaron a presentar concentración de nitrito entre 60 y 120 mg/L. En un tanque se registró el valor máximo de 480 mg/L, sin señales de estrés en los peces. El mantenimiento del agua salinizada al 3,3 ppt, ayudó seguramente a prevenir la intoxicación por nitrito, manteniendo elevados niveles de cloruro en el agua (estimados en 2.000 mg de cloruro por L) lo que equivalió (en este pico máximo de nitrito), de 480 mg/L a una relación de poco más de 4 Cl para 1 NO₂ (el mínimo recomendado es de 6:1) Aún así, no se produjo mortalidad que pudiese sugerir que se debiera a la toxicidad de los nitritos.

Luego de la cosecha de los peces, el agua de los tanques, que ya contaba con una microflora microbiana establecida y estable, puede reaprovecharse en los ciclos siguientes de producción, lo que resulta en tres de las principales ventajas atribuidas al sistema de bioflocos: a) conservación del agua; b) efluente cero y c) disponibilidad de biomasa microbiana (nutrientes) para los peces, posibilitando la reducción del uso de ración y de los tenores de proteína en las mismas.

Ensayo en escala de producción comercial de tilapias de 250 g en sistema de bioflocos:

Este ensayo fue realizado en las instalaciones de la empresa TOF FISH, entre el período del 9 de septiembre y el 18 de noviembre del 2010 en un tanque de 1.200 m³ de volumen de agua, con paredes revestidas en ladrillos y provisto de aireación continua. Tres aireadores de paso de 1 CV y 6 propulsores de aire de 1 CV, en un total de 9 CV de aireación, fueron utilizados para el mantenimiento de los niveles de OD en el agua y promover, de la mejor forma posible, la circulación de ésta y la suspensión de los residuos sólidos. La salinidad del agua a lo largo de la experiencia varió entre 13 y 18 ppt. El oxígeno disuelto (OD) y la temperatura del agua fueron monitoreados diariamente y los demás parámetros de calidad del agua (alcalinidad total, pH, amoníaco, nitrito, gas carbónico, transparencia y salinidad) se muestrearon una a dos veces por semana.

Cerca de 62.360 juveniles de tilapia, con peso medio de 32 g, fueron transferidos de un tanque de pre-engorde a un tanque experimental. Durante el ensayo, los peces fueron alimentados con ración extrusada de 32% de proteína y pellets de 3-4 mm. La cantidad de ración ofertada diariamente fue limitada al 70% del valor normalmente empleado en piscicultura para dicha etapa de desarrollo. Esto correspondió a cerca del 2,0 a 2,5% del peso vivo/día, para la franja de temperatura que varió entre 24 y 27°C durante todo el ensayo.

Un residuo de una industria de fideos fue utilizado como fuente adicional de carbono para estimular el desarrollo de las bacterias y la formación de los bioflocos. El residuo de fideos fue aplicado

semanalmente al tanque a una tasa de 6 g por cada gramo de nitrógeno presente en el agua, de tal forma de mantener una relación C:N próxima a 16:1 (visto que la ración con 32% de proteína posee relación C:N próxima de 10:1). El ensayo se extendió por un período de 70 días, hasta que los peces alcanzaron un peso promedio, próximo a los 250 g. Los análisis de calidad de agua, biometrías, ajustes de la alimentación, aplicación de material rico en carbono y otras actividades fueron ejecutados por el equipo de TOP FISH bajo coordinación del autor.

Resultados de la respuesta productiva: Estos se resumen en la Tabla 1. En 70 días los peces crecieron desde 32 hasta 255 g (ganancia diaria de peso de 3,2 g/día), considerado adecuado para esta fase, aún bajo oferta de ración limitada a 70% de la oferta regular. En total se aplicaron 12.200 kilos de ración (tasa media de alimentación de 174 kg/día) y 191 kg de residuo de fideos. La biomasa de los peces aumentó desde 2.011 kilos hasta 14.434 kilos en este período, pasando de 1,7 a 12 kilos/m³ desde el inicio hasta el final del ensayo, sin ninguna renovación de agua. La conversión alimentaria fue de 0,98, valor considerado excelente para esta fase y obtenido gracias a la restricción de la oferta alimentaria de ración y disponibilidad de bioflocos del sistema. La sobrevivencia de los peces fue próxima al 91%. Más del 70% de la mortalidad registrada se produjo en la primera semana después de la transferencia de los peces hacia el tanque experimental, siendo más un reflejo del manejo que de las condiciones del ensayo.

Tabla 1. Resultados de la producción de tilapias de 250 g en un tanque bajo sistema de bioflocos bacteriano.

Volumen de tanque (m³)	1.200
Estimación del n° de peces sembrados	62.262
Sobreviviencia	56.471
Pm inicial(g)	32,3
Pm final (g)	255,6
Ganancia en peso (g/día)	3,19
Días	70
Biomasa inicial (kg)	2.011
Biomasa final (kg)	14.434
Ración empleada (kg)	12.200
Ganancia en biomasa (kg)	12.423
Conversión alimentaria	0.98
Residuo de fideos aplicado (kg)	191
Biomasa inicial (kg/m³)	1,7
Biomasa final (Kg/m³)	12,0

Los valores mínimos y máximos de los principales parámetros de calidad de agua se resumen en la Tabla 2. Los niveles de OD variaron desde 52 a 89 % de saturación, mientras que los de gas carbónico se llevaron desde valores iniciales de 4 hasta 10 mg/L ya próximo al final del ensayo. La concentración de amoníaco total varió entre 0,6 y 12 mg/L, siendo el máximo valor del amoníaco tóxico de 0,12 mg/L, valor considerado seguro para la tilapia.

Los valores de nitritos variaron entre 0,2 y 2 mg/L. Como la estructura operó con agua salada intermitente con agua dulce y salada, estos niveles de nitrito estuvieron lejos de causar toxicidad en los peces. La alcalinidad total declinó desde 100 mg/L hasta 60 mg/L y los valores de pH disminuyeron desde 8,0 hasta 7,0 al final de la experiencia. No fue necesaria la aplicación de cal hidratada para corregir los valores de pH y de alcalinidad durante el período total. La transparencia del agua medida al inicio con el disco de Secchi, se redujo desde 60 cm hasta 25-30 cm hacia el final del estudio.

Estimación del costo de producción de tilapia con este sistema

Con base a los índices de desempeño durante el ensayo a escala comercial, se realizó una estimación del costo de producción de los juveniles hasta 250 g, considerando como punto de partida la adquisición de juveniles de 30 g (46% del costo), la ración el 37%, la energía eléctrica casi el 9% y la mano de obra un 7%.

Se transfirió el costo de los juveniles de 250 g hasta la fase de final de producción de tilapias de 800 g y se estimó el costo de producción en sistemas de bioflocos. En esta estimación se asumió una producción de 12kg/m³ usando la misma potencia de aireación instalada, el mismo volumen de tanque de 1.200m³ y una sobrevivencia del 90%. El tiempo de este ciclo de producción fue estimado en 100 días , aumentando el uso de mano de obra y el consumo de energía en esta fase final. La conversión alimentaria se determinó como de 1,6 (con restricción como la usada anteriormente).

A pesar de que el costo de energía parece más intenso en el sistema de bioflocos , en el ensayo comercial el costo de energía representó el 15 % del costo total de producción, el costo de energía termina siendo diluido por la mayor productividad obtenida y puede ser aún minimizado a través de un diseño más adecuado de los tanques de cultivo, de forma tal a reducir la potencia de aireación necesaria para una eficiente circulación de agua y mantenimiento en suspensión de los residuos orgánicos.

La estimación de costos así obtenidos del ensayo efectuado pueden variar dependiendo de las condiciones de cada piscicultura en cuanto a los precios regionales en cada país. Las conclusiones son que : a) se pueden reducir los costos en el uso de raciones de menor tenor proteico, ya que los mismos bioflocos proveen un suplemento mineral y vitamínico para los peces; b) un diseño mejor de los tanques; c) producción propia del piscicultor de juveniles revertidos, en sistema de bioflocos; d) mantenimiento de una alta productividad , llegando a 15 o 18 kg/m³ de tal modo que se diluyan los costos de mano de obra y aireación, así como los demás costos fijos de mantenimiento y operación de la piscicultura.

Consideraciones finales:

El potencial uso de la tecnología de bioflocos en el cultivo de tilapia, se vuelve evidente a partir de los ensayos realizados. Los resultados de las producciones experimentales realizados en otros países también demuestran este potencial. La tecnología de bioflocos, trata de un sistema compacto e intensivo de producción que permite posicionar el emprendimiento cerca de centros consumidores y nichos específicos de mercado. La implementación de estos sistemas determina una inversión considerable en infraestructura: tenderos agrícolas (o invernaderos), bombas, aireadores, sopladores de aire, sistema de back up de energía, tanques, etc.

Tabla 2: valores mínimos y máximos de los parámetros de calidad del agua en el ensayo de tilapias de 250 g.

PARAMETROS	MINIMO	MAXIMO
OD (% saturación)	52,0	89,0
Temperatura	23,6	27,0
pH	7,0	8,0
Nitrito (mg/L)	0,5	2,0
Amoníaco total (mg/L)	0,6	12,0
Amoníaco tóxico (mg/L)	0,0	0,12
Salinidad (ppt)	13,0	18,0
Alcalinidad(mg/L)carbonato	60,0	100,0
Transparencia (cm)	25,0	60,0
CO2 (mg/L)	4,0	10,0