

EVALUACIÓN DEL CULTIVO DE TILAPIA DEL NILO (*Oreochromis niloticus*)
Y TILAPIA ROJA (*Oreochromis sp.*) EN DIFERENTES SISTEMAS INTENSIVOS
DE GRANJAS CAMARONERAS COMO ALTERNATIVA PRODUCTIVA DEL
SECTOR CAMARONICULTOR COLOMBIANO



c.i. agrosoledad s.a.

RESUMEN

En los últimos años el cultivo de camarón ha sido afectado por enfermedades que han ocasionado el cierre de empresas en ambas costas de Colombia con la consecuente pérdida de numerosos empleos directos e indirectos. Adicionalmente, los productores nacionales enfrentan la caída internacional del precio debido a una sobre oferta asiática de producto, viéndose en la necesidad de intensificar los cultivos hasta el punto de convertirse en uno de los sectores camaronicultores más productivos del mundo. Aun así, la paulatina devaluación del dólar y los altos costos de producción reducen cada vez más la rentabilidad de la industria, haciéndose necesaria la búsqueda de alternativas productivas que permitan el uso de la infraestructura disponible para diversificar la actividad. Teniendo en cuenta el gran potencial que reviste la tilapia en términos de mercado y demanda mundial, se emplearon los sistemas intensivos de granjas camaroneras para el cultivo de tilapia roja (ideal para el mercado de 'pescado entero' por su atractiva coloración) y de tilapia nilótica (ideal para la producción de 'filete fresco' debido a su rápido crecimiento y consistencia corporal). Aunque su cultivo se realiza comúnmente en agua dulce, la tilapia nilótica puede cultivarse con éxito en aguas de baja y media salinidad (≤ 15 ppt) mientras que la tilapia la roja tolera salinidades cercanas a las del agua marina (≈ 35 ppt), lo que las hace adaptables a cualquier granja camaronera del país.

La tilapia nilótica fue cultivada conjuntamente con camarón (policultivo) en dos granjas de baja salinidad empleando aireación suplementaria y tres etapas de cultivo: cría (30-50 peces/m²), levante (10-14 peces/m²) y engorde (3-4 peces/m²). Los camarones fueron sembrados a baja densidad (7-13 post larvas/m²) en los estanques de levante y engorde 15 días antes de la transferencia de las tilapias, obteniendo por ciclo productivo de tilapia dos (2) cosechas de camarón libre de costos de producción (exceptuando la semilla), debido a que sólo se alimentó la tilapia. La producción obtenida (22.080 Kg tilapia/Ha y 970 Kg camarón/Ha con una utilidad de \$12'223.050/Ha) fue superior a otras experiencias de cultivos intensivos reportadas en la literatura, indicando que el policultivo tilapia-camarón es una alternativa técnica y económicamente viable para granjas camaroneras que deseen diversificar su producción frente eventuales problemas sanitarios o de mercado.

La tilapia roja fue cultivada en el laboratorio de CENIACUA empleando agua marina y dos estanques de 900 m² adaptados con la tecnología de cultivo súper intensivo en Floc microbiano, consistente en emplear i) altas densidades de siembra, ii) continua aireación, iii) estanques revestidos de plástico de alta densidad, iv) mínimo recambio de agua y v) permanente adición de sustratos ricos en carbono al agua de cultivo. Estas condiciones favorecen el desarrollo de una comunidad microbiana benéfica (asentada en pequeños flóculos de materia orgánica continuamente resuspendidos en la columna de agua por la acción de los aireadores) que recicla el nitrógeno del amonio producido por los peces en la síntesis de proteína unicelular, la cual es ingerida y asimilada por las tilapias dados sus facultades omnívoras y filtradoras. Con este sistema se logran altas producciones (6-40 Kg/m³) con un menor uso de alimento balanceado debido a la ingesta de proteína unicelular (bacteriana). En 226 días de cultivo se obtuvo una productividad de **73.592,2 Kg tilapia roja/Ha/ciclo**, que es entre 4-7 veces superior a la reportada en los cultivos intensivos realizados en estanques de agua dulce. La supervivencia (69,4%) y la tasa de crecimiento (2,1 g/día) obtenidas en el ensayo concuerdan con los cultivos tradicionales de cultivo indicando que la densidad de siembra empleada (20 peces/m³) no afecta el crecimiento ni el rendimiento de los animales. Se debe realizar investigación adicional sobre densidades de siembra y tipos de alimento de bajo contenido proteico para determinar la capacidad de carga del sistema y los aportes nutricionales del floc.

INTRODUCCIÓN

Con el fin de explorar alternativas de producción para empresas camaroneras que actualmente enfrentan problemas sanitarios o de mercado, la Corporación Centro de Investigación de la Acuicultura de Colombia desarrolló el presente proyecto en torno al cultivo de tilapias con la directa participación del sector productivo, teniendo en cuenta el gran potencial que estas especies revisten en términos de mercado y demanda mundial. De esta manera se emplearon los sistemas intensivos de granjas camaroneras para valorar la productividad del cultivo de tilapia roja (ideal para el mercado de 'pescado entero' por su atractiva coloración) y de tilapia nilótica (ideal para la producción de 'filete fresco' debido a su rápido crecimiento y consistencia corporal). Aunque el cultivo de estos peces se realiza comúnmente en agua dulce, la tilapia nilótica puede cultivarse con éxito en aguas de baja y media salinidad (≤ 15 ppt) mientras que la tilapia la roja tolera salinidades cercanas a las del agua marina (≈ 35 ppt), lo que las hace adaptables a cualquier granja camaronera del país.



1. POLICULTIVO INTENSIVO DE TILAPIA NILÓTICA (*Oreochromis niloticus*) VARIEDAD CHITRALADA Y CAMARÓN BLANCO (*Penaeus vannamei*) EN AGUAS DE BAJA SALINIDAD

1.1. GENERALIDADES - MARCO CONCEPTUAL

1.1.1. Cultivo de tilapia nilótica

A nivel mundial las tilapias son el segundo grupo de peces más importante tanto para la acuicultura como para la captura en el medio natural después de las carpas chinas, alcanzando operaciones comerciales en más de 75 países de los cinco continentes; entre todas las especies existentes, se destaca la tilapia nilótica como la más importante en volúmenes de producción. Las ventajas que hacen de esta especie una de las candidatas acuícolas por excelencia son: i) crecimiento relativamente rápido (≈ 800 g en apenas 8 meses); ii) bajas exigencias alimenticias y buen rendimiento con dietas bajas en proteína animal; y iii) excelente capacidad de adaptación a diferentes condiciones ambientales, siendo su único limitante la temperatura del agua que no debe ser inferior a los 18° C (Josupeit, 2005).

La variedad Chitralada es una línea genéticamente mejorada en aspectos de docilidad, ganancia de peso y conformación corporal (Figura 1). Tiene una baja conversión alimenticia (sobre todo si se aprovecha su característica de eficiente filtrador de plancton), alta supervivencia, buen rendimiento de filete ($\approx 38\%$) y tiene buena resistencia a enfermedades y ambientes desfavorables (Ramírez, 2006).

Para países como Colombia la tilapia nilótica constituye una excelente opción debido a que las mayores tasas de crecimiento se obtienen en los países de Centro y Sur América; adicionalmente se ha demostrado que su crecimiento es óptimo a salinidades ≤ 15 partes por mil (ppt – por sus siglas en inglés de parts per thousand), lo que permite adaptarla a los sistemas de cultivo de empresas camaroneras que hayan colapsado a causa de enfermedades propias del camarón para las cuales aun no existen respuestas de contingencia concretas. Un ejemplo contundente es el caso de Ecuador que se ha convertido en los



Figura 1. Tilapia nilótica variedad chitralada

últimos años en el principal abastecedor latinoamericano de tilapia al mercado de Estados Unidos, después de que muchos acuicultores ecuatorianos optaron por la reconversión de sus cultivos a la tilapia ante el azote de la enfermedad de la mancha blanca (WSSV) a finales de la década de los 90. El caso colombiano no dista mucho de la realidad ecuatoriana, ya que el mismo virus ha ocasionado que la producción camaronicultora en el Pacífico Colombiano sea insostenible.

1.1.2. Sistema de producción intensiva de tilapia en fases

Los sistemas productivos de tilapia en estanques en tierra suelen realizarse en tres fases de cultivo empleando alimentos balanceados que contengan un alto porcentaje de proteína al inicio (45-40%) que debe irse disminuyendo a medida que los animales crecen hasta llegar al 24-20% en las últimas fases del engorde:

- **Cría:** esta etapa consiste en el confinamiento de animales ≤ 1 g a una densidad máxima de 30 alevinos/m² hasta que alcancen entre 15-30 g de peso promedio. La conversión alimenticia puede oscilar entre 0.5 – 1 y la duración oscila entre 55 - 75 días para llegar alrededor de 20 g, dependiendo del manejo y la temperatura. Deben emplearse alimentos balanceados extrudizados con altos contenidos de proteína (45-38%), comenzar la etapa suministrando alimento entre 8-10% de la biomasa y finalizarla con el 4% de la biomasa, suministrando entre 4-8 raciones.
- **Levante (pre-engorde):** una vez finalizada la cría, se transfieren los peces al estanque de levante a una densidad de 12 alevinos /m² donde al cabo de 3,5 meses alcanzan un peso promedio cercano a 150 g, dependiendo de la productividad del agua, la temperatura y el tipo y calidad de alimento. La conversión puede llegar a 1,5. Los anteriores rangos de peso varían dependiendo del manejo del cultivo, los controles sobre la calidad de agua y la calidad, método y frecuencia de la alimentación. Es recomendable emplear un alimento balanceado extrudizado entre 38 - 30% de proteína, comenzar la etapa suministrando el 4% de la biomasa en alimento y finalizarla con el 3%, repartiendo esta cantidad entre 4-3 raciones.
- **Engorde:** los animales se transfieren al estanque de engorde a una densidad entre 1,5 - 5 animales/m² dependiendo de la disponibilidad de agua para recambio y/o de sistemas de aireación suplementaria y del tipo de alimento. La duración de la etapa oscila entre 2 – 3,5 meses obteniendo tilapias rojas entre 350-500 g y tilapias nilóticas entre 800 - 1000 g y conversiones entre 1,4 - 2. En esta etapa el porcentaje de proteína puede reducirse hasta 30-20% , comenzando la etapa con un 2,5% de la biomasa en alimento y finalizando con 2 -1,7% (Espejo y Torres, 2001; Zimmermann et al., 2001)

1.1.3. Cultivo de camarón blanco

Con base en los trabajos desarrollados por CENIACUA, el cultivo de camarón debe tener en cuenta los siguientes aspectos principales:

- **Calidad de la semilla:** de una adecuada calidad de semilla depende en gran medida el éxito del cultivo. Se deben considerar el origen genético (que depende del tipo de programa de selección empleado) y los componentes morfológico y fisiológico (que dependen principalmente de las condiciones de maduración de reproductores y de la cría larvaria). Para evaluar la calidad de la semilla se emplean diferentes pruebas: choques de salinidad, medida de los individuos (mm), desarrollo branquial, y evaluaciones sanitarias para bacterias y virus.
- **Calidad de agua:** el agua es el medio de cultivo del camarón y por tanto mantener una adecuada calidad de agua es fundamental para obtener buenas producciones (sobrevivencia y crecimiento). Existen diferentes tipos de sistemas para el cultivo: extensivo (5-10 camarones/m²), semi intensivo (15-25 camarones/m²), semi intensivo mejorado (30-50 camarones/m²), intensivo (60-80 camarones/m²) y súper intensivo (>120 camarones/m²). Dependiendo del tipo de sistema dependen los recambios de agua y la implementación de aireación suplementaria.

En términos generales, los valores óptimos de las principales variables de cultivo son los siguientes: > 3,5 mg/L de oxígeno disuelto, 27-32° C de temperatura, 7,5-8,5 de pH y entre 0-40 ppt de salinidad (teniendo en cuenta que las aguas de baja salinidad deben presentar niveles elevados de dureza y alcalinidad >50 mg/L CaCO₃). La comunidad planctónica (fito y zooplancton) es otro componente importante puesto que además de ayudar a mantener la calidad de agua sirve como alimento suplementario.

- **Nutrición:** la alimentación depende en gran medida del tipo de sistema de cultivo empleado, teniendo en cuenta que a mayor densidad de siembra, mayor dependencia de alimento balanceado. Estos alimentos son dietas especiales que por lo general manejan altos contenidos de proteína (35%), inclusión de ácidos grasos poli insaturados, suplementos de vitaminas y minerales y alta alta estabilidad (resistencia a la lixiviación en el agua). Otro factor importante es la forma de suministrar el alimento (número de raciones, cantidad, uso de comederos, control de raciones con base en el consumo ya que este es muy variable dependiendo de fases lunares, estadio de muda, edad, aspectos ambientales, entre otros).

1.1.4. Policultivo

El policultivo es la combinación de dos o más especies que ocupan diferentes nichos para incrementar la producción total sin el correspondiente aumento de alimento suplementario. Entre los policultivos existentes, el modelo camarón-tilapia es uno de los más exitosos debido a las características omnívoras/filtradoras de la tilapia y a su alta tolerancia a diferentes rangos de salinidad y a las bajas concentraciones de oxígeno disuelto. Para este policultivo suelen manejarse dos estrategias, dependiendo de cuál de las dos especies sea seleccionada como principal (Rodríguez, 2003; Talavera et al., 2000):

- **Policultivo camarón-tilapia:** la especie principal es el camarón; suelen emplearse entre 10-15 camarones y de 0,2 – 0,3 tilapias/m². Los peces deben sembrarse con un peso entre 100-150 g para que lleguen a talla comercial en las 14-18 semanas que dura el cultivo de camarón. Sólo se alimenta el camarón preferiblemente durante la noche para que la tilapia, de alimentación diurna, no compita por el alimento, obteniendo conversiones entre 1,3 y 1,6 y una producción entre 250-1000 Kg de camarón/Ha y de 880-1500 Kg de tilapia/Ha. Esta estrategia ha sido empleada en algunos cultivos semi-intensivos de camarón en Ecuador para aliviar las pérdidas causadas por el virus de la mancha blanca (WSSV) ya que la tilapia puede consumir los camarones muertos o moribundos, limitando el canibalismo entre camarones, lo cual reduce la carga viral, sirviendo como mecanismo de control de la enfermedad. En Asia, también se han introducido tilapias en algunos cultivos intensivos de camarón para reducir las cargas de nutrientes (nitrógeno, fósforo) y de materia orgánica confinando los peces en jaulas dentro del estanque, ya que de lo contrario, competirían directamente por el alimento con los camarones, limitando el crecimiento de estos últimos (Banchuen Muangkeow et al., 2007; Rodríguez, 2003; Meriwether et al., 1984).

- **Policultivo tilapia - camarón:** la especie principal es la tilapia. Se emplean densidades entre 0,8-2 tilapias/m² y entre 5-8 camarones/m². Sólo se alimenta la tilapia alcanzando una conversión alimenticia entre 1,2 – 2,3. La producción de tilapia oscila entre 5200 – 10500 Kg/Ha y la de camarón entre 250 – 450 Kg/Ha. Como el cultivo de tilapia suele realizarse en tres etapas (cría, levante y engorde), este tipo de policultivo permite obtener dos cosechas de camarón por cada ciclo productivo de tilapia si se realiza el policultivo en las fases de levante y engorde, pues el tiempo de cada una de estas etapas es suficiente para que el camarón alcance la talla comercial de 10-14 g (Banchuen Muangkeow et al., 2007; Rodríguez, 2003; Zimmermman, 2001; Suresh & Lin, 1992).

1.1.5. Aireación suplementaria

En los cultivos intensivos (>3 peces/m² o >35 camarones/m²) se debe suministrar una aireación suplementaria acorde al grado de intensificación para evitar bajos crecimientos y altas mortalidades (Figura 2). Idealmente la concentración de oxígeno disuelto en el agua debe ser ≥ 3 mg/L o de lo contrario los animales incurrirán en gastos metabólicos innecesarios que afectarán negativamente el rendimiento del cultivo (tasa de crecimiento, conversión, sobrevivencia, entre otros). Las bajas concentraciones de oxígeno suelen ocurrir durante el amanecer debido a la interrupción de la fotosíntesis por parte del fitoplancton en las horas de oscuridad y a la constante demanda de oxígeno por parte del sedimento del fondo del estanque, la columna de agua y los animales del cultivo (peces y/o camarones).



Figura 2. Equipos de aireación suplementaria

La determinación del nivel apropiado de aireación en los cultivos intensivos es fundamental para mantener adecuadas concentraciones de oxígeno disuelto y minimizar los costos de equipos y de operación. Existen algunas reglas 'empíricas' para estimar la cantidad de aireación (HP/Ha) dependiendo del grado de intensificación de los cultivos (cerca de 1 HP/Ha por cada 650 Kg/Ha de camarón producidos y de 1 HP/Ha por cada 2250 Kg/Ha de tilapia producidos) y métodos que permiten calcular la cantidad de aireadores en función de la i) cantidad de alimento suministrado o ii) en función de la demanda total de oxígeno del estanque (respiración del sedimento, columna de agua y animales). Estas valoraciones son específicas para cada cuerpo de agua puesto que tienen en cuenta los registros físico-químicos y de alimentación del cultivo y las mediciones in situ y especificaciones técnicas de los equipos de aireación, respectivamente (Vinatea-Arana, 2005; Hopkins et al., 1991).

1.2. IMPLEMENTACIÓN DEL POLICULTIVO

TILAPIA NILÓTICA (variedad Chitralada) – CAMARÓN BLANCO

EN DOS GRANJAS CAMARONERAS DE LA COSTA ATLÁNTICA COLOMBIANA - METODOLOGIA

1.2.1. Semilla

• **Alevinos de tilapia:** los alevinos fueron transportados a una densidad de 500-600 peces/L en bolsas plásticas (¼ parte de agua y ¾ partes de oxígeno) contenidas en cajas de cartón. Al llegar a la finca se registró la temperatura y oxígeno disuelto tanto de las bolsas de transporte como del agua del estanque de cría. Luego se realizó un conteo del total de animales en 20 bolsas con el fin de obtener el promedio de alevinos por bolsa y multiplicar por el número de bolsas para verificar la cantidad total de alevinos adquiridos. Posteriormente, las bolsas se introdujeron en el estanque por 15 minutos para igualar temperaturas, luego se introdujo agua del estanque a la bolsa para aclimatar los peces a su nuevo ambiente y transcurridos cinco minutos se liberaron en el estanque, observando el tipo de nado, reflejo de huida, apariencia externa, etc.

• **Post-larvas de camarón:** las post larvas (PL's) de camarón fueron transportadas a una densidad de 700-800 PL's/l en bolsas plásticas con ¼ parte de agua y ¾ partes de oxígeno. Una vez en la finca se procedió a verificar el número de post larvas recibidas mediante el método volumétrico, seleccionando cinco (5) bolsas al azar. En cada bolsa se homogenizó la columna de agua con un agitador de burbujas, se extrajeron ocho (8) muestras de 150 ml c/u y se contaron la totalidad de post larvas. Luego se obtuvo el promedio y se extrapoló al volumen total de cada bolsa (20 L) empleando la fórmula:

$$\text{N}^{\circ} \text{ PL's /bolsa} = \frac{\text{Vol Tot al (20 L)} \times \text{N}^{\circ} \text{ promedio de PL's contadas}}{\text{Volumen muestra (150 ml)}}$$

Posteriormente se registraron los valores de temperatura, oxígeno, salinidad y pH del agua de transporte y del agua del tanque de recepción. Las bolsas se introdujeron en el tanque de aclimatación por 15 minutos, se añadió a las bolsas agua del tanque y finalmente se liberaron las PL's en el tanque de aclimatación, el cual se encontraba a misma salinidad que el agua de transporte (30 ppt) (Figura 3 A, B, C y D). La salinidad en el tanque de aclimatación (30 ppt) se redujo gradualmente durante seis (6) días hasta alcanzar la salinidad de los estanques de cultivo (0,6 ppt). Las PL's fueron recolectadas mediante drenado, contadas nuevamente por estimación volumétrica y transportadas en baldes de 12 L hasta los estanques del policultivo (estanques de levante y engorde).



Figura 3 A. Medición de parámetros durante la aclimatación de las post-larvas de camarón



Figura 3 B. Aclimatación de post-larvas de camarón



Figura 3 C. Post-larvas de camarón



Figura 3 D. Conteo de post-larvas de camarón

1.2.2. Etapas de cultivo

- **Cría:** se empleó una aireación suplementaria de 17,8 HP/Ha, una densidad de 50,9 peces/m² (0,4 g peso promedio inicial) en monocultivo y un tiempo de cultivo de 53 días. Durante los 10 primeros días se suministró alimento balanceado en harina con un 45% de proteína bruta (PB). A partir del día 11, cuando los alevinos registraron un peso promedio de 3,87 g se comenzó a mezclar gradualmente la "harina" con el alimento "extruido flotante" de 38 % PB con el fin de acostumbrar los animales al cambio del concentrado hasta reemplazar totalmente la cantidad de harina, suministrando 6 raciones diarias.
- **Siembra del primer lote de PL's de camarón en el estanque de levante:** las post-larvas de camarón (0,04 g de peso promedio) fueron sembradas en el estanque de levante a una densidad de 8,9 PL /m² con 15 días de antelación a la transferencia de los peces con el fin de que colonizaran el fondo del estanque así evitar una eventual depredación por parte de los peces; se empleó un tiempo de cultivo de 161 días.
- **Transferencia de los peces al estanque de levante:** los juveniles fueron capturados con un chinchorro y se extrajeron gradualmente mediante nasas; éstas fueron pesadas una a una para valorar la biomasa a ser transferida. Al momento de la siembra se realizó un conteo de animales por nasa con el fin de tener un estimado del número de animales sembrados (Figura 4 A, B, C y D).



Figura 4 A. Pesca de tilapias



Figura 4 B. Extracción gradual de las tilapias mediante masas



4 C. Registro del peso de las tilapias



4 D. Transferencia de estanque

•**Levante:** Se empleó una aireación suplementaria de 5,3 HP/Ha manteniendo los aireadores prendidos durante 9 horas (10:00 PM - 7:00 PM) promedio/día, una densidad de siembra de 13,9 peces/m² y un tiempo de cultivo de 51 días. se utilizó un alimento balanceado del 38% PB hasta que los animales alcanzaron un peso promedio de 81 g, cambiándose posteriormente a un concentrado con el 30% PB hasta el final de la etapa.

•**Siembra del segundo lote de PL's de camarón en el estanque de engorde:** las post-larvas de camarón con un peso promedio de 0,04 g fueron sembradas a una densidad 8,6 PL's/m² cuatro días antes de la transferencia de los peces, permaneciendo en cultivo por un periodo de 123 días.

•**Transferencia de los peces al estanque de engorde:** se empleó la misma técnica usada en la transferencia de la etapa de cría sólo que en esta oportunidad las nasas se introdujeron en canastas plásticas perforadas, sumergidas dentro del agua con el fin de tener los animales en húmedo el mayor tiempo posible antes de ser pesadas y transportadas hasta el estanque de engorde. (Fig.4D)

•**Engorde** se empleó una aireación de 9,5 HP/Ha entre las 10:00 PM y 7:00 AM, una densidad de siembra de 3,98 peces/m² y un tiempo de cultivo de 126 días. Se utilizó un alimento balanceado con el 30% PB hasta que los animales alcanzaron un peso promedio de 181 g, cambiándose posteriormente a un concentrado de 24% PB hasta el final del ciclo. El alimento se suministró en tres raciones al día.

1.2.3. Registro de las variables físico-químicas y recambios de agua

Diariamente se registraron los valores de temperatura y oxígeno disuelto (3:00 AM y 2:00 PM) y de la turbidez (11:00 AM). El pH se midió cada ocho días en horas de la mañana; cuando su valor se encontró por encima de 8 se adicionó melaza a razón de 30 Kg/Ha con el fin de mantenerlo entre un rango de 7,0 y 8,0 (Willet & Morrison, 2006).

En la etapa de cría se realizaron recambios de superficie del 20% cada ocho (8) días; en la etapa de levante recambios del 30% en superficie y fondo según la visibilidad del disco secchi cada tres días y recambios de fondo del 50% cada ocho (8) días. Al inicio de la etapa de engorde se realizaron recambios de superficie cada tres días y posteriormente recambios diarios de superficie y fondo del 40%.

1.2.4. Muestreos de crecimiento y ajuste de la ración alimenticia

Cada semana se realizaron muestreos de crecimiento, tomando una muestra de 100 tilapias y 50 camarones para registrar su peso individual (Figura 5 A y B). Con base en el peso promedio, estimaciones de sobrevivencia y el porcentaje de la biomasa en alimento se calculó la ración para cada semana de cultivo empleando la siguiente fórmula:

$$\text{Cantidad de alimento (Kg)} = \frac{\text{biomasa (g)} * (\% \text{ recomendado})}{1000}$$

Donde,

$$\text{Biomasa} = \text{N}^{\circ} \text{ de animales en el estanque} * \text{peso promedio (g)}$$



Figura 5 A. Muestreos de crecimiento de camarón



Figura 5 B. Muestreos de crecimiento de tilapia

1.2.5. Cosecha y procesamiento

La mayor parte del pescado fue cosechado mediante arrastres de chinchorro. Los peces remanentes y los camarones fueron cosechados colocando una red de copo instalada en la compuerta de drenaje. Los animales fueron transportados en canastas hasta el sitio de proceso, donde se realizó el registro del peso y número de animales cosechados. Dependiendo de la demanda de los comercializadores, la tilapia fue entregada entera o eviscerada (Figura 6 A, B y C).



Figura 6 A. Camarón



Figura 6 B. Eviscerado de tilapia



Figura 6 C. Lavado de tilapia

1.2.6. Transporte y comercialización

La venta del producto se realizó tanto en finca como en planta de proceso. En el primer caso los comercializadores fueron por el producto sin eviscerar al dique del estanque y para el envío del producto eviscerado a planta de proceso emplearon camiones que transportaron el producto enhielado en tinas plásticas de 500 Kg de capacidad (Figura 7).



Figura 7. Transporte de los productos hasta la planta de proceso

1.3. PRODUCTIVIDAD DEL POLICULTIVO TILAPIA / CAMARON - RESULTADOS

1.3.1. Tilapia

En 7,7 meses (231 días) el policultivo produjo 22 ton/Ha/ciclo representadas en peces entre 341 – 679 g de peso promedio, con una supervivencia del 72,6% y un factor de conversión alimenticia de 1,6 (Tabla 1).

ETAPAS	CRÍA	LEVANTE	ENGORDE	TOTAL
ÁREA (M ²)	1.737	5.623	18.800	
FECHA	20-abri-06	8-juni-06	4-agos-06	
DENSIDAD DE SIEMBRA (PECES/M ²)	50,9	13,9	3,98	
No. PECES SEMBRADOS PISCINA	88.446	78.009	74.901	
RANGO DE TALLA INICO (GR)	0,4	35	122,7	
RANGO DE TALLA FINAL (GR)	35	122,7	646,1	
% SUPERVIVENCIA	88,3	96,0	85,8	72,6
%DESCARTES	0	0	0	
%SUPERVIVENCIA + DESCARTES	0	0	0	
No. PECES COSECHADOS PISCINA	78.086	74.898	64.247	
No. PECES COSECHADOS POR M ²	45,0	13,3	3,4	
BIOMASA INICIAL PISCINA (KG)	35,4	2.730	9.190	
BIOMASA INICIAL POR M ² (KG)	0,02	0,49	0,49	
BIOMASA FINAL PISCINA (KG)	2.733	9.190	41.511	
INCREMENTO DE BIOMASA POR PISCINA (KG)	2.698	6.460	32.321	
BIOMASA FINAL POR M ² (KG)	1,57	1,63	2,21	
BIOMASA FINAL POR Ha (KG)	15.734	16.344	22.080	
TIEMPO DE CULTIVO (DÍAS)	53	51	126	230
TASA DE CRECIMIENTO (GR/DÍA)	0,65	1,72	4,15	2,81
CONSUMO DE ALIMENTO (KG)	2.354	8.115	55.341	65.810
% PROTEÍNA ALIMENTO	45	38-30	30-24	
F.C.A.	0,87	1,26	1,71	1,59

Tabla 1. Principales aspectos productivos de la tilapia nilótica variedad chitralada en el policultivo

La supervivencia fue alta en todas las fases de cultivo y de hecho superó el valor esperado en las fases de cría (75%) y de levante (85%). Esto generó un excedente de animales que tuvo que ser mantenido en el estanque de levante (no se realizó transferencia al estanque de engorde) hasta alcanzar la talla comercial. Si bien en la etapa de levante se presentaron bajos niveles de oxígeno debido a una aireación suplementaria deficiente, la alta supervivencia obtenida en esa etapa evidenció la alta tolerancia de la tilapia nilótica frente a condiciones ambientales adversas.

La productividad final obtenida en la etapa de engorde fue superior a otras experiencias de cultivo encontradas en la literatura, con excepción lógicamente, de un policultivo súper intensivo desarrollado en Floc microbiano. En el caso particular del policultivo intensivo, las producciones obtenidas en el presente estudio (2,2 Kg/m²) indican que el grado de intensificación empleado aumenta la productividad entre un 210% y 423% frente a las producciones de 0,52 Kg/m² - 1,05 Kg/m² reportadas en Ecuador por Talavera et al. (2000) (Tabla 2).

REFERENCIA	CRÍA							
	Días	Densidad	g/día	Kg/m ²	% Sobrev	FCA	Peso (g)	HP/Ha
1 - Presente Estudio	53	50,9	0,65	1,57	88,2	0,87	35	17,8
2 - Córdoba (2006; Comm Pers.)	77	35	1,2	2,9	90,5	0,9	92,8	
3- Huerta (2006; Comm Pers.)								
4 - Talavera (2000)								
5- Castillo (2000)	35	10						
6 - Espejo y Torres (2001)	55-75	30				0,5 - 1	20	

REFERENCIA	LEVANTE							
	Días	Densidad	g/día	Kg/m ²	% Sobrev	FCA	Peso (g)	HP/Ha
1 - Presente Estudio	51	13,8	1,72	1,63	96	1,2	122,7	5,3
2 - Córdoba (2006; Comm Pers.)	112	5	4,3	2,3	80,6	1,3	460	
3- Huerta (2006; Comm Pers.)	120	50					200	
4 - Talavera (2000)							100 - 150	
5- Castillo (2000)								
6 - Espejo y Torres (2001)	105	12				1,5	150	

REFERENCIA	ENGORDE							
	Días	Densidad	g/día	Kg/m ²	% Sobrev	FCA	Peso (g)	HP/Ha
1 - Presente Estudio	*119	4,2	4,7	2,3	87,5	1,7	679	9,5
	**127	3,4	3,6	2,1	91,5	1,7	578	5,3
2 - Córdoba (2006; Comm Pers.)	182	1	4,8	0,89 - 1,03	90,1	1,6	1080	
3- Huerta (2006; Comm Pers.)	56	10	7,14	6,3	90	0,7	700	
4 - Talavera (2000)	180	0,8 - 2,0		0,52 - 1,05		1,2 - 1,8		
5- Castillo (2000)	85	4	3,5	1,52	91	0,97	420	
6 - Espejo y Torres (2001)	60 - 90	5		1,75***		1,4 - 2,0	350	

1 - Policultivo intensivo (*Engorde estanque P-4 y **Engorde estanque PT-2)

2 - Policultivo semi intensivo

3 - Policultivo súper intensivo

4 - Policultivo

5 - Monocultivo intensivo

6 - Monocultivo intensivo (***) Asumiendo una supervivencia del 100%; datos calculados a partir de la información disponible

Tabla 2. Rendimiento comparativo de diferentes sistemas productivos de tilapia discriminados por fases de cultivo

La curva de crecimiento de las tilapias obtenida durante cada fase de cultivo exhibe un comportamiento normal y ascendente durante todas sus fases e indica la ramificación en la curva a partir de la culminación de la fase de levante cuando gran parte de los peces fue transferida al estanque de engorde - P-4 y la cantidad remanente se dejó en el estanque de levante PT-2 (Figura 8).

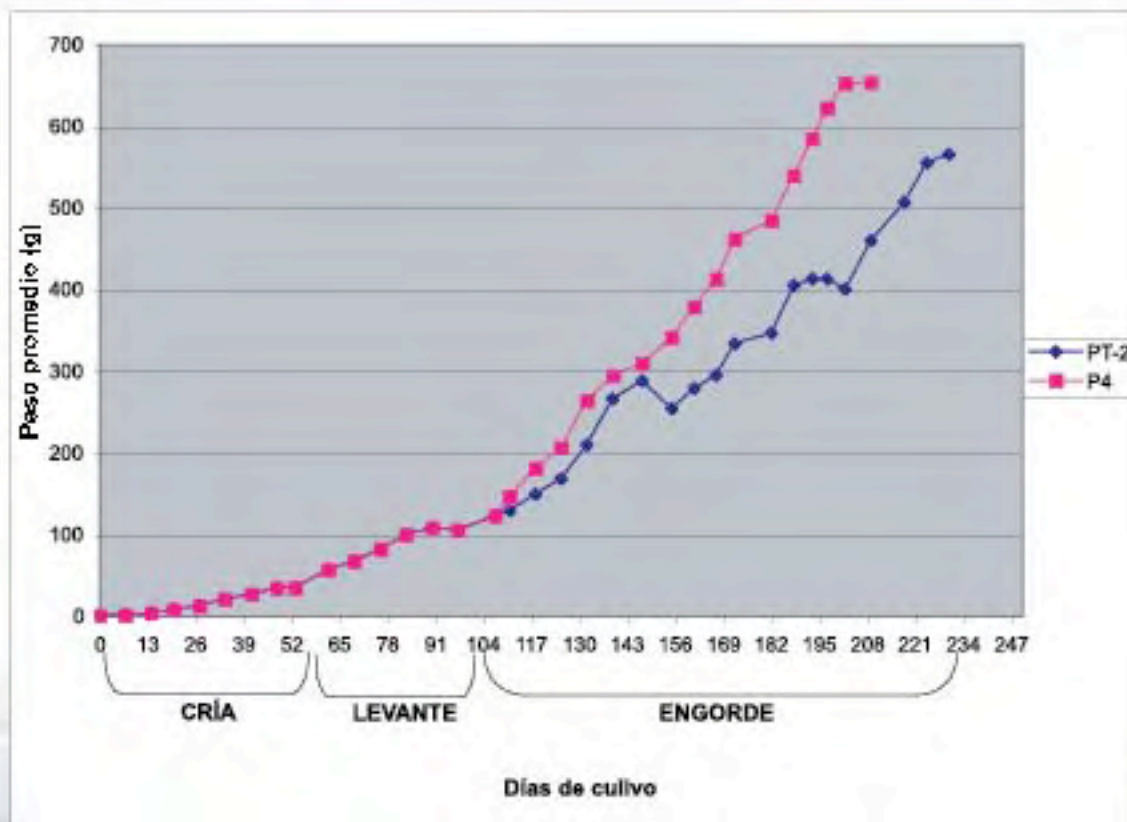


Figura 8. Curva de crecimiento de la tilapia nilótica variedad Chitralada durante las tres fases de cultivo

Al final de la etapa de levante se presentó una disminución en el peso promedio que pudo estar relacionada con la alta carga del sistema y limitadas condiciones de oxígeno de la madrugada (0,1-1,9 mg/l). En la fase de engorde de los animales remanentes que se dejaron en el estanque de levante PT-2 se presentaron fluctuaciones en la curva debido a que dicho estanque contaba con menor aireación respecto al estanque de engorde P4 (5,3 y 9,5 HP/Ha, respectivamente). Por esta misma razón, el engorde en P-4 arrojó mayores resultados productivos aun teniendo una densidad de siembra mayor (Figura 8).

En el estanque P4 a partir de los 155 días de cultivo (a un peso promedio de 341 g) se realizaron cosechas parciales cada semana lo cual disminuyó la densidad paulatinamente y mejoró las condiciones de cultivo para los animales. En el estanque PT-2 sólo se realizaron cosechas parciales en promedio una vez al mes ya que los pesos de estas tilapias no alcanzaron el promedio solicitado por el mercado (350 g).

1.3.2. Camarón

La producción total de camarón obtenida en el policultivo fue de 970 Kg/Ha sin el suministro de alimento balanceado. En la etapa de levante se obtuvo un 38,5% de supervivencia con camarones de 9,5 g de peso promedio (incremento de 0,41 g/semana), equivalente a producción de 327 Kg/Ha, mientras que en la etapa de engorde se obtuvo un 57,2% de supervivencia con camarones de 13,1 g de peso promedio (incremento de 0,75 g/semana), equivalentes a producción de 643 Kg/hHa (Tabla 3).

A diferencia de la tilapia, el camarón fue mucho más sensible en términos de sobrevivencia a los bajos niveles de oxígeno disuelto que ocurrieron durante la fase de levante en horas de la madrugada debido a las limitaciones en la aireación suplementaria. El tamaño de las tilapias al momento de la transferencia al estanque de levante pudo también haber afectado la supervivencia del camarón debido a que las tilapias con pesos menores a 100 g podrían ingerir postlarvas de camarón dados sus hábitos zooplanctófagos (Zimmerman, com. pers.).

ETAPAS	LEVANTE	ENGORDE
ÁREA	5.623	12.700
FECHA SIEMBRA	30-mayo-06	29-juli-06
FECHA COSECHA	7-novi-06	29-novi-06
No. LARVAS SEMBRADAS	50.300	109.000
DENSIDAD DE SIEMBRA	8,9	8,6
DÍAS DE CULTIVO	161	123
PESO PROMEDIO (GR)	9,5	13,1
INCREMENTO SEMANAL (GR)	0,41	0,75
BIOMASA COSECHADA (KG)	184	817
BIOMASA COSECHADA POR HECTÁREA (KG)	327	643
No. CAMARONES COSECHADOS	19.368	63.266
No. CAMARONES COSECHADOS POR M ²	3,4	4,9
% SUPERVIVENCIA	38,5	57,2
CONSUMO ALIMENTO	0	0

ancho en en el policultivo

El crecimiento y la supervivencia del camarón en la etapa de engorde fueron mucho mayores debido a que este estanque contaba con cerca del doble de aireación suplementaria. Aunque la supervivencia del camarón en esta etapa es baja en comparación con la obtenida en los cultivos semi-intensivos de la costa Caribe colombiana ($\approx 70\%$), su valor estuvo dentro de los rangos esperados, teniendo en cuenta la alta carga de biomasa de los estanques de cultivo (22.723 Kg/Ha, discriminados en 22.080 Kg/ha de tilapias y 643 Kg/Ha de camarón)

Las curvas de crecimiento de los camarones en los estanques de levante y engorde evidencian las diferencias en las condiciones de cultivo. En el estanque de engorde (P4), que presentó los mejores rendimientos observa un comportamiento normal y ascendente durante todo el ciclo, mientras que la curva del estanque de levante (PT-2) presenta una serie de fluctuaciones relacionadas con las clo (Figura 9 A y B).

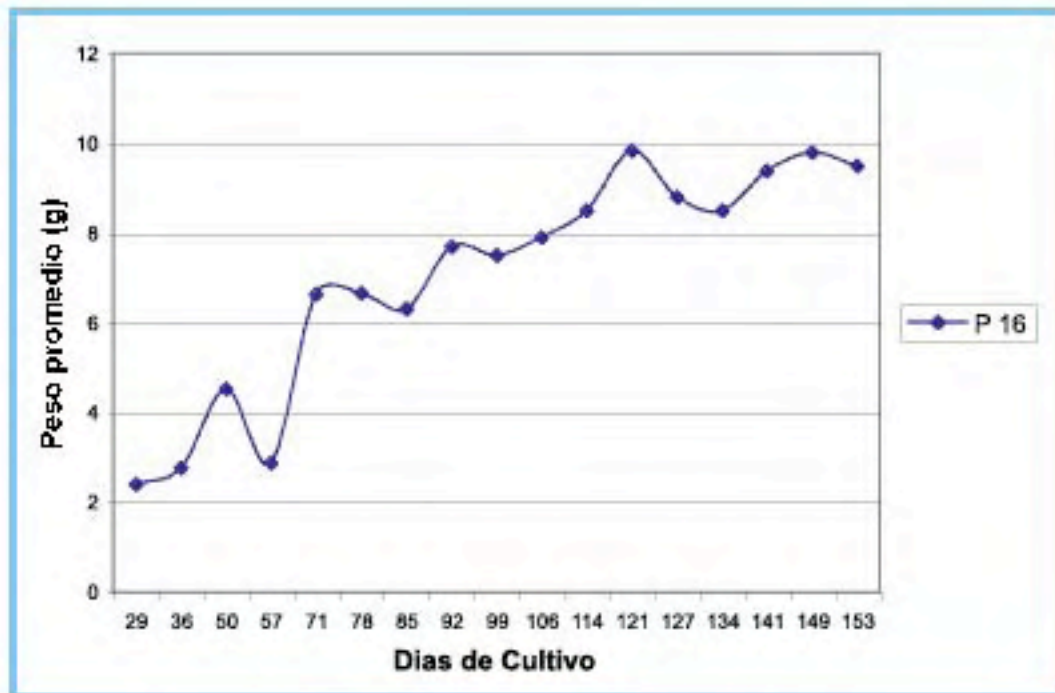


FIGURA 9 A

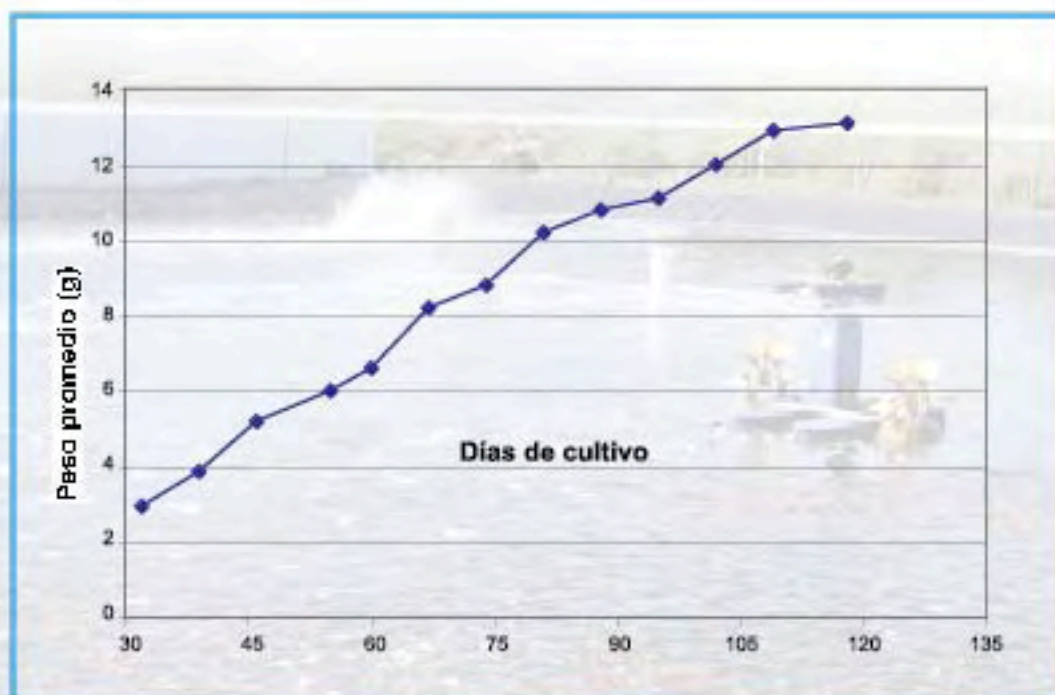


FIGURA 9 B

Figura 9. Curvas de crecimiento del camarón blanco (*Penaeus vannamei*)
 (A) Ciclo en estanque de levante; (B) Ciclo en estanque de engorde

1.4. VARIABLES FÍSICO / QUÍMICAS - RESULTADOS

Se realizó un análisis multivariado con los valores productivos y con los valores de las variables físico químicas medidas durante el ensayo y no se encontraron correlaciones significativas. No obstante, los registros de las concentraciones de oxígeno indican que dicha variable sí afectó el policultivo, particularmente en la etapa de levante, puesto que allí se presentó la menor concentración promedio (0,6 mg/L) de las tres etapas, registrando incluso lecturas con concentraciones prácticamente nulas de 0,1 mg/L. Los valores del oxígeno disuelto en las horas de la tarde estuvieron dentro del rango recomendable de 5 a 10 mg/L y en las horas de madrugada se obtuvieron algunos registros por debajo de la concentración mínima deseable (≈ 3 mg/L) en las etapas de cría y engorde

1.5. RENTABILIDAD DEL POLICULTIVO

Se obtuvo una utilidad de \$12'223.050/Ha y se realizó un análisis económico proyectado a 5 años que indicó que el proyecto satisface la rentabilidad mínima esperada (Tasa Interna de Retorno-TIR obtenida del 31%, Valor Presente Neto –VPN de \$15 millones de pesos y costo de oportunidad del inversionista del 13%). El margen bruto fue del 25%, el margen operativo del 15%, el margen neto del 10% de utilidades. Estos resultados evidencian la factibilidad técnica y económica de implementar este tipo de cultivo como una alternativa viable para granjas camaroneras que deseen diversificar su producción.

Los costos de producción y rentabilidad económica para cada especie del policultivo se presentan a continuación (Tablas 4, 5, 6 y 7)

CONCEPTO	VALOR EN PESOS	%
ALEVINOS	\$ 162	6,9
ALIMENTO CONCENTRADO	\$ 1.462	62,6
RECAMBIO DE AGUA	\$ 58	2,5
AIREACIÓN	\$ 70	3,0
MANO DE OBRA VARIABLE	\$ 152	6,5
TRANSPORTES	\$ 141	6,0
TOTAL COSTO VARIABLE	\$ 2.045	87,5
NÓMINA FINCA		
ADMINISTRATIVOS		
FINANCIEROS	\$ 290	12,5
TOTAL COSTO FIJO	\$ 290	12,5
TOTAL COSTO	\$ 2.335	100

Tabla 4. Costos de producción / Kg de tilapia nilótica

	Biomasa/Ha	Precio de Venta	Valor de la producción	Utilidad/Ha
Tilapia nilótica	20.370	\$ 2.800	\$57'036.000	\$9'472.050

Tabla 5. Rentabilidad económica de la Tilapia nilótica

CONCEPTO	VALOR EN PESOS	VALOR (US\$)
Larva	\$ 875	0,45

Tabla 6. Costos de producción por Kg de camarón

CONCEPTO	CANTIDAD	UTILIDAD/KG	TOTAL	TOTAL (US\$)
Camarón (13 g)	600	\$ 4.585	\$ 2.751.000	1.411

Tabla 7. Contribución del camarón a la utilidad por hectárea



2. CULTIVO DE TILAPIA ROJA (*Oreochromis sp.*) EN UN SISTEMA SÚPER INTENSIVO DE AGUA MARINA Y BIO-FLOC

2.1. GENERALIDADES - MARCO CONCEPTUAL

El incremento en el consumo mundial de proteína de origen acuático y la fuerte presión sobre los recursos pesqueros han impulsado tecnologías de producción cada vez más intensivas que implican, además de altas inversiones, elevadas cargas orgánicas e inorgánicas que pueden resultar contaminantes si no se tratan de forma apropiada. Las presiones ambientales por el uso racional del agua, el control de efluentes, las limitaciones de tierra y los protocolos de bioseguridad han orientado la investigación acuícola de las últimas décadas al desarrollo de sistemas eficientes de bajo impacto ambiental y a la búsqueda de fuentes alternativas de proteína que permitan reducir el uso de la costosa harina de pescado en la fabricación de alimentos balanceados y mejorar la asimilación de la proteína por parte de los animales cultivados, estimada apenas entre 20 - 30%.

La tecnología de Bio-Floc o Floc microbiano, se caracteriza por incluir en el sistema de cultivo comunidades bacterianas y aireación permanente para mejorar el aprovechamiento de los insumos, aumentar la densidad de siembra, controlar la calidad del agua, minimizar el consumo de agua, reducir el vertimiento de efluentes y producir proteína unicelular (bacteriana) asimilable por parte de los animales cultivados. Por estas características, dichos sistemas han sido denominados heterotróficos de cero recambio de agua (ZEAH - Zero Exchange Aerobic Heterotropic), de re-uso microbiano con aireación (AMR - Aerated Microbial Reuse), de Tecnología Bio-Floc (BFT - Bio-Floc Technology) o simplemente de floc bacteriano o microbiano.

La aplicación de esta tecnología se ha realizado principalmente en cultivos de camarón y en menor medida con tilapias; sin embargo, los resultados de conversión alimenticia obtenidos con estos peces han sido muy positivos, pues gracias a sus características omnívoras y capacidad 'filtradora', pueden complementar su nutrición con la ingesta directa de fitoplancton, zooplancton y la proteína unicelular (bacteriana) contenida en los flóculos resuspendidos en la columna de agua (Avminelech, 2007) (Figura 10 A y B). Las experiencias de cultivo de tilapia reportadas hasta el momento con este tipo de sistemas se han desarrollado principalmente en agua dulce, salvo algunos casos de aguas de baja salinidad, de manera que estos resultados constituyen los primeros reportes del uso de la tecnología de Bio-Floc para la producción de tilapia roja en aguas de alta salinidad (29-44 ppt).



Figura 10 A. Conos de sedimentación de Bio-Floc.



10 B. Conos de sedimentación de Bio-floc donde se evidencia su consumo por parte de las tilapias

2.1.1. Cultivo de tilapias en agua de mar

Muchas tilapias son eurihalinas, pero sus límites de tolerancia varían entre especies; por ejemplo, las especies más resistentes a la salinidad son *O. mossambicus* y *T. zillii*, aunque se ha demostrado que algunas líneas de tilapia roja presentan buena tolerancia a los ambientes salinos. Además de los factores puramente genéticos, la resistencia a las condiciones de salinidad también es afectada por la temperatura, métodos de aclimatación y la edad y/o talla corporal. Si bien la tolerancia a la salinidad aumenta con la talla y/o edad y con bajas tasas de adaptación al agua salada (2-3 ppt/día), es posible aumentar la resistencia si se realiza el desove de los animales en condiciones de agua salobre (Suresh & Lin, 1992).

Watanabe et al. (1988 a y b) encontraron para la tilapia roja de Florida que a medida que aumenta la salinidad hasta 36 ppt, i) aumenta el consumo de alimento, ii) disminuye la tasa de conversión alimenticia y iii) aumenta su tasa específica de crecimiento. Esta variable también ha demostrado suprimir la agresión territorial en estas especies y es citado como uno de los factores responsables para el mejor crecimiento en aguas salinas. Adicionalmente, la carne de tilapia cultivada en agua salina presenta menos problemas de sabor y menores conteos bacterianos (Yu & Lay, 1990 En: Suresh & Lin, 1992).

La mayoría de especies de tilapia se reproducen libremente tanto en agua dulce como en agua salobre de baja concentración. Aunque las altas salinidades suprimen la reproducción, algunas especies como *O. mossambicus*, *T. zillii* y *O. spilurus* son capaces de engendrar en aguas totalmente hipersalinas (38-49 ppt). La tilapia roja de Florida por su parte, puede desovar en salinidades tan altas como 36 ppt aunque la producción de alevinos disminuye a salinidades mayores de 18 ppt (Watanabe et al., 1997).

2.1.2. Intensificación de los cultivos acuícolas

Después del oxígeno disuelto, la acumulación de nitrógeno inorgánico disuelto (DIN) es el factor que más limita la tasa de alimentación. Los alimentos balanceados constituyen la principal entrada de nitrógeno en los sistemas intensivos. El amonio es excretado como producto del catabolismo de las proteínas y puede resultar tóxico si se acumula, más aun en aguas de pH elevado (>9,3) que favorecen la forma tóxica-gaseosa del amonio (NH₃). Se estima que apenas el 25% del nitrógeno suministrado en el alimento es asimilado por los peces; el 75% restante es excretado, principalmente en la forma de amonio o úrea y en menor medida en fracciones particuladas como heces y restos de alimento (Figura 11). Esto conlleva a dos problemas sumamente importantes: el primero relacionado con la acumulación de metabolitos tóxicos que afectan la calidad del agua y el segundo relacionado con la rentabilidad del cultivo debido a una sub-utilización del alimento suministrado (Avminlech, 2007; Ebeling et al., 2006; Boyd, & Tucker, 1998; Hargreaves, 1998).



Figura 11. Flujo del nitrógeno en los sistemas de cultivo intensivos

En los sistemas intensivos existen tres rutas principales de conversión del amonio: la remoción fotoautotrófica por parte del fitoplancton, la conversión autotrófica por bacterias (de amonio a nitrato) y la conversión heterotrófica de amonio a biomasa bacteriana (Figura 12). Éste último caso se presenta cuando el crecimiento bacteriano es estimulado por la adición de sustratos carbónicos, de manera que a una elevada proporción carbono/nitrógeno (20:1) las bacterias asimilarán el amonio directamente en proteína celular. Las tasas de descomposición dependen de factores ambientales (temperatura y oxígeno disuelto) y de la calidad sustratos orgánicos en relación con los tipos carbono y fuentes de energía (Montoya & Velazco, 2000; Avnimelech, 2006; Hargreaves, 1998; Ebeling et al., 2006)



Figura 12. Principales rutas de conversión del amonio

2.1.3. Cultivo súper intensivo con tecnología de Bio-floc

Es un sistema que se ha desarrollado en las dos últimas décadas, basado en las reacciones de oxido-reducción del ciclo del nitrógeno y que consiste en emplear i) altas densidades de siembra, ii) continua aireación, iii) estanques aislados del suelo (principalmente concreto o revestidos con plástico de alta densidad), iv) mínimo recambio de agua y v) permanente adición de sustratos ricos en carbono al agua de cultivo (p.ej. melaza, harina de yuca, etc.). Estas condiciones favorecen el desarrollo de una comunidad microbiana benéfica (asentada en pequeños flóculos de materia orgánica continuamente resuspendidos en la columna de agua por la acción de los aireadores) que recicla el nitrógeno del amonio producido por los peces en la síntesis de proteína unicelular, la cual es ingerida y asimilada por las tilapias dados sus facultades omnívoras y filtradoras (Avminelech, 2007, 1999; Wasiliesky et al., 2006. Ebeling et al., 2006)

Con este sistema se logran altas producciones (6-40 Kg/m³ de tilapia ≈ 60- 400 Ton/Ha/ciclo; 1-2 Kg/m³ Camarón ≈ 10-20 Ton/Ha/ciclo) y se reduce significativamente el uso de alimento balanceado, rubro que representa entre el 30-60% de los costos de producción.

Ejemplo del cálculo de la cantidad diaria de melaza (u otro compuesto rico en carbono):

1). Establecer la cantidad de nitrógeno proveniente del alimento que queda en el estanque teniendo en cuenta que la proteína contiene 16% de N y que el 70% del nitrógeno consumido es excretado en forma de amonio. También se debe tener en cuenta el porcentaje efectivo de carbono en el sustrato que se adicione. Si un estanque consume 24 Kg de alimento del 38% de proteína, entonces

$24 \text{ Kg alimento} \times 38\% \text{ Proteína} \times 16\% \text{ N} = 1,4592 \text{ Kg N/día.}$

La cantidad de N presente en el estanque será entonces

$1,4 \text{ Kg de N/día} \times 70\% = 1,02 \text{ Kg N}$

2). Calcular la cantidad de melaza con base en la relación carbono/nitrógeno de 20:1

Si 1 Kg N → 20 Kg C, entonces 1,02 N → 20,4 Kg C. Como el contenido de C en la melaza es de aproximadamente 40%, entonces si 20,4 Kg C → 40%, el 100% estará representado por 51 Kg de melaza.

2.2. IMPLEMENTACIÓN DEL CULTIVO DE TILAPIA ROJA EN UN SISTEMA SÚPER INTENSIVO DE AGUA MARINA Y BIO FLOC - METODOLOGÍA

2.2.1. Prueba preliminar de cultivo de tilapia roja en agua marina y Bio-Floc

En un estanque súper intensivo de cría de reproductores de camarón se sembraron tilapias de aproximadamente dos meses de edad a una densidad baja (2 peces/m²) con el fin de establecer si las tilapias podrían cultivarse o no en este tipo de sistemas. Al cabo de 4 meses los peces alcanzaron un peso promedio de 532 g, valor que concuerda con el crecimiento obtenido en operaciones comerciales de tilapia roja en agua dulce, indicando que la tilapia roja crece satisfactoriamente en altas salinidades y en presencia de Bio floc.

2.2.2. Preparación del sistema de cultivo y manejo de la proporción Carbono / Nitrógeno (C:N)

Se emplearon dos estanques en tierra con drenaje central, recubiertos con plástico de alta densidad (liner), cada uno de 900 m² (30 m x 30 m) con una columna de agua de 1,4 m para un volumen efectivo de 1260 m. Uno de ellos (Estanque P1) fue habilitado con dos (2) aireadores de paleta de 1 HP c/u y un inyector central de 1 HP y el otro (Estanque P2) fue habilitado con un juego de 15 mangueras aireadoras y un compresor de aire de 3 HP. La aireación resultante de cada estanque fue de 3 HP en total, equivalentes a 33 HP/Ha. Cada estanque fue cubierto con malla anti-pájararos para evitar la depredación por aves durante el cultivo (Figura 13 A y B; Figura 14 A, B, C y D; Figura 15).



Figura 13 A. Estanque P1 antes de la adecuación para el cultivo súper intensivo de tilapia.



Figura 13 B. Instalación de dos aireadores de paleta y un inyector de aire en posición central (Estanque P1)



Figura 14 A. Compresor de aire de 3 HP empleado para la aireación del Estanque P2



Figura 14 B. Disposición de las mangueras aireadoras en el Estanque P2



Figura 14 C. Detalle de la tubería distribuidora de aire (Estanque P2.)



Figura 14 D. Mangueras aireadoras en funcionamiento (Estanque P2.)



Figura 15. Recubrimiento de los estanques con malla anti-pájaros

Con el fin de preparar el sistema de cultivo y fomentar el desarrollo de bacterias nitrificantes y heterotróficas antes de la siembra de los peces, se adicionó urea a razón de 20 Kg/Ha/día durante los primeros 6 días y melaza (20 Kg/Ha/día) en los seis primeros días antes de la siembra de los peces. La melaza y un sustrato preparado comercialmente (Bentos) fue añadido diariamente como fuente de carbono para promover la transformación de nitrógeno por las bacterias heterotróficas. La cantidad diaria de melaza fue calculada a partir de:

$$\text{Cantidad diaria de melaza/día} = 1,8 \times \text{g/L} \times \text{m}^3 \text{ H}_2\text{O}$$

Donde, 1,8 es una constante que establece que por cada 4 gramos de pescado se suministran 2,2 g de melaza ($4/2,2 = 1,8$); g/L equivale al peso total (g) de animales / volumen total del estanque (L) y $\text{m}^3 \text{ H}_2\text{O}$ equivale a los metros cúbicos de agua contenidos en el estanque.

Se empleó dicha fórmula empírica debido a que la cantidad de melaza a adicionar basada en la proporción 20 C: 1N calculada a partir de la cantidad de alimento suministrado resultaba muy elevada al aplicarse en estas condiciones comerciales. En el desarrollo de la fórmula se tuvo en cuenta i) la densidad de peces (g/L), ii) la cantidad y porcentaje de proteína del alimento balanceado y iii) los resultados de experiencias previas de CENIACUA con cultivos súper intensivos de camarón.

2.2.3 Adaptación de alevinos al agua salada:

Paralelamente a la preparación de los estanques de cultivo se realizó la adaptación de 50.000 alevinos de tilapia roja al agua salada empleando dos tanques de fibra de vidrio de 50 m^3 c/u, en los que se aumentó progresivamente la salinidad durante 17 días hasta igualar la salinidad de los estanques de cultivo (41 ppt) (Figura 16 A, B, C, D y E). Los primeros 6 días se empleó una tasa de aumento de 5 ppt/día (hasta llegar a 30 ppt) y posteriormente una tasa de aumento en la salinidad de 1 ppt/día durante 11 días. Una vez adaptados a 41 ppt, los animales fueron colectados con un chinchorro pequeño y luego transferidos a los estanques de cultivo a una densidad de 20 peces/ m^3 .



Figura 16 A y B. Llenado con agua dulce de los tanques de adaptación al agua salada



Figura 16 C y D. Aclimatación de los alevinos a sus nuevas condiciones



Figura 16 E. Estanque listo para el aumento progresivo de la salinidad

2.2.4 Alimentación

Los peces fueron alimentados con alimento balanceado comercial de diferentes porcentajes de proteína: 45% en harina (hasta un peso de 3 g), 45% en pellet (hasta un peso de 10 g), 38% (hasta un peso de 50 g), 30% (hasta un peso de 200 g) y 24% (hasta la cosecha), entregando en todos los periodos la mitad del porcentaje de la biomasa comúnmente empleado en los cultivos comerciales en agua dulce previendo el consumo de proteína unicelular (Bio-flocs) por parte de los peces además de reducir la carga de metabolitos nitrogenados tóxicos (principalmente en la forma de NH_3). Se asumió una mortalidad del 15% que fue dividida entre el tiempo de cultivo con el fin de estimar la cantidad de peces y el alimento para cada intervalo de muestreo.

2.2.5. Variables productivas

Durante el ensayo los peces fueron muestreados quincenalmente ($n=100$), anestesiados con aceite de clavo (Eugenol a 10-20 mg/L x 5-10 minutos) y medidos en peso (g) y longitud total (mm). Después del muestreo los peces fueron tratados con formalina (160 ppm x por 10 minutos) como medida profiláctica y luego transferidos nuevamente a los estanques de cultivo (Figura 17 A-G).

Los datos de peso, longitud y factor de condición fueron comparados estadísticamente para establecer la presencia de diferencias significativas entre los estanques de cultivo. La tasa específica de crecimiento (TAC) se calculó como $\text{TAC} = 100 (\ln W_f - \ln W_i) / t$, donde W_i es peso promedio inicial (g), W_f es peso promedio final (g) y t es la longitud del intervalo (días). La ganancia diaria de peso (GDP) se calculó como $\text{GDP} = (W_f - W_i) / t$. El factor de condición (K) fue calculado como $K = 100 W / L^3$, donde W es el peso (g) y L es la longitud total (cm). Al final del cultivo se obtuvo el factor de conversión alimenticia (FCA) mediante $\text{FCA} = \text{Alimento suministrado (Kg)} / \text{ganancia de peso de los peces (Kg)}$. La productividad del estanque (Kg de pescado/Ha/ciclo productivo) fue calculada al final de la experiencia en cada estanque.



Figura 17 A. Captura



Figura 17 B. Anestesia



Figura 17 C. Registro De Longitud y Peso



Figura 17 D. Registro De Longitud y Peso



Figura 17 E. Registro De Longitud y Peso



Figura 17 F. Registro De Longitud y Peso



Figura 17 G. Devolución al estanque

2.2.6. Monitoreo de variables fisico-químicas y volumen de Bio-floc

Diariamente Se obtuvieron registros de la concentración de oxígeno disuelto (mg/L) y temperatura ($^{\circ}$ C) (ambos medidos a las 4:00 y 16:00 horas), turbidez (cm disco Secchi – 8:00 horas), salinidad (ppt – 8:00 horas) y pH (15:00 horas). Cada semana el agua de los estanques fue muestreada en el centro y esquinas empleando cinco recipientes plásticos de 4 L cada uno. Las muestras fueron mezcladas y diferentes sub-muestras fueron empleadas para la determinación del volumen de Bio-floc (cm^3 conos Imhoff), alcalinidad total (mg/L CaCO_3), amonio (mg/L), nitrato (mg/L) y nitrito (mg/L). (Figura 18 A,B,C,D y E).



Fig 18 A. Oxígenoímetro (toma de temperatura y concentración de oxígeno), salinómetro y disco Secchi (turbidez)

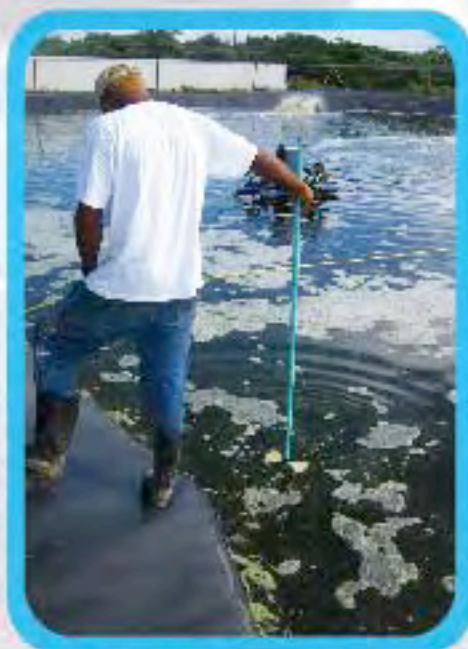


Fig 18 B. Registro de turbidez



Fig 18 C. Registro salinidad



Fig 18 D. Conos de segmentación de Bio Floc.
al inicio de la experiencia



Fig 18 E. Conos con el sistema hetromotrófico
plenamente desarrollado

2.3. RESULTADOS PRODUCTIVOS

2.3.1. Adaptación de alevinos al agua salada

Durante esta etapa los alevinos estuvieron sometidos a un fuerte estrés osmótico evidenciado en la pérdida de peso a partir de salinidades mayores a 35 ppt. (Figura 19). No obstante, la tasa de aumento de salinidad empleada permitió obtener una supervivencia del 96% al final del proceso.

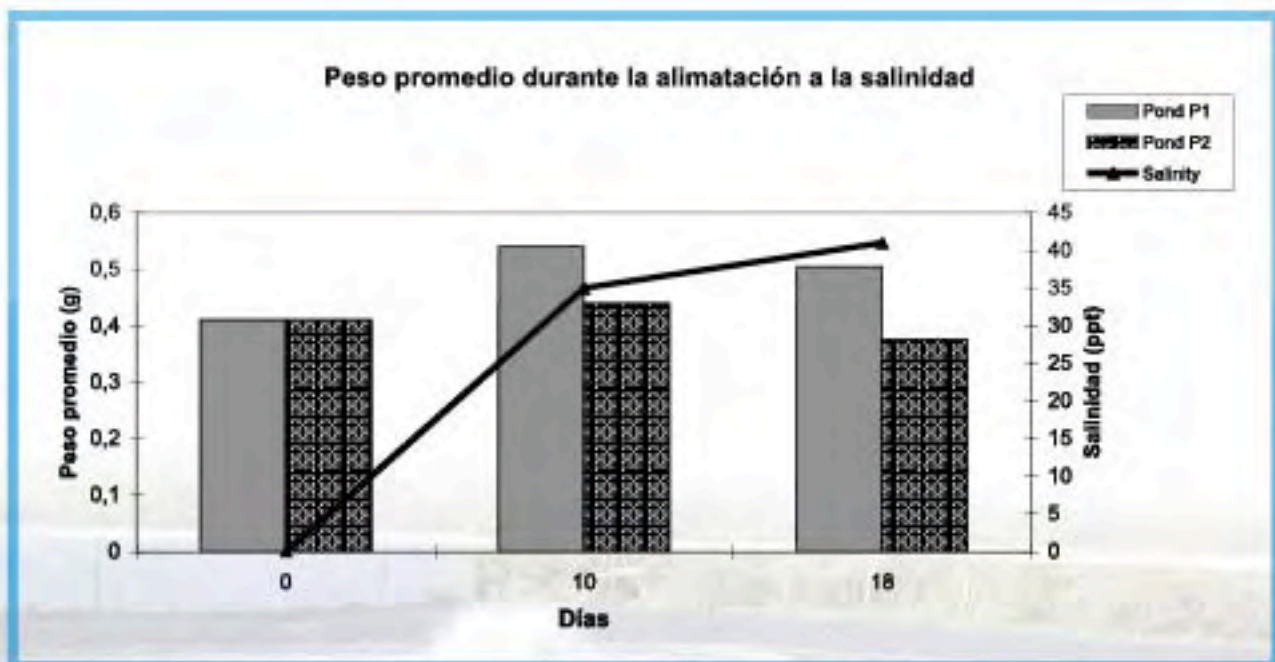


Figura 19. Peso promedio de los alevinos durante la adaptación al agua salada. El estrés osmótico se evidencia en la disminución del peso promedio de los alevinos en la etapa final

2.3.2. Crecimiento, factor de conversión alimenticia (FCA), supervivencia y productividad (Kg/Ha/ciclo)

El sistema de aireación por mangueras difusoras (estanque P2) demostró ser insuficiente a partir del primer mes de cultivo (niveles de oxígeno disuelto cercanos a 0 mg/L en horas de la madrugada) y tuvo que ser reemplazado por el sistema tradicional de aireadores de paleta/inyección.

A pesar de que se encontraron diferencias significativas en el 60% de los periodos de muestreo, el crecimiento en ambos estanques fue similar hasta el día 155 de cultivo, con $226,59 \pm 0,68$ g y $223,50 \pm 0,59$ g (peso promedio \pm error estándar) para P1 y P2, respectivamente, sin diferencias significativas. Después de este periodo, el crecimiento en el estanque P2 estuvo impedido debido a un brote del parásito flagelado *Amyloodinium* sp. que produjo altas mortalidades entre los 156-174 días de cultivo, forzando a la cosecha anticipada del estanque al día 174 para evitar la pérdida total del producto. El ensayo de cultivo en el estanque P1 fue mantenido hasta que los peces alcanzaron la talla comercial requerida en los mercados locales (≈ 350 g; día de cultivo 224). (Tabla 8; Figura 20)

DÍA N°	Peso promedio \pm Error estándar		P-Value ANOVA	P-value Kruskal-Wallis
	P1	P2		
0	0,5 \pm 0,00 ^a	0,38 \pm 0,00 ^b	0,0002	
14	3,87 \pm 0,01 ^a	4,44 \pm 0,01 ^b		0,0000
28	11,42 \pm 0,04 ^a	11,23 \pm 0,04 ^a	0,7258	
43	23,98 \pm 0,08 ^a	29,21 \pm 0,09 ^b	0,0000	
56	34,06 \pm 0,14 ^a	37,92 \pm 0,11 ^b		0,0089
71	56,47 \pm 0,15 ^a	63,24 \pm 0,16 ^b	0,0027	
85	76,69 \pm 0,21 ^a	74,88 \pm 0,23 ^a	0,5614	
99	101,00 \pm 0,28 ^a	98,89 \pm 0,29 ^a	0,6042	
113	144,05 \pm 0,39 ^a	125,75 \pm 0,36 ^b	0,0007	
127	176,16 \pm 0,42 ^a	157,85 \pm 0,45 ^b	0,0033	
141	211,78 \pm 0,54 ^a	198,99 \pm 0,62 ^a	0,1197	
155	226,59 \pm 0,68 ^a	223,50 \pm 0,59 ^a	0,7316	
169	277,85 \pm 0,73 ^a	225,48 \pm 0,73 ^b	0,0000	
183	308,06 \pm 0,84	N.A.	N.A.	N.A.
196	353,91 \pm 0,14	N.A.	N.A.	N.A.
211	428,64 \pm 1,29	N.A.	N.A.	N.A.
226	477,96 \pm 1,13	N.A.	N.A.	N.A.

Tabla 8. Registro del peso promedio de las tilapias en los estanques de cultivo súper intensivo con agua marina y Bio-floc



Figura 20. Curva de crecimiento de las tilapias rojas cultivadas en los estanques de cultivo súper intensivo en agua marina y Bio-floc

En el periodo de muestreo del día 169 (el último para el estanque P2) el efecto negativo del *Amyloodinium sp.* sobre los peces se evidenció en un mínimo crecimiento (ganancia diaria de peso = 0,14 g/día; peso promedio \pm e.s. = 225,48 \pm 0,73) en comparación con los peces del estanque P1 (ganancia diaria de peso = 3,66 g/day; peso promedio \pm e.s. = 277,85 \pm 0,73 g) con diferencias significativas (Tabla 8; Figura 21). El factor de condición (K), que se mantuvo sin diferencias significativas en los últimos nueve muestreos comparativos, también estuvo significativamente afectado debido al brote del parásito (Tabla 9).

Muestreo N°	DÍA N°	Factor Condición (K) \pm E.S.		P-Value ANOVA	P-value Kruskal-
		P1	P2		
1	0	1.57 \pm 0.004 ^a	1.40 \pm 0.003 ^b		0,0003
2	14	1.92 \pm 0.002 ^a	2.07 \pm 0.002 ^b	0,0000	
3	28	2.23 \pm 0.002 ^a	2.17 \pm 0.002 ^b	0,0359	
4	43	2.24 \pm 0.002 ^a	2.25 \pm 0.002 ^a	0,8932	
5	58	2.13 \pm 0.002 ^a	2.18 \pm 0.002 ^a	0,0918	
6	71	2.13 \pm 0.002 ^a	2.14 \pm 0.002 ^a	0,8406	
7	85	2.14 \pm 0.002 ^a	2.17 \pm 0.002 ^a		0,9594
8	99	2.27 \pm 0.002 ^a	2.50 \pm 0.027 ^a		0,1657
9	113	2.35 \pm 0.003 ^a	2.30 \pm 0.003 ^a	0,1778	
10	127	2.30 \pm 0.002 ^a	2.38 \pm 0.004 ^a		0,1411
11	141	2.32 \pm 0.002 ^a	2.36 \pm 0.002 ^a	0,1848	
12	155	2.34 \pm 0.003 ^a	2.34 \pm 0.003 ^a		0,7243
13	169	2.31 \pm 0.002 ^a	2.23 \pm 0.003 ^b	0,0298	
14	183	2.36 \pm 0.003	N.A.	N.A.	N.A.
15	196	2.53 \pm 0.005	N.A.	N.A.	N.A.
16	211	2.23 \pm 0.003	N.A.	N.A.	N.A.
17	226	2.26 \pm 0.003	N.A.	N.A.	N.A.

Tabla 9. Factor de condición de los peces en estanques de cultivo

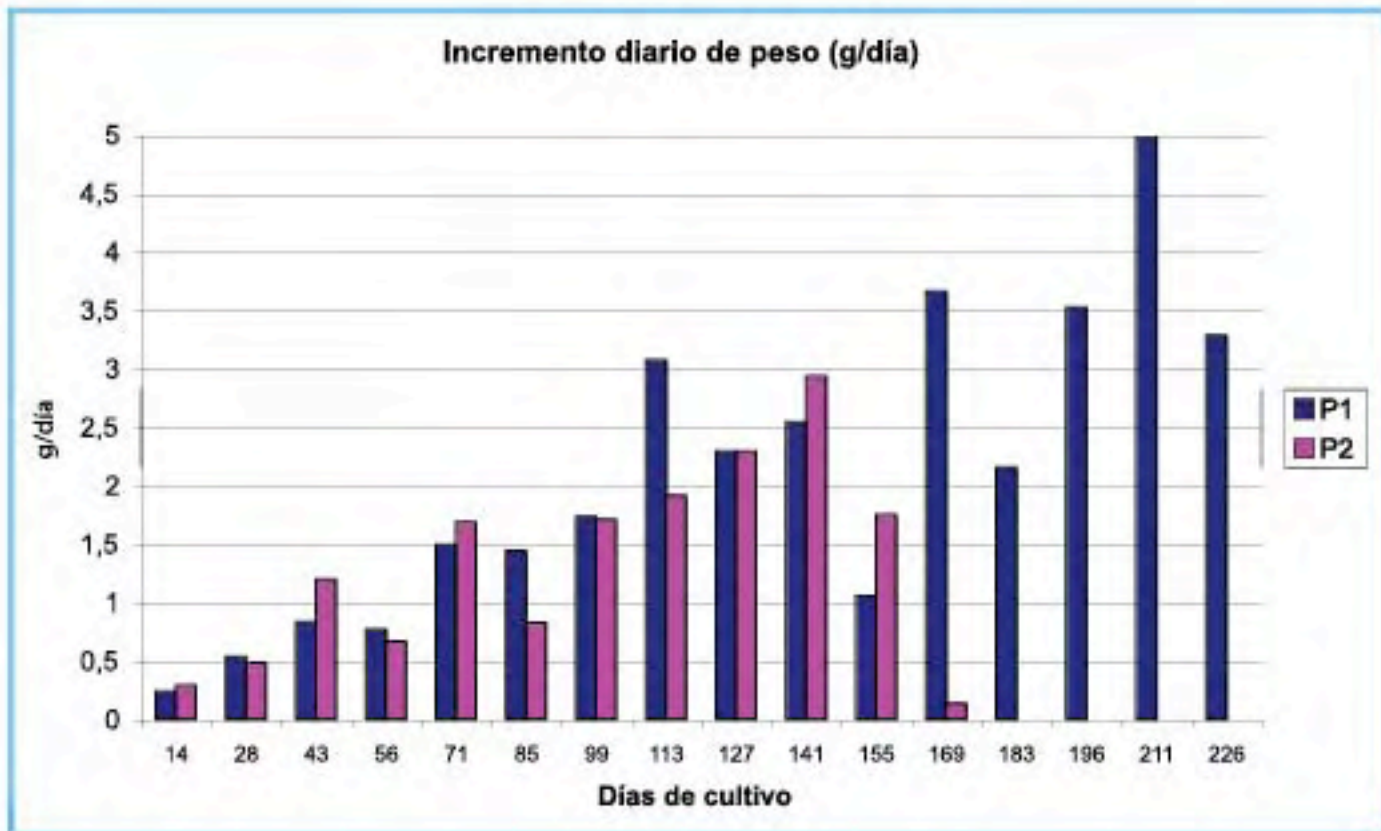


Figura 21. Incremento diario de peso

Durante el brote de *Amyloodinium sp.* en el estanque P2 los peces se observaron letárgicos e inapetentes y algunas veces boqueando sobre la superficie del agua aun en presencia de elevados niveles de oxígeno disuelto (>6mg/L). Se tomaron muestras del agua de cultivo y de peces en ambos estanques para realizar pruebas de laboratorio (observación microscópica de branquias, piel y aletas; pruebas microbiológicas y análisis histopatológicos)

En todas las observaciones de branquias piel y aletas se encontraron numerosos trofontes de *Amyloodinium sp.* adheridos a los tejidos con alto numero en la superficie branquial y menores concentraciones sobre la piel y las aletas (Figura 22 A, B, y C). las pruebas microbiológicas realizadas en peces como en el agua de cultivo indicaron la presencia de algunas bacterias normales en la flora de las tilapias y en su ambiente cultivo mientras que los análisis histopatológicos no reportaron mayor alteración de los órganos internos, con excepción de las branquias, indicando que el brote del parásito fue el responsable directo de las alta mortalidad ocurrida en el estanque P2. Este parásito es un habitante normal de las aguas marinas pero cuando existe una gran concentración de materia orgánica aumenta su población convirtiéndose en un problema bastante serio que rara vez puede controlarse. Es probable que dicho parásito se haya desarrollado en el estanque P2 debido a que el sistema de aireación empleado al comienzo del experimento (mangueras aireadoras) no produjo adecuados niveles de oxígeno que permitieran la adecuada oxidación de la materia orgánica, fomentando por tanto su acumulación.



Figura 22 A. Lamela branquial en peces del estanque P1. (magnificación de 10X)

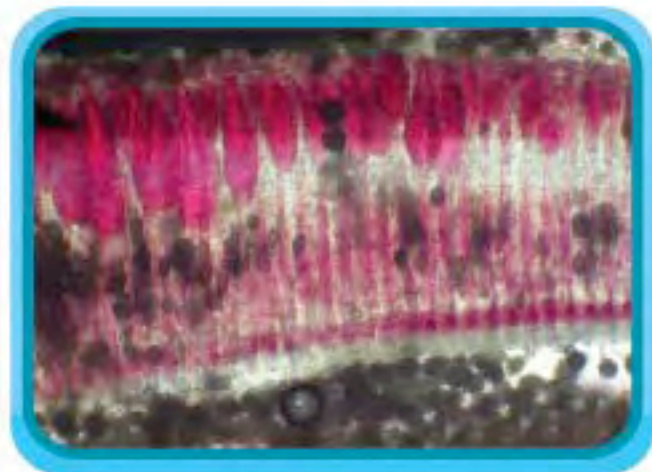


Figura 22 B. Lamela branquial en peces del estanque P2 con altas concentraciones de trofontes (magnificación de 20X)

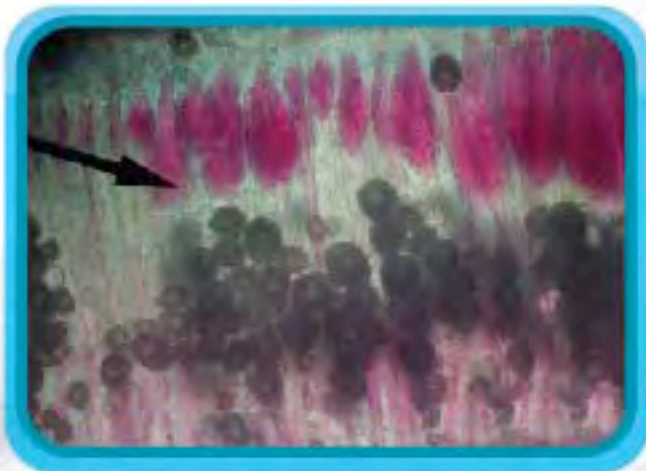


Figura 22 C. Detalle de los trofontes adheridos al epitelio branquial (magnificación de 40X)

El estanque P2 tuvo una supervivencia del 55% y produjo 2.973 Kg (peso promedio \pm e.s. = 225,48 \pm 0,73 g), equivalentes a 33.027,8 Kg/Ha/ciclo. La biomasa recuperada de peces muertos por el parásito fue estimada en 947 Kg, indicando que el *Amyloodinium* causó cerca del 18% de mortalidad en apenas 15 días. La producción y supervivencia general obtenida, tomando en cuenta la biomasa total producida (Kg cosechados + Kg de peces muertos recuperados) fue de 3.919 Kg (43.545,8 Kg/Ha/ciclo) y 73%, respectivamente (Tabla 10). La conversión alimenticia general (FCA) fue 1,4.

	P1	P2	
		Valores Netos	Incluyendo mortalidad causada por <i>Amyloodinium</i> sp.
Días de cultivo	224	174	174
% Supervivencia	69,4	55,3	72,9
Biomasa cosechada	6623,3	2972,5	3919,1
Kg/m²	7,4	3,3	4,4
Kg/m³	5,3	2,4	3,1
Productividad Kg/Ha/Ciclo	73.592,2	33.027,8	43.545,8
Productividad Kg/Ha/día	328,5	189,8	250,3
Factor de Conversión Alimenticia (FCA)	1,54	1,95	1,48

Tabla 10 . Principales variables productivas del cultivo

Por su parte, los peces del estanque P1 fueron mantenidos en cultivo por 224 días y se realizaron cosechas parciales a partir del día 190 de cultivo según la demanda de los comercializadores, obteniendo peces de un peso promedio entre 339 y 478 g (Figura 23 A, B, C, D, E y F). En este estanque se obtuvo un factor de conversión alimenticia (FCA) de 1,54, una supervivencia del 69,4% y una productividad de 73.592,2 Kg tilapia roja/Ha/ciclo (Tabla 10), la cual es entre 4-7 veces superior a la reportada en los cultivos intensivos realizados en estanques de agua dulce. La supervivencia y la tasa de crecimiento (2,1 g/día) obtenidas en este ensayo concuerdan con los cultivos tradicionales de cultivo indicando que la densidad de siembra empleada (20 peces/m³) no afecta el crecimiento ni el rendimiento de los animales en sistemas súper intensivos de biofloc en aguas de alta salinidad. Cabe resaltar la calidad superior de la tilapia cultivada en agua de mar en términos de sabor, color y textura, lo cual representa un valor agregado del producto. Por ser ésta la primera experiencia de cultivo de tilapia en aguas de alta salinidad y bio-floc, es recomendable realizar investigación adicional en torno a otras densidades de siembra y alimentos de bajo contenido proteico para determinar la capacidad de carga del sistema y los aportes nutricionales del floc.



Figura 23 A



Figura 23 B



Figura 23 C.



Figura 23 D



Figura 23 E



Figura 23 F

Figura 23 A-D. cosechas parciales en el estanque P1; E y F. Empaque del producto final

2.4. COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES FÍSICO-QUÍMICAS

En términos generales los valores de oxígeno disuelto, temperatura y pH se mantuvieron entre los rangos deseables para el cultivo de tilapia (Figuras 25, 26 y 27). Por el contrario, los valores del amonio y nitrito fluctuaron marcadamente a lo largo del ensayo presentando concentraciones muy superiores a las consideradas 'seguras' para la acuicultura aunque sin efectos nocivos sobre el rendimiento de los peces (Figura 28; Figura 29). Resultados de otras experiencias en Bio-floc tanto en camarón como en tilapia sugieren que en este tipo de sistemas tan complejos e interactivos, las altas concentraciones de amonio no constituyen un problema per se, sino nuevos paradigmas que apenas han comenzado a descubrirse. El rango de salinidad (18-44 ppt) registrado en la presente experiencia confirma la alta adaptabilidad osmótica de la tilapia roja (Figura 24) y su enorme potencial para el desarrollo de cultivos intensivos en zonas donde los recursos de agua dulce son escasos.



Figura 24. Comportamiento de la salinidad durante el ciclo de cultivo

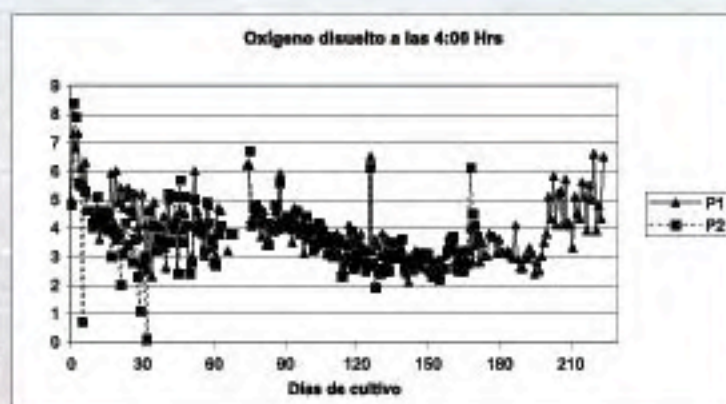


Figura 25 A. Comportamiento del oxígeno disuelto durante el ciclo de cultivo, registro a las 4:00 horas

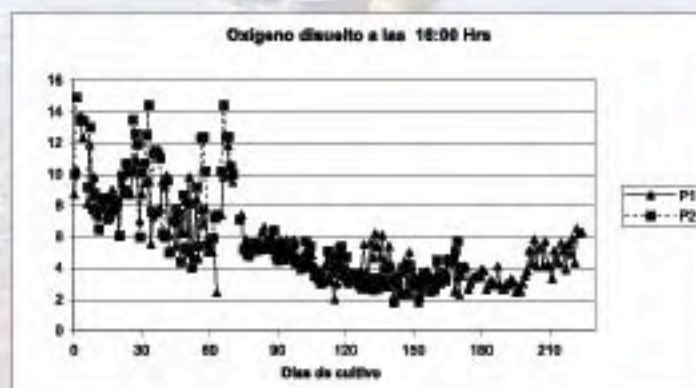


Figura 25 B. Comportamiento del oxígeno disuelto durante el ciclo de cultivo, registro a las 16:00 horas

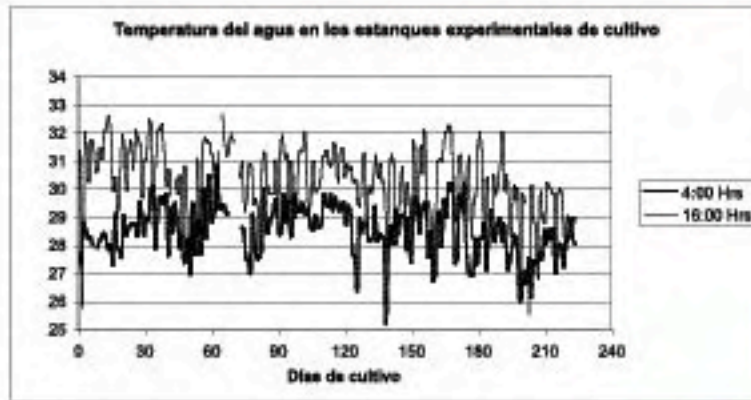


Figura 26. Registro de temperatura durante el ciclo de cultivo

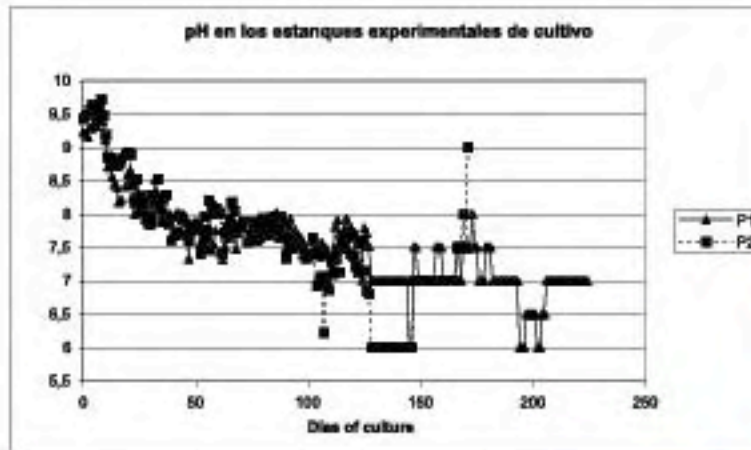


Figura 27. Registro del pH durante el ciclo de cultivo

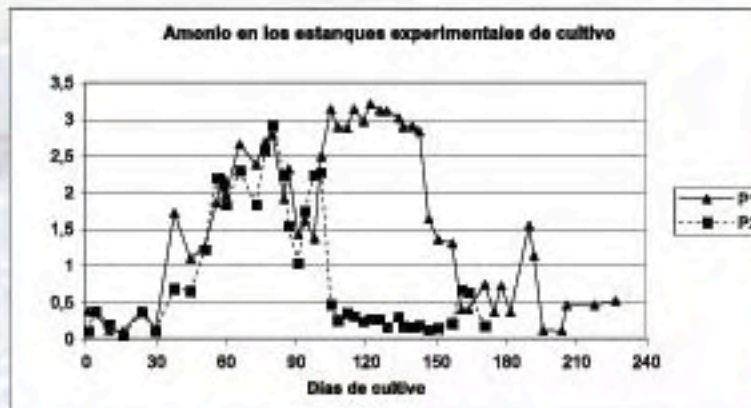


Figura 28. Concentración de amonio durante el ciclo de cultivo

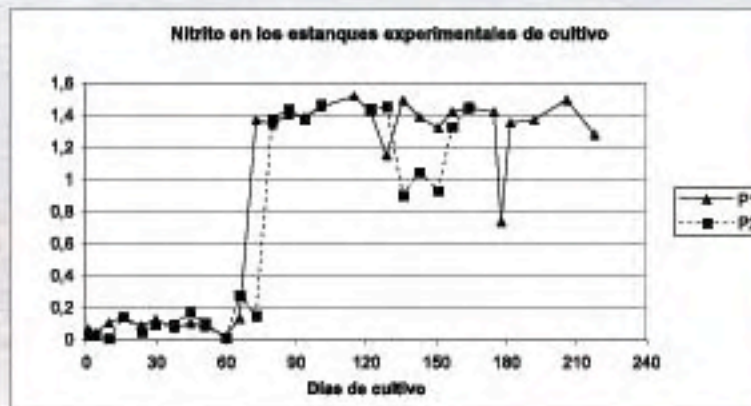


Figura 29. Concentración del nitrito durante el ciclo de cultivo

2.5. Producción de Bio-floc

En los estanques de cultivo el Bio-floc comenzó a desarrollarse a partir del día 80 con producciones que oscilaron entre 0,1 y 5 cm³ y entre 0,3 cm³ y 8 cm³ en el estanque P1 y el estanque P2, respectivamente (Figura 30). Los valores máximos se obtuvieron entre los días 157-178 (estanque P1) y entre los días 157-164 (estanque P2). Posteriormente en el estanque P1 la producción se redujo hasta 0,5 cm³, manteniendo este valor constante hasta el final del cultivo (día 226) mientras que en el estanque P2 la producción de Bio-floc dejó de ser monitoreada porque el brote del parásito *Amyloodinium* sp. exigió la cosecha anticipada de los peces (día 174).

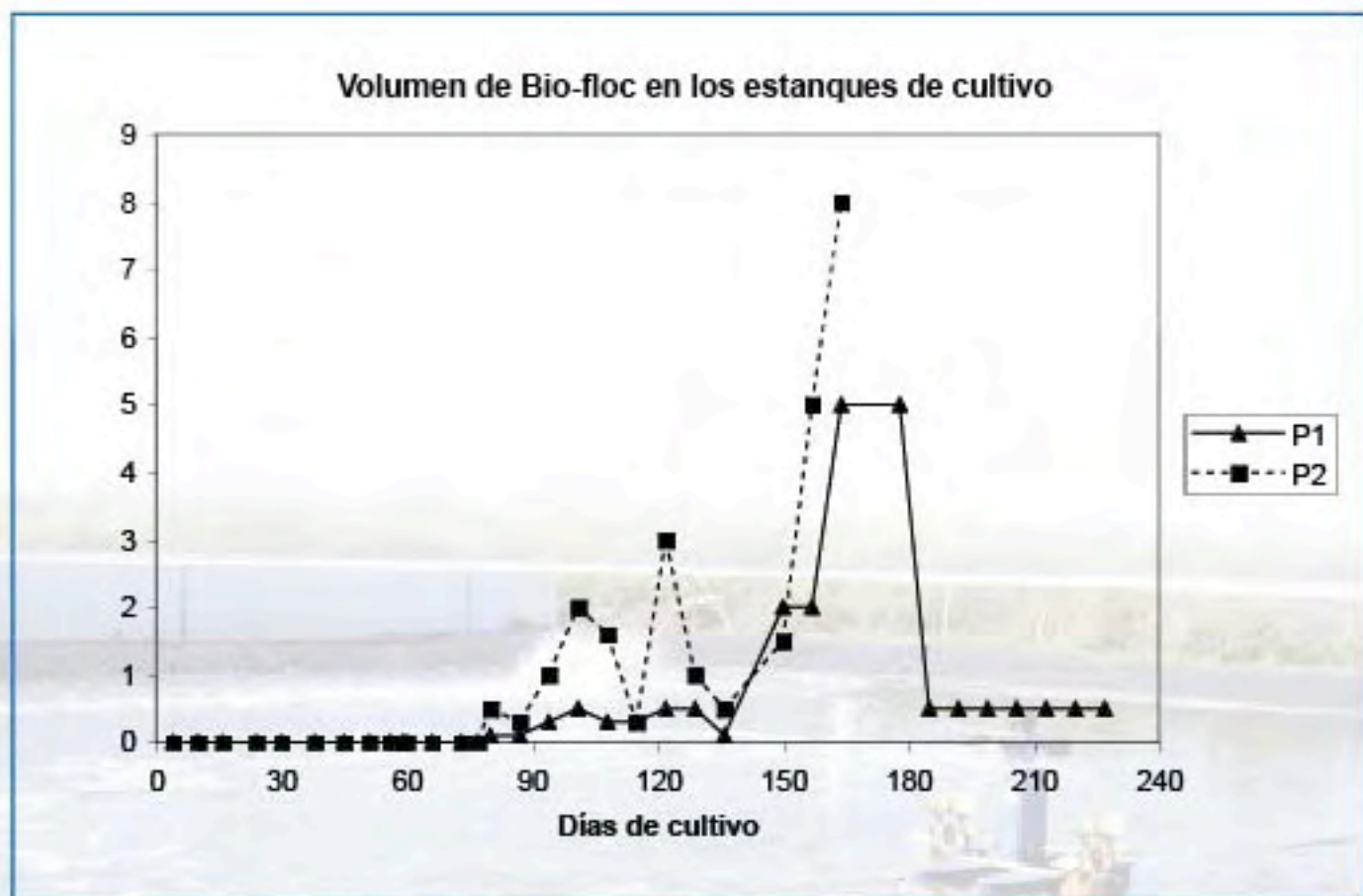


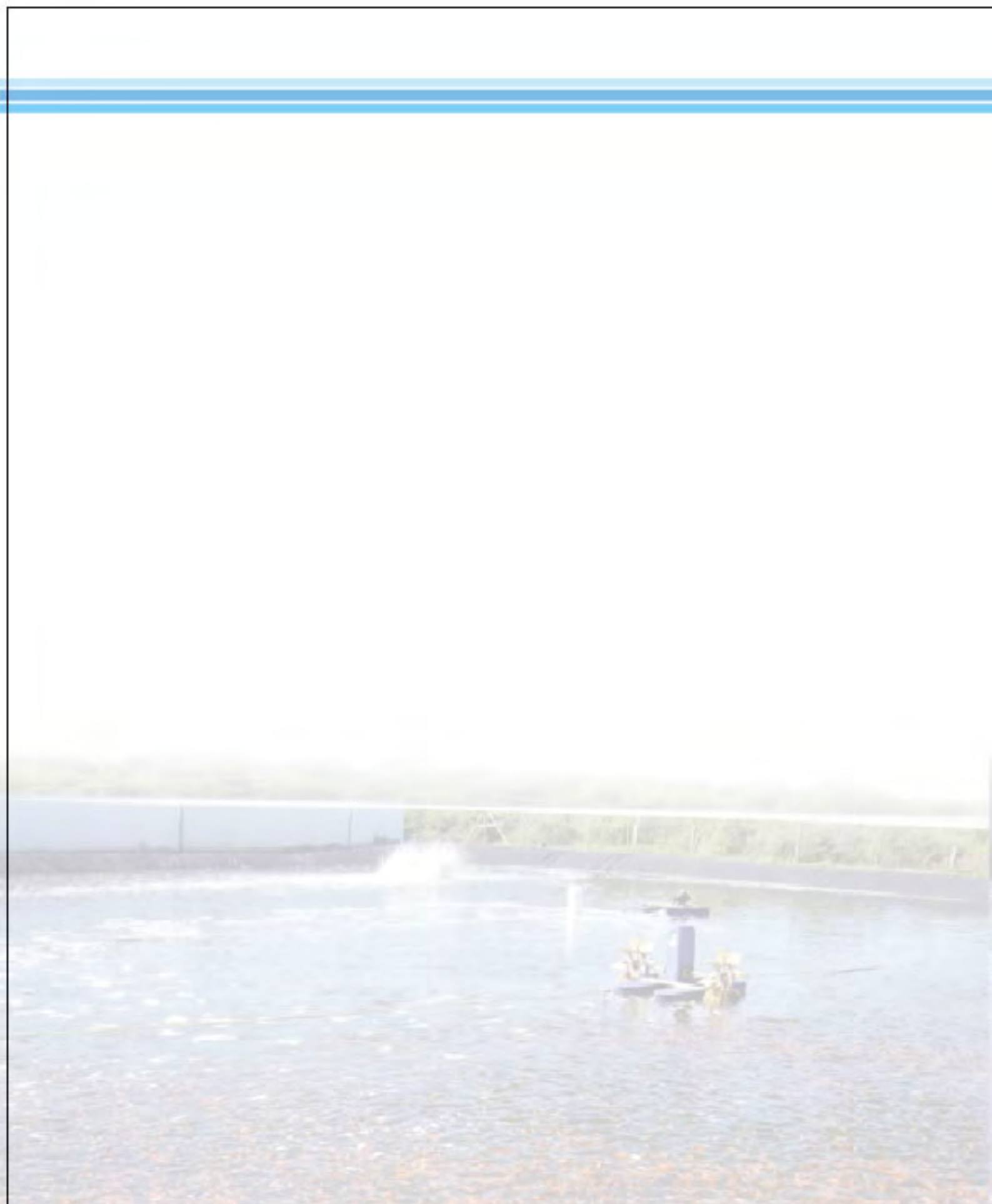
Figura 30. Registro del volumen (cm³) de Bio-floc en los estanques de cultivo

El mayor volumen de Bio-floc del estanque P2 (8 cm^3) con respecto al estanque P1 (5 cm^3) durante el intervalo de tiempo de producción máxima de Bio-floc puede explicarse en la ocurrencia del parásito a partir del día 156 en el estanque P2. Los trofontes de *Amyloodinium* sp. colonizaron profusamente las branquias de los peces del estanque P2 limitando todas sus funciones fisiológicas e interrumpiendo por completo el consumo de alimento (representado tanto por el alimento artificial como por las partículas de bio-floc) por parte de los peces. Al dejar de alimentarse, los peces del estanque P2 también dejaron de 'filtrar' los Bio-flocs presentes en el agua de cultivo con un consecuente aumento en el volumen de dicha variable (Figura 30).

Por otra parte, los volúmenes de Bio-floc aquí obtenidos se consideran bajos con respecto a los valores promedio generados corrientemente en los estanques de cultivo súper intensivo de camarón en el laboratorio de CENIACUA ($\approx 30 \text{ cm}$ de volumen de Bio-floc). La diferencia entre los volúmenes de floc en estanques de camarón y en estanques de tilapia y el alto contenido de Bio-floc observado en el sistema digestivo de las tilapias a lo largo del cultivo (Figura 31) evidencian el permanente consumo de Bio-floc por parte de las tilapias dadas sus facultades omnívoras y filtradoras, representando nuevos horizontes de investigación sobre valor nutricional de Bio-flocs y nuevas estrategias de producción en agua de mar.



Figura 31. Bio-floc presente en las heces de un ejemplar juvenil de tilapia roja



c.i. agrosoledad s.a.