

EVALUACIÓN DE INVERNADEROS EN PRODUCCIONES PISCÍCOLAS

Christine M. Hahn-von-Hessberg & Alberto Grajales-Quintero¹

Resumen

Se evaluaron variables medioambientales (temperatura, oxígeno, pH) del agua en estanques, a las 6, 14, 22 horas. Las variables de producción analizadas fueron ganancia de peso (g/día/pez), consumo de alimento balanceado (pez/día/g) y conversión alimenticia. Los costos fijos representaron: mantenimiento del estanque e instalación del polímero en el piso y cubierta. Los costos variables se determinaron por el costo del alevino de *Oreochromis niloticus* y del alimento balanceado de 30% de proteína, evaluados en cuatro tratamientos: estanques con piso en tierra y cubierta plástica, piso en plástico y cubierta plástica, piso en plástico sin cubierta y estanques en tierra sin cubierta plástica. El plástico utilizado para la cubierta fue el *Agroclear XF* y para el piso de los estanques se utilizó el polímero *Agroblack No. 15*, utilizando un diseño en bloques completos al azar, en el tiempo y tres repeticiones por bloque. Los resultados muestran que la construcción en guadua de los invernaderos para los estanques utilizando *Guadua angustifolia*, es una opción económica para piscicultores, las cubiertas plásticas de los estanques permiten un control adecuado de la temperatura del agua en los estanques y controla en un 100% la depredación de peces por aves piscívoras. Se concluye que los estanques con piso en tierra y cubierta plástica fueron los más eficientes, presentaron facilidad de manejo, mayor producción de plancton, mejor rendimiento productivo y económico, que coincidió con la mayor estabilidad térmica, seguido por los estanques con piso en tierra sin cubierta plástica, convirtiéndose en una alternativa viable para optimizar la producción piscícola.

Palabras clave: invernadero, tilapia nilótica, temperatura, oxígeno, piscicultura.

¹ FR: 23-IX-16. FA: 18-X-16.

¹ Profesores, Departamento Producción Agropecuaria, Universidad de Caldas, Manizales, Caldas, Colombia. Christine.hahn@ucaldas.edu.co ORCID: 0000-0002-0018-4642, Alberto.grajales@ucaldas.edu.co ORCID: 0000-0002-4665-3758

CÓMO CITAR:

HAHN-VON-HESSBERG, C.M. & GRAJALES-QUINTERO A., 2016.- Evaluación de invernaderos en producciones piscícolas. *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. U. de Caldas*, 20 (2): 124-137.

DOI : 10.17151/bccm.2016.20.2.9



EVALUATION OF GREENHOUSES IN FISH PRODUCTION

Abstract

Environmental variables (temperature, oxygen, pH) of the water of the ponds were evaluated at the 6, 14, and 22 hours. The production variables analyzed were weight gain (g/day/fish), consumption of balanced food (fish/day/g) and feed conversion. Fixed costs represented: pond maintenance and installation of polymer on the floor and cover. Variable costs were determined by the cost of the *Oreochromis niloticus* larva and 30% protein balanced feed, evaluated in four treatments: ground-floor ponds with plastic cover; plastic floor ponds and plastic cover; plastic floor ponds without cover; ground-floor ponds without plastic cover. The plastic used for the cover was Agroclear XF, and for the floor of the pond the Agrobblack No.15 polymer was used, utilizing a design in randomized complete blocks in time and three replicates per block. The results show that construction of greenhouses in guadua for ponds using *Guadua angustifolia*, is an economical choice for fish farmers; the plastic covers of the ponds allow adequate control of the temperature of the water in the ponds and controls 100% fish predation by piscivorous birds. It is concluded that ground-floor ponds and plastic cover were the more efficient presenting ease of use, increased production of plankton, better productive and economical yield, coinciding with a greater thermal stability, followed by the ground-floor ponds without plastic cover, making it a viable alternative to optimize fish production.

Key words: greenhouse, Nile tilapia, temperature, oxygen, fish farming.

INTRODUCCIÓN

En el siglo XXI, el agua se valorará cada vez más, la escasez de recursos hídricos adquirirá carácter crítico, la competencia por este recurso aumentará y la escasez de agua potable afectará a un gran número de personas y producciones agropecuarias

Las prácticas insostenibles de pesca han reducido la base de los recursos pesqueros, se ha superado la capacidad biológica de recuperación, al ser mayor la demanda que la oferta de peces, disminuyendo ostensiblemente su aporte a la seguridad alimentaria (FAO 2009, 2014). El reto mundial consiste en mantener la oferta de productos de pesca para satisfacer la necesidad de proteína de una población cada vez mayor y permitiendo recuperar las poblaciones de peces sobre-explotados. Aproximadamente un 83,9% de la producción total de la acuicultura es producida en los países en desarrollo, superando el 36% del suministro mundial de productos pesqueros (FAO, 2010).

Muchos acuicultores indagan constantemente sobre la forma y medios para mejorar sus producciones, hacerlas eficaces, rentables y sostenibles. Se busca mejorar la pesca continental a través de sistemas agrícolas que incorporen la acuicultura y la agricultura, mediante la utilización integral de masas de agua pequeñas y medianas. Temas sociales, económicos e institucionales han sido reconocidos como limitantes para potenciar el aporte de la piscicultura al desarrollo rural, los aspectos técnicos de la acuicultura están relativamente bien desarrollados, pero el impacto de la acuicultura en la seguridad alimentaria y alivio de la pobreza en áreas rurales, está pobremente documentado (FAO, 2012).

Para mitigar el impacto de la acuicultura en el medio ambiente y evitar los efectos adversos en otras actividades, se busca mejorar el aprovechamiento de los recursos naturales y lograr una ordenación ambiental apropiada, así, es probable que las prácticas extensivas y semi-intensivas sean más eficientes (FAO, 2011).

La acuicultura se enfrenta a retos como: combatir enfermedades y epizootias, eficiencia reproductiva, desarrollar alimentos apropiados y mecanismos de alimentación, proceso de cría y engorde, manejo de la calidad del agua, para lo cual se requiere nuevas tecnologías, donde se busca aumentar la productividad y la viabilidad económica (FAO, 2011). Dentro de este proceso se encuentra la capacidad de generar una producción limpia, rápido crecimiento de los ejemplares y ambientes eficientes (FAO, 2012). La debilidad de los países en desarrollo es la falta de ejemplos locales en acuicultura, que limita en los productores el desarrollo de habilidades y deseo de arriesgarse a poner en práctica nuevas opciones. Así por ejemplo, el uso de invernaderos en acuicultura no es frecuente. Las mejoras tecnológicas en producción acuícola no serán sostenibles, si no existen políticas adecuadas y marcos de reglamentación inspirados en criterios socioeconómicos y ambientales acertados.

Los factores que determinan el éxito de la acuicultura son diversos: desde las necesidades de la población (generación de empleo local, seguridad alimentaria y mitigación de la pobreza), hasta necesidades de diferentes sectores (beneficios, productividad y calidad uniforme de los productos). Por consiguiente, las tecnologías para el desarrollo sostenible de la acuicultura deberán ofrecer un conjunto de instrumentos diversos y adaptables, para que cada piscicultor seleccione y diseñe el sistema que mejor responda a sus necesidades y a las oportunidades y obstáculos del entorno local (FAO, 2012).

Israel, con una creciente demanda alimenticia, demuestra que la escasez de agua no es un impedimento para obtener producciones acuícolas rentables, con nuevos métodos de crianza en estanques, lagunas cubiertas adicionadas con oxígeno y filtros biológicos, han logrado obtener incrementos de la producción de 0,5 kg por m³ en estanque abierto hasta 20 kg por m³ en estanques cubiertos (FAO, 2011). Igualmente, se han obtenido rendimientos sorprendentes en la árida región del Néguev y Aravá,

utilizando sistemas cubiertos tipo tienda o burbuja, con los que en un período de tres años los piscicultores han logrado pasar de una producción de 350 t/año a 2.000 t/año (FEDLER, 2003; KLINGER & NAYLOR, 2012; LITTLE & HULATA, 2000)

El desarrollo de sistemas intensivos de producción en invernaderos en el sur de USA es notable, donde usan simplemente madera prensada o tanques rectangulares (150 – 160 m³) con recambio de agua de 60 a 120% por hora del volumen del tanque, suplementado con aireación, filtración y remoción de sólidos de fondo, la producción de fitoplancton contribuye a la alimentación de los peces, la temperatura puede llegar a ser crítica pues es manejada con recirculación (MUIR *et al.*, 2000).

En Colombia, muchas de las producciones de peces de cultivos comerciales y de seguridad alimentaria están ubicadas en la zona andina, donde las dificultades hídricas son cada vez más notorias, preocupa el alto índice de deforestación, intervención de las cuencas y contaminación; además, la variabilidad climática y el cambio climático no favorecen el crecimiento regular de las especies ícticas, disminuyendo de manera significativa los rendimientos esperados (GRAJALES, 2004). Uno de los grandes desafíos a corto plazo asumidos por Fedecua en Colombia para el apoyo del sector piscícola es mejorar los procesos sanitarios y ambientales (FEDEACUA, 2015).

El agua no es solamente el medio donde los organismos se mueven, es el medio del que obtienen las sustancias necesarias para sus procesos fisiológicos, expuesto a una serie de condiciones bióticas y abióticas diferentes que constantemente cambian su composición y calidad (WEDLER, 1998). La pérdida de agua por filtración y evaporación en un estanque puede llegar a ser de 30.000 l/año, con una producción media de una tonelada de pescado, para HUET (1970), un estanque en áreas tropicales pierde 2,5 cm/día promedio, lo que significa la necesidad de adoptar nuevas tecnologías de producción. Los sistemas de circulación continua pueden ser eficientes debido a la reutilización de la energía térmica, para evitar la pérdida por filtración y evaporación, por lo que se sugiere utilizar polímeros.

Los plásticos han contribuido al progreso de la agricultura al cambiar los factores ambientales como luz, humedad y temperatura. Siendo la luz uno de los factores prioritarios al buscar un porcentaje determinado que penetre en el invernadero, además de la termicidad (retención de calor) del plástico, el cual indica el porcentaje de radiación infrarroja (calorífica) que pasa del interior hacia el exterior, desarrollándose plásticos foto selectivos que mejoran la productividad en granjas avícolas y en piscicultura (PAPASEIT *et al.*, 2000; CROSS & STRAUSS, 1985). Las características deseables del polietileno térmico son: resistencia a la degradación por efectos a la intemperie (radiación solar, temperatura, lluvias, vientos), resistencia mecánica, bloquear el paso de las radiaciones UV comprendidas entre 190 nm y 350 nm, permitir el paso del mayor porcentaje de luz necesaria y visible como la radiación PAR comprendida entre

400 nm y 700 nm, paso de las radiaciones infrarrojas cortas de 800 nm a 2500 nm, causantes del calentamiento diurno. Evitar la salida de las radiaciones infrarrojas largas o caloríficas (longitud de onda mayor a 2500 nm) emitidas durante la noche por el suelo, logrando de esta manera el efecto térmico.

CALDERÓN & CHALÉN (2007), reportan cambios importantes en los cultivos del camarón *Penaeus vannamei* afectados por el virus de la mancha blanca (WSSV) al implementar invernaderos, así, a una temperatura de 33°C se reportaron supervivencias del 95% a diferencia de 27°C donde se registraron elevadas mortalidades; se pasó de una producción de 600 kg/ha de forma tradicional a 7.000 kg/ha. El polímero usado para el invernadero representa cerca del 45% del costo total. Para ZIMMERMAN (2005), los invernaderos son benéficos para reproducción y reversión sexual con tilapia nilótica e incrementan su producción. Según SENHORINI & LANDINES (2005), los peces que desovan en el medio ambiente natural una vez por año y en épocas determinadas como la familia Characidae y Pimelodidae, pueden ser sometidos a manejo de temperaturas adecuadas, usando invernaderos, logrando más de un desove por año.

Todos los países que desean desarrollar la acuicultura dependen generalmente de una especie selecta de carpa y de tilapia y algunas especies nativas, si éstas están disponibles. Así, la producción de peces en las naciones en desarrollo es dominada por ciprínidos y tilapias (FAO, 2012). De esta manera la acuicultura global se considera más dependiente de especies exóticas que de especies nativas. Muchas especies de peces, en especial la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*), juega un papel importante, en proveer económica y fácilmente proteína de alta calidad al sector rural y genera divisas para exportación. No existe otra especie de tan fácil producción y reproducción en masa y tolerante a condiciones medio ambientales difíciles (FAO, 2011, 2012). PAESSUN & ALLISON (2003) utilizaron invernaderos con sistemas de recirculación de agua, utilizando tilapia nilótica y tilapia aurea, obteniéndose pesos de 167 g en 137 días.

El trabajo evaluó parámetros de temperatura, oxígeno y pH, utilizando polímeros en piso y cubierta en estanques piscícolas, para determinar el rendimiento productivo en alevinos de tilapia nilótica (*O. niloticus*), se determinó la disminución de mortalidad, consumo de alimento y crecimiento de los mismos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó el bioensayo en la Estación Piscícola de la Universidad de Caldas, ubicada en el municipio de Palestina del departamento de Caldas – Colombia, a 75° 45' de longitud occidental y 5° 04' de latitud norte, 1.050 msnm, humedad relativa de 75%, precipitación anual de 2.377 mm, temperatura ambiental promedio de 22,5°C y brillo solar anual de 2049 horas.

Se utilizaron alevinos machos reversados de tilapia nilótica (*O. niloticus*), con peso inicial de 3 g hasta alcanzar un peso promedio de 50 g \pm 5 g de peso vivo, en el 90% en los tratamientos. Se suministró alimento balanceado del 30% de proteína, a razón del 3% de su biomasa, tres veces diarias, y muestreos cada 21 días, del 15% de la población.

Se utilizaron doce estanques de 300 m² en promedio, adecuados según el tratamiento; con entrada permanente de agua y recambio de fondo. El plástico de cubierta utilizado fue el AgrocLEAR XF (antivectores), lámina coextruída estabilizada con Hals y antioxidante, con inhibidores UV 290 nm - 380 nm (1%), alta resistencia a la degradación solar y a los tratamientos químicos (azufre), con cargas infrarrojas para la termorregulación, capacidad de difusión de luz elevada, elimina sombras y permite un reparto lumínico homogéneo, (0.0235 x espesor mil), con una termicidad del 65%, transmisión de luz total del 85%, luz difusa 32%, luz UV a 380 nm. Para el piso de los estanques se utilizó el polímero AgrobLack No.15.

Para la evaluación de los polímeros se utilizaron cuatro tratamientos los cuales se encuentran en la Tabla 1.

Tabla 1. Tratamientos evaluados en los estanques con sus respectivas abreviaturas.

Tratamiento	Condición	Abreviatura
T ₁	Estanques con piso en tierra y cubierta plástica	PTCP
T ₂	Estanques con piso en plástico y cubierta plástica	PPCP
T ₃	Estanques con piso en plástico	PP
T ₄	Estanques con piso de tierra	PT

El diseño experimental se constituyó de cuatro tratamientos experimentales, distribuidos en un diseño de bloques completos al azar, en el tiempo y tres repeticiones por bloque. Los resultados fueron sometidos al análisis de varianza de una sola vía. En el caso de encontrar diferencia estadística significativa ($p < 0,05$), entre las medias de tratamientos, se utilizó la prueba de comparación de medias de Tukey ($p < 0,05$). Los datos fueron analizados utilizando el programa estadístico SAS (2007).

Las variables medio ambientales (temperatura, oxígeno, pH) analizadas del agua fueron tomadas a las 6, 14, 22 horas todos los días. Se utilizaron termómetros de máxima y mínima; oxímetro y pHmetro Pin Point tipo lapicero, que fueron calibrados regularmente y las variables de producción analizadas fueron: ganancia peso (g/día/pez), consumo de alimento balanceado (pez/día/g) y conversión alimenticia. Los costos fijos representados en: mantenimiento del estanque e instalación del polímero en el piso y cubierta. Los costos variables fueron dados por el costo del alevino y el costo del alimento balanceado.

Para la adecuación de los estanques se realizó levantamiento topográfico detallado con una estación total y programa AutoCat, posteriormente se perfilaron los taludes del estanque para evitar irregularidades. Para cubrir el piso de los estanques se utilizó el plástico Agrobblack No. 15 (6 m x 100 m); ya que los estanques eran más amplios, se procedió a unir dos franjas del plástico, para lo cual se diseñó y construyó una máquina que llegó a una temperatura de 360°C por 6 seg para fusionar las dos planas de plástico.

Para fijar el plástico sobre los taludes, se realizó un canal (30 cm de profundidad por 25 cm de ancho) sobre la corona del talud, en el cual se colocó el plástico y se aprisionó con tierra, sembrándose posteriormente cubierta vegetal para evitar la erosión. Se utilizaron desagües con recambio de agua de fondo en PVC de cuatro pulgadas, instalados a presión con el plástico. Una vez instalados los plásticos en el piso, se procedió a colocar las cubiertas plásticas, con un diseño cuadrangular. Para los soportes de la cubierta plástica se utilizaron 'cepas' de guadua de 2,5 m de largas, enterradas en la parte superior de los taludes a una profundidad de 1,1 m y fijadas con templetes de acero, los cuales a su vez fueron fijados en una base de cemento a 1,1 m de profundidad con hierro corrugado de media y cruceta en la parte final del mismo, para darle mayor estabilidad en la época de vientos. En la parte superior de las guaduas, donde se fijó la cubierta, se protegió la guadua con pequeños tubos metálicos para evitar que los cables (calibre 12, galvanizado), no destruyeran la misma.

Al colocar el plástico de las cubiertas, Agroclear XF, se comenzó con las cortinas entre los estanques para independizar a estos, posteriormente se le colocó el techo de forma plana, dando una figura rectangular; en cada una de las cubiertas de los estanques se acondicionó en el centro un sifón, construido con un tubo de PVC de 20 cm de largo y cuatro pulgadas y se colgó un lastre, para facilitar la recolección del agua en los momentos de lluvia, y de esta manera, utilizarla directamente en el estanque; además, así se evitaría la erosión en la corona y los taludes. Finalmente, se colocaron las cortinas plásticas hacia el exterior de los mismos.

Una vez realizadas las instalaciones de la cubierta y los plásticos del piso, se procedió a llenar los estanques con agua y sembrarlos con alevinos de tilapia nilótica, a una densidad de 3 animales/m², con un peso inicial promedio de 3g (biomasa inicial de 9 g/m²).

RESULTADOS

Los datos obtenidos se analizarán en las siguientes tablas: en la Tabla 2 se describen los resultados obtenidos de la ganancia de peso, consumo de ración y conversión alimenticia de los alevinos de tilapia nilótica (*O. niloticus*) levantados en los cuatro tratamientos investigados.

Tabla 2. Ganancia de peso, consumo de ración, conversión alimenticia de alevinos de tilapia nilótica (*O. niloticus*), en estanques con PTCP, PPCP, PP, PT.

Tratamiento	Ganancia de peso (GP) g/pez	Consumo de ración g/pez	Conversión alimenticia
T ₁ (PTCP)	72,19±28,50 a	70,02±27,58	0,97±0,17
T ₂ (PPCP)	48,73±17,57 b	57,36±20,11	1,22±0,38
T ₃ (PP)	54,31±13,64 ab	47,83±24,45	0,87±0,27
T ₄ (PT)	63,35±17,85 ab	54,43±19,96	0,88±0,26

ANOVA para GP. $P < 0,05$; ANOVA para CR. $P > 0,05$; ANOVA para CA. $P > 0,05$. Medias de tratamientos dentro de la misma columna, seguidas por letras minúsculas diferentes, son estadísticamente diferentes entre sí ($p < 0,05$) por la prueba de Tukey. Para la variable ganancia de peso (GP), el mejor resultado obtenido fue para el tratamiento PTCP, pero con diferencias estadísticas con el tratamiento PPCP. Para las variables de consumo de alimento balanceado y conversión alimenticia no se presentaron diferencias estadísticas entre los cuatro tratamientos.

En las Tablas 3, 4 y 5 se describen los resultados de los registros obtenidos de los parámetros de temperatura, oxígeno y pH tomados a las 6, 14 y 22 h de los cuatro tratamientos.

Tabla 3. Temperaturas máximas, mínimas y promedio de 6, 14 y 22 h obtenidas para los cuatro tratamientos.

	T ₁ (PTCP)	T ₂ (PPCP)	T ₃ (PP)	T ₄ (PT)
Temp. Máx. 6 h	32,89±3,26 a	32,11±0,78 ab	30,11±1,45 bc	29,44±1,59 c
Temp. Mín. 6 h	24,89±2,37 a	24,78±2,64 a	20,44±2,07 b	21,33±1,32 b
Temp. Prom. 6 h	29,16±1,01 a	29,24±0,98 a	26,20±0,61 b	26,04±0,42 b
Temp. Máx. 14 h	39,44±7,14 a	36,56±1,51 ab	33,22±1,30 b	34,0±2,24 b
Temp. Mín. 14 h	27,56±2,65 a	27,11±3,06 ab	25,67±1,32 bc	24,78±2,44 c
Temp. Prom. 14 h	31,90±1,04 ab	33,30±3,35 a	29,64±0,85 bc	28,53±2,57 c
Temp. Máx. 22 h	34,56±2,55 a	33,89±0,78 a	31,44±1,42 b	31,33±1,58 b
Temp. Min. 22 h	25,56±2,35 ab	26,0±2,60 a	22,0±2,50 bc	23,78±1,30c
Temp. Prom. 22 h	30,09±1,20 a	30,34±1,18 a	27,44±0,80b	27,41±0,59 b

ANOVA para Tmx $P < 0,05$; ANOVA para Tmm $P < 0,05$; ANOVA para Tpr $P < 0,05$. El tratamiento que presentó la mayor temperatura a las 6 h fue el PTCP, con una diferencia de $3,45^{\circ}\text{C} \pm 1,67$ con el tratamiento PT. Al comparar los tratamientos con cubierta plástica, se obtuvo una temperatura de $2,73^{\circ}\text{C} \pm 0,5$ más, que los tratamientos que no poseían cubierta plástica. Para la temperatura mínima de las 6 h, se observó que los tratamientos con cubierta plástica (CCP) presentaron $3,94^{\circ}\text{C}$ más que los tratamientos sin cubierta plástica (SCP). Para el promedio de temperatura de las 6 h se presentó una diferencia de $3,03^{\circ}\text{C}$ a favor de los estanques que presentaban cubiertas plásticas.

Para la temperatura máxima de las 14 h el mayor valor es obtenido en los estanques PTCP con una diferencia de $6,22^{\circ}\text{C}\pm 5,84$ con los estanques de PP. Para las temperaturas mínimas, el tratamiento PTCP presentó $2,78^{\circ}\text{C}\pm 0,21$ más que los estanques de PT. La mayor temperatura promedio la presentaron los estanques de PPCP y la menor el tratamiento control PT con una diferencia de $4,77^{\circ}\text{C}\pm 4,77$. Para los estanques CCP se obtuvo una mayor temperatura que para los estanques SCP.

Para la temperatura máxima de las 22 h, los estanques CCP presentaron $2,84^{\circ}\text{C}\pm 0,17$ más de temperatura que los tratamientos SCP. Los estanques SCP presentaron menores registros de temperatura a las 22 h, con una diferencia de $4^{\circ}\text{C}\pm 1,3$ con los tratamientos CCP. Para la temperatura promedio, los estanques con CCP presentaron $2,89^{\circ}\text{C}\pm 0,58$ más de temperatura que los estanques SCP.

Tabla 4. Oxígeno máximo, mínimo y promedio de las 6, 14 y 22 h obtenidas para los cuatro tratamientos.

	T ₁ (PTCP)	T ₂ (PPCP)	T ₃ (PP)	T ₄ (PT)
O ₂ Máx. 6 h	7,09±1,51	6,67±1,71	7,46±1,20	8,06±1,11
O ₂ Mín. 6 h	1,48±0,49	1,38±0,60	1,42±0,32	1,47±0,66
O ₂ Prom. 6 h	3,19±0,65 c	3,64±0,64 bc	4,02±0,82 a	3,57±0,73 b
O ₂ Máx. 14 h	7,68±0,88	8,14±1,32	8,02±0,89	7,80±1,23
O ₂ Mín. 14 h	1,63±0,56 ab	1,53±0,76 b	2,27±0,87 a	2,12±0,73 ab
O ₂ Prom. 14 h	4,47±0,75 ab	4,23±0,83 b	4,77±0,78 a	4,71±0,8 ab
O ₂ Máx. 22 h	7,30±1,58	7,52±1,28	7,60±1,04	7,49±1,38
O ₂ Mín. 22 h	1,82±0,49	1,49±0,41	1,83±0,66	1,71±0,45
O ₂ Prom. 22 h	4,06±0,67 ab	3,99±0,70 b	4,31±0,78 a	4,23±0,70 ab

ANOVA para Omx $P > 0,05$; ANOVA para Omm $P > 0,05$; ANOVA para Opr $P < 0,05$.

Los resultados obtenidos para los parámetros de oxígeno de máxima y mínima a las 6 h, no presentaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. En el promedio se obtuvo que el mayor rango de oxígeno para 6 h fue en los estanques con PP y el menor se presentó en PTCP, con una diferencia de $0,83^{\circ}\text{C}\pm 0,17$.

Para las mediciones de las 14 h, en el rango máximo no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo para el valor mínimo de oxígeno, el de mejor comportamiento lo presentó el tratamiento de PP, con una diferencia de $0,74\pm 0,11$ ppm con los estanques PPCP. Se presentó un comportamiento similar para los valores promedios, con una diferencia entre los tratamientos PP y PPCP de $0,54\pm 0,05$ ppm.

Para los valores máximos y mínimos de oxígeno medidos a las 22 h no se presentaron diferencias entre los tratamientos. Para el valor promedio el que presentó los rangos más altos fue el tratamiento PP y el de menor valor el tratamiento PPCP.

Tabla 5. pH máximo, mínimo y promedio de las 6, 14 y 22 h obtenidos para los cuatro tratamientos.

	T ₁ (PTCP)	T ₂ (PPCP)	T ₃ (PP)	T ₄ (PT)
pH Máx. 6 h	8,28±0,54	8,22±0,90	8,55±0,55	8,47±0,36
pH Mín. 6 h	4,32±1,72	4,62±2,03	4,59±2,22	4,48±2,10
pH Prom. 6 h	6,80±0,55	7,21±0,64	7,08±0,76	6,80±0,58
pH Máx. 14 h	8,87±0,99	8,60±0,7	8,58±0,88	8,49±0,61
pH Mín. 14 h	4,20±1,80	4,72±2,03	4,70±2,17	4,68±1,96
pH Prom. 14 h	7,22±0,66	7,18±0,82	7,19±0,92	7,16±0,65
pH Máx. 22 h	8,47±0,57	8,79±0,22	8,49±0,80	8,46±0,56
pH Mín. 22 h	4,53±1,95	4,56±2,14	4,57±2,13	4,54±2,04
pH Prom. 22 h	6,84±0,76	6,88±0,92	6,17±2,15	6,66±1,00

ANOVA para pHmx, pHmm y pHpr P > 0,05.

El valor de pH en los cuatro tratamientos y en las tres mediciones de las 6, 14 y 22 h permaneció estable, no se presentaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos.

DISCUSIÓN

Para la variable ganancia de peso (GP) de los ejemplares de tilapia nilótica, el mejor resultado obtenido fue para el tratamiento de PTCP, donde se asume que este crecimiento obtenido se debe en parte a la mayor estabilidad de temperatura presentada, además según HAHN *et al.* (2007), los estanques con CCP presentan la mejor producción de plancton según los índices de Margaleff, Shannon-Weber y de abundancia relativa. Al ser los peces poiquilotermos, dependen directamente de la temperatura; así, al aumentar este factor aumenta proporcionalmente su metabolismo, y por tanto se presenta una mayor digestibilidad para las proteínas, que en algunas especies de peces aumenta hasta en un 89,6%. De igual manera, la digestibilidad de la grasa se incrementa cuando se presenta una variación de 5°C por encima del rango térmico superior al que se desenvuelve cada especie, por tanto se presenta un mayor crecimiento, mejor factor de conversión y estado general del animal (HEATH, 2000; MELARD *et al.*, 1989). Al realizar las observaciones de la condición física de las tilapias, esta se puede catalogar como óptima, coincidiendo con CALDERÓN & SONNENHOLZNER (2003), que sugiere que la temperatura influye directamente en la tasa de ingestión de alimento y la evacuación de las heces, obteniendo en las tilapias que la fracción de alimento ingerido, alcanzó el mayor nivel entre 26 a 31°C. No se presentaron pérdidas por predación de aves.

El tratamiento de PPCP presentó los índices más bajos en crecimiento, posiblemente dado por las altas temperaturas alcanzadas y por ende los bajos niveles de oxígeno, así, un aumento de temperatura en 10°C ocasiona que los procesos bioquímicos en el

agua reaccionan dos a cuatro veces más rápido (regla de van T. Hoff), aumentándose el consumo de oxígeno y la excreción de materia orgánica (BOYD, 1990; BOYD & TUCKER, 2012; WEDLER, 1998); sin embargo, se observó un buen estado general de los peces, sin mortalidades a causa de la predación de aves.

Los tratamientos de PP y PT presentaron condiciones similares del factor de crecimiento, coincidiendo el comportamiento con el registro de temperatura y el oxígeno. En estos estanques se presentó predación por parte de aves; para realizar control, se colocaron fibras plásticas por encima de los estanques y evitar así la pérdida de peces. El estado sanitario de los peces fue satisfactorio.

Para la variable de consumo de alimento balanceado y el factor de conversión alimenticia, no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, estando el factor de conversión dentro de los rangos aceptables para la especie en las condiciones de siembra dadas (BOYD & TUCKER, 2012; WEDLER, 1998). Para el tratamiento de PPCP la conversión alimenticia se encuentra dentro de los límites superiores, lo cual coincide con los parámetros obtenidos de pocas ppm de oxígeno y temperaturas altas (BOYD & TUCKER, 2012; WEDLER, 1996; HEPHER, 1988). Al utilizar invernaderos, LUTZ (2000) reporta que se ha logrado obtener mortalidades por debajo del 6%, conversión alimenticia en el ciclo de engorde de 1,8 utilizando tilapia nilótica.

Al realizar el análisis del comportamiento de la temperatura de las 6 h, se observó que para los estanques CCP las oscilaciones al amanecer fueron menores que para los estanques SCP, dando una diferencia de 3,945°C, los cuales son significativos en el comportamiento de los peces, que concuerda con CALDERÓN & SONNENHOLZNER (2003), quien sugiere que las cubiertas plásticas mantienen estables las temperaturas del agua de los estanques durante la noche. Los polímeros negros en el piso de los estanques sin la cubierta, no mantienen la temperatura estable durante la noche, afectando indirectamente el crecimiento de los peces y coincidiendo con SARKAR (2006), quien observó que la temperatura del agua en los estanques tipo invernadero se puede incrementar entre 2,8 a 4,4°C por encima de los estanques al aire libre. ZHU *et al.* (1998) reporta un incremento de 5,2°C en estanques de un metro de profundidad. Para JAIN (2005) los estanques con una profundidad promedio de 1,25 m y con invernadero pueden proveer al agua un incremento entre el 5 a 15,1°C de temperatura, especialmente en la época de invierno, y ser usados en zonas frías o con invierno muy marcado.

Al realizar el análisis de la temperatura de las 14 y 22 h, se observó que los estanques con CCP presentan mayor temperatura que los estanques SCP, refutándose la teoría de que los polímeros negros en el piso aumentan y mantienen la temperatura, coincidiendo con SHUENHOFF *et al.* (2003), quienes reportan un aumento de temperatura en el día en estanques con polímeros y una mayor pérdida de temperatura en las horas del amanecer.

La concentración de oxígeno en un estanque está dada por la iluminación solar, fotosíntesis, días nublados, cantidad de plancton, materia orgánica y poblaciones bacterianas, además el viento permite intercambiar oxígeno en la capa superficial del agua y la columna de agua (RODRÍGUEZ & ANZOLA, 2001).

Los resultados obtenidos para el oxígeno (máximo) a las 6, 14 y 22 h, no presentaron diferencias entre los tratamientos, permaneciendo estable entre 6,67 y 8,14 ppm, catalogados como rangos óptimos para producción piscícola de clima cálido; sin embargo, rangos de 1,38 ppm o menores, pueden llegar a ser causantes de bajo crecimiento y conversiones deficientes en los peces (HEATH, 2000), coincidiendo con MELARD *et al.* (1989), que afirman que el consumo de oxígeno de las tilapias se aumenta cuando la temperatura se eleva, así, para un pez de 1 g el metabolismo basal se multiplica por nueve cuando la temperatura pasa de 20° a 32°C; para BOYD (1990), es común utilizar aireación de emergencia en horas de la noche, cuando los índices de oxígeno caen por debajo de 2 mg/l, además se debe tener en cuenta que más del 60% de las pérdidas en acuicultura se deben a problemas en el suministro de oxígeno (WEDLER, 1998), coincidiendo con MELARD *et al.* (1989), donde sugiere que el aumento del tenor de oxígeno por encima de 5 mg O₂/l, posee un efecto positivo sobre la curva de crecimiento en *O. niloticus*, pero con niveles por debajo de 3 mg O₂/l se puede registrar una disminución del crecimiento. Las oscilaciones de temperatura obtenidas en los diferentes tratamientos coinciden con los registros de oxígeno, corroborando la teoría donde la tasa de saturación del oxígeno aumenta si baja la temperatura y viceversa, disminuye si aumenta la temperatura, además los altos valores obtenidos posiblemente determinados por la alta fotosíntesis, coinciden con los valores presentados por la producción de plancton (BOYD & TUCKER, 2012; COLT & WATTEN, 1989; HAHN *et al.*, 2007; MELARD *et al.*, 1989; WEDLER, 1989).

El pH en aguas naturales depende del equilibrio de los óxidos de carbono y la relación entre el ácido carbónico y el bicarbonato. Los factores que influyen en el pH están dados generalmente por la composición del suelo, materia orgánica, respiración de los organismos acuáticos, productos de la fotosíntesis, el dióxido de carbono y otras sustancias arrastradas por las lluvias; así, las aguas naturales presentan generalmente valores que varían entre 6 y 9, donde los valores de 9 a 10 en el día se presentan fácilmente durante periodos intensos de fotosíntesis y durante la noche es común la acumulación de dióxido de carbono y el pH declina (BOYD & TUCKER, 2012), coincidiendo con los resultados obtenidos en los cuatro tratamientos donde no se presentaron diferencias significativas, permaneciendo dentro de los límites establecidos para una producción piscícola de tierra cálida en medios tropicales (BOYD, 1990; RODRÍGUEZ & ANZOLA, 2001). ROSS (2000) y DIJK *et al.* (1993), observaron que el crecimiento de las tilapias fue óptimo con un pH comprendido entre 7 a 9, con un ligero decrecimiento en un rango de pH 6; en rangos de pH 4 se comenzaron a presentar mortalidades

Para la evaluación económica de los cuatro tratamientos se obtuvo un mejor resultado para el tratamiento de los estanques con piso en tierra y cubierta plástica, seguido por el tratamiento control o piso en tierra sin cubierta plástica. El tratamiento de mejor rendimiento biológico y económico fueron los estanques de piso en tierra con cubierta plástica, seguido por los estanques control o piso en tierra sin cubierta y luego estanques con piso en plástico sin cubierta y por último estanques con piso en plástico y cubierta plástica.

CONCLUSIONES

La acuicultura enfrenta grandes retos, entre ellos el uso apropiado del agua. Esto representa la intervención de diferentes áreas del conocimiento, donde una de las principales metas es mejorar la producción, contribuir a la seguridad alimentaria y la generación de ingresos, disminuyendo los costos de producción.

Se considera que el diseño de la construcción de los invernaderos para los estanques utilizando guadua (*Guadua angustifolia*), es una opción económica para los productores en el campo. El diseño cuadrangular de las cubiertas plásticas con recolección de agua lluvia en el centro del mismo permite utilizar eficientemente el agua lluvia para el estanque, el cableado de la estructura de las cubiertas plásticas debe ser independiente para evitar pérdidas de las cubiertas plásticas por huracanes. El polímero evaluado para las cubiertas de los estanques, Agroclear XF, permite un control adecuado de las temperaturas dentro de los estanques, además de presentarse una buena producción de plancton en el agua de los mismos. El plástico Agroblac No. 15, permite controlar la filtración de los estanques en un 100%, pero no mantiene una temperatura estable en las horas de la madrugada, como es la creencia de los piscicultores. Se observó que las cubiertas plásticas de los estanques permiten controlar en un 100% la predación de peces por parte de aves piscívoras.

Los estanques con piso en tierra y cubierta plástica fueron los más eficientes, presentaron facilidad de manejo, mayor producción de plancton, mejor rendimiento productivo y económico, coincidiendo con la mayor estabilidad térmica, seguidos de los estanques con piso en tierra sin cubierta plástica.

REFERENCIAS

- BOYD, C.E., 1990.- Water Quality in Ponds for Aquaculture. Auburn University, Birmingham, Alabama.
- BOYD, C.E., & TUCKER, C.S., 2012.- Pond aquaculture water quality management. Springer Science & Business Media, USA.
- CALDERÓN, J. & CHALEN, D., 2007.- Estrategia de manejo en cultivo intensivo de camarón *Litopenaeus (Penaeus vannamei)* en invernaderos. Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas –CENAIM- Ecuador.
- CALDERÓN V.J., & SONNENHOLZNER S., 2003.- Experiencias y desafíos en el uso de invernaderos. *Mundo Acuicola*, 9 (1): 28 - 30
- COLT, J. & WATTEN, B., 1989.- Applications of Pure Oxygen in Fish Culture. England. Elsevier Science Publishers Ltd.
- CROSS, P. & STRAUSS, M., 1985.- Utilization of excreta in agriculture and aquaculture. Part I: Existing Dübendorf, Suiza.
- DIJK, P.L.M., THILLARD, G.E.J.M. & WENDELAAR-BONGA, S.E., 1993.- The influence of gradual water acidification on the oxygen consumption pattern of fish. *Comp Biochem. Physiol.* 105: 421 – 427

- FEDLER J., 2003.- Cultivando en el desierto bajo túneles de plástico. Desafío del Desarrollo. Agricultura en Israel. Israel Ministry of Foreign Affairs.
- GRAJALES, A., 2004.- Evaluación de dos tipos de resolución de los SIG, utilizando la variabilidad espacial de la erodabilidad del suelo en la microcuenca “El Berrión”, Municipio de Palestina, Caldas, Colombia. Tesis, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Caldas. Manizales, Colombia.
- HAHN-VON-HESSBERG, C.M., TORO, D.R., GRAJALES Q.A., & HENAO C.A.F., 2007.- Producción limnológica en estanques para el levante de larvas y postlarvas de especies nativas y foráneas, Caldas, Colombia. *Rev. Electr. de Ingeniería en Prod. Acuicola*, 2(2): 137-168.
- HEATH, A.G., 2000.- Water Pollution and Fish Physiology. CRC Press, Inc, Boca Ratón, Florida.
- HEPHER, B. & PRUGININ, Y., 1988.- Cultivo de peces comerciales. Editorial Limusa, México.
- HUET, M., 1970.- Textbook of fish culture, breeding and cultivation of fish. Fishing News Books, Surrey, Inglaterra.
- HULATA, G., 1997.- Large scale tilapia fry production in Israel. *Israeli J. Aquacult. Bamidgeh*, 49: 174 - 179
- JAIN D., 2005.- Modeling the thermal performance of an aquaculture pond heating with greenhouse. Central Institute of Post Harvest Engineering and Technology. PAU Campus, Ludhiana, India.
- KLINGER, D. & NAYLOR, R., 2012.- Searching for Solutions in Aquaculture: Charting a Sustainable Course. *Annual Rev. of Environment and Resources*. 37: 247-276.
- LITTLE, D.C. & HULATA, G., 2000.- Strategies for Tilapia seed production: 89-128 (en) BEVERIDGE, A. & McANDREW, B.J., 2000, Tilapias: Biology and Exploitation, Kluwer Academia Publishers. Great Britain.
- LUTZ, C. G., 2000.- Production economics and potential competitive of commercial Tilapia culture in the Americas: 119-131 (en) COSTA-PIERCE, B.A. & RAKOCY, J.E., 2000, Tilapia Aquaculture in the Americas. Volume two. United States.
- MELARD, CH., DUCARME, CH., & LASSERE, J., 1989.- Technologie de l'élevage intensif du Tilapia. Tihange: Belgique. Laboratoire de Demographie des Poissons et de Pisciculture. CERER-Pisciculture. Piscimeuse.
- MUIR, J., VAN RIJ, J. & HARGREAVES, J., 2000.- Production in intensive and recycle systems, 405-445 (en) BEVERIDGE, A. & McANDREW, B.J., 2000, Tilapias: Biology and Exploitation, Kluwer Academia Publishers. Great Britain.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, FAO, 2009.- El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2008. Roma, FAO.
- _____, 2010.- Perfiles sobre la pesca y la acuicultura por países, Colombia. FAO.
- _____, 2011.- Revisión regional sobre la situación y tendencias en el desarrollo de la acuicultura en América Latina y el Caribe – 2010. Roma, FAO, Circular No. 1061/3.
- _____, 2012.- El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2012. Roma, FAO.
- _____, 2014.- El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2014. Roma, FAO.
- PAESSUN, M.A. & ALLISON, R. 2003.- Maximizing tilapia production in recirculating systems by sequential rearing. Department of Fisheries and Allied Aquacultures, Alabama. Agricultural Experiment Station, Auburn University, Alabama, U.S.A.
- PAPASEIT, P., BADIOLA Y. & ARMENGOL, E., 2000.- Los plásticos y la agricultura. FIPMA. Fundación Chile, Universidad de Concepción. Chile.
- RODRÍGUEZ, G. H., & ANZOLA E., 2001.- La calidad del agua y la productividad de un estanque en acuicultura: 43-73 (en) Fundamentos de Acuicultura Continental. Segunda Edición. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura, Bogotá.
- ROSS, L.G., 2000.- Environmental physiology and energetics: 89-128 (en) BEVERIDGE, A. & McANDREW, B.J., 2000, Tilapias: Biology and Exploitation, Kluwer Academia Publishers. Great Britain.
- SAS Institute. JMP Statistics and Graphic Guide. Version 7.0 SAS Institute Inc., Cary, NC. (2007).
- SARKAR, B. & TIWARI, G.N., 2006.- Thermal modeling and parametric studies of a greenhouse fish pond in the Central Himalayan Region. Centre for Energy Studies, Indian Institute of Technology Delhi, Hauz Khas, New Delhi, India.
- SENHORINI, J.A. & LANDINES, M.A., 2005.- Generalidades sobre manejo de reproductores de peces reofílicos: 79-90 (en) Reproducción de Peces en el Trópico. Bogotá, D.C. Colombia.
- SCHUENHOFF, A., SHPIGEL, M., LUPATSCH, I., ASHKENAZI, A., MSUYA, F.E. & NEORI, A., 2003.- A semi-recirculating, integrated system for the culture of fish and seaweed. *Aquaculture*. 221: 167–81.
- WEDLER, E., 1998.- Introducción a la acuicultura con énfasis en los neotrópicos. Litoflash, Santa Marta, Colombia.
- ZIMMERMAN, J., 2005.- Reproducción de tilapias: 147-164 (en) Reproducción de Peces en el Trópico. Bogotá, D.C. Colombia.
- ZHU, S., DELTOUR, J. & WANG, S., 1998.- Modeling the thermal characteristics of greenhouse pond systems. *AquacultEng*. 18: 201-217.