



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

**Efecto de la fuente proteica del alimento
sobre la calidad de la carne de la
cachama blanca *Piaractus brachypomus*
en un sistema de tecnología biofloc**

Hernán Antonio Alzate Díaz

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias

Departamento de Producción Animal

Medellín, Colombia

2017

**Efecto de la fuente proteica del alimento sobre la
calidad de la carne de la cachama blanca *Piaractus
brachypomus* en un sistema de tecnología biofloc**

Hernán Antonio Alzate Díaz

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ciencias Agrarias

Directora

MVZ PhD. Sandra Clemencia Pardo Carrasco

Profesora asociada

Departamento de Producción Animal

Facultad de Ciencias Agrarias

Línea de Investigación: Acuicultura Sustentable

Grupo de Investigación

BIOGEM

Universidad Nacional de Colombia

Facultad Ciencias Agrarias

Departamento de Producción Animal

Medellín, Colombia

2017

A Dios y al Espíritu Verde, fuente de mi inspiración en este mundo....

*Hay hombres que luchan un día y son buenos. Hay otros
que luchan un año y son mejores. Hay quienes luchan
muchos años y son muy buenos. Pero hay quienes luchan
toda la vida, esos son los imprescindibles*

Bertolt Brecht

Agradecimientos

A la Doctora Sandra Pardo Carrasco por su acompañamiento, por su amistad y su guianza en este camino de la acuicultura, al grupo de investigación Biodiversidad y genética Molecular BIOGEM de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, a mis compañeros del Laboratorio de Modelación Animal LAMA, a Sara Cristina Chaverra, José Gabriel Pérez; a Jhon Fredy Carmona por su acompañamiento durante esta experiencia investigativa, a la Doctora Adriana Muñoz Ramírez por su contribución científica.

A la Universidad Nacional de Colombia por la financiación al proyecto de código 18779 y a la cual le debo hermosos recuerdos y logros.

A mi compañera Marcela Castrillón en su incondicional apoyo, a mi Madre y a mi familia que siempre han creído en mí y a todas esas personas que de una u otra forma hicieron parte de este logro y apoyaron mi proceso formativo, a todos ellos MUCHAS GRACIAS.

Resumen

Las demandas de proteína animal de una población creciente, se espera sean satisfechas en gran parte por la producción acuícola. La acuicultura ha sido reconocida como una alternativa sostenible, sin embargo debe incrementarse la producción de una manera cada vez más eficiente, con menor uso de agua y suelo y con control sobre los residuos generados. Los sistemas cerrados con tecnología biofloc (BFT) se presentan como una opción para ahorrar agua y espacio, manejar los residuos del cultivo mediante la conversión en proteína microbiana. La sostenibilidad de la acuicultura depende también de que las especies producidas se adapten bien al ambiente de cultivo, en ese sentido la cachama blanca *Piaractus brachipomus* ha mostrado adaptabilidad a sistemas de producción altamente intensivos como el BFT con buenos resultados en su desempeño productivo. Determinar las características de la carne de cachama blanca cultivada en BFT permitirá conocer los efectos sobre la calidad nutricional del producto destinado a consumo humano. De la misma forma, es clave alcanzar la sostenibilidad acuícola, buscar fuentes proteicas que reemplacen la harina y el aceite de pescado, con resultados en producción satisfactorios. Las fuentes proteicas vegetales como la torta de soya y las algas marinas como la espirulina presentan contenidos nutricionales que las catalogan como sustitutos. En el presente estudio se usaron fuentes proteicas alternativas para elaborar tres dietas isoproteicas del 24% de proteína cruda (PC) así: T1: Torta de soya; T2= Torta de soya+Harina de pescado; T3= Torta de soya+Harina de espirulina. Las unidades experimentales fueron tanques de 500 L con aireación permanente, temperatura constante y con 42 peces ($54,23 \pm 10,7g$) en cada tanque. El experimento tuvo una duración de 84 días. Se determinaron los siguientes parámetros productivos: supervivencia (S), factor de conversión alimenticia (FCA), biomasa (BIO, Kg/m^3), ganancia diaria de peso (GDP, $g/día$), tasa específica de crecimiento (TEC, $\%/día$) y factor de condición (K). La calidad del filete se evaluó mediante análisis

microbiológicos, proximales, sensoriales, aminograma y perfil de ácidos grasos, todos al final del cultivo. La biomasa estuvo alrededor de $15,9 \pm 0,8 \text{ Kg/m}^3$ y FCA alrededor de $1,04 \pm 0,04$, sin diferencia estadística entre tratamientos para ningún parámetro de desempeño zootécnico. La supervivencia fue del 100% en todos los casos. Con respecto a la calidad del filete se encontraron promedios: PC de $18,6 \pm 0,3\%$; contenido de grasa de $2,4 \pm 0,2\%$, sin diferencia estadística entre los tratamientos para ningún parámetro proximal. El perfil de ácidos grasos y el aminograma no presentaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p > 0,05$). El panel de expertos en características sensoriales reportó aceptación del 100% en todos los casos. Se puede concluir que la fuente de proteína utilizada en las dietas para cachama blanca no afectó negativamente los parámetros de desempeño productivo en su cultivo en biofloc y es viable el uso de materias primas vegetales como la torta de soya y otras fuentes alternativas.

Palabras clave: *BFT, cachama blanca, torta de soya, espirulina, calidad de carne.*

Contenido

Resumen.....	V
Lista de Tablas.....	XI
Lista de gráficas	XIII
Lista de abreviaturas y acrónimos	XIV
Introducción.....	1
Bibliografía	4
Capítulo 1. El biofloc y el uso de fuentes proteicas vegetales, eslabones de la sostenibilidad de la acuicultura. Revisión de literatura.....	8
1.1 Resumen	8
1.2 Introducción	9
1.3. La acuicultura en el mercado nacional e internacional.	10
1.4 Los impactos ambientales de la acuicultura	11
1.4.1 El uso de harina de pescado en la alimentación animal.....	11
1.4.2 El consumo de agua en la producción acuícola	13
1.4.3 La contaminación del agua con residuos nitrogenados provenientes de la acuicultura.....	14
1.5 El uso de proteína vegetal en la alimentación de los peces	15
1.6 La espirulina como suplemento alimenticio en la acuicultura	16
1.6.1 Efectos de la espirulina sobre el perfil de ácidos grasos en los peces.....	17
1.7. Usos de sistemas de producción de tecnología biofloc en la producción acuícola.	18

1.7.1	Cómo funcionan los cultivos de tecnología biofloc	18
1.7.2	El perfil nutricional del biofloc.....	19
1.7.3	Comunidades microbianas del biofloc.....	20
1.7.4	Calidad del agua en los sistemas biofloc.....	21
1.8	El pescado en la nutrición humana.....	21
1.8.1	Especies nativas en la producción acuícola nacional	22
1.8.2	La cachama blanca su producción y consumo	23
1.8.3	Características de la calidad de la carne de pescado.....	24
1.9	Bibliografía	26
Capítulo 2. Evaluación de fuentes proteicas para el desempeño productivo de Cachama blanca <i>Piaractus brachypomus</i> en sistema biofloc		39
2.1	Resumen.....	39
2.2	Introducción.....	40
2.3	Materiales y métodos.....	42
2.3.1	Área de estudio.....	42
2.3.2	Material biológico experimental	42
2.3.3	Unidades experimentales.....	42
2.3.4	Preparación del inóculo del biofloc.....	43
2.3.5	Diseño experimental	43
2.3.6	Medición de la calidad del agua	45
2.3.7	Parámetros Productivos.....	46
2.4	Análisis estadístico	46
2.5	Resultados	47
2.6	Discusión.....	49
2.7	Conclusiones.....	54
2.8	Bibliografía	54

Capítulo 3. Evaluación de la calidad de filetes de Cachama blanca <i>Piaractus brachypomus</i> cultivada en sistema biofloc con tres fuentes de proteína en la dieta	59
3.1 Resumen	59
3.2 Introducción	60
3.3 Materiales y métodos	61
3.3.1 Área de estudio	61
3.3.2 Material biológico experimental	61
3.3.3 Unidades experimentales	62
3.3.4 Preparación del inóculo del biofloc	62
3.3.5 Diseño experimental	62
3.3.6 Caracterización de los filetes de cachama blanca	64
3.3.6.7 Calidad nutricional del biofloc	66
3.4 Análisis estadístico	67
3.5 Resultados	67
3.5.1 Caracterización microbiológica de los filetes de cachama blanca cultivada en biofloc.....	67
3.5.2 Caracterización proximal de los filetes de cachama blanca cultivada en biofloc	68
3.5.3 Composición de aminoácidos de los filetes de cachama blanca cultivada en biofloc.....	68
3.5.4 Perfil de ácidos grasos de los filetes de cachama blanca cultivada en biofloc	70
3.5.5 Caracterización sensorial de los filetes de cachama blanca cultivada en biofloc	72
3.5.6 Calidad nutricional del biofloc	73
3.6 Discusión	75
3.6.1 Análisis proximal de los filetes de cachama blanca cultivada en biofloc	76

3.6.2 Caracterización de los aminoácidos de filetes de cachama blanca cultivada en biofloc	77
3.6.3 Perfil de ácidos grasos de cachama blanca cultivada en biofloc	79
3.6.4 Características sensoriales de los filetes de cachama blanca cultivada en biofloc	81
3.6.5 Calidad nutricional del biofloc.....	83
3.7 Conclusiones.....	86
3.8 Bibliografía	87
4.Conclusiones y recomendaciones.....	93
4.1 Conclusiones.....	93
4.2 Recomendaciones y nuevas hipótesis.....	94

Lista de Tablas

Tabla 1. Composición y análisis proximal de las dietas experimentales (g/100 g de dieta) utilizadas en el cultivo de Cachama blanca (<i>Piaractus brachipomus</i>) en sistema biofloc	44
Tabla 2. Caracterización proximal de espirulina, harina de pescado y torta de soya usadas como fuentes proteicas en las dietas.	45
Tabla 3. Calidad del agua del cultivo por 84 días de cachama blanca <i>Piaractus brachypomus</i> en sistema biofloc alimentados con tres fuentes proteicas	47
Tabla 4. Parámetros productivos de cachama blanca <i>Piaractus brachypomus</i> durante 84 días en sistema biofloc con distintas fuentes proteicas.....	49
Tabla 5. Formulación (g/100 g de dieta) y caracterización proximal de las dietas experimentales.....	63
Tabla 6. Caracterización proximal de las materias primas usadas como fuentes proteicas en las dietas.....	64
Tabla 7. Análisis proximal de filetes gramos en 100g de filete tal cual de cachama blanca <i>Piaractus brachypomus</i> cultivada en un sistema biofloc con tres fuentes proteicas.....	68
Tabla 8. Contenido de aminoácidos gramos en 100 gramos de filete tal cual de cachama blanca <i>Piaractus brachypomus</i> en sistemas biofloc bajo distintas fuentes proteicas	69
Tabla 9. Perfil de ácidos grasos gramos en 100 gramos de filete tal cual de cachama blanca <i>Piaractus brachypomus</i> en sistemas biofloc bajo distintas fuentes proteicas usadas en la dieta	71
Tabla 10. Atributos sensoriales de los filetes con piel de cachama blanca sajados de un cultivo biofloc.....	72
Tabla 11. Desempeño del contenido proteína cruda del biofloc en el tiempo de cultivo en base tal cual	74

Tabla 12. Evaluación del contenido de ácidos grasos en base tal cual de muestras de biofloc del cultivo de cachama blanca <i>Piaractus brachypomus</i>	74
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Lista de gráficas

Gráfica1: Producción estimada por persona de pescado en cada continente procedente de la acuicultura (FAO,2016).....	10
Gráfica 2. Utilización y suministro a nivel mundial de pescado (FAO, 2016).....	12
Gráfica 3. Comportamiento en el tiempo de los compuestos nitrogenados en un cultivo de cachama blanca <i>Piaractus brachypomus</i> en biofloc alimentados con tres fuentes proteicas.....	48
Gráfica 4. Composición de aminoácidos de filetes de cachama blanca <i>Piaractus brachypomus</i> bajo tres fuentes proteicas en un sistema biofloc.	70
Gráfica 5. Prueba sensorial de filetes de cachama blanca <i>Piaractus brachypomus</i> cultivada en BFT comparada con una muestra control de filete de P. brachypomus comercial.....	73

Lista de abreviaturas y acrónimos

aa	Aminoácidos
AG	Ácidos grasos
ALN	Acido alfa linolénico
BIO	Biomasa
BFT	Biofloc Technology
C	Carbono
CDA	Coefficiente de Digestibilidad Aparente
C:N	Relación carbono nitrógeno
Cm	Centímetro
°C	grados Celsius
EE	Extracto etéreo
EPA	Ácido eicosapentanoico
DHA	Ácido docosahexaenoico
DPA	Ácido graso docosapentanoico
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y
FCA	Factor de Conversión Alimenticia
g	gramo
GDP	Ganancia Diaria de Peso
GSM	Geosmina
ha	Hectárea
HP	Horse Power
Kg	Kilogramo

L	Litro
LE	Longitud Estandar
m³	metro cúbico
ml	mililitro
mm	milímetro
MIB	2-metil isoborneol
MUFA	Ácidos grasos monoinsaturados
N	Nitrógeno
NaHCO₃	Bicarbonato de Sodio
NAT	Nitrógeno Amonical Total
NH₃	Amonio no ionizado
NH₄	Amonio ionizado
NH₄Cl	Cloruro de amonio
NO₂	Nitrito
NO₃	Nitrato
OD	Oxígeno Disuelto
PC	Proteína Cruda
ppm	Partes Por Millón
PUFA	Ácidos grasos poliinsaturados
RAS	Recirculation Aquaculture Systems
SFAS	Ácidos grasos saturados
SS	Sólidos Suspendidos
SST	Sólidos Suspendidos Totales
T	Tonelada
Ω3	Ácido graso omega 3
Ω6	Ácido graso omega 6
(‰)	Partes por mil

Introducción

La producción mundial de pesca y acuicultura ha presentado dos hechos interesantes, el primero de ellos es el continuo crecimiento a un nivel más rápido que el crecimiento de la población mundial; el segundo es que la producción acuícola mundial mostró cifras por encima de la pesca de captura con un total de 90 millones de toneladas para el año 2013. La acuicultura dentro de los sistemas de producción alimentaria es de las que más esperanza tiene como la proteína del futuro, además que contribuye con la actividad de sustento del 10 al 12% de la población mundial (FAO, 2014).

Consecuente con lo anterior, en las últimas décadas el consumo *per cápita* de pescado mundial ha estado en aumento, pasando de 10 Kg/persona/año en 1960 a 19Kg/persona/año en el 2012. Este aumento está asociado a las características de su carne y sus aportes nutricionales, a una mayor demanda comercial, un mayor poder adquisitivo de las personas y mejores canales de distribución del producto que han ido mejorando en el tiempo (FAO, 2012). De acuerdo con FAO (2016) el pescado contribuye con el 17% del consumo de proteína animal por la población mundial, cifra superior a las de otras especies pecuarias.

Colombia es un país mega diverso, cuenta con 56343 especies de grupos biológicos diferentes y 1435 especies de peces dulce acuícolas (Maldonado et al., 2008). Una de esas especies que ha sido usada en la producción acuícola es la cachama blanca *Piaractus brachypomus*, especie de rápido crecimiento, buena calidad nutricional, buen sabor, con buena tolerancia a la producción intensiva y que ha mostrado respuestas positivas cuando se produce en sistemas intensivos. La cachama blanca es un carácido omnívoro de las cuencas del Amazonas y del Orinoco con hábitos planctónicos y frugívoros, la cual posee una buena aceptación comercial lo que la ha posesionado como la segunda especie acuática de mayor producción en Colombia (Cruz et al., 2011).

Algunos autores han reportado la adaptación de *Piaractus brachypomus* a sistemas de producción intensiva como es el biofloc obteniendo resultados competitivos a nivel de su producción y de su calidad nutricional (Chaverra, 2016; Bru, 2016; Abad et al., 2014; Bru et al., 2014; Barrero et al., 2012; Poleo et al., 2011). La producción en estos sistemas es la llamada a afrontar las problemáticas que presenta la acuicultura respecto al alto uso de agua dulce y a la producción de efluentes (Avnimelech, 2009). El biofloc, como otros sistemas intensivos, se caracteriza por sus bajos usos de agua y altas productividades en menor espacio (Emerenciano, 2014; Avnimelech, 2009; Crab et al., 2009; Timmons et al., 2002) y es una estrategia productiva ampliamente estudiada y aplicada en la producción de tilapias y camarones (Emerenciano et al., 2014; Avnimelech, 2009). El biofloc es un sistema cerrado que posee gran capacidad productiva, el cual se basa en la transformación de los residuos de cultivo por bacterias heterotróficas (Liu et al., 2014; Emerenciano et al., 2014; Avnimelech, 2009; Hargreaves, 2006).

La contaminación que genera el sector acuícola con la liberación de efluentes ricos en fósforo y nitrógeno (Webster y Lim, 2002). es controversial y necesita soluciones para avanzar hacia una acuicultura sostenible. Estos compuestos y su concentración están ampliamente relacionados con la harina de pescado suministrada en el alimento, la cual se caracteriza por su alta digestibilidad y contenidos proteicos mayores al 55% con un perfil de aminoácidos equilibrado (Vásquez, 2004) por otro lado. la harina de pescado presenta unos costos ambientales altos, debido a que su obtención se da a través de la pesca extractiva generando peligros a la biodiversidad (Buschmann, 2001).

Las harinas de origen vegetal son una opción para la sustitución de la harina de pescado en la acuicultura las cuales podrían disminuir notablemente el impacto ambiental, bajar costos de fabricación (Allan et al., 2000). Muchas de estas harinas de tipo vegetal poseen desventajas con factores anti nutricionales como saponinas, lectinas e inhibidores de proteasas, fitatos y carbohidratos no digeribles, además de una baja palatabilidad que están en desventaja de la harina de pescado (Francis et al., 2001).

El uso de estas materias primas vegetales puede aplicar igualmente en especies omnívoras las cuales reaccionan con una mejor aceptación y adaptación a su consumo (Vásquez, 2004). Una materia prima de origen vegetal posicionada para el uso en alimentos acuícola es la torta de soya la cual presenta un valor proteico alto y buena

digestibilidad, razón la cual se usa con un reemplazo en algunos alimentos para peces carnívoros y omnívoros (Jafari et al., 2014; Sales,2009).

Otras materias primas vegetales con potencial en la acuicultura son las micro algas, las cuales se han venido posicionando como una opción para disminuir el consumo de harina de pescado y la carga de residuos nitrogenados en la acuicultura (Markuo y Georgakakis, 2011). Estas algas pueden aportar proteínas, lípidos y vitaminas digestibles y apropiados para la alimentación de los organismos acuáticos (Abreu et al., 2011; Markou y Georgakakis, 2011). Dentro de las especies exploradas para la alimentación esta la espirulina *Arthrospira platensis*, una cianobacteria filamentosa que vive en medios principalmente alcalinos y que presenta un alto valor nutritivo y proteico (Habib et al., 2008; Olgún et al., 1997) rica también en ácidos grasos poliinsaturados AGPI, antioxidantes y pigmentos como los carotenoides (Ceballos et al., 2006).

Además de aspectos sostenibles, es necesario en la producción acuícola evaluar la calidad final del producto y sus aportes nutricionales (Suárez et al.2009). Considerando la producción en sistemas BFT, son pocos los estudios reportados de la calidad de su carne en el medio de cultivo y se hace necesario conocer más de sus resultados (Barrero et al., 2012; Chaverra, 2016), En sistemas BFT se han evidenciado resultados en especies como *Piaractus brachypomus* que aseguran mejoras en la producción y en la calidad de la carne (Barrero et al.,2012; Valente et al.,2013; Poleo et al.,2011). El desarrollo de investigaciones con especies como esta, contribuye a su posicionamiento en el mercado ya que es una especie con buenos resultados productivos en el país (Cruz et al., 2011).

El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de la fuente de proteína en el alimento sobre los parámetros zootécnicos y la calidad del filete de cachama blanca *Piaractus brachypomus* cultivados en sistema de biofloc.

Bibliografía

1. Abad, D, Rincón, D, Poleo, G. (2014). Índices de rendimientos corporales en morocoto *Piaractus brachypomus* cultivado en sistemas biofloc. *Zootecnia Trop*, 32(2):119-130.
2. Abreu, M.H., Pereira, C., Yarish, A.H., Buschmann, I. Sousa-Pinto.(2011). IMTA with *Gracilaria vermiculophylla*: productivity and nutrient removal performance of the seaweed in a land-based pilot scale system. *Aquaculture* 312,77–87.
3. Allan, G.L., Parkinson, S., Booth, M. A., Stone, D. A. J., Rowland, S. J., Frances, J.(2000). Replacement of fishmeal in diets for Australian silver perch, *Bidyanus bidyanus*. V. Digestibility of alternative ingredients. *Aquaculture* 186: 293–310.
4. Avnimelech, Y. (2009). *Biofloc Technology — A practical guide book*. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, United States. p.182.
5. Barrero, M., Paredes, A., Romero, O., Poleo, G.(2012). Proximate composition and flesh quality of red bellied pacú, *Piaractus brachypomus*, cultured in two different closed system. *Agronomía Tropical* 30(3):263-268.
6. Buschmann, A.H. (2001). Impacto ambiental de la acuicultura el estado de la investigación en Chile y el mundo un análisis bibliográfico de los avances y restricciones para una producción sustentable en los sistemas acuáticos. Departamento de Acuicultura Universidad de Los Lagos Osorno, Chile. Terram publicaciones. 10- 12.
7. Bru S.B.C.,(2016).Cultivo en suspensión activa (Bioflocs): Una alternativa para la piscicultura urbana. Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.

8. Bru, S.B.C., Correa, M., Guzmán, M., Pertuz. V., Ayazo. J., Atencio, V., Pardo, C.S.C. (2014). Cultivo de cachama blanca *Piaractus brachypomus* y tilapia *Oreochromis niloticus* en sistemas biofloc, alimentadas con 3 niveles de proteína vegetal. Memorias VI congreso colombiano de acuicultura: Agroindustria/sistemas de producción. Villavicencio, Colombia. SSN: 2389-959X.
9. Chaverra, G.S.C.(2016). Contribución del biofloc como fuente de carbono y nitrógeno para el crecimiento de juveniles de Cachama blanca (*Piaractus brachypomus*). Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.
10. Ceballos, B.J., Hernández, LL.A., García, T., Villarreal, H. (2006). Substitution of *Chaetoceros muelleri* by *Spirulina platensis* meal in diets for *Litopenaeus schmitti* larvae. *Aquaculture* 260,215–220.
11. Crab, R., Kochva, M., Verstraete, W., Avnimelech, Y.(2009). Bio-flocs technology application in over-wintering of tilapia. *Aquac. Eng.* 40,105–112.
12. Cruz, C.P.E., Medina, V.M., Velasco, Y.M. (2011) Fish farming of native species in Colombia: current situation and perspectives. *Aquacult Res.*; 42: 823-831.
13. FAO. (2016). The state of world fisheries and aquaculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
14. FAO. (2014). The state of world fisheries and aquaculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
15. FAO. (2012). The state of world fisheries and aquaculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
16. Francis, G., Makkar, H.P.S., Becker, K. (2001). Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture* 199,197–227.
17. Emerenciano, M., Cuzon, G., Arevalo, M., Gaxiola, G. (2014). Biofloc technology in intensive broodstock farming of the pink shrimp *Farfantepenaeus duorarum*: spawning performance, biochemical composition and fatty acid profile of eggs. *Aquaculture Research* 1-14.
18. Habib, M.A.B., Parvin, M., Huntington, T.C., Hasan, M.R. (2008). A review on culture, production and use of *Spirulina* as food for humans and feeds for domestic animals. FAO Fisheries and Aquaculture Circular. No. 1034. Rome, FAO.33.

19. Hargreaves, JA. (2006). Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture *Aquac. Eng.* 34,344–363.
20. Jafari, S.M.A., Rabbani, M., Emtyazjoo M., Piryaei F. (2014). Effect of dietary *Spirulina platensis* on fatty acid composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillet. Department of Marine Chemistry, Faculty of Marine Science and Technology, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. 1307- 1315.
21. Liu, L., Hu, Z., Dai, X., Avnimelech, Y. (2014) Effects of addition of maize starch on the yield, water quality and formation of bioflocs in an integrated shrimp culture system. *Aquaculture* 418, 79–86.
22. Maldonado, O.J.A., Richard, P.V., Usma J.S. (2008). “Checklist of the Freshwater Fishes of Colombia.” Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. *Biota Colombiana* 9 (2): 143–237.
23. Markou, G., Georgakakis G.(2011) Cultivation of filamentous cyanobacteria (blue-green algae) in agro-industrial wastes and wastewaters: a review *Appl. Energy* 88,3389–3401
24. Olguín, E.J., Galicia, S., Camacho, R., Mercado, G. Pérez J.(1997). Production of *Spirulina sp.* in sea water supplemented with anaerobic effluents in outdoor raceways under temperate climatic conditions *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 48,242–247.
25. Poleo, G., Aranbarrio, J., Mendoza, L., Romero, O.(2011) Cultivo de cachama blanca en altas densidades y en dos sistemas cerrados. *Pesq. agropec. bras* Brasília. 46,429-437.
26. Sales, J. (2009). The effect of fish meal replacement by soya bean products on fish growth: a meta-analysis *Br. J. Nutr.* 102,1709–1722.
27. Suárez, M.H., Pardo, C.S.C., Cortés, R.M., (2009).Calidad físico-química y atributos sensoriales de filetes sajados biopreservados de cachama, empacados al vacío bajo refrigeración. *Rev Colom Cienc Pecu.* 21(3):330-339.
28. Timmons, M.B., Ebeling, J.M., Wheaton, F.W., Sommerfelt, S.T., Vinci, B.J.(2002). *Recirculating aquaculture systems.* Caruga Aqua Ventures, New York. 748.
29. Valente, L.M.P., Cornet, J.C., Donnay-Moreno, C., Gouygou, J.P., Bergé, J.P., Bacelar, M., Escorcio, C., Rocha, E., Malhão, F., Cardinal, M.(2011).Quality differences of gilthead sea bream from distinct production systems in Southern Europe: Intensive, integrated, semi-intensive or extensive systems. *Food Control:* 708-717.

30. Vásquez, T.W. (2004). Principios de nutrición aplicada al cultivo de peces. IALL Instituto de Acuicultura de los Llanos. Universidad de los Llanos. Villavicencio, Colombia. Ed. Pablo XXIII. 22p.
31. Webster, C., Lim, C. (2002). Rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, In: Webster CD, Lim CE (ed), Nutrient requirements and feeding of finfish for aquaculture, CABI Publishing, New York, NY, USA. 184-202 .

Capítulo 1. El biofloc y el uso de fuentes proteicas vegetales, eslabones de la sostenibilidad de la acuicultura. Revisión de literatura.

1.1 Resumen

La producción acuícola se proyecta como una alternativa proteica para la alimentación de la creciente población mundial. Con el pasar de los años se ha presentado un atendida ascendente del consumo de pescado, sin embargo atender las crecientes demandas de proteína animal con pescado, requerirá de producción intensa, eficiente y sostenible. Es necesario la intensificación de la acuicultura considerando aspectos ambientales y nutricionales en el cultivo. La tecnología biofloc (BFT) es un sistema intensivo que brinda control sobre la calidad del agua, donde un consorcio bacteriano actúa generando reciclaje de residuos nitrogenados y transformándolos en proteína microbiana disponible en el cultivo. En la producción en BFT existen pocos estudios con especies nativas como la cachama blanca *Piaractus brachyomus*, en los realizados la especie ha demostrado adaptación al BFT con resultados productivos y competitivos. La sostenibilidad de la acuicultura depende también de estrategias en la alimentación, las fuentes proteicas vegetales permiten disminuir la demanda de harina de pescado y generar menores residuos en el cultivo. Fuentes proteicas de tipo vegetal como la torta de soya y las algas marinas, presentan contenidos nutricionales competitivos y una buena disponibilidad en el mercado lo que las perfila como sustitutos. En esta revisión se busca orientar al lector sobre características del biofloc y el uso de fuentes vegetales en remplazo de la harina de pescado en peces de agua dulce como es el caso de la cachama blanca.

Palabras claves: Sostenibilidad, Biofloc, Cachama blanca, Filete, Espirulina,

1.2 Introducción

La producción acuícola necesita soluciones que generen menos impactos ambientales y sean más sostenibles para servir con el aumento creciente de la población humana y la escases de agua a nivel mundial (Hopkins et al., 1991). El claro crecimiento que la acuicultura ha tenido es debido, entre otras cosas, por la calidad de la proteína que ofrece, sin embargo, durante el proceso productivo se generan impactos importantes con descargas sobre los recursos hídricos, además tiene problemas relacionados con el uso de harina de pescado (Beveridge, 1997).

En la industria de los alimentos acuícolas la harina de pescado es la fuente proteica más importante, lamentablemente su extracción desmesurada ha llevado a restringir su acceso, generando aumentos en su precio y afectando su disponibilidad, lo cual afecta seriamente a la acuicultura (Mazurkiewicz, 2009). Los peces en su consumo solo aprovechan entre el 20 y el 25% del alimento, el resto es desechado al agua en forma de nitrógeno amoniacal principalmente (Crab et al., 2007; Piedrahita, 2003). En la industria acuícola se producen desechos en el agua de nitrógeno y fósforo procedentes de alimento y de los peces, que contribuyen con la eutrofización de otros ecosistemas acuáticos y con la pérdida de organismos biológicos (Howarth et al., 2011; Webster y Lim, 2002).

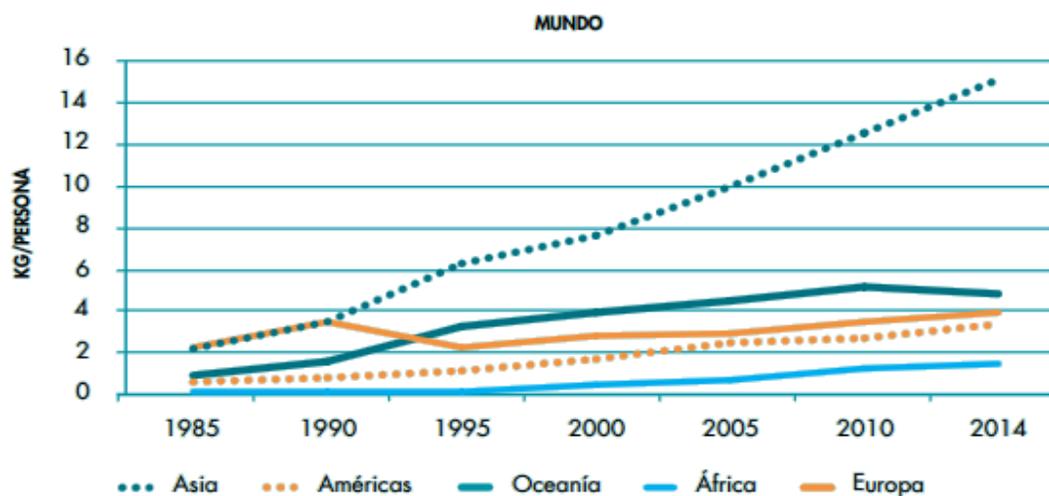
Los productos acuícolas presentan alta demanda no solo por ser asequible a la población, sino también por el interés creciente de consumir alimentos en la dieta más sanos y nutricionalmente completos, característica que el pescado cumple (Abimorad y Carneiro, 2007). En Latino América el consumo de pescado es fuerte en países como Perú y Guyanas donde su consumo *per cápita* es mayor al 20 gramos diarios, en países como Venezuela, Ecuador, Chile y Brasil se presenta un consumo entre 2 y 4 g y en Colombia este consumo no supera los 2 g/día (FAO, 2016).

Los argumentos anteriormente expuestos, orientan el interés de académicos e investigadores hacia la búsqueda de elementos que otorguen mayor sostenibilidad a la producción de alimentos, nuevos sistemas, nuevas materias primas y verificando que el alimento sea nutricionalmente adecuado e inocuo para el consumidor.

1.3. La acuicultura en el mercado nacional e internacional.

El crecimiento de la acuicultura viene superando las cifras de la pesca extractiva a nivel mundial. Su desarrollo ha estado en cabeza de países del pacífico Asiático representado cerca del 90% de lo producido mundialmente, entre ellos China, Vietnam, Indonesia y Tailandia (FAO, 2011a). La acuicultura provee en la actualidad cerca del 50% del consumo mundial de pescado y tiene uno de los mayores crecimientos en el sector primario con una tasa de crecimiento del 7% anual lo que beneficia notablemente a los pequeños y medianos acuicultores (FAO, 2011b). En el año 2012 la acuicultura representó cerca de un 10% de las exportaciones de la agricultura mundial (FAO, 2014). En la gráfica 1 podemos observar la producción acuícola por persona en cada continente, la que ha estado en aumento con el pasar de los años.

Gráfica1: Producción estimada por persona de pescado en cada continente procedente de la acuicultura (FAO, 2016).



Con el aumento de la población, la acuicultura sigue en crecimiento y las investigaciones y adelantos se han centrado en la intensificación de la producción (Timmons et al., 2009; Avnimelech et al., 2012) en la búsqueda de dietas con alta calidad nutricional y rentabilidad (Jafari et al., 2014; Vásquez et al., 2010) y el bajo impacto ambiental; (Glencross et al., 2007).

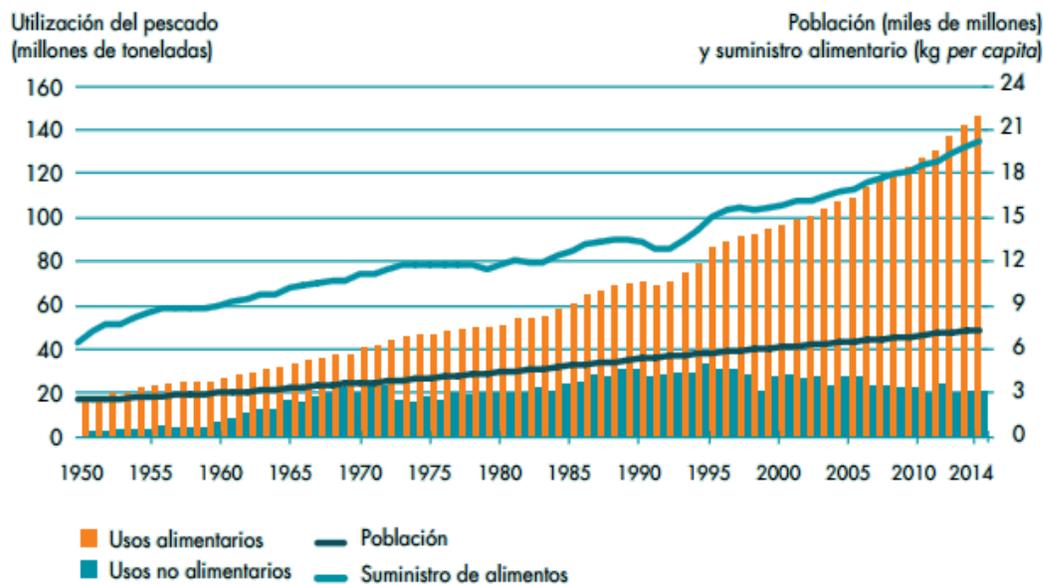
1.4 Los impactos ambientales de la acuicultura

Un impacto notable que ha traído la acuicultura es la afectación de la diversidad acuática, algunos de los principales ingredientes de sus alimentos dependen de la harina de pescado proveniente proviene de pesquerías de aguas oceánicas principalmente, su alta extractividad han llegado a una situación restrictiva en el uso actual y futuro de las harinas y aceites de pescado en alimentos acuícolas (Tacon y Metian, 2008; FAO, 2014). De acuerdo con Naylor et al. (2001) y Beveridge et al. (1994) los impactos sobre la biodiversidad acuática son los principales resultados negativos de la acuicultura. Adicionalmente, la acuicultura presenta un uso excesivo de agua y suelo, por lo que los desarrollos tecnológicos de la acuicultura en últimas décadas se han enfocado en el bajo uso de agua, recirculación y a la disminución de espacio con una mayor intensificación de los cultivos (Timmons et al., 2002).

Otro notable impacto ambiental de la acuicultura es la generación de residuos nitrogenados al agua resultado de la producción. La materia orgánica se sedimenta en el fondo de los estanques produciendo disminución de las concentraciones de oxígeno y comprometiendo la salud de los peces (Sellers et al., 1997).

1.4.1 El uso de harina de pescado en la alimentación animal

La harina de pescado es una fuente de proteína costosa en la industria de los alimentos pero es preferida porque su precio se compensa con su alta digestibilidad y palatabilidad. Su contenido proteico va de 55 al 60% de proteína cruda (PC) y tiene un perfil aminoacídico muy completo a excepción de la fenilalanina y que es necesario suplementar (Vásquez, 2004). La producción de harina de pescado ha venido teniendo cambios fluctuantes, en el año 1992 reportaba cerca de 30 millones de toneladas al año, y para el año 2010 un descenso de 14,8 millones de toneladas al año y para el 2012 se reportó en aumento con cerca de 16,3 millones de toneladas al año (FAO, 2014). En la gráfica 2 se observa como ha sido el uso de pescado para consumo humano desde la década del cincuenta y como ha sido su aumento para el consumo humano y la elaboración de otros productos como el aceite y la harina de pescado.

Gráfica 2. Utilización y suministro a nivel mundial de pescado (FAO, 2016).

La demanda de harina de pescado por la acuicultura a nivel mundial es significativa y representa cerca del 15% de la producción mundial. Según Naylor et al. (2001) esta demanda es principalmente para la producción de peces carnívoros de gran valor proteico como el salmón del atlántico y la trucha arco iris, especies con un gran mercado internacional y con gran demanda. También la harina de pescado se ha venido usando como una materia prima para alimentos de otras especies como mascotas (De Silva y Turchini, 2008). La harina y aceite de pescado han sido ingredientes clave para la alimentación de los peces, pero cada vez se comercializan harinas de menor calidad lo cual proyecta en el tiempo una disminución de su uso (Tacon y Metian, 2009). Varios autores sostienen que para su elaboración se hace necesario procesar un promedio 5 T de peces enteros para obtener 1 T de harina de pescado, lo cual contribuye a complejizar aún más el problema de la pesca extractiva a nivel mundial (Buschmann, 2001; Naylor et al., 2001). Es relevante también decir que en la actualidad cerca del 75% del aceite de pescado producido es usado por la acuicultura (FAO, 2016). Tanto la harina como el aceite de pescado son materias primas que favorecen la calidad de la carne por sus aportes a los peces respecto a los aminoácidos y ácidos grasos que se obtienen de ella (FAO, 2014). Pero sus inconvenientes ambientales la ha llevado a perder importancia y a la búsqueda de estrategias para disminuir las altas demandas de harina de pescado donde el uso de proteínas vegetales como la soja y aceites vegetales toma relevancia

siendo cada vez más común en peces carnívoros como trucha arco iris *Oncorhynchus mykiss* (Jafari et al.,2014).

1.4.2 El consumo de agua en la producción acuícola

El agua es sin duda alguna un elemento esencial para nuestras vidas; es en aguas oceánicas y continentales donde se da la retención de más del 50% del carbono a través de la fotosíntesis realizada por los organismos acuáticos, no obstante son notables las amenazas sobre su acción y conservación por la contaminación, el cambio climático, las especies invasivas, la acidificación y la sobreexplotación de sus aguas, donde la acuicultura aporta en este problema (FAO, 2016).

El uso del agua por la acuicultura es un aspecto a tener en cuenta en la producción ya que es un recurso cada vez más limitado a nivel mundial. En la acuicultura de aguas continentales, se utilizan grandes volúmenes de agua para llevar a cabo los cultivos, esto preocupa ya que la producción acuícola sigue con una tendencia y con incidencia en la seguridad alimentaria de muchos países en desarrollo (De Silva, 2012). Timmons y Ebeling (2009) determinaron el uso del agua en distintos sistemas de producción acuícola, mostrando que en sistemas de producción intensiva como los sistemas de recirculación (RAS) el agua necesaria son 500 L/Kg de pescado, mucho menor que en estanques o canales donde el uso está entre 3000 a 210000 L/Kg, estos mismos autores calcularon la relación del uso agua versus suelo donde en cultivos en estanque de tilapia nilótica se necesitan 420 partes de agua para 154 partes de suelo mientras que para un cultivo de tilapia en sistema intensivo RAS la relación es de 1 parte de suelo por 1 parte de agua.

Ustate (2002) reportó para Colombia que para la producción de tilapia roja es necesario abundante recurso hídrico, calculando que para la producción de una tonelada mensual de tilapia se puede necesitar hasta un caudal de 25 L/seg y es similar en otros sistemas semi intensivos, situación que en sistemas intensivos como la tecnología biofloc (BFT) y el RAS no es necesario.

En la acuicultura son altas las pérdidas de agua, las cuales se pueden dar por evaporación e infiltración de los estanques y se calcula en más de 35.000 m³ por hectárea año. Estas pérdidas de agua pueden reducirse relativamente con el aumento de

la producción por metro cuadrado de estanque (Verdegem et al., 2006). Las aguas continentales fuera de tener usos acuícolas poseen otros como el riego, eliminación de residuos, la navegación, la generación de energía hidroeléctrica entre otras que prestan servicios ecosistémicos de importancia, por tanto es crucial su uso planificado y sostenible (FAO, 2014).

Las situaciones de la acuicultura con el uso del agua ha llevado a la necesidad de producir más con menor uso de agua y espacio. En los sistemas de producción de tilapia convencionales se ha calculado un promedio de 17400 Kg/ha/año y para camarón de agua dulce hasta 11000 Kg/ha/año, esta capacidad de carga es ampliamente superada por los sistemas intensivos, donde se pueden llegar a tener producciones de tilapia nilótica hasta de 13400000 Kg/ha/año usando menos agua y espacio (Timmons y Ebeling, 2009).

1.4.3 La contaminación del agua con residuos nitrogenados provenientes de la acuicultura

En estudios realizados por Islam (2005) se encontró que en los cultivos en jaula por cada tonelada de peces producido se liberan al ambiente cerca de 132 kg de nitrógeno al agua. Buschmann (2001) plantea en cultivos de salmón de 75 al 80% del alimento adicionado queda en el ambiente como residuos y en su mayoría se sedimenta en el fondo y otro porcentaje queda en la columna de agua como material suspendido. Una forma de solucionar este problema de sólidos en la producción es mediante la recolección de estos lodos para generar fertilizantes con uso en la producción agrícola (McIntosh y Fizesimmons, 2003) condición que es poco implementada. Otra manera sostenible son los rizipiscicultivos donde los desechos de los peces sirven para la fertilización de cultivos de arroz de una manera eficiente (De Silva, 2012).

Estos resultados contaminantes han estado en la preocupación de la industria de alimentos acuícolas y han venido en disminución debido a mejoras tecnológicas y cambios en la composición de los alimentos, además a nivel nutricional mejorando la digestibilidad de sus ingredientes. Estos cambios se han visto reflejados en el tiempo donde para 1960 se arrojaban al ambiente cerca de 31 Kg de fósforo y 129 Kg de nitrógeno por tonelada de peces producida y para 1990 se observaron reducciones

significativas llegando a cerca de 9,5 Kg de fósforo y 78 Kg de nitrógeno arrojados al ambiente (Enell y Ackerfors, 1991).

1.5 El uso de proteína vegetal en la alimentación de los peces

La harina de pescado ha sido clave para el desarrollo los objetivos de la industria alimentaria acuícola aunque las fuentes proteicas vegetales pueden ser un efectivo sustituto. Estas fuentes pueden resultar en menores costos en los alimentos balanceados (Tacon y Metian, 2008). El uso proteínas y aceites de origen vegetal en la sustitución parcial o total de la harina de pescado en alimentos acuícolas ha sido investigado por distintos autores y en variadas especies acuáticas (Gatlin et al., 2007; Turchini et al., 2009; Hardy, 2010). Dentro de las fuentes proteicas de origen vegetal la soya y el gluten de maíz presentan buen perfil de aminoácidos con algunas deficiencias en metionina y lisina (Pereira y Oliva, 2003; Refstie et al., 2001; Dabrowski et al., 1989). Estas fuentes pueden ser un remplazo parcial de la harina de pescado además de otras como semillas de leguminosas, oleaginosas y cereales, también subproductos de otras industrias como la destilería y de la producción agroindustrial (Carter, 2000; Riche y Brown, 1999; Adelizi et al., 1998). En investigaciones realizadas por Sales (2009), demostró que una sustitución parcial de la harina de pescado es benéfica para el rendimiento y desarrollo de tracto intestinal de los peces. Además una disminución de los desechos nitrogenados con respecto a la harina. La sustitución total no ha tenido mucho éxito en peces carnívoros.

La soya ha sido una fuente proteica vegetal altamente producida y estudiada; anualmente se producen cerca de 200 millones de toneladas. La soya es una leguminosa que contiene niveles altos de proteína y un perfil de aminoácidos relativamente balanceado, lo que la ha convertido en un ingrediente proteico alternativo en la acuicultura (Gatlin et al., 2007).

Son diversas las investigaciones con fuentes proteicas de origen vegetal, Tacon (1997) y Francis et al. (2001) reportaron algunos problemas como es el caso de los factores anti nutricionales presentes en soya, que afectan el crecimiento de los peces y la digestibilidad. Algunos factores anti nutricionales en la soya son las saponinas, lectinas y

ácido fítico (Hendricks, 2003). En estudios de Ostaszewskaa et al. (2004), demostraron que la inclusión parcial de la soya es común en especies como la trucha, la tilapia y la carpa con éxito productivo igual que estudios realizados con trucha por Jafari et al., (2014). Estos estudios contrastan con los presentados por Refstie et al., (2001) y Van Den Ingh et al. (1991) con salmón del Atlántico (*Salmo salar*), los cuales con el consumo de harina de soya le genera enteritis y un alto contenido de agua en heces lo que traduce en una reducida absorción intestinal.

1.6 La espirulina como suplemento alimenticio en la acuicultura

En el mercado de las materias primas para la nutrición acuícola, las micro y macro algas han sido caracterizadas como fuentes proteicas y como suplementos en el alimento (Becker, 2007; Valente et al., 2006). Dentro de estas, la espirulina *Arthrospira platenses* es un alga interesante con reportes de hasta de 65% de PC y significativos aportes en vitaminas hasta del 5% de su contenido. La espirulina es una micro alga verde azul que de manera *in vitro* se cultiva en estanques poco profundos con iluminación natural o artificial (Pulz y Scheibenbogen, 1998); estas algas multicelulares y filamentosas pertenecen a dos géneros *Spirulina* y *Arthrospira* que reúnen cerca de 15 especies dentro de las que se destaca la *Arthrospira platensis* por ser la más común y ampliamente estudiada (Habib et al., 2008).

La espirulina presenta un apreciable contenido de lípidos en rango de 7 a 16% dentro de los que se incluyen ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) del tipo omega 3 de gran importancia para la salud humana. (Venkataraman, 1997; Takeuchi et al., 2002). Esta alga es un suplemento de gran interés por su alto contenido de componentes bioactivos como antioxidantes y vitaminas A y B12, además de algunos minerales como yodo, potasio, zinc, calcio y fósforo (Jafari et al., 2014; Reddy et al., 2000). La espirulina se ha venido posicionando también como un suplemento alimenticio apto para el consumo humano por su favorable perfil de ácidos grasos como son los del tipo omega 3 (Cohen, 1991). Para el año 2014 la producción de algas en el mundo superó los 27 millones de toneladas algas usadas para la producción gastronómica, suplementos alimenticios, cosméticos y fertilizantes (FAO, 2016).

La espirulina es una fuente proteica vegetal prometedora aunque poco explorada en la acuicultura (Ibrahem e Ibrahim 2013). Según Jafari et al. (2014) una inclusión de espirulina en dieta del 5%, favorece notoriamente el valor nutricional del alimento y su desempeño. Dawah et al. (2002) consideraron a la espirulina como un buen suplemento para la tilapia nilótica; posteriormente El-Sheekh et al. (2014), e Ibrahem et al. (2013) híbridos de tilapia alimentados con harina de pescado como base proteica de la dieta y suplementadas con espirulina demostraron que esta alga puede llegar a sustituir hasta el 75% de la harina dentro del concentrado generando mayores índices de conversión alimenticia y con un alto valor proteico y nutricional. En general la espirulina presenta un alto valor nutricional, alta digestibilidad y beneficios nutricionales y para la salud (El-Sheekh et al. 2014).

1.6.1 Efectos de la espirulina sobre el perfil de ácidos grasos en los peces

La espirulina *Arthrospira platensis*, a nivel composicional presenta contenidos altos de ácidos grasos saturados (SFAS) dentro de los que se destaca el ácido palmítico (C16:0), y de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA). Tras la suplementación con espirulina se pueden aportar ácidos grasos como el γ -linoleico (C18: 3 ω -6); oleico (C18:1 ω -9), ácido eicosapentaenoico (EPA, C20:5 ω -3), ácido docosapentaenoico (DPA, C22: 5 ω -3) y ácido docosahexaenoico (DHA, C22: 6 ω -3) (Diraman et al.,2009; Tanticharoen et al.,1994; Campanella et al.,1999). Estos ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) aportan importantes beneficios a la alimentación de los peces (Jafari et al., 2014).

Los ácidos grasos (AG) aportan beneficios especiales, en peces de aguas frías como los Salmónidos los AGPI del tipo omega 3 (ω 3) como el EPA,DHA y DPA contribuyen a labores primordiales de mantener la fluidez en la membrana celular en peces de aguas frías (Serhan, 1994) esto hace que estos peces porten en su carne más que otros peces. Los AG son también de importancia para la nutrición y salud humana en variados temas (Bell y Waagbo 2008). Análisis realizados por Jafari et al. (2014), comprobaron que los contenidos de ácidos grasos de la trucha arcoíris *O.mikyss* alimentada con dietas suplementadas con espirulina mostraron un alto contenido de AG del tipo insaturado y bajos contenidos de los ácidos grasos saturados (SFAS), lo que se expresa como beneficios nutricionales para el consumidor.

1.7. Usos de sistemas de producción de tecnología biofloc en la producción acuícola.

La acuicultura ha venido desarrollando tecnologías y avances que van a su intensificación y al mejoramiento de las especies cultivadas. Los sistemas de tecnología Biofloc (BFT) son ampliamente estudiados y aplicados para la producción acuícola mundial (Avnimelech, 2012). El BFT, ha tomado gran interés en los últimos veinte años por generar producciones con menos impacto ambiental, bioseguridad en el sistema y altas cargas de producción. Los cultivos en BFT hacen aportes en aspectos de sostenibilidad acuícola, las ventajas sobre los sistemas van desde bajos requerimientos de agua al eliminar o disminuir su recambio (Crab et al., 2009), aprovechar el nitrógeno de residuo y la producción de biomasa bacteriana (Liu et al., 2014; Hargreaves, 2006).

En los sistemas BFT las especies como la tilapia nilótica *Oreochromis niloticus* y el camarón blanco *Litopenaeus vannamei* han sido ampliamente producidas y documentadas (Avnimelech, 2012, Liu et al., 2014; Crab et al., 2012; Long et al., 2015) entre otros autores. Estas especies han presentado un notable crecimiento en su demanda mundial y en las toneladas anuales producidas según FAO (2016). También se ha reportado trabajos con otras especies en BFT como cachama negra *Colossoma macropomum* (Rodríguez et al., 2012), con cachama blanca *Piaractus brachypomus* (Chaverra, 2016; Bru, 2016; Abad et al., 2014), con camarón azul *Litopenaeus stylirostris* (Cardona et al., 2016), con camarón rosado *Farfantepenaeus brasiliensis* (Emerenciano et al., 2014) y en carpa común *Cyprinus carpio* y carasius *Carassius auratus* (Dibello y Doassans, 2013).

1.7.1 Cómo funcionan los cultivos de tecnología biofloc

Los comienzos del biofloc se remonta a estudios de Azam et al. (1983) de la dinámica microbiana en medios acuáticos de aguas residuales, donde se expuso la hipótesis siguiente, en condiciones de cultivo rico en nitrógeno, los microorganismos como las bacterias heterotróficas aprovechan el carbono como una fuente de energía y el nitrógeno para la síntesis de proteínas. Las tecnologías biofloc BFT se centran en la idea del desarrollo de flóculos microbianos a partir de los residuos nitrogenados y el aprovechamiento de las bacterias, para ello se requiere de una fuente de carbono

externa y manejar una relación carbón nitrógeno (C:N), una fuente de aireación que permita la resuspensión del material orgánico y adición de una fuente de alcalinidad al cultivo (Avnimelech, 2012; Emerenciano et al., 2014).

Los sistemas BFT permiten que la producción de peces o camarones con un control sobre los compuestos nitrogenados residuales dentro de los cuales se encuentra el amonio, estos compuestos se transforman en biomasa bacteriana, generando un control sobre el contenido de sus subproductos (Avnimelech, 1999; De Schryver et al., 2008). Es por ello que puede considerarse que el BFT mejora las características de calidad del agua de cultivo con una producción intensiva (Long et al., 2015).

1.7.2 El perfil nutricional del biofloc

El consumo del biofloc por los organismos cultivados como peces y camarones es una de las características del sistema menos estudiado en el BFT; comprobar su ingestión garantiza sostenibilidad del sistema a nivel económico y productivo (Chaverra, 2016). Los flóculos presentan características nutricionales variables, con contenidos de proteína considerable, lo que permite ser visto como un suplemento alimenticio proteico prometedor (Xu et al., 2012). En camarones se ha reportado uso de harina de BFT en el alimento hasta en un 30% de alimento suministrado (Panjaitan, 2004; Burford et al., 2004); para el caso de la tilapia la suplementación con BFT también se ha implementado en menor proporción (Avnimelech et al., 1994). Ensayos realizados con camarón rosado *Farfantepenaeus brasiliensis* han demostrado que el BFT es una fuente proteica que permite obtener un desarrollo diferenciador (Emerenciano et al., 2012). Otros autores han reportado que el consumo de BFT genera resultados favorables en el crecimiento y mejor retención de la proteína (Xu et al., 2012; Avnimelech, 2009).

Los contenidos nutricionales del biofloc pueden variar significativamente de un biofloc a otro, en sus fracciones químicas la proteína cruda puede variar entre el 12 al 49%, de la misma forma los lípidos entre 13 y 46% donde los niveles de AG poliinsaturados (PUFA) y monoinsaturados (MUFA) son fluctuantes pudiendo estar los AG a altos niveles y/o ausentes. (Ekasari et al., 2010; Azim et al., 2008). Estos cambios, según Monroy et al. (2013), pueden deberse a diferencias en la relación carbono nitrógeno (C:N), a cambios en la intensidades de luz, salinidad y a la composición consorcio microbiano. Con

respecto al perfil de aminoácidos, el BFT presenta un contenido variable que se asocia a diferentes tamaños de floc, en general presenta contenidos de lisina, fenilalanina, valina, treonina, leucina y muy ausente metionina y cisteína (Ekasari et al., 2014).

1.7.3 Comunidades microbianas del biofloc

Los sistemas BFT físicamente presentan una formación de agregados o flóculos bacterianos compuestos de residuos orgánicos, microorganismos y biomasa bacteriana. En su contenido se encuentran también micro algas y zooplancton suspendidos (Ekasari et al., 2010; De Schryver et al., 2008). Por otro lado Hussein et al. (2014) considera que el BFT está constituido por grupos nematodos, dinoflagelados, clorófitos, diatomeas, cianobacterias y rotíferos, y otros organismos que "pastorean" el BFT como es el caso del zooplancton (Hargreaves, 2013). Dentro de estos microorganismos los nematodos se ha reportado que se les encuentran en el cultivo desde la cuarta semana en BFT maduro (Ray et al., 2010a). Estas agrupaciones de microorganismos presentan altos contenidos de proteína cruda y ácidos grasos esenciales (Crab et al., 2012).

Estudios realizados sobre la composición microbiológica en el biofloc durante las distintas etapas productivas, han verificado la presencia de organismos deseables e indeseables con gran variabilidad (Monroy et al., 2013). Bacterias indeseables como *Vibrio* sp. y *Aeromonas* sp. también son comunes en el BFT debido a las altas cargas de materia orgánica en las primeras etapas de cultivo (Monroy et al., 2013). Otras especies heterotróficas como *Sphingomonas paucimobilis*, *Pseudomonas luteola*, *Pseudomonas mendocina*, *Bacillus* sp. *Micrococcus* sp. son también comunes en el BFT maduro y controlan las proliferaciones de *Vibrio* sp. y *Aeromonas* sp. dentro del cultivo BFT (Monroy et al., 2013). Estas características de control están asociadas a una capacidad de exclusión competitiva que presenta el BFT por bacterias heterotróficas sobre poblaciones bacterianas patógenas (Wu et al., 2012).

En la transformación de los desechos nitrogenados como el amonio, en el BFT se presentan otros microorganismos degradadores del nitrógeno *Nitrobacter* sp., *Nitrospira* sp. y *Bacillus* sp. con frecuente en el contenido del biofloc. Estas bacterias nitrificantes son de gran beneficio para el mantenimiento de los parámetros de calidad del agua (Crab et al., 2012; Avnimelech et al., 2009).

1.7.4 Calidad del agua en los sistemas biofloc

Los parámetros de la calidad del agua son muy importantes en los sistemas de producción acuícola (Azim y Little 2008). En el BFT el monitoreo de oxígeno disuelto (OD), saturación de oxígeno, temperatura, pH y compuestos nitrogenados es crucial para dar garantías de un funcionamiento adecuado del sistema (Widanarni et al., 2012; Liu et al. 2014; Avnimelech, 2009). Autores como Sastre et al. (2004) plantean que el oxígeno disuelto (OD) es la variable más crítica en los sistemas de cultivos acuícolas intensivos.

En los cultivos BFT el carbono y el nitrógeno deben estar en una relación deseada (la relación C: N) para favorecer el desarrollo del consorcio microbiano y la transformación de los desechos nitrogenados en biomasa bacteriana (Schneider et al., 2005). A través de la adición de una fuente de carbono externa como glucosa, melaza, glicerol u otras y la implementación de aireación mecánica al sistema desde el fondo, se estimula el crecimiento de las bacterias heterotróficas encargadas de la transformación del nitrógeno residual en biomasa bacteriana (Crab et al., 2012; Avnimelech, 2009). Estas bacterias permiten controlar los altos niveles de amonio transformándolo en biomasa (Avnimelech, 2009).

En los sistemas acuícolas tradicionales en estanques y no tradicionales como los sistemas de recirculación de aguas RAS; el control de los residuos nitrogenados se realiza a través de un recambio de agua y a través de filtración por operaciones unitarias en el RAS donde se da filtración biológica y mecánica, mientras que en BFT se da un proceso completamente biológico. (Crab et al., 2012). El control de los contenidos de amonio, nitrito y nitrato en BFT es de constante monitoreo; sus concentraciones en niveles aceptables garantizan que las especies cultivadas no se vean afectadas. La adición de fuentes de carbono garantiza energía para que las bacterias puedan transformar el amonio y mantener estabilidad en el cultivo (Avnimelech, 1999).

1.8 El pescado en la nutrición humana.

La acuicultura ha venido creciendo a una tasa promedio de 8,6% anual, reportó para el 2012 66,6 millones de toneladas y se proyecta como una industria próspera donde el pescado es su producto principal con amplio consumo a nivel mundial (FAO, 2014). El

consumo *per cápita* de pescado a nivel mundial es de cerca de 20Kg/persona/año, es decir, unos 54 g de pescado día lo cual demuestra gran aceptación comercial (FAO, 2016). Su alto está relacionado a las características de su carne y su distribución productora en todos los continentes, siendo un producto de la canasta familiar en distintos países como una fuente proteica completa y de gran valor nutricional (FAO, 2012). La carne de pescado presenta proteína con un alto valor biológico y baja en calorías, lo cual ha generado apertura en su mercado como un alimento saludable y que aporta un perfil de aminoácidos completo, igualmente un perfil de AG donde los ácidos grasos esenciales AGE como los omega 3 es característico (Villarino et al., 2011).

La carne de pescado ha sido catalogada como buena para la salud, esto es debido entre otros aspectos a sus AG del tipo omega 3 (Ω3) los cuales pueden tener distintos usos y acciones sobre los sistemas del cuerpo. Diferentes investigaciones atribuyen propiedades benéficas relacionadas con la memoria, la capacidad cognitiva y de aprendizaje (Ikemoto et al., 2001), en el sistema circulatorio y la incidencia en enfermedad coronaria y disminución del colesterol (Perea et al., 2008; Pérez y Lorenzo, 2006), en procesos inflamatorios (Kant, 2004), en el control de procesos depresivos y de demencia (Shinto et al., 2009), entre otros usos médicos.

Desde el año 2003, la Organización Mundial de la Salud (WHO) ha venido recomendando el consumo de pescado como una estrategia para conservar la salud y mejorar las expectativas de vida. El consumo de carne de pescado es recomendado para la prevención de enfermedades cardiovasculares y para llevar una dieta saludable con altos aportes vitamínicos como la B12, A, D y E (Villarino et al., 2011). Todas las favorabilidades del consumo de la carne de pescado ha aumentado las cifras de la producción de peces a nivel mundial y fortalecido mucho a la acuicultura continental (FAO, 2012).

1.8.1 Especies nativas en la producción acuícola nacional

Son pocas las especies nativas que se producen a nivel comercial por aspectos reproductivos y productivos; especies como el bochachico *Prochilodus magdalenae*, la sabaleta *Brycon henni*, dorada *Brycon moreii*, bagre pintado *Pseudoplatystoma fasciatum*, yamú *Brycon amazonicus* y el pirarucú *Arapaima gigas* son nativas de

suramerica y son objetivo de investigación en la piscicultura en aspectos como lo nutricional (Vásquez, 2004).

Estas especies son de muy bajo cultivo, ya que la acuicultura en el mundo se han venido trabajando con especies de cultivo introducidas y exóticas (Liu y Li, 2010). Dentro de las especies más cultivadas se destaca la tilapia nilótica *Oreochromis niloticus* con una producción anual que supera los 3 millones toneladas/año, el salmón del Atlántico *Salmo salar* donde Chile y Noruega son los mayores productores y el camarón del pacífico *L. vannamei* donde China, Indonesia y Tailandia son sus mayores productores a nivel mundial (De Silva, 2012).

En Colombia la producción acuícola es marina y continental, con respecto a la producción continental está basada principalmente por la tilapia nilótica *Oreochromis nilótica*, tilapia roja *Oreochromis spp.*, cachamas *Piaractus brachypomus*, y *Colossoma macropomun*, trucha arcoiris *Oncorhynchus mykiss* y menor cantidad especies nativas para consumo a nivel local como bocachico *Prochilodus magdalenae* y bagres *Pseudoplatistoma sp.* Por otro lado, la acuicultura marina es poca y se centra en la especie camarón del pacífico *Litopenaeus vannamei* en la costa Atlántica y pacífica y existen otros cultivos de valvas en la Costa Atlántica y por tanto ha sido poco el aprovechamiento de esta acuicultura (Merino, 2013).

1.8.2 La cachama blanca su producción y consumo

La cachama blanca *Piaractus brachypomus* es la especie nativa más producida en el país, presenta una calidad nutricional de su carne excepcional, buen sabor, olor y aspecto agradable al consumidor (Suárez et al., 2009; Kubitza, 2004). En Colombia esta especie ocupa la segunda posición en producción y su consumo es principalmente interno (Cruz et al., 2011). Su proteína presentar un alto valor nutricional (Caraciolo et al., 2001), completo contenido de aminoácidos (Izquierdo et al., 2001; Ozório et al., 2010) contenidos de AGPI importantes (Céspedes y López, 2015) además por otros aspectos como rusticidad, adaptación y un alto valor comercial (Jomori et al., 2003).

Se calculan en Colombia un total de 400 hectáreas dedicadas al cultivo de cachama blanca y negra en estanque y se acostumbra realizar policultivos con tilapias a menores densidades de cultivo (FAO, 2011b). Es una especie con tolerancia a concentrados naturales, agro-productos; bajo condiciones de cultivo presenta un buen crecimiento y resistencia a las enfermedades (López, 2004). Esta especie reporta buenos parámetros zootécnicos como altas tasas de crecimiento y adecuado factor de conversión alimenticia en periodos de ceba cortos (Vásquez et al., 2004). En trabajos realizados por Abad et al. (2014) reportaron biomasa en sistemas intensivos de BFT de 7,9 Kg/m³ y un peso final promedio de 450g en 28 semanas de producción.

Las investigaciones de esta especie se han orientados a aspectos como la alimentación con fuentes proteicas vegetales y sistemas intensivos de producción (Chaverra, 2016; Bru, 2016; Abad et al., 2014, Bru et al., 2014; Murillo, 2003; López, 2004), en sus características productivas en policultivo (Torres, 1989; Bru et al., 2014), respecto a su organismo con su sistema circulatorio (Pardo, 1999), estudios de sus espinas intramusculares (Mesa et al., 1994; Mesa y Botero, 2007) y en aspectos reproductivos como de desove e inducción a la ovulación (Muñoz et al., 1989) y congelación de semen e espermiación inducida (Fresneda et al., 2004).

1.8.3 Características de la calidad de la carne de pescado

El pescado es un alimento muy completo y por sus aportes nutricionales lo han posicionado como una fuente proteica de alta calidad indispensable en la dieta en Asia y Europa (Pinto et al., 2005). La calidad de la carne de pescado se ha definido como una combinación de características de inocuidad, salubridad, nutricionales, físicas, organolépticas y de frescura de su carne (Martín, 1988). En la producción acuícola diferentes características afectan la calidad de la carne de pescado destinada al consumidor (Kubitza, 1999).

Durante el tiempo de cosecha, la calidad de la carne se puede afectar por la manipulación de los peces sin la higiene requerida lo que genera contaminación con microorganismos (Kubitza, 1999). Las características microbiológicas puede ser determinantes en el producto final a entregar. La ausencia o presencia controlada de microorganismos determina si la carne es apta o no para su consumo, el crecimiento

bacteriano es el principal limitante con respecto el tiempo de vida comercial del pescado (Huss, 1998). En Colombia los rangos de permisividad microbiológica en la carne de pescado están contemplados en la norma técnica NTC 5443 para los peces dulce acuícolas (ICONTEC, 2006).

La calidad nutricional en la carne de pescado es otra característica determinante en la calidad de su carne, los contenidos proteicos van desde 15 al 26%, y contenidos de grasa de 1 a 7% (Fenemma, 2000). Con respecto a los lípidos el perfil de AG es muy rico en AGPI como los AG esenciales APA y DHA (Jafari et al., 2014), Por otro lado su proteína presenta un valor biológico alto con un contenido de aminoácidos muy completo y buena digestibilidad (Meyer y Fracalossi, 2005).

Las características organolépticas determinan la aceptación palpable del consumidor. Estas características en conjunto con las nutricionales dependen directamente de la composición química del pescado y esta composición a su vez de factores genotípicos y fenotípicos del pescado y su cultivo (Huss, 1988; Grigorakis, 2007). Una característica organoléptica clave es la textura, esta característica de tipo sensorial y a la vez mecánica que determina la cantidad de fuerza para morder la carne del pescado. La textura depende de la estructura muscular y sus componentes, los miofibrilares y tejido conjuntivo asociado a colágeno (Dunajski, 1980). Para el análisis organoléptico se pueden usar pruebas hedónicas o pruebas que caractericen el sabor, olor y otras características perceptibles a el gusto (Suarez et al., 2009).

1.9 Bibliografía

1. Abad, D., Rincón, D., Poleo, G. (2014) Índices de rendimientos corporales en morocoto *Piaractus brachypomus* cultivado en sistemas biofloc. *Zootecnia Trop.* 32(2): 119-130.
2. Abimorad, E.G., Carneiro, D.J. (2007). Digestibility and performance of pacu (*Piaractus mesopotamicus*) juveniles — fed diets containing different protein, lipid and carbohydrate levels. *Research Aquaculture Nutrition* 1365.
3. Adelizi, P.D., Rosati, R.R., Warner, K., Wu, Y.V., Muench, T.R., White, M.R., Brown, P.B.(1998).Evaluation of fish-meal free diets for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquacult. Nutr.* 4,255–262.
4. Avnimelech, Y. (2012). Biofloc technology -A practical guidebook. The World Aquaculture Society, Baton Rouge. 272.
5. Avnimelech, Y., (2009). Biofloc Technology — A practical guide book. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, United States. 182.
6. Avnimelech, Y., (1999). Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture* 176, 227–235.
7. Azam, F., Fenchel, T., Field, J.G., Gray, J.S., Meller, R.L.A., Trhingstad, F.(1983).The ecological roler of water- column microbes in the sea. *Mar Ecol Prog. Ser.* 10,257-263.
8. Azim, M.E, Little, D.C. (2008). The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 283(1-4): 29-35.
9. Becker, E.W. (2007). Micro-algae as a source of protein. *Biotechnol Adv* 25(2):207–210.
10. Bell, J.G, Waagbo, R. (2008). Safe and nutritious aquaculture produce: benefits and risks of alternative sustainable aqua feeds. In: Holmer M, Black K, Duarte CM, Marba N, Karakassis I (eds) *Aquaculture in the ecosystem*. Springer, Berlin, 185–225.
11. Beveridge, M.C.M, Ross, L.G, Stewart, J.A.(1997). The development of mariculture and its implications for biodiversity. In: *Marine Biodiversity: Patterns and Processes* (eds. Ormond RFG, Gage JD, Angel 8 MV), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom 16,105–28.

12. Beveridge, M.C.M, Ross, L.G, Kelly, L.A. (1994). Aquaculture and biodiversity. Institute of Aquaculture University of Stirling. *Ambio* 23,497- 502.
13. Buschmann, A.H.(2001). Impacto ambiental de la acuicultura el estado de la investigación en Chile y el mundo un análisis bibliográfico de los avances y restricciones para una producción sustentable en los sistemas acuáticos. Departamento de Acuicultura Universidad de Los Lagos Osorno, Chile. Terram publicaciones. 10- 12.
14. Burford, M.A., Thompson, P.J., McIntosh, R.P., Bauman, R.H., Pearson, D.C. (2004). The contribution of flocculated material to shrimp (*Litopenaeus vannamei*) nutrition in a high intensity, zero-exchange system. *Aquaculture* 232,525–537.
15. Bru S.B.C.,(2016). Cultivo en suspensión activa (Bioflocs): Una alternativa para la piscicultura urbana. Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.
16. Bru S.B.C.,(2016). Cultivo en suspensión activa (Bioflocs): Una alternativa para la piscicultura urbana. Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.
17. Bru, S.B.C., Correa, M., Guzmán, M., Pertuz, V.J.G., Ayazo, J.E.G., Atencio, V.J.G., Pardo S.C.C. (2014). Cultivo de cachama blanca *Piaractus brachypomus* y tilapia *Oreochromis niloticus* en sistemas biofloc, alimentadas con 3 niveles de proteína vegetal. Memorias VI congreso colombiano de acuicultura: Agroindustria y sistemas de producción, Villavicencio, Colombia. SSN: 2389-959X.
18. Caraciolo, M., Kruger, S., Costa. F.J.(2001). Estratégias de filetagem e aproveitamento da carne de tambaqui. *Panorama da Aquicultura* 67,25-29.
19. Cardona, E., Lorgeoux, B., Chim, L., Goguenheim, J., Le Delliou, H., Cahu, C. (2016). Biofloc contribution to antioxidant defence status, lipid nutrition and reproductive performance of broodstock of the shrimp *Litopenaeus stylirostris*: Consequences for the quality of eggs and larvae. *Aquaculture*. 452,252–262.
20. Carter, C.G. (2000). Fish meal replacement by plant meals in extruded feeds for Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Aquaculture* 185,299–311.

22. Céspedes, Z.C.A., López V.J.H. (2015)."Caracterización proximal y perfil de ácidos grasos de la cachama blanca (*Piaractus brachypomus*)" En: Colombia Encuentro Nacional de Investigación y Desarrollo. 2,1-6.
23. Chaverra, G.S.C.(2016). Contribución del biofloc como fuente de carbono y nitrógeno para el crecimiento de juveniles de Cachama blanca (*Piaractus brachypomus*). Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.
24. Cohen, Z., Vonshak, A. (1991). Fatty acid composition of Spirulina and spirulina-like cyanobacteria in relation to their chemotaxonomy. *Phytochemistry*30(1):205–206. [http://doi.org/10.1016/0031-9422\(91\)84125C](http://doi.org/10.1016/0031-9422(91)84125C).
25. Crab, R., Defoirdt, T., Bossier, P., Verstraete, W. (2012). Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture*, 356–357, 351–356.
26. Crab, R., Kochva, M., Verstraete, W., Avnimelech, Y. (2009). Bio-flocs technology application in over-wintering of tilapia. *Aquac. Eng.* 40,105–112.
27. Crab, R., Avnimelech, Y., Defoirdt, T. (2007). Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture*, 270 (1): 1–14.
28. Cruz, C.P.E., Medina, V.M., Velasco, Y.M. (2011) Fish farming of native species in Colombia: current situation and perspectives. *Aquacult Res.*; 42: 823-831.
29. Dabrowski, K., Poczyczynski, P., Kock, G., Berger, B. (1989). Effect of partially or totally replacing fish meal protein by soybean meal protein on growth, feed utilization and proteolytic enzyme activities in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *New in vivo test for exocrine pancreatic secretion. Aquaculture* 77,29– 49.
30. Dawah, M.A., Khater, A.M., Shaker, I.M.A, Ibrahim, N.A. (2002). Production of *Scenedesmus bijuga*(Chlorophyceae) in large scale in outdoor tanks and its use in feeding mono sex Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry. *J. Egypt. Acad. Soc. Environ. Devel.B. Aquaculture* 2(1): 113-125.
31. De Schryver, P., Crab, R., Defoirdt, T., Boon, N., Verstraete, W. (2008). The basics of bio-flocs technology: the added value for *Aquaculture* 277,125–137.
32. De Silva, S. (2012).Aquaculture: A newly emergent food production sector-and perspectives of its impacts on biodiversity and conservation. School of Life and Environmental Sciences, Deakin University, Warrnambool, Australia.VIC. 3187–3220.

33. De Silva, S., Turchini, G.M.(2008) Towards understanding the impacts of the pet food industry on world fish and seafood supplies. *J Agric. Environ. Ethics.* 21,459–467 p.
34. Dibello, R.J.C., Doassans, G.H.C.A. (2013). Crecimiento y sobrevivencia de carpa común (*Cyprinus carpio*) y carassius (*Carassius auratus*) (*Osteichthys, cyprinidae*) en un sistema super intensivo con aplicación de biofloc, comparando con sistema de filtro biológico y sistema tradicional con aireación. Tesis Doctorado en Ciencias Veterinarias. Universidad de la República. Montevideo. Uruguay.
35. Dunajski, E. (1980). Texture of fish muscle. *Journal of Texture Studies.* Paper review. Technological University Politechnika Gdanska. Poland. 301-318.
36. Ekasari, J., Angela, D., HadiWaluyo, S., Bachtiar, T., Surawidjaja, E.H., Bossier, P., De Schryver, P. (2014). The size of biofloc determines the nutritional composition and the nitrogen recovery by aquaculture animals. Department of Aquaculture Bogor Agricultural University, Indonesia. 105 -112.
37. Ekasari, J., Crab, R., Verstraete, W. (2010). Primary nutritional content of bioflocs cultured with different organic carbon sources and salinity. *Hayati Journal of Bio science* 17, 125- 130.
38. El-Sheekh, M., El-Shourbagy, I., Shalaby, S., Hosny, S.(2014). Effect of Feeding *Arthrospira platensis*, Spirulina on Growth and Carcass Composition of Hybrid Red Tilapia (*Oreochromis niloticus* x *Oreochromis mossambicus*). Tanta University, Faculty of Science, Botany Department, Tanta, 31527, Egypt.
39. Emerenciano, M, Cuzon, G, Arevalo, M, Gaxiola, G. (2014). Biofloc technology in intensive broodstock farming of the pink shrimp *Farfantepenaeus duorarum*: spawning performance, biochemical composition and fatty acid profile of eggs. *Aquaculture Research.* 1-14.
40. Enell, M., Ackerfors, H.(1991). Nutrient discharges from aquaculture operations in Nordic countries into adjacent sea areas. ICES report C.M.F:56. Ref. MEQC, 17.
41. FAO. (2016). The state of world fisheries and aquaculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
42. FAO. (2014). The state of world fisheries and aquaculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
43. FAO. (2012). The state of world fisheries and aquaculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

44. FAO. (2011)a. World aquaculture 2010. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 500/1, Rome. 105.
45. FAO. (2011)b. Technical guidelines on aquaculture certification version adopted by the 29th session of Committee on Fisheries (COFI). Fisheries and aquaculture department. Rome, Italy. 122.
46. Fennema O.(2000). Química de los alimentos. 2º Edición. España. Acribia.
47. Francis, G., Makkar, H.P.S., Becker, K. (2001). Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture* 199,197–227.
48. Fresneda, A., Lenis, G., Agudélo, E., Olivera, A.M.(2004). Espermiación inducida y crío conservación de semen de cachama blanca (*Piaractus brachypomus*). *Rev. Col. Cienc. Pec.* 17,46-52.
49. Gatlin, D.M., Barrows, F.T., Brown, P., Dabrowski, K., Gaylord, G.T., Hardy, R.W., Herman, E., Hu, G., Kroghdahl, A., Nelson, R., Overturf, K., Rust, M., Sealey, W., Skonberg, D., Souza, E.J., Stone, D., Wilson, R., Wurtele, E. (2007). Expanding the utilization of sustainable plant products in aqua feeds: a review. *Aquaculture, Research* 38,551-579.
50. Glencross, B.D., Booth, M., Allan, G.L. (2007). A feed is only as good as its ingredients - a review of ingredient evaluation strategies for aquaculture feeds. *Aquaculture, Nutr.* 13.
51. Grigorakis, K. (2007). Compositional and organoleptic quality of farmed and wild gilthead sea bream (*Sparus aurata*) and sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and factors affecting it: A review. *Aquaculture* 272,55-75.
52. Habib, M.A.B., Parvin, M., Huntington, T.C., Hasan, M.R. (2008). A review on culture, production and use of Spirulina as food for humans and feeds for domestic animals. FAO Fisheries and Aquaculture Circular. No. 1034. Rome, FAO.33.
53. Hardy, R. (2010). Review articule. Utilization of plant proteins in fish diets: effects of global demand and supplies of fishmeal. *Aquaculture, Research* 41,770-776.
54. Hargreaves, J.A. (2013). Biofloc production system for aquaculture. Southern Regional. Aquaculture Center, Stoneville, MS, Sarc publication. N° 4503.
55. Hargreaves, J.A.(2006). Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture *Aquac. Eng.* 34,344–363.

56. Hendricks, J.D. (2003). Adventitious toxins. In: Halver, J.E., Hardy, R.W. (Eds.), Fish Nutrition, 3rd ed. Academic Press, Elsevier Science USA. 602–641.
57. Hopkins, J.S., Stokes, A.D., Browdy, C.L., Sandifer, P.A. (1991). The relationship between feeding rate, paddlewheel aeration rate and expected dawn dissolved oxygen in intensive shrimp ponds. *Aquacultural Engineering* 10, 281–90.
58. Howarth, R. Chan, F. Conley, D.J. Garnier, J. Doney, S.C. Marino, R G. Billen (2011), Coupled biogeochemical cycles: eutrophication and hypoxia in temperate estuaries and coastal marine ecosystems *Front. Ecol. Environ.* 9, 18–26.
59. Hussain, S.A., Deyaaedin, A.M., Ali, M, E, Sallan, S.W. (2014). Nutrient Optimization for the Production of Microbial Floccs in Suspended Growth Bioreactors. *Journal of the Arabian Aquaculture Society* Vol 9, 1
60. Huss, H. (1998). El pescado fresco, su calidad y cambios de calidad. FAO, documento técnico de pesca N° 348. 202.
61. Ibrahem, M.D., Ibrahim, M.A. (2013). The potential effects of *Spirulina platensis* (*Arthrospira platensis*) on tissue protection of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) through estimation of P53 level. *J Adv Res.* doi:10.1016/j.jare.03.009.
62. Ibrahem, M., Mohamed, M.F., Ibrahim, M.A. (2013). The role of *Spirulina platensis* (*Arthrospira platensis*) in growth and immunity of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and its resistance to bacterial infection. *Journal of Agricultural Science* 5, 109-117. doi:10.5539/jas.v5n6p109.
63. ICONTEC. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación Norma Técnica Colombiana. (2006). NTC 5443. productos de la pesca y la acuicultura. buenas prácticas de proceso y comercialización de las especies acuícolas, cachama, tilapia y trucha. especificaciones. Primera actualización.
64. Ikemoto, A., Ohishi, M., Sato, Y., Hata, N., Misawa, Y., Fujii, Y., (2001). Reversibility of n-3 fatty acid deficiency-induced alterations of learning behavior in the rat: level of n-6 fatty acids as another critical factor. *J Lipid Res* 2001; 42: 1655-63.
65. Islam, M.S. (2005). Nitrogen and Phosphorus Budget in Coastal and Marine Cage Aquaculture and Impacts of Effluent Loading on Ecosystem: Review and Analisis Towards Model Development. *Marine pollution bulletin* 50, 48-61.
66. Izquierdo, C.P., Torres, F.G., Barboza, de M.Y., Márques, S.E., Allara C.M. (2001). Análisis proximal, perfil de ácidos grasos, aminoácidos esenciales y

- contenido de minerales en doce especies de pescado de importancia comercial en Venezuela. *Revista Científica FCV- LUZ* 9(2): 95-100. ISSN 0004-0622.
67. Jafari, S.M.A., Rabbani, M., Emtiazjoo, M., Piryaei, F. (2014). Effect of dietary *Spirulina platensis* on fatty acid composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillet. Department of Marine Chemistry, Faculty of Marine Science and Technology, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran 1307-1315.
68. Jomori, R.K., Carneiro, D.J., Malheiros, E.B., Portella, M.C.(2003). Growth and survival of pacu *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887) juveniles reared in ponds or at different initial larviculture periods indoors. *Aquaculture*, 221(4): 277-287.
69. Kant, A.K. (2004). Dietary patterns and health outcomes. *J. Am. Diet. Assoc.* 104(4):615-635.
70. Kubitz, F.(2004). Coletânea de informações aplicadas ao cultivo do tambaqui, do pacu e de outros peixes redondos. Parte 2. *Panorama da Aqüicultura* 83:13-23.
71. Kubitz, F. (1999). *Qualidade de peixes. Panorama acuícola*. SAGPyA. Brasil.
72. Liu, L., Hu, Z., Dai, X., Avnimelech, Y.(2014) Effects of addition of maize starch on the yield, water quality and formation of bioflocs in an integrated shrimp culture system. *Aquaculture* 419,79–86.
73. Liu, J, Li, Z. (2010). The role of exotics in Chinese inland aquaculture. In: De Silva SS, Davy FB (eds) *Success stories in Asian aquaculture*. Springer, Dordrecht, 173–186.
74. Long, L., Jing, Y.J, Li, Y., Guan, C., Wu, F.(2015). Effect of biofloc technology on growth, digestive enzyme activity, hematology, and immune response of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai Research Aquaculture* 448,135–141.
75. López, I. (2004). Evaluación de la digestibilidad aparente de la torta de soya *glycine max.* (L) como ingrediente principal en la cachama blanca *Piaractus brachypomus*. VIII Congreso Latinoamericano de acuicultura. V seminario Colombiano de Acuicultura. La acuicultura y el desarrollo sostenible. Santa Fe de Bogotá. 357 - 365.
76. Martin, R. (1988). Contaminants in relation to the quality of seafoods. *Food Technol.* 42, 104.

77. Mazurkiewicz, J.(2009). Utilization of domestic plant components in diets for common carp *Cyprinus carpio* L. Archives of Polish Fisheries 17,5–39.
78. McIntosh, D., Fitzsimmons, K. (2003). Characterization of effluent from an Ireland, low- salinity shrimp farm: what contribution could this water make if used for irrigation. Aquacultural Engineering 27(2):147-156.
79. Merino, M.C., Bonilla, S.P., Bages, F. (2013). AUNAP. Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca. Diagnóstico del estado de la acuicultura en Colombia. Bogotá, Colombia.
80. Mesa, G.M.N., Botero, A.M.C. (2007). La cachama blanca (*Piaractus brachypomus*), una especie potencial para el mejoramiento genético. Rev.Col. Cienc. Pec. 20(1):79-86.
81. Meyer, G., Fracalossi, D.M. (2005). Estimation of jundia (*Rhamdia quelen*) dietary amino acid requirement based on muscle amino acid composition. Sci. Agr.62(4): 401-405.
82. Monroy, M., De Lara, R., Castro, J., Castro, G., Emerenciano, M. (2013). Microbiology community composition and abundance associated to biofloc in tilapia aquaculture. Revista de Biología Marina y Oceanografía 48(3): 511-520.
83. Muñoz, D, Vásquez, W, Cruz, PE. (1989). Inducción de la ovulación y el desove de la cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) con buserelina LH-RH análogo. En: Iván Rey C y Rocío Puente S; III. Reunión Red Nacional de Acuicultura. Cali: Editores.111-117.
84. Murillo, R, Guevara, S, Ortiz, A. (2003). Evaluación de dos dietas con proteína de origen vegetal en alimentación de cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) en fase de levante, utilizando ingredientes de la región del Ariari. Instituto de Acuicultura de la Universidad de los Llanos, Villavicencio.
85. Naylor, R.L, Williams, S.L, Strong, D.R. (2001). Aquaculture—a gateway for exotic species. Science 294,1655–1666.
86. Ostaszewskaa, T., Dabrowskib, K., Palacios, M.E., Olejniczaka, M., Wieczoreka, M. (2004). Growth and morphological changes in the digestive tract of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and pacu (*Piaractus mesopotamicus*) due to casein replacement with soybean proteins. Faculty of Animal Sciences, Warsaw Agricultural University, Aquaculture 273– 286.

87. Ozório, R.O.A., Turini, B.G.S., Möro, G.V., Oliveira, L.S.T., Portz, L.; Cyrino, J.E.P.(2010) Growth, nitrogen gain and indispensable amino acid retention of pacu (*Piaractus mesopotamicus*, Holmberg 1887) fed different brewers yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) levels. *Aquaculture Nutrition* 16,276-283. DOI: 10.1111/j.1365-2095.2009.00662.x.
88. Ozório, R.O.A., Van Eekeren, T.B., Huisman, E.A., Verreth, J.J. (2001) Effects of dietary carnitine and protein energy: non protein energy ratios on growth, ammonia excretion and respiratory quotient in African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell) juveniles. *Aquaculture Research* 32,406 -414.
89. Panjaitan, P. (2004). Field and laboratory study of *Penaeus monodon* culture with zero water exchange and limited water exchange model using molasses as a carbon source. Ph.D. Thesis, Charles Darwin Univ., Darwin, NT, Australia.
90. Pardo, C.C.S., Atencio, V., Arias, A. (1999). Contribución al conocimiento del aparato circulatorio de la cachama blanca (*Piaractus brachypomus*). *Rev. Asoc. Col. Ict.* 3,63-68.
91. Perea, A., Gómez, E., Mayorga, Y., Triana, C.Y. (2008). Caracterización nutricional de peces de producción y consumo regional en Bucaramanga, Colombia. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 58,91-97.
92. Pereira, T.G., Oliva, T.A. (2003). Evaluation of corn gluten meal as a protein source in diets for gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) juveniles *Aquac. Res.* 34,1111–1117.
93. Pérez, P.M.P., Lorenzo, D.E. (2006). Ácidos grasos poliinsaturados: Relación con el funcionamiento de los diferentes órganos y su implicación en el proceso de la pérdida de la memoria en el envejecimiento. Tesis de Maestría en Medicina cosmética y anti envejecimiento. Madrid. España.
94. Pinto, F.J.A.(2011). El pescado en la dieta. *Nutrición y Salud*. Departamento de enfermería. Universidad Complutense de Madrid. Intro.7-9.
95. Piedrahita, R.H. (2003). Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture* 226 (1): 35–44.
96. Pulz, O, Scheibenbogen, K. (1998). Photobioreactors: design and performance with respect to light energy input. *Adv. Biochem. Eng. / Biotechnol.* 38,123-152.

97. Ray, A.J., Lewis, B.L., Browdy, C.L., Leffler, J.W. (2010). Suspended solids removal to improve shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production and an evaluation of a plant-based feed in minimal-exchange, super intensive culture systems. *Aquaculture* 299(1-4): 89-98.
98. Reddy, G., Madhava, C., Bhat, V.B., Kiranmai, M.N., Reddanna, P., Madyastha, K.M.(2000). Selective inhibition of cyclooxygenase-2 by C-phycoyanin, a biliprotein from *Spirulina platensis*. *Bioch. Biophys. Res. Comm.* 277,599–603.
99. Riche, M., Brown, P. (1999). Incorporation of plant protein feedstuffs into fish meal diets for rainbow trout increases phosphorus availability. *Aquacult. Nutr.* 5,101–105.
100. Sales, J. (2009). The effect of fish meal replacement by soy bean products on fish growth: a meta-analysis *Br. J. Nutr.* 102,1709–1722.
101. Sastre, O.F., Hernández, G., Cruz, C.P.E. (2004). Influencia del peso corporal y de la temperatura del agua sobre el consumo de oxígeno de la Cachama Blanca (*Piaractus brachypomus*). *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 17(4):11-16.
102. Sellers, P.J., Dickinson, R.E., Randall, D.A., Betts, A.K., Hall, F.G., Berry, J.A., Collatz, G.J., Denning, A.S., Mooney, H.A., Nobre, C.A., Sato, N., Field, C.B., Henderson, S.A. (1997). Modeling the Exchanges of Energy, Water, and Carbon Between Continents and the Atmosphere. *Science*, 80(275):502–509.
103. Serhan Serhan, C.N.(1994). Eicosanoids in leukocyte function. *Curr Opin Hematol*; 1:69-77.
104. Shinto, L., Marracci, G., Baldauf, W.S., Strehlow, A., Yadav, V., Stuber, L., Bourdette, D. (2009). Omega-3 fatty acid supplementation decreases matrix metalloproteinase-9 production in relapsing-remitting multiple sclerosis. *Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids*; 80(2-3): 131-6.
105. Schneider, O., Sereti, V., Eding, E.H., Verreth, J.A.J.(2005). Analysis of nutrient flows in integrated intensive aquaculture systems. *Aquaculture Engineering*, 32:379–401.
106. Suárez, M.H., Pardo, C.S.C., Cortés, R.M., (2009). Calidad físico química y atributos sensoriales de filetes sajados biopreservados de cachama, empacados al vacío bajo refrigeración. *Rev. Colom. Cienc. Pecu.* 21(3):330-339.

107. Refstie, S., Storebakken, T., Baeverfjord, G., Roem, A.J.(2001). Long-term protein and lipid growth of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets with partial replacement of fish meal by soy protein products at medium or high lipid level. *Aquaculture* 193, 91– 106.
108. Rodríguez, J., Valencia, Z., Poleo, G. (2012). Producción intensiva de cachamote (*Colossoma macropomum* x *Piaractus brachypomus*) en sistema de “Biofloc”. I Congreso Venezolano de Ciencia, Tecnología e Innovación en el Marco del PEII y la LOCTI. 277-278
109. Tacon, A.G. Metian, M.(2009) Fishing for feed or fishing for food: increasing global competition for small pelagic forage fish *Ambio* 38,294–302.
110. Tacon, A.G.J., Metian, M. (2008). Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aqua feeds: trends and future prospects. *Aquaculture* 285(1–4):146–158.
111. Tacon, A.G.J.(1997).Fish meal replacers: review of antinutrients within oilseeds and pulses - a limiting factor for the aqua feed green revolution? .Fisheries departament. Food and agriculture organization of the United Nations-FAO. Roma, Italy. 00100.
112. Takeuchi, T., Lu, J., Yoshizaki, G., Satoh, S.(2002). Effect on the growth and body composition of juvenile tilapia *Oreochromis niloticus* fed raw *Spirulina*. Department of Aquatic Biosciences, Faculty of Fisheries, Tokyo University of Fisheries, Minato, Tokyo Japan 68,34-40.
113. Timmons, M.B., Ebeling, J.M.(2009).Recirculation Aquaculture System, Caruga Aqua Ventures, USDA. New York, USA.
114. Torres, E. (1989). Levante super intensivo de poslarvas de *Macrobachium rosebergii* y engorde en policultivo de cachama blanca *Piaractus brachypomus* y mojarra plateada *Oreochormis niloticus*. III Reunión Red de Acuicultura. Cali, Colombia 201- 214.
115. Turchini, G.M., Torstensen, B.E., Ng, W.K. (2009) Fish oil replacement in finfish nutrition. *Review Aquaculture* 1,10–57.
116. Ustate, E.Z. (2002).Diagnóstico de la cadena productiva pesquera en la república de Colombia. Estudio de prospectiva para la cadena productiva de la industria pesquera en la región de la costa del Pacífico en América del Sur. Bogotá: Ministerio de Comercio Industria y Turismo.

117. Valente, L.M.P., Gouveia, A., Rema, P., Matos, J., Gomes, E.F., Pinto, I.S.(2006) Evaluation of three sea weeds *Gracilaria bursa-pastoris*, *Ulva rigida* and *Gracilaria corneas* dietary ingredients in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Aquaculture* 252,85–91.
118. Van Den Ingh, T.S.G.A.M., Krogdahl, S., Olli, J.J., Hendriks, H.G.C.J.M., Koninkx, J.G.J.F. (1991). Effects of soybean containing diets on the proximal and distal intestine in Atlantic salmon (*Salmo salar*): a morphological study. *Aquaculture* 94,297– 305.
119. Vásquez, T.W., Yossa, P.M., Hernández, A. G., Gutiérrez, E. M. (2010). Digestibilidad aparente de ingredientes de uso común en la fabricación de raciones balanceadas para tilapia roja híbrida (*Oreochromis sp.*). *Rev. Colom. Cien. Pecu.* 23(2):207-216.
120. Vásquez, T.W. (2004). Principios de nutrición aplicada al cultivo de peces. IALL Instituto de Acuicultura de los Llanos. Universidad de los Llanos. Villavicencio, Colombia. Ed. Pablo XXIII. 22.
121. Venkataraman, L. (1997). Appendix: *Spirulina (Arthrospira platensis)*: Physiology Cell-biology and Biotechnology. Edited by Vonshak A. Taylor and Francis Ltd., London, 214.
122. Villarino, M. A.L., Moreno, P.P., Ortuño, S.I.(2011). El pescado en la dieta. Nutrición y Salud. Departamento de enfermería. Universidad Complutense de Madrid. Capítulo IV. 51-65.
123. Verdegem, M.C.J., Bosma, R.H., Verreth, J.A.V.(2006). Reducing water use for animal production through aquaculture. *Water Resources Development.* 22(1):101–113.
124. Webster, C., Lim, C. (2002). Rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, In: Webster CD, Lim CE (ed), *Nutrient requirements and feeding of finfish for aquaculture*, CABI Publishing, New York, NY, USA 184-202.
125. Widanarni, W., Ekasari, J., Maryam, S. (2012). Evaluation of biofloc technology application on water quality and production performance of Red tilapia *Oreochromis sp.* cultured at different stocking densities. *Hayati J Biosci* 19,73–80.
126. WHO-World Health Organization technical report. (2003). series N° Geneva. 916.150.

-
127. Wu, L., Peng, C., Peng, Y., Li, L., Wang, S., Ma, Y. (2012). Effect of wastewater COD/N ratio on aerobic nitrifying sludge granulation and microbial population shift. *Journal Environment Science* 24(2): 234-241.
128. Xu, W.J., Pan, L.Q., Zhao, D.H., Huang, J. (2012). Preliminary investigation into the contribution of biofloc on protein nutrition of *Litopenaeus vannamei* fed with different dietary protein levels in zero-water exchange culture tanks. *Aquaculture* 350–353:147–153.

Capítulo 2. Evaluación de fuentes proteicas para el desempeño productivo de Cachama blanca *Piaractus brachypomus* en sistema biofloc

2.1 Resumen

Los cultivos biofloc BFT son sistemas acuícolas cerrados de producción intensiva y que permiten generar un control de sus desechos a través del reciclaje de nutrientes, donde el consorcio de microorganismos transforman los desechos en biomasa microbiana disponible para el consumo de los individuos cultivados. El BFT tiene un uso de agua bajo y condiciones de bioseguridad del cultivo a través de exclusión competitiva de patógenos. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la fuente de proteína en el alimento sobre el desempeño productivo de la cachama blanca cultivada en un sistema de BFT. Durante la evaluación se emplearon tres tratamientos de dietas isoproteicas: T1: Torta de soya; T2: Torta de Soya+Harina de pescado; T3: Torta de Soya+Harina de espirulina, con alimentación tres veces al día. Se usaron tanques de 500 L con aireación permanente, temperatura constante y con 42 peces ($54,23 \pm 10,7g$) en cada tanque por un tiempo de 84 días. Para la obtención de los parámetros productivos se registró el consumo de alimento y rechazos. Se determinaron los parámetros de supervivencia (S), Factor de conversión alimenticia (FCA), biomasa ($BIO=Kg/m^3$), ganancia diaria de peso ($GDP=g/día$), tasa específica de crecimiento ($TEC=\%/día$) y factor de condición (K). La BIO fue de $16,8 \pm 1,3$; $15,3 \pm 0,5$; $15,5 \pm 1,7 Kg/m^3$ en T1, T2 y T3 respectivamente. La FCA fue $1,0 \pm 0,2$; $1,1 \pm 0,1$ y $1,0 \pm 0,1$ para T1, T2 y T3 respectivamente; cuando se evaluaron estadísticamente los parámetros de calidad del agua se encontraron diferencias significativas ($P > 0,05$) a excepción de los sólidos sedimentables y los compuestos nitrogenados, en la evaluación de los parámetros zootécnicos no se encontraron diferencias presentando una supervivencia del 100% en todos los casos. La fuente de

proteína utilizada en las dietas no afectó los parámetros de desempeño productivo de Cachama blanca en el cultivo biofloc.

Palabras clave: BFT, Cachama blanca, Espirulina, Harina de pescado, Torta de soya.

2.2 Introducción

La acuicultura en la búsqueda de estrategias más sostenibles y productivas encontró los sistemas intensivos de biofloc. Estos cultivo cerrados usan bajos volúmenes de agua en su producción en el cultivo (Avnimelech, 2009; Timmons et al., 2002). El biofloc o BFT es un sistema considerado súper intensivo por su alta capacidad de carga en peces o camarones en pequeño espacio y con alto reciclaje de nutrientes. En su implementación se hace uso de una fuente externa de carbono y una fuente aireación constante con el fin de garantizar la supervivencia de los microorganismos y la resuspensión de los sólidos (Emerenciano et al., 2014).

Los sistemas biofloc permiten una mayor sostenibilidad las prácticas acuícolas que otros sistemas donde se hace referencia al ahorro en el uso de recursos: menores producciones de efluentes y menor uso de harina de pescado en los alimentos (Avnimelech 2009; Martínez et al., 2010; Jones et al., 2002). Otra característica del BTF es su efecto probiótico donde gran número de microorganismos interactúan facilitando la bioseguridad del cultivo y la eliminación de residuos nitrogenados adecuadamente (Ray et al., 2010; Monroy et al., 2013).

Los microorganismos nitrificantes como *Nitrobacter* sp., *Nitrospira* sp. y *Bacillus* sp. son comunes en los contenido del BFT (Crab et al., 2012); sin embargo, de acuerdo con la relación C:N, el biofloc puede ser heterotrófico. Este tipo de bacterias utiliza directamente los compuestos nitrogenados residuales y una fuente de carbono externa para la formación de biomasa bacteriana. Un cultivo BFT heterotrófico actúa rápidamente sobre los residuos nitrogenados transformándolos en biomasa microbiana, manteniendo calidad del agua dentro y permitiendo el desarrollo y bienestar de los individuos. Esta biomasa microbiana puede ser consumida por peces o camarones como una fuente asimilable nutricional y digestible permitiendo reducciones en el uso de alimento (Chaverra, 2016; Crab et al., 2012; Avnimelech, 2009).

El BFT transforma sus residuos nitrogenados en biomasa microbiana que en el agua se asociada en forma de flóculos, un material suspendido rico en proteína y que puede implementarse como fuente alimenticia suplementaria en el alimento acuícola (Lezama y Paniagua, 2010). Este potencial que tiene el biofloc como fuente alimenticia resulta muy atractivo en virtud que los costos de producción en la acuicultura son del orden del 60 al 70% y el uso en la alimentación podría reducir estos costos. La biomasa microbiana en el BFT proviene del metabolismo de las bacterias heterotróficas y en los flóculos del BFT se establecen interacciones con micro algas, hongos y otras bacterias, que enriquecen y brindan estabilidad a los organismos del cultivo (Cardona et al., 2016; De Souza et al., 2016; Ekasari et al., 2014; Ebeling et al., 2006).

Por otro lado en la alimentación acuícola, la harina y el aceite de pescado han sido ingredientes claves para el desarrollo de este sector productivo, siendo ingredientes indispensables en la elaboración de concentrados para peces y camarones. Sin embargo estas materias primas son cada vez más costosas, escasas y cuestionadas a nivel ambiental (Tacon y Metian, 2009). Las investigaciones de materias primas alternativas para el reemplazo de la harina y aceite de pescado son cada vez más frecuentes en fuentes proteicas vegetales o inclusive en las algas marinas (Jafari et al., 2014) . Un bien ejemplo de estas algas marinas es la espirulina, (*Arthrospira platensis*), esta fuente puede presentar hasta 70% de PC y contenidos de 7 al 16 % de grasa con buena digestibilidad y aceptación en su consumo (Takeuchi et al., 2002; Venkataraman, 1997).

El éxito en los sistemas acuícolas depende del cultivo de especies con resiliencia a los cambios ambientales y con alta productividad. En la acuicultura las especies omnívoras tienen ventajas sobre las carnívoras siendo más eficientes en el consumo ante distintas fuentes alimenticias; algunas son filtradoras lo cual les otorga eficiencia productiva; una de estas especies es la cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) una especie de las cuencas de los ríos Orinoco y Amazonas que cada vez toma más protagonismo en la producción acuícola (Bru, 2016; Chaverra, 2016; Abad et al., 2014). En Colombia la cachama blanca es una especie ampliamente consumida y en producción ocupa el segundo lugar (Cruz et al., 2011). La cachama blanca en su medio silvestre se alimenta de fuentes vegetales como frutos y semillas las cuales en cultivo pueden ser incorporados en su dieta (Vásquez, 2004). Su rusticidad ha permitido que la especie tenga una producción de amplia distribución y adaptación a sistemas más intensivos

como el BFT (Chaverra, et al., 2016, Abad et al.,2014) . El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la fuente de proteína en el alimento sobre el desempeño productivo y los parámetros de calidad del agua de la cachama blanca cultivada en el sistema BFT.

2.3 Materiales y métodos

2.3.1 Área de estudio

El estudio se desarrolló en las instalaciones del Laboratorio de Modelación Animal - LAMA, de la Universidad Nacional de Colombia en su Medellín con coordenadas (N 6°15'44" O 75°34'37"), altura sobre el nivel del mar de 1600 msnm, temperatura promedio de 26°C y una humedad relativa de 65% (zona de vida de bhPM).

2.3.2 Material biológico experimental

Alevinos de cachama blanca (*Piaractus brachipomus*) procedentes de la empresa Zilurus Aquatec SA, (departamento del Meta, Colombia) con peso un promedio de $0,1\pm 0,05$ g fueron recibidos en las instalaciones del LAMA en tanques de recirculación de agua. Los peces se alimentaron a saciedad aparente con un concentrado comercial de 38% de proteína cruda (PC) durante las primeras 2 semanas y posteriormente del 24% PC hasta alcanzar un peso promedio de $55,6\pm 9,6$ g, posteriormente se llevaron a las unidades de biofloc LAMA FISH 02.

Aval del Comité de Ética para la experimentación animal: El estudio contó con aval del Comité de Ética de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín otorgado mediante oficio, CEMED-O52 del 16 de julio de 2012.

2.3.3 Unidades experimentales

Las unidades experimentales LAMA FISH 02 fueron tanques plásticos de 500 L (Tipo bebedero bajito, Col empaques, COL). El agua del cultivo usada fue de las de las empresas públicas de Medellín la cual se dejó 24 horas con aireación para lograr su descloración. El agua al presentar una temperatura promedio de 20°C fue necesario su calefacción y se usaron calefactores (Resum[®], CHINA) de 300 vatios. Para la

resuspensión en el BFT y la saturación de oxígeno a cada tanque se dotó con aireación a través de un circuito impulsado por un blower industrial monofásico (Pum Power HG-C/C2, USA) de 1/3 HP, con alimentación independientes en los tanques y salida del aire al tanque por mangueras polidifusoras. El área donde se colocaron los tanques fue cubierta con teja plástica transparente y polisombra al 60% de sombrío para disminuir la luz y potencializar el cultivo heterotrófico del BFT.

2.3.4 Preparación del inóculo del biofloc

En la preparación del se siguió siguiendo la metodología de Chaverra,(2016) y Pasco,(2015), donde se inició con un inóculo de lixiviado de humus de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) a razón de 1 L por tanque y se dejó durante 20 días en maduración en las unidades LAMA FISH 02 con aireación y calefacción continua. Durante este tiempo se adicionó melaza a razón de 0,02 g/L, cloruro de amonio (NH_4Cl) a razón de 5 mg/L y sal marina a razón de 2 g/L con el fin de estimular el crecimiento bacteriano y preparar el BFT para la llegada de los peces. Se suministró bicarbonato de sodio (NaHCO_3) a razón de 50 mg/L con el fin de mejorar alcalinidad en el sistema para el consumo de las bacterias.

2.3.5 Diseño experimental

Como tratamientos se definieron tres dietas experimentales formuladas y elaboradas en la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá por el Laboratorio de Nutrición Acuícola, ven en la (Tabla 1.)estas dietas fueron extruidas y peletizadas con tamaño de 5mm, apropiado para el tamaño de los peces. Las dietas fueron diseñadas isoproteicas e identificadas de la siguiente forma:

- **Tratamiento 1 (Dieta 1):** Torta de soya
- **Tratamiento 2 (Dieta 2):** Torta de soya + Harina de pescado (en reemplazo en un 5% de la. torta de soya)
- **Tratamiento 3 (Dieta 3):** Torta de soya + Harina de espirulina (en reemplazo en un 5% de la. torta de soya)

Tabla 1. Composición y análisis proximal de las dietas experimentales (g/100 g de dieta) utilizadas en el cultivo de Cachama blanca (*Piaractus brachipomus*) en sistema biofloc

Ingredientes	Dieta 1 Torta de Soya	Dieta 2 T. de Soya + H. Pescado	Dieta 3 T. de Soya + H. Espirulina
ARROZ CRISTAL	15	15	15
HARINA TRIGO	15	15	15
HARINA ARROZ 7%	2,420	6,200	5,644
SALVADO DE TRIGO	20	20	20
TORTA DE SOYA 47%	32,93	25,62	25,40
FRIJOL SOYA EXTRUIDO	5	5	5
ACEITE DE SOYA	1	1	1
CARBONATO DE CALCIO	4,371	3,650	3,689
TRICALFOS	2,720	2,400	3,089
SAL	0,771	0,410	0,300
PREMIX VIT MIN	0,300	0,273	0,300
L- METIONINA	0,231	0,210	0,220
L- LISINA HCL	0,140	0,080	0,210
CLORURO DE COLINA 60%	0,060	0,060	0,060
L TREONINA	0,051	0,035	0,028
ANTIOXIDANTES	0,020	0,020	0,020
HARINA DE PESCADO	0	5	0,000
ESPIRULINA	0	0	5
	100	100	100
CENIZAS%	11,55	11,05	11,45
FIBRA CRUDA%	4,7	5	4,5
HUMEDAD%	6,4	6,3	5
PROTEÍNA CRUDA%	24,4	25	25
VALOR CALORÍFICO BRUTO cal/g	3993	4015	4134

A cada tratamiento se le asignaron tres repeticiones para un total de nueve unidades experimentales o tanques (LAMA FISH 02). En cada tanque se sembraron 42 cachamas

blancas de $55,6 \pm 9,6$ g de peso y se cultivaron durante 84 días. La asignación de tratamientos y sus repeticiones se hizo completamente al azar. La alimentación se realizó tres veces al día (8:00, 12:00 y 17:00 horas) a saciedad aparente y a través de tablas de consumo ajustando los datos con la biomasa., Se calculó el rechazo de alimento pesando lo encontrado luego de 30 minutos de alimentar.

Tabla 2. Caracterización proximal de espirulina, harina de pescado y torta de soya usadas como fuentes proteicas en las dietas.

Parámetro	Espirulina	Harina de Pescado	Torta de soya (NRC, 2012)
CENIZAS (%)	11,4	26,7	6,27
CONTENIDO DE GRASA (%)	0,5	5,28	1,52
FIBRA CRUDA (%)	2,8	0,6	3,89
FOSFORO (%)	1,16	4,14	0,61
HUMEDAD (%)	6,1	7,2	12
PROTEÍNA CRUDA (%)	61,25	60	47,71
VALOR CALORÍFICO BRUTO (cal/g)	4754	3781	4256

2.3.6 Medición de la calidad del agua

La calidad del agua estuvo monitoreada dos veces al día (8:00) y (17:00) donde se midieron los parámetros temperatura (°C), pH, OD (mg/L), saturación de oxígeno (%), y salinidad (‰), mediante un equipo (YSI professional plus, USA). Las lecturas de los compuestos nitrogenados se determinaron semanalmente a través de un espectrofotómetro (Genesys 105 UV-VIS[®], USA) con reactivos para amonio ($0,013- 3,86$ mg/L NH_4^+), nitrito ($0,007 - 3,28$ mg/L NO_2^-) y nitrato ($0,4-110,7$ mg/L NO_3^-). Las muestras se prepararon según las indicaciones del fabricante y usando como blanco agua destilada. Los sólidos se evaluaron de dos tipos sedimentables y suspendidos de manera semanal; los sólidos sedimentables se determinaron mediante los conos imhoff y. los sólidos disueltos por la metodología de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 2540D propuesta por la APHA (2005), para lo cual se usó una bomba de vacío (Advantec[®], JAPAN) de 300 ml, una balanza electrónica (APX-323) y el proceso de

secado de los filtros (2 horas a 60°C) fue a través en un horno (TV10U, USA); en la medición se usaron filtros (Whatman®, USA) de 0,45 µm.

2.3.7 Parámetros Productivos

Durante el tiempo de cultivo se evaluaron los siguientes parámetros productivos en cada unidad experimental: Ganancia de peso diaria mediante la fórmula: $[(Pf) - (Pi)] / (DC)$, (g/día); la biomasa inicial y final mediante la fórmula: $PP * n$ (g); la tasa específica de crecimiento se obtuvo a través de la ecuación: $100 * [(\ln Pf - \ln Pi) / (t2 - t1)]$ (%/día); Conversión alimenticia mediante AC/GP ; Factor de condición corporal a través de la ecuación $W = aL^b$ y la sobrevivencia mediante la fórmula: $100 * (Nf/Ni)$ (%).

Donde: **Pf** = Peso promedio final; **Pi** = Peso promedio inicial; **DC**= número días de cultivo; **PP**= Peso promedio de los peces muestreados; **n**= numero de peces en la unidad experimental; **ln**= Logaritmo natural; **Ti**= Tiempo inicio; **Tf**= Tiempo final; **AC**= alimento consumido; **AG**= Ganancia de peso; **Nf**= número final de peces en la unidad experimental; **Ni**= número inicial de peces en la unidad experimental.

2.4 Análisis estadístico

Se evaluaron los supuestos de normalidad (pruebas de Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov) y homogeneidad de varianzas (Prueba de Bartlett's) para los parámetros del agua y productivos de los peces y un análisis de varianza ANOVA de una vía, para observar el efecto del tratamiento en cada una de las características con el procedimiento PROC GLM. Conociendo el efecto significativo ($P < 0,05$) del tratamiento se realizó una prueba de medias por Tukey para conocer las diferencias entre los tratamientos. Posteriormente se realizó un análisis de medidas repetidas en el tiempo usando (PROC MIXED). Todos los procedimientos se realizaron en el software estadístico SAS System (2009®).

2.5 Resultados

Tabla 3. Calidad del agua del cultivo por 84 días de cachama blanca *Piaractus brachypomus* en sistema biofloc alimentados con tres fuentes proteicas

Parámetros	Tratamientos		
	Dieta 1 Torta de Soya	Dieta 2 T. soya + H. Pescado	Dieta 3 T. soya + H. Espirulina
Temperatura (°C)	28,4±1 ^a	27,9±1,2 ^b	28,4±1 ^a
Oxígeno Disuelto (mg/L)	5,1±0,9 ^a	5,3±0,8 ^b	5,05±1 ^a
Salinidad (‰)	3,9±0,7 ^a	2,8±1,2 ^b	3,1±1,4 ^c
pH	7,0±0,3 ^b	7,2±0,4 ^a	7,2±0,4 ^a
Conductividad (mS/cm)	4,7±0,8 ^a	3,4±1,3 ^b	3,8±1,5 ^c
Sólidos sedimentables (ml/L)	57,7±25,9 ^a	49,6±21,1 ^a	55,9±26 ^a
Sólidos totales (mg/L)	974±251,1 ^a	914±238,1 ^a	800,7±210,9 ^b
Amonio (NH ₄ ⁺) (mg/L)	0,1±0,2 ^a	0,1±0,1 ^a	0,2±0,3 ^a
Nitrito (NO ₂ ⁻) (mg/L)	0,4±0,8 ^a	0,5±0,9 ^a	0,5±0,9 ^a
Nitrato (NO ₃ ⁻) (mg/L)	209,5±127,7 ^a	184±113 ^a	194,3±116,6 ^a

Los datos corresponden al promedio de tres repeticiones ± DS. Letras distintas en la fila indican diferencia estadística significativa (P<0.05).

Gráfica 3. Comportamiento en el tiempo de los compuestos nitrogenados en un cultivo de cachama blanca *Piaractus brachypomus* en biofloc alimentados con tres fuentes proteicas.

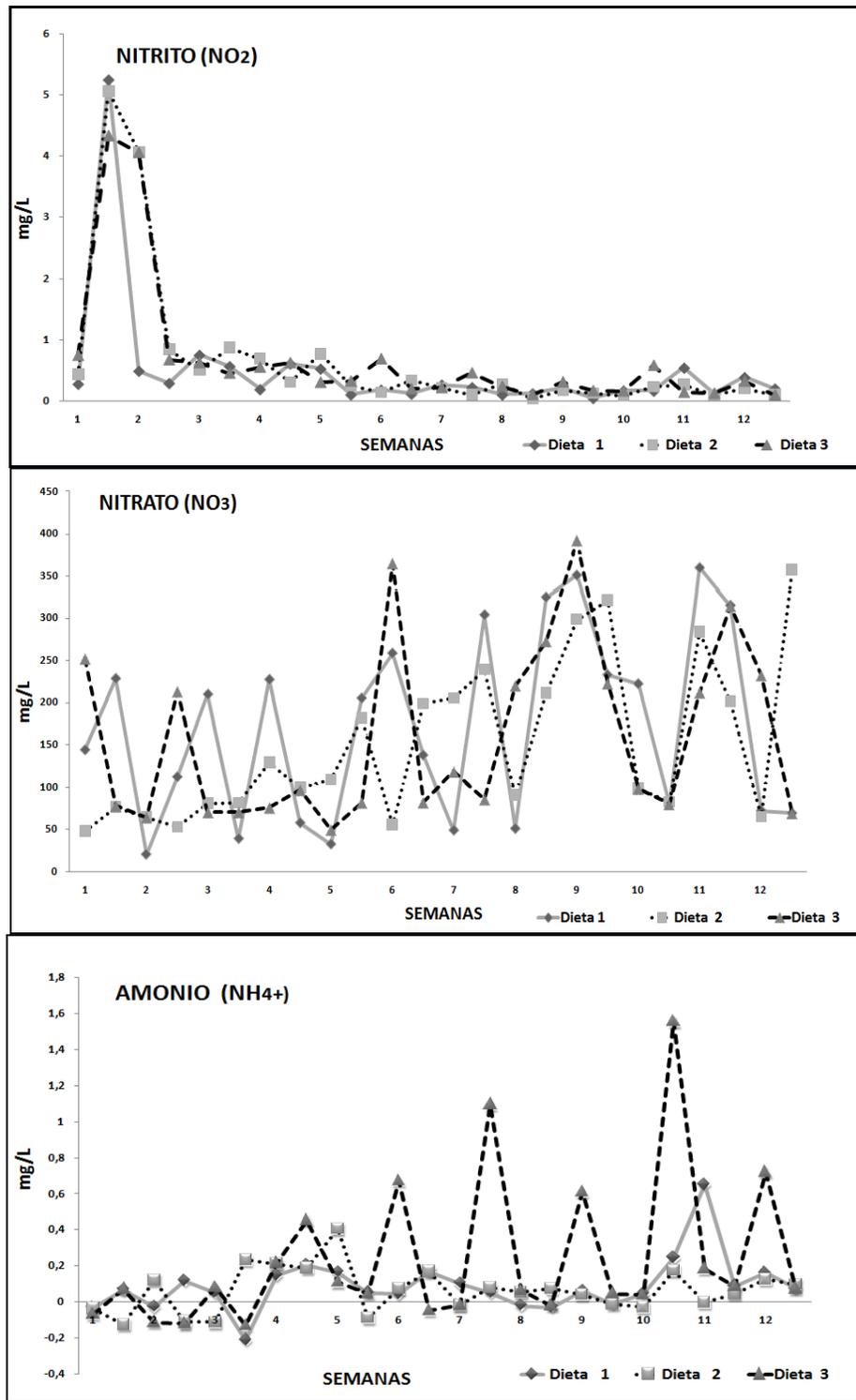


Tabla 4. Parámetros productivos de cachama blanca *Piaractus brachypomus* durante 84 días en sistema biofloc con distintas fuentes proteicas

Parámetro	Tratamientos		
	Dieta 1 Torta de Soya	Dieta 2 T. soya + H. Pescado	Dieta 3 T. soya + H. Espirulina
Peso inicial (g)	55,9±11,7	52,6±9,6	54,2±10,8
Peso final (g)	197,3±21,1	181,9±10,7	187,3±2,9
Biomasa Inicial (Kg/m ³)	4,9±0,3	4,4±0,3	4,7±0,3
Biomasa final (Kg/m ³)	16,8±1,3	15,3±0,5	15,5±1,7
Ganancia Diaria de Peso (g/día)	1,8±0,7	1,6±0,7	1,7±0,7
Factor de Conversión Alimenticia	1,1±0,2	1,1±0,1	1,0±0,1
Tasa específica de crecimiento (%/día)	1,6±0,5	1,4±0,5	1,4±0,6
Factor de Condición K	3,4±0,3	4,1±0,5	2,6±0,3
Sobrevivencia (%)	100±0,0	100±0,0	100±0,0

Los datos corresponden al promedio de tres repeticiones ± DS.

2.6 Discusión

La producción intensiva en biofloc depende de una adecuada relación de los parámetros de la calidad del agua (Avnimelech, 2009). El oxígeno disuelto (OD) es un parámetro determinante para el adecuado desarrollo de los organismos acuícolas cultivados y de las bacterias consumen oxígeno (Vinatea, 2004). Las concentraciones de OD sugerido para el BFT está cerca del 6mg/L y una saturación mínima del 60% para garantizar el adecuado desarrollo de la cachama blanca. Fisiológicamente a medida que aumenta el peso por los peces se reduce su consumo de OD (Sastre et al., 2004). Los problemas de déficit de oxígeno ocasiona hasta el 60% muertes en los sistemas acuícolas (Wedler, 1988). En la evaluación llevada a cabo, el cultivo en BFT con *P. brachypomus* presentó resultados de OD promedio de 5,2±0,1mg/L y una saturación de oxígeno >70% lo que permitió un adecuado desarrollo de la cachama blanca durante el tiempo de cultivo y no se presentó déficit de oxígeno. Abad et al. (2014) en trabajos con *P. brachypomus* en BFT encontró resultados de OD promedio de 8,9±2,0 el cual se mantuvo estable durante todo el cultivo. Day et al., (2016) en cultivos de tilapias comerciales en BFT encontraron contenidos de OD de 6,5±0,1mg/L demostrando buenas ganancias de peso y buena

conversión alimenticia. En otras especies cultivadas en BFT como el camarón rosado *Farfantepenaeus brasiliensis*, Emerenciano et al., (2014) encontraron contenidos de OD de $5,6 \pm 1,4$ mg/L y pH de $7,9 \pm 0,6$ con porcentaje de mortalidad del camarón de 11,8%.

Durante el tiempo de cultivo el monitoreo de los compuestos nitrogenados en el estanque es fundamental para el bienestar de los individuos cultivados. En el BFT y en otros sistemas de producción el alimento no consumido y productos de excreciones de los peces colmatan el agua de compuestos nitrogenados y fosforados (Sagratzki et al., 2004). Durante el tiempo de cultivo en BFT con *P. brachypomus*, los compuestos nitrogenados se presentaron en rangos que no afectaron el bienestar de la especie. Las concentraciones promedio de amonio, nitrito y nitrato fueron $0,1 \pm 0,1$ mg/L, $0,5 \pm 0,11$ mg/L, $195,9 \pm 12,91$ mg/L respectivamente para estos compuestos. Con respecto al tiempo (gráfica 3) no se presentaron cambios bruscos en las concentraciones de compuestos nitrogenados, lo cual se le atribuye a la madurez que presentaba el BFT y a un aprovechamiento efectivo de las bacterias heterotróficas y nitrificantes previo y durante el cultivo de las cachamas. En la evaluación de los tratamientos no se presentaron diferencias significativas entre ellos. Trabajos realizados por Abad et al. (2014) con cachama blanca en BFT encontraron concentraciones de amonio de $0,9 \pm 0,8$ mg/L y de nitrito de $< 0,05$ mg/L reportando resultados productivos para cachama competitivos con ganancias de peso diario de 2,11g/día. Bru, (2016) en policultivo de cachama blanca y tilapia nilótica *O. niloticus* encontró resultados promedio de nitrógeno amoniacal total (NAT) de $2,3 \pm 0,1$ mg/L y de amonio no ionizado de $0,3 \pm 0$ mg/L. Con respecto a los nitritos en otros estudios como los de Day et al. (2016) en BFT con tilapia nilótica encontraron concentraciones de NAT de $3,8 \pm 0,4$ mg/L, nitrito $3,5 \pm 0,7$ mg/L y para nitrato de $5,6 \pm 0,9$ mg/L pero además con un pH promedio del cultivo de 6,28.

Según Ebeling (2006), la temperatura es un parámetro de relevancia y sus valores tiene una incidencia directa sobre las concentraciones de amonio no ionizado, al igual que también lo tiene el pH y la salinidad. En este trabajo se presentaron valores promedio de temperatura $28,2 \pm 0,2$ °C y de pH de $7,1 \pm 0,1$ en el tiempo de cultivo, donde no se presentó diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. Bru (2016) reportó para policultivo en BFT una temperatura promedio de $27,3 \pm 0,1$ °C y pH de $7,6 \pm 0,2$ con comportamientos zootécnicos competitivos. También Chaverra (2016) en cultivo de

cachama blanca en BFT reportó temperatura promedio de $28,2\pm 0^{\circ}\text{C}$, y un pH $7,7\pm 0$ con lo cual en BFT reportó condiciones de cultivo favorables.

Otro parámetro determinante en la calidad del agua en el BFT son los sólidos acumulados en el cultivo. En la acuicultura las cargas de sólidos en el agua son un problema ambiental debido a que contaminan eutrofizando, nitrificando y generan pérdida de organismos bentónicos del agua (Martínez et al., 2010). Realizar control respecto a los sólidos es necesario debido a que están estrechamente relacionados con la concentración de OD y el % de saturación de oxígeno y la carga de compuestos nitrogenados en el BFT (Ray, et al., 2010). Durante los 84 días de cultivo en el BFT de con *P. brachypomus* se evaluaron los contenidos de sólidos por dos técnicas diferentes sólidos totales (método APHA) y suspendidos (volumen del floc) cuyos resultados promedio fueron de $896,2\pm 80\text{mg/L}$ y $54,4\pm 4,3\text{ml/L}$ respectivamente. Chaverra (2016) durante 60 días de cultivo en BFT con *P. brachypomus* encontró contenidos de sólidos totales de 400mg/L y de volumen de floc promedio de $42,2\text{ml/L}$ que no afectaron durante el cultivo la concentración de OD o los parámetros zootécnicos de los animales cultivados en BFT. Por otro lado Bru, (2016) presentó valores más variables con respecto al volumen presentando resultados de $66,7\pm 20,5\text{ml/L}$ tras un tiempo de 120 días. Otros parámetros como la salinidad, alcalinidad y conductividad se comportaron de manera controlada sin presentar ausencias o excesos de estos compuestos durante el tiempo de cultivo lo cual también se atribuye a la madurez del BFT. En general en los parámetros de calidad del agua cuando se analizaron los datos con el modelo PROC MIXED (medidas repetidas en el tiempo) no se encontraron diferencias significativas en los parámetros a excepción del volumen de sólidos sedimentables, donde se presentó un efecto del tiempo, lo que lleva a interpretar que la cantidad de sólidos sedimentables presentes en el cultivo biofloc cambian con respecto a su estadía en el cultivo. También en los compuestos nitrogenados amonio y nitrito indicaron un efecto del tiempo lo cual se le atribuye a la estabilización del cultivo que constantemente se da en el BFT aclarando que no se presentaron niveles extremos del rango de aceptación de los peces. Todas estas características sugiere que la unidad de biofloc LAMA FISH 02 cumplió con un efectivo reciclaje de compuestos nitrogenados, una provisión no limitante de temperatura, oxígeno y alcalinidad además de un controlado volumen de sólidos que facilitó que en el cultivo de *Piaractus brachypomus* se dieran condiciones apropiadas de cultivo, consiguiendo una salud total de los peces y una supervivencia de la totalidad del lote.

Los parámetros zootécnicos son claves para evaluar el desempeño de los animales en el medio de cultivo. En el cultivo en BFT con cachama blanca *P. brachypomus* se calculó una biomasa promedio final de $15,9 \pm 0,8 \text{ Kg/m}^3$ lo que permite argumentar que los pesos finales de las cachamas blancas en el sistema durante el tiempo de cultivo estuvieron cercanos a los 200g. Resultados de Abad et al. (2014) en el cultivo de biofloc con cachama blanca *P. brachypomus* reportan biomazas inferiores a esta entre 8 y 12 Kg/m^3 y Rodríguez et al. (2012) con el cultivo del híbrido *Colossoma macropomum* x *Piaractus brachypomus* reportaron biomazas cercanas a 18 Kg/m^3 . En estudios realizados por Poleo et al. (2011) con *P. brachypomus* en BFT reportó una biomasa final promedio del cultivo de 8 a 12 Kg/m^3 .

La ganancia de peso en los sistemas BFT ha demostrado ser igual o superior a la presentada en sistemas convencionales (Chaverra, 2016; Abad et al., 2014). Con el uso de dietas de origen vegetal con proteína de torta de soya Chaverra (2016) reportó resultados de ganancia diaria de peso (GDP) de 0,43 a 0,5 g/día, inferiores a la GDP calculada para este estudio que fue de $1,7 \pm 0,1 \text{ g/día}$ lo que se le atribuye a que los estudios se realizaron en edades de la cachama diferentes. Estudios de Bru (2016) con *P. brachypomus* en BFT en policultivo con *O. niloticus* y alimentadas con dietas de origen vegetal con pesos iniciales de la cachama en promedio de 35 g durante 120 días en policultivo, reportó una GDP de $1,4 \pm 0,1 \text{ g/día}$ para cachama y de *O. niloticus* de $0,5 \pm 0,2 \text{ g/día}$. Con respecto a este mismo estudio, en la evaluación de la tasa específica de crecimiento (TEC) fueron similares entre los dos estudios siendo para este trabajo de $1,5 \pm 0,1\%/día$ y para Bru (2016) una TEC para *P. brachypomus* de $1,5 \pm 0,1\%/día$ y para *O. niloticus* $2,2 \pm 0,3\%/día$. Esto demuestra que con respecto a la especie *P. brachypomus* se puede lograr un aprovechamiento eficiente de las fuentes proteicas vegetales suministradas en la dieta.

Con respecto al parámetro factor de conversión alimenticia (FCA) se calcularon valores promedio en este trabajo de $1,1 \pm 0,1$ iguales a los reportados por Chaverra (2016), lo cual demuestra aceptación de las dietas experimentales usadas las cuales presentaban una composición proteica vegetal superior a la animal (harina de pescado) y una buena incorporación en el pez y adaptación a el BFT. Otros autores como Day et al. (2016) en cultivos de BFT de tilapias comerciales reportaron tras 10 semanas de cultivo para *Oreochromis andersonii* un FCA de $2,53 \pm 0,28$; para *Oreochromis mossambicus* un FCA

de $2,24\pm 0,16$ y para *Oreochromis niloticus* un FCA de $1,01\pm 0$ también muy buenos resultados para esta especie y gran conversión del alimento por los animales.

Otro parámetro zootécnico evaluado fue el factor de condición (K) el cual caracteriza las poblaciones de peces en estado de crecimiento, nivel nutricional y reproducción (Cifuentes et al., 2012). En los resultados obtenidos por Bru (2016) se evidenció factores de condición entre 1,9 a 2,1, menores a los reportados los cuales estuvieron entre 2,60 a 4,08 y que demuestra buenos resultados bajo las fuentes proteicas usadas en el experimento.

Con respecto al tratamiento 3 (T3) de este estudio cuya dieta experimental incluía harina de espirulina *A. Platensis* como fuente proteica, no se encontraron reportes en cachama blanca para realizar comparaciones de rendimientos o parámetros zootécnicos. En tilapia nilótica, por ejemplo, Belal et al. (2012) demostraron su efecto como promotor de crecimiento; El Sheekh et al. (2014) concluyeron que con un reemplazo del 75% de la harina de pescado por harina de espirulina se logró un mejor desempeño productivo en tilapias híbridas y que a mayor inclusión de espirulina mayor sobrevivencia. Sin embargo, con inclusiones de espirulina del 20% y menores, no fueron encontrados efectos sobre el desempeño productivo ni sobre la calidad de la carcasa en tilapia roja (Ungsethaphand et al., 2010). Es importante notar que los trabajos anteriores no han sido realizados en sistema BFT y que el ambiente de cultivo con el biofloc como suplemento alimenticio puede ser el factor diferencial. Con respecto a las otras dos fuentes proteicas, es decir la harina de pescado y la torta de soya en el cultivo BFT, en trabajos de Gutiérrez y Vásquez (2012) reportaron coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) y de materia seca (MS) para la harina de pescado de 62,6% y de 77,2%, respectivamente en cultivo con cachama blanca. Para torta de soya Vásquez et al. (2013) reportaron CDA y de MS de 62,5% y de 92,1% respectivamente para esta fuente proteica vegetal. En el presente estudio, la dieta que contenía como fuente proteica torta de soya, permitió resultados iguales a las dietas con reemplazos del 5% con espirulina o harina de pescado, aunque no se conocen los CDA para espirulina con *P. brachypomus* es probable que sean similares a los de la harina de pescado. Es así como en la cachama blanca en BFT se podría utilizar la fuente proteica que resulte más económica a su debido momento y que satisfaga las condiciones de sostenibilidad. Evidenciando igual que Bru et al. (2014) tener

excelentes rendimientos de la cachama blanca en cultivo con biofloc con niveles de proteína (24%) de origen vegetal.

2.7 Conclusiones

La producción de la cachama blanca *P. brachypomus* en BFT demostró tener un resultado positivo respecto a los parámetros zootécnicos, para lo cual es necesario realizar con esta especie que posee potencial en el mercado local del pescado.

Se puede concluir que con las dietas experimentales con los reemplazos del 5% de harina de pescado y del 5% con harina de espirulina *A. platensis*, isoproteicas con 24% de PC, no hay efectos sobre el desempeño productivo de Cachama blanca cultivada en BFT.

2.8 Bibliografía

1. Abad, D, Rincón, D, Poleo, G. (2014). Índices de rendimientos corporales en morocoto *Piaractus brachypomus* cultivado en sistemas biofloc. *Zootecnia Trop*, 32(2):119-130.
2. APHA-AWWA-WEF. (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th Edition. New York, 2-55 a 2-59, Method 2540 D.
3. Avnimelech, Y. (2009). Biofloc Technology — A practical guide book. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, United States. p.182.
4. Belal, E.B., Khalafalla, M.M.E., El-Hais, A.M.A. (2012). Use of spirulina (*Arthrospira fusiformis*) for promoting growth of Nile Tilapia fingerlings. *African Journal of Microbiology Research* 6 (35):6423-6431.
5. Bru S.B.C., (2016) Cultivo en suspensión activa (Bioflocs): Una alternativa para la piscicultura urbana. Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.
6. Cardona, E., Lorgeoux, B., Chim, L., Goguenheim, J., Le Delliou, H., Cahu, C. (2016). Biofloc contribution to antioxidant defense status, lipid nutrition and

- reproductive performance of broodstock of the shrimp *Litopenaeus stylirostris*: Consequences for the quality of eggs and larvae. *Aquaculture* 452,252–262.
7. Chaverra, G.S.C.(2016). Contribución del biofloc como fuente de carbono y nitrógeno para el crecimiento de juveniles de Cachama blanca (*Piaractus brachypomus*). Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.
 8. Cifuentes, R., González, J., Montoya, G., Jara, A., Ortiz, N., Piedra, P., Habit, E. (2012). Weight-length relationships and condition factor of native fish from San Pedro River (Valdivia River basin, Chile). *Gayana Especial* 75(2):101-110.
 9. Crab, R., Defoirdt, T., Bossier, P., Verstraete, W. (2012). Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture* 356–357):351–356.
 10. Cruz, C.P.E., Medina, V.M., Velasco, Y.M. (2011) Fish farming of native species in Colombia: current situation and perspectives. *Aquacult Res.*; 42: 823-831.
 11. Day, S.B., Salie, K., Stander, H.B. (2016). Aquacult A growth comparison among three commercial tilapia species in a biofloc system. *Int.*, 24: 1309. doi:10.1007/s10499-016-9986-z
 12. De Souza, D.M., Borges, V.D., Furtado, P., Romano, L.A., Wasielesky, W., Monserrat, J.M., De Oliveira, G.L. (2016). Antioxidant enzyme activities and immunological system analysis of *Litopenaeus vannamei* reared in biofloc technology (BFT) at different water temperatures. *Aquaculture* 451:436–443.
 13. Ebeling, J.M., Timmons, M.B., Bisogni, J.J. (2006). Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic and heterotrophic removal of ammonia- nitrogen in aquaculture system. *Aquaculture* 257,346-358.
 14. Ekasari, J., Angela, D., Hadiwaluyo, S., Bachtiar, T., Surawidjaja, E.H., Bossier, P., De Schryver, P. (2014). The size of biofloc determines the nutritional composition and the nitrogen recovery by aquaculture animal. *Aquaculture*,(426-427):105 -112.

15. El-Sheekh, M., El-Shourbagy, I., Shalaby, S., Hosny, S.(2014). Effect of Feeding *Arthrospira platensis* (Spirulina) on Growth and Carcass Composition of Hybrid Red Tilapia (*Oreochromis niloticus x Oreochromis mossambicus*). Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 14, 471-478.
16. Emerenciano, M., Cuzon, G., Arevalo, M., Gaxiola, G. (2014). Biofloc technology in intensive broodstock farming of the pink shrimp *Farfantepenaeus duorarum*: spawning performance, biochemical composition and fatty acid profile of eggs. Aquaculture Research 45, 1713–172.
17. Gutiérrez, E.M.C., Vásquez, T.W. (2012). Apparent digestibility of fish meal and poultry by-product meal for *Piaractus brachypomus* Cuvier 1818. Orinoquia 15(2):169-179.
18. Jafari, S.M.A., Rabbani, M., Emtiazjoo, M., Piryaeei, F. (2014). Effect of dietary *Spirulina platensis* on fatty acid composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillet. Department of Marine Chemistry, Faculty of Marine Science and Technology, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran 1307-1315.
19. Jones, A.B., Perston, N.P., Dennison, W.C. (2002). The efficiency and condition of oysters and macroalgae used as biological filters of shrimp pond effluent. Aquaculture Research 33, 1–19.
20. Lezama, C.C., Paniagua, M.J.(2010). Effects of constructed microbial mats on water quality and performance of *Litopenaeus vannamei* post-larvae. Aquaculture Engineering 42, 75–81.
21. Martínez C.L.R., Martínez P.M., López E.J.A., Campaña T.A., Miranda B.A., Ballester E., Porchas C.M.A. (2010). Alimento natural en acuicultura: Una revisión actualizada. - Memorias del X Simposio Internacional de Nutrición Acuícola, 8-10 de Noviembre, San Nicolás de los Garza, N. L., México. ISBN 978-607-433-546-0. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México. 668-699.

22. Monroy, M., De Lara, R., Castro, J., Castro, G., Emerenciano, M. (2013). Microbiology community composition and abundance associated to biofloc in tilapia aquaculture. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 48(3):511-520.
23. NRC, National Research Council. (2012). *Nutrient Requirements of Swine. Eleventh Revised Edition.* National Academic Press, Washington, D.C. 20418 USA.
24. Pasco, M.J. (2015). *Aeração em cultivos super intensivos de tilapias *Oreochromis niloticus*, em bioflocos e com troca mínima de água.* Tese Doutorado em aquicultura. Universidade Federal De Santa Catarina, Centro De Ciências Agrárias Departamento De Aquicultura, Florianópolis, Brasil.
25. Poleo, G., Aranbarrio, J., Mendoza, L., Romero, O. (2011). Cultivo de cachama blanca en altas densidades y en dos sistemas cerrados. *Pesq. agropec. bras.* Brasília. 46,429-437.
26. Ray, A.J., Lewis, B.L., Browdy, C.L., Leffler, J.W. (2010). Suspended solids removal to improve shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production and an evaluation of a plant-based feed in minimal-exchange, super intensive culture systems. *Aquaculture* 299(1-4): 89-98.
27. Rodríguez, J., Valencia, Z., Poleo, G. (2012). Producción intensiva de cachamote (*Colossoma macropomum* x *Piaractus brachypomus*) en sistema de "Biofloc". I Congreso Venezolano de Ciencia, Tecnología e Innovación en el Marco del PEII y la LOCTI. 277-278.
28. Sagratzki, C.B.A., Pereira, F.M., Bordinhon, A., Fonseca, F.A., Ituassú, D., Roubach, R., Ono, E.A. (2004). Tolerância de juvenis de pirarucu ao aumento da concentração de amônia em ambiente confinado. *Pesq Agrop Bras.* 2004; 39: 513-516.
29. Sastre, O.F., Hernández, G., Cruz, C.P. (2004). Influencia del peso corporal y de la temperatura del agua sobre el consumo de oxígeno de la Cachama Blanca (*Piaractus brachypomus*). *Rev Col Cienc Pec.*; 17: 11-16.

30. Tacon, A.G., Metian, M. (2009). Fishing for feed or fishing for food: increasing global competition for small pelagic forage fish. *Ambio* 38:294–302.
31. Takeuchi, T., Lu, J., Yoshizaki, G., Satoh, S. (2002). Effect on the growth and body composition of juvenile tilapia *Oreochromis niloticus* fed raw Spirulina. Department of Aquatic Biosciences, *Fisheries sciences* 68,34-40.
32. Timmons, M.B., Ebeling, J.M., Wheaton, F.W., Sommerfelt, S.T., Vinci, B.J.(2002). Recirculating aquaculture systems. Caruga Aqua Ventures, New York.748.
33. Ungsethaphand T, Yuwadee PY, Whangchai N, Sardud U. (2010). Effect of feeding Spirulina platensis on growth and carcass composition of hybrid red tilapia (*Oreochromis mossambicus* × *O. niloticus*). *Maej Intern J Sci Technol*; 4:331-336.
34. Vásquez, T.W., Yossa, M.I., Gutiérrez, E.M.C. (2013). Digestibilidad aparente de ingredientes de origen vegetal y animal en la cachama. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília 48(8):920-927.
35. Vásquez, T.W. (2004). Principios de nutrición aplicada al cultivo de peces. IALL Instituto de Acuicultura de los Llanos. Universidad de los Llanos. Villavicencio, Colombia. Ed. Pablo XXIII..22.
36. Venkataraman, L.(1997). Appendics: *Spirulina (Arthrospira platensis)*: Physiology Cell-biology and Biotechnology. Edited by Vonshak A. Taylor and Francis Ltd., London.
37. Vinatea L. 2004. Principios químicos de qualidade da agua em aqüicultura. 2. ed: Editora da UFSC, Florianópolis 345 pp.
38. Wedler, E. (1988). Introducción en la Acuicultura con énfasis en los neotrópicos. 1ª Edición. Universidad del Magdalena, Santa Marta (Colombia).

Capítulo 3. Evaluación de la calidad de filetes de Cachama blanca *Piaractus brachypomus* cultivada en sistema biofloc con tres fuentes de proteína en la dieta

3.1 Resumen

En Latinoamérica las especies nativas como cachama blanca *Piaractus brachypomus* son importantes a nivel alimenticio y para el desarrollo local de la acuicultura. Adicionalmente esta especie ha demostrado adaptación a sistemas intensivos como la tecnología biofloc (BFT), presentando apropiado desempeño productivo. Por lo anterior, es necesario caracterizar el filete de cachama blanca *Piaractus brachypomus* cultivada en BFT y los efectos de la fuente proteica del alimento sobre su carne. Para este fin se cultivaron 84 peces/m³ en tanques plásticos de 500L con BFT, alimentados con tres dietas isoproteicas (24% de proteína cruda PC) así: T1: Torta de soya; T2: Torta de Soya + Harina de pescado; T3: Torta de Soya + Harina de espirulina. A los 84 días de cultivo se hicieron análisis microbiológicos, nutricionales y sensoriales a los filetes con piel y sin escamas. Los filetes presentaron una composición microbiológica aceptable para el consumo. En los análisis nutricionales se encontró PC de 18,6±0,3%, humedad de 75,1±0,7% y contenido de grasa de 2,4±0,2%, sin diferencia estadística entre los tratamientos. El perfil de ácidos grasos presentó 21,3±0,3% de ácidos grasos poliinsaturados (C₁₈-3 y C₁₈-6) y el aminograma mostró 12,4±0,3% de ácido glutámico, además de lisina y ácido aspártico. Entre los perfiles de ácidos grasos y aminoácidos no se presentaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ($p > 0,05$). El panel de expertos dio una aceptación del 100% en características sensoriales en todos los casos. Se puede concluir que bajo las condiciones del estudio en BFT, la fuente proteica no afectó la calidad del filete de cachama blanca, brindando características adecuadas para el consumo humano.

Palabras clave: Cachama blanca, Biofloc, Espirulina, Calidad de filete, Ácidos grasos.

3.2 Introducción

El pescado es un alimento que proporciona significativos aportes nutricionales al humano, con diversas especies de peces en el mercado es un producto apetecido y con proyección por sus características nutricionales excepcionales. El consumo de pescado en el mundo ha crecido a un ritmo del 3,2% anual, lo que ha logrado que en las últimas décadas el consumo *per cápita* esté en 19,2 Kg/Persona/Año, lo cual se ha visto reflejado en una mayor demanda del producto en el mercado en distintos países (FAO, 2014). Para el año 2012, la FAO (2014) reporta que se consumieron 136,2 millones de toneladas y fueron destinadas 21 millones de toneladas a otros usos como la harina y el aceite de pescado. Esta condición de crecimiento ha continuado en aumento (FAO, 2016). El crecimiento del consumo de pescado se atribuye principalmente a que su carne posee una alta concentración proteica de alta digestibilidad y propiedades sobre la salud humana en aspectos metabólicos y fisiológicos (Mohanty, 2011).

En la piscicultura continental especies como la cachama blanca *Piaractus brachypomus* son muy importantes para la nutrición en países como Colombia, Venezuela y Brasil (García et al., 2013). En Colombia el crecimiento promedio anual de la producción piscícola ha sido del 12%, donde la cachama blanca es la segunda especie de mayor producción (Cruz et al., 2011, Merino et al., 2013) por sus características de rusticidad, buena calidad de la carne y buen sabor (Suárez et al., 2009).

Con el pasar de los años la acuicultura ha venido explorando la intensificación de sus cultivos pero con un enfoque más sostenible en aspectos ambientales y económicos; especies como la tilapia nilótica *Oreochromis niloticus* el camarón de agua dulce *Litopenaeus vannamei* y la cachama blanca han venido incursionando en sistemas de producción más intensivos como la tecnología biofloc (BFT) con el fin de mejorar su competitividad y productividad (Bru, 2016; Chaverra, 2016; Avnimelech, 2009). En los sistemas biofloc se aprovechan los residuos del sistema permitiendo un mejor uso de los recursos y más sostenibilidad en aspectos como el uso de espacio y agua que otros

sistemas (Emerenciano et al., 2014; Crab et al., 2012). Estas características favorables del sistema BFT han llevado a que sea una opción económicamente viable para el productor y más sostenible. Con respecto a las especies producidas en BFT, son pocos los estudios realizados de la composición nutricional del pescado (Castro y Miranda, 2010). Las investigaciones con BFT y en especial sobre la calidad de la carne son elementos claves para impulsar la producción sostenible con un producto confiable y competitivo para el consumidor. El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de la fuente de proteína sobre las características del filete de cachama blanca *Piaractus brachypomus* en un sistema BFT.

3.3 Materiales y métodos

3.3.1 Área de estudio

El estudio se ejecutó en el Laboratorio de Modelación Animal - LAMA de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, con coordenadas son N 6°15'44" O 75°34'37", a una altura sobre el nivel del mar de 1600 msnm, con temperatura promedio de 26°C, una humedad relativa de 65% y un ecosistema de bhPM.

3.3.2 Material biológico experimental

Los alevinos de cachama blanca *Piaractus brachypomus* se recibieron con peso promedio de $0,1 \pm 0,01$ g en tanques de recirculación de agua- Se alimentaron a saciedad aparente con un concentrado comercial de 38% de proteína cruda (PC) hasta alcanzar un peso promedio de $55,6 \pm 9,6$ g. A partir de allí se asignaron a la unidad de investigación LAMA FISH 02 de BFT con 9 unidades experimentales para tres tratamientos con tres repeticiones. La asignación de tratamientos y repeticiones se hizo completamente al azar. Se sembraron 42 peces por tanque y se cultivaron durante 84 días hasta que los peces alcanzaron un peso promedio de 200 ± 30 g.

3.3.3 Unidades experimentales

Las unidades experimentales consistían en tanques plásticos de 500 L bajo cubierta y con polisombra, el agua provino del acueducto con temperatura promedio de 20°C por lo que se usaron calentadores (300 vatios/500L Resum[®], USA). Cada tanque recibió aireación de un blower regenerativo monofásico HG-C/C2 (Pum Power[®], USA) con una capacidad de 1/4 HP y con entrada independiente para cada tanque. La difusión del aire se hizo a través de mangueras poli difusoras desde el fondo del tanque favoreciendo la suspensión de las partículas.

3.3.4 Preparación del inóculo del biofloc

La inoculación del biofloc se llevó a cabo siguiendo la metodología de Chaverra (2016), donde se inició con lixiviado de cultivo de Lombriz Roja Californiana *Eisenia foetida* a razón de 1 L por tanque. Las unidades se dejaron durante 20 días en maduración con aireación y calefacción continua. Durante este tiempo se adicionó melaza al agua a razón de 0,02 g/L como fuente de carbono, cloruro de amonio (NH₄Cl) 5 mg/L, bicarbonato de sodio (NaHCO₃) 50 mg/L y sal marina a 2 g/L. Sobre la unidad de investigación se instaló polisombra del 80% de cubrimiento con el fin de estimular el crecimiento bacteriano. Se maneja una relación C:N igual a 15:1 garantizando un cultivo bacteriano heterotrófico y baja generación de algas.

3.3.5 Diseño experimental

Para la alimentación de los peces se elaboraron tres dietas isoproteicas con 24% de proteína cruda (PC) en el Laboratorio de Nutrición Acuícola de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, extruidas y peletizadas. Los ingredientes y la composición proximal y la de las fuentes proteicas se describen en las tablas 5 y 6. La alimentación se realizó a saciedad aparente, calculando sobre su peso vivo y aumentando el porcentaje gradualmente según la biomasa encontrada.

Los tratamientos empleados fueron los siguientes:

- **Tratamiento 1 (Dieta 1):** Torta de soya.

- **Tratamiento 2 (Dieta 2):** Torta de soya + Harina de pescado (reemplazo del 5% de la torta de soya).
- **Tratamiento 3 (Dieta 3):** Torta de soya + Harina de espirulina (reemplazo del 5% de la torta de soya).

Tabla 5: Formulación (g/100 g de dieta) y caracterización proximal de las dietas experimentales

Ingredientes	Dieta 1	Dieta 2	Dieta 3
ARROZ CRISTAL	15	15	15
HARINA TRIGO	15	15	15
HARINA ARROZ 7%	2,420	6,200	5,644
TORTA DE SOYA 47%	32,93	25,62	25,40
FRIJOL SOYA EXTRUIDO	5	5	5
ACEITE DE SOYA	1	1	1
CARBONATO DE CALCIO	4,371	3,650	3,689
TRICALFOS	2,720	2,400	3,089
SAL	0,771	0,410	0,300
PREMIX VIT MIN	0,300	0,273	0,300
L- METIONINA	0,231	0,210	0,220
L- LISINA HCL	0,140	0,080	0,210
CLORURO DE COLINA 60%	0,060	0,060	0,060
L TREONINA	0,051	0,035	0,028
ANTIOXIDANTES	0,020	0,020	0,020
HARINA DE PESCADO	0	5	0,000
ESPIRULINA	0	0	5
	100	100	100
PROTEÍNA CRUDA %	24,4	25	25
HUMEDAD %	6,4	6,3	5
CENIZAS %	11,55	11,05	11,45
EE %	2,27	2,48	2,65
FIBRA CRUDA %	4,7	5	4,5
VALOR CALORÍFICO BRUTO Cal/g	3993	4015	4134
COSTO DE LA DIETA (\$COP/Kg)	1.250	1.328	1.948

Tabla 6: Caracterización proximal de las materias primas usadas como fuentes proteicas en las dietas.

Parámetro	Espirulina*	Harina de Pescado*	Torta de soya (NRC, 2012)
CENIZAS (%)	11,4	26,7	6,27
CONTENIDO DE GRASA (%)	0,5	5,28	1,52
FIBRA CRUDA (%)	2,8	0,6	3,89
FÓSFORO (%)	1,16	4,14	0,61
HUMEDAD (%)	6,1	7,2	12
PROTEÍNA CRUDA (%)	61,25	60	47,71
VALOR CALORÍFICO BRUTO (cal/g)	4754	3781	4256

* Valores medidos en este estudio

3.3.6 Caracterización de los filetes de cachama blanca

3.3.6.1 Manejo de las muestras de filetes

Tras 84 días del cultivo, los peces fueron sacrificados por choque térmico con agua fría a una temperatura de 6°C para lograr una muerte instantánea y cumpliendo con lo establecido en el aval del Comité de Ética otorgado. Una vez sacrificados se tomaron las muestras de filete y se empacaron para ser enviados a sus respectivos análisis.

3.3.6.2 Análisis microbiológico de los filetes

Para la evaluación microbiológica se tomaron 25 g de filete fresco con piel y sin escamas, se llevaron manteniendo la cadena de frío y en condiciones asépticas al Laboratorio de Microbiología del Agua y los Alimentos de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Se realizaron análisis de Coliformes totales, Coliformes fecales, *Salmonella sp.* y *Staphilococcus* por el método de la coagulasa positiva. Los métodos usados fueron los establecidos por la AOAC y siguiendo la norma NTC 4458 (2007).

3.3.6.3 Análisis proximal de los filetes

Para el análisis proximal se tomaron entre 20 a 25 g de filete de cachama con piel de cada uno de los tanques. Las muestras se llevaron refrigeradas al Laboratorio de Análisis Químico y Bromatológico de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, donde se determinó nitrógeno por el método de Kjeldahl, contenido de grasa por el método de Soxhlet, el porcentaje de cenizas por el método de incineración directa en mufla a 600°C, los análisis de calcio y fósforo por espectrometría de absorción atómica y análisis de humedad por el método termo gravimétrico a 103°C +/- 2°C.

3.3.6.4 Análisis de aminoácidos de los filetes

Para el aminograma se tomaron muestras de 50 g de filete con piel, y sin escamas de cada unidad experimental. Se cortaron piezas con ancho aproximado de 1 cm que posteriormente fueron llevados a un refrigerador industrial (Eurofreezer, España) con temperatura entre -18°C a -21°C, posteriormente se liofilizaron a -40°C por 48 h, al final de las cuales se pesaron nuevamente y se empacaron al vacío. Para el análisis de aminoácidos a los filetes se les realizó una hidrólisis ácida mediante la metodología AOAC 994-12 con la cual se liberan la mayor parte de los aminoácidos, para posteriormente analizarlos por el método de cromatografía líquida de alto rendimiento. Estos análisis fueron realizados en el Laboratorio de Análisis instrumental de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.

3.3.6.5 Análisis del perfil ácidos grasos de los filetes

Para el perfil de ácidos grasos se tomaron 5g de filete con piel y sin escamas. Para la liofilización se cortaron piezas con 1cm de ancho, se pesaron y se liofilizaron por 48 h a -40°C. Al final se pesaron nuevamente y se empacaron en una empacadora al vacío de doble barra para enviar a su análisis. El análisis de los ácidos grasos se realizó en el Laboratorio de Toxicología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá en un equipo de cromatografía de gases por el método de cuantificación por normalización de áreas.

3.3.6.6 Análisis sensorial de los filetes

Las características sensoriales se evaluaron por un panel de 5 expertos entrenados de la organización investigativa Fundación Instituto Ciencia y Tecnología Alimentaria INTAL de Medellín. Para el análisis se tomaron muestras de filetes frescos con piel y sin escamas, pues es la forma como es consumida la cachama blanca en Colombia. A cada filete fresco se le hicieron cortes profundos, paralelos y perpendiculares a la línea lateral, a una distancia de 3 mm entre cada corte, en sentido antero-caudal, por la cara interna y conservando la piel intacta para proporcionar estabilidad al filete (Suárez et al., 2009). Para cada unidad experimental se usó una cantidad de 250 g de filete fresco que se cocieron al vapor envueltos en papel aluminio a una temperatura interna de 70°C por 3 minutos. En la prueba sensorial se comparó con una muestra control compuesta por filetes de cachama blanca fresca de venta en el mercado local y cultivada en un sistema convencional y a la cual se le midieron las mismas características por el panel de expertos. La prueba sensorial fue descriptiva cuantitativa con descriptores de intensidad correspondientes a olor característico y objetable en fresco, apariencia, sabor característico y objetable, cohesividad, oleosidad en producto cocido, calidad sensorial y aceptación, todos en una escala de intensidad de 0 a 10, donde 0 es ausencia de la característica y de 9 a 10 es una característica muy marcada en el filete.

3.3.6.7 Calidad nutricional del biofloc

Para determinar características del biofloc se evaluó su contenido de proteína en tres tiempos del cultivo 0, 36 y 62 días donde se tomaron muestras de cada unidad experimental por medio de una tela filtrante para reducir el contenido de humedad. La cantidad a secar fue de 200 g de cada tanque el cual se depositó en un molde de aluminio y se llevó a un horno TV 10U (Mettler, GERMANY) a 100 °C por 24 horas; una vez seco se depositaron 15 g en tubos falcón para determinar el contenido de nitrógeno por el método de Kjeldahl y de allí obtener el contenido de proteína cruda, este análisis se realizó en el Laboratorio de Análisis Químico y Bromatológico de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Para los análisis de ácidos grasos del biofloc de las unidades experimentales se realizó un pool por tratamiento es decir una muestra por tratamiento; de un peso total de 30 g por muestra. Este contenido se llevó a un secado por 48h por liofilización para bajar al

mínimo su humedad y se empacaron al vacío para enviarlas al Laboratorio de Toxicología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.

3.4 Análisis estadístico

Se verificó el cumplimiento de normalidad (pruebas de Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov) y homogeneidad de varianzas (Prueba de Bartlett) para las características evaluadas en el filete. Se realizó un análisis de varianza de una vía para determinar el efecto del tratamiento sobre las características del filete, esto a través del procedimiento PROC GLM. Conociendo el efecto significativo del tratamiento ($p < 0,05$) se realizó una prueba de medias por Tukey para conocer las diferencias entre los tratamientos. Con respecto a la proteína del BFT se realizó un análisis de medidas repetidas en el tiempo usando (PROC MIXED). Todos los procedimientos se realizaron en el software estadístico SAS System (2009)[®].

3.5 Resultados

3.5.1 Caracterización microbiológica de los filetes de cachama blanca cultivada en biofloc

Los análisis microbiológicos constataron niveles aceptables de Coliformes totales y ausencia de coliformes fecales. Con respecto a la concentración de *Staphylococcus* coagulasa positiva se presentaron concentraciones < 100 UFC/g y se reportó ausencia de *Salmonella* spp. Lo cual lleva a decir que la carne de cachama blanca obtenida del cultivo biofloc bajo las dietas suministradas, es apta para su consumo según la norma NTC 5443 del 2006. Estos resultados permitieron realizar con seguridad los análisis sensoriales por el panel de expertos a los cuales se envió filetes de cachama blanca manejados bajo las mismas condiciones sanitarias.

3.5.2 Caracterización proximal de los filetes de cachama blanca cultivada en biofloc

Tabla 7: Análisis proximal de filetes gramos en 100g de filete tal cual de cachama blanca *Piaractus brachyomus* cultivada en un sistema biofloc con tres fuentes proteicas.

Parámetro	Tratamientos		
	Dieta 1 Torta de Soya	Dieta 2 T. Soya+ H. pescado	Dieta 3 T. Soya+ Espirulina
Proteína cruda (%)	18,9±0,7	18,5±0,7	18,3± 0,7
Humedad (%)	74,6±0,5	75,9±0,9	74,9±0,5
Cenizas (%)	1,2±0,0	1,2± 0,0	1,2±0,1
Extracto Etéreo (%)	2,6±1,0	2,2±0,8	2,5±1,1
Calcio (ppm)	270,7±12,5	305±50,3	280±21,4
Fósforo (%)	0,2±0,0	0,2±0,0	0,2±0,0
Peso final cachama (g)*	203,8±25,9	223,3±10,9	196,9±21,7

Los datos corresponden al promedio de tres repeticiones ± DS. *Peso promedio final= Peso promedio de los peces tras 84 días de cultivo

Los análisis proximales a los filetes de cachama blanca no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p>0,05$).

3.5.3 Composición de aminoácidos de los filetes de cachama blanca cultivada en biofloc

La caracterización de los filetes en su contenido de aminoácidos se presenta en la tabla 8 y en la gráfica 4 donde se muestran los contenidos aminoácidos de los filetes sajados y con piel de la cachama blanca, clasificados como esenciales y no esenciales de cada uno de los tratamientos.

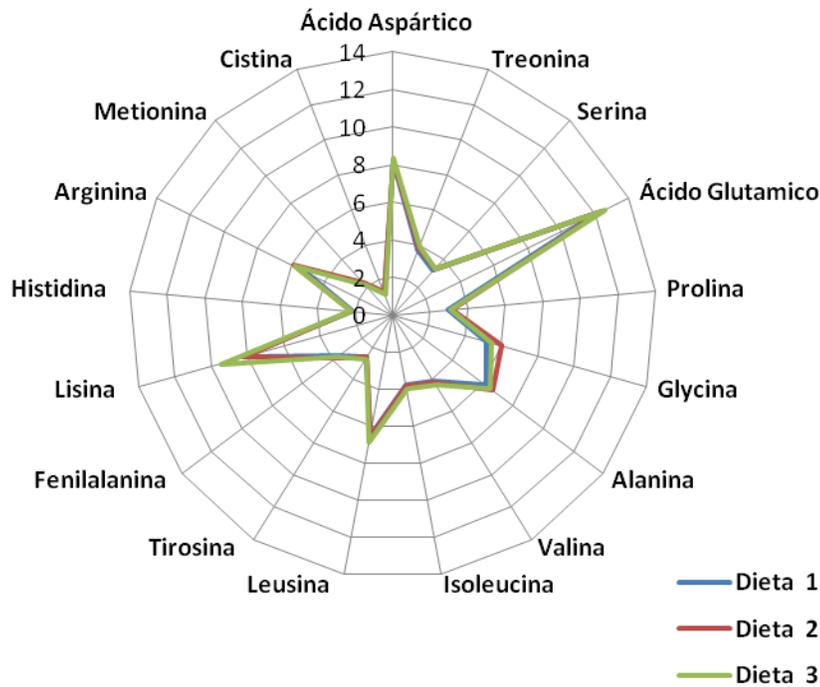
Tabla 8: Contenido de aminoácidos gramos en 100 gramos de filete tal cual de cachama blanca *Piaractus brachypomus* en sistemas biofloc bajo distintas fuentes proteicas

Aminoácidos	Tratamientos			
	Dieta 1	Dieta 2	Dieta 3	
	Torta de Soya	T. Soya + H. pescado	T. Soya + Espirulina	
Aminoácidos esenciales	L- Isoleucina	3,8±0,2	3,8±0,2	4±0,3
	L- Leucina	6,6±0,3	6,6±0,3	6,9±0,3
	L- Lisina	8,4±1,0	8,2±1,8	9,5±1,6
	L- Metionina	2,2±0,1	2,3±0,2	2,1±0,2
	L- Fenilalanina	3,6±0,2	3,8±0,3	3,7±0,2
	L- Valina	4,2±0,2	4,2±0,2	4,3±0,3
	L- Treonina	3,7±0,2	3,8±0,2	3,9±0,1
	L- Triptófano	ND	ND	ND
Aminoácidos no esenciales	L- Alanina	6,3±0,3	6,7±0,3	6,5±0,2
	L-Ácido Aspártico	8,1±0,3	8,2±0,3	8,4±0,2
	L- Glicina	5,2±0,8	6±0,9	5,4±0,5
	L- Tirosina	2,6±0,2	2,6±0,2	2,8±0,1
	L- Prolina	2,9±0,1	3,2±0,1	3,0± 0,2
	L- Serina	3,2±0,1	3,3±0,2	3,3±0,1
	L- Histidina	2,1±0,3	2,20±0,2	2,3±0,1
	L- Arginina	5,5±0,5	5,9±0,3	5,8±0,3
	L-Ácido Glutámico	12,1±0,4	12,4± 0,5	12,6±0,4
L- Cistina	1,2±0,1	1,3±0,2	1,2±0,2	

Los datos corresponden al promedio de tres repeticiones ± DS.

Gráfica 4. Composición de aminoácidos de filetes de cachama blanca *Piaractus brachypomus* bajo tres fuentes proteicas en un sistema biofloc.

Composición de aminoácidos



Tras los resultados publicados para cada uno de los 17 aminoácidos esenciales y no esenciales evaluados se encontró que no se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($p > 0,05$) evaluados.

3.5.4 Perfil de ácidos grasos de los filetes de cachama blanca cultivada en biofloc

La tabla 9 presenta el perfil de ácidos grasos en los filetes de cachama blanca.

Tabla 9: Perfil de ácidos grasos gramos en 100 gramos de filete tal cual de cachama blanca *Piaractus brachypomus* en sistemas biofloc bajo distintas fuentes proteicas usadas en la dieta.

Ácidos Grasos	Dieta 1	Dieta 2	Dieta 3
	Torta de soya	T. Soya+ H pescado	T. Soya + Espirulina
C14:0	2,3±0,2	2,5±0,1	2,2±0,2
C14:1	0,1±0,0	0,1±0,0	0,1±0,0
C15:0	0,1±0,0	0,1±0,0	0,1±0,0
C16:0	27,8±2,0	28,8±0,4	28,8±0,4
C16:1	4,4±0,3	4,9±0,1	4,8±0,4
C17:0	0,2±0,0	0,2±0,0	0,2±0,0
C18:0	9,8±0,8	9,2±0,2	9,2±0,7
C18:1 ω-9	0,1±0,0	0,1±0,0	0,1±0,0
C18:1 ω-9 ^a	30,0±1,8	29,1±0,9	29,7±0,9
C18:1 ω-7	1,9±0,0	1,9±0,1	1,9±0,2
C18:2 ω6	14,7±0,5	16,3±0,4	16,1±0,7
C18:3 ω6	0,3±0,0	0,2±0,0	0,5±0,0
C18:3 ω3	1,2±0,0	1,1±0,0	1,0±0,0
C20:0	0,1±0,0	0,1±0,0	0,1±0,0
C20:1 ω-9	0,6±0,0	0,6±0,0	0,6±0,0
C21:0	0,8±0,0	0,9±0,1	1,1±0,1
C20: 4 ω-6	1,4±0,1	1,8±0,3	2,0±0,3
C20:5 ω-3	0,1±0,0	0,2±0,0	0,1±0,0
C22:5 ω-3	0,1±0,0	0,2±0,0	0,2±0,0
C22:6 ω-3	1,1±0,1	1,6±0,3	1,1±0,2
PUFAS	21,6±1,0	21,37±1,0	21,0±1,1
MUFAS	37,2±2,2	36,8±1,0	37,3±0,7
SFAS	41,1±3,1	41,8±0,6	42,0±0,4
ω-3	2,5±0,1	3,0±0,3	2,5±0,2
ω-6	16,4±0,5	18,3±0,7	19,0±0,9
ω-6/ ω-3	6,6±1,0	6,1±0,4	7,6±0,4

Los datos corresponden al promedio de tres repeticiones ± DS.

En los resultados de los 20 ácidos grasos analizados no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos con las fuentes proteicas evaluadas y por tanto los resultados de SFAS, MUFAS, contenidos de omega ω -3 y ω -6 se comportaron muy similar entre los tratamientos. La proporción de los ácidos grasos del tipo saturados SFAS fueron los de mayor presencia seguidos de los mono insaturados MUFAS y por último los poliinsaturados PUFAS donde se dio una predominancia del omega 6.

3.5.5 Caracterización sensorial de los filetes de cachama blanca cultivada en biofloc

En la tabla 10 se detallan las características en fresco y cocido de la prueba de intensidad sensorial realizada por el panel de expertos a los filetes de cachama blanca alimentadas en el cultivo biofloc bajo tres diferentes fuentes proteicas. También en la gráfica 5 se muestra el análisis de intensidad en una escala de 0 a 10 de los tratamientos con las distintas fuentes proteicas suministradas y comparada con una muestra control de filete fresco de cachama blanca con piel y sajadados.

Tabla 10: Atributos sensoriales de los filetes con piel de cachama blanca sajadados de un cultivo biofloc.

Calidad sensorial		Dieta 1	Dieta 2	Dieta 3
		Torta de soya	T. de soya+ H pescado	T. de soya+ H. Espirulina
FRESCO	Apariencia característica	8,1±0,3	8,5±0,7	7,9±1,0
	Olor característico	7,6± 0,4	8,1±0,7	7,8±0,2
	Olor objetable	0,3±0,2	0,1±0,1	0,3±0,2
COCIDO	Olor característico	7,5±0,4	8,0±0,2	7,6±0,5
	Sabor característico	8,0±0,2	7,9±0,3	7,6±0,2
	Sabor objetable	0,3±0,2	0,3±0,2	0,2±0,2
	Cohesividad	2,1±0,2	2±0,1	1,8±0,2
	Oleosidad	2,6±0,2	2,5±0,3	2,2±0,2
Calidad sensorial*		7,9±0,5	7,8±0,3	7,3±0,4

Aceptación (%)

100

100

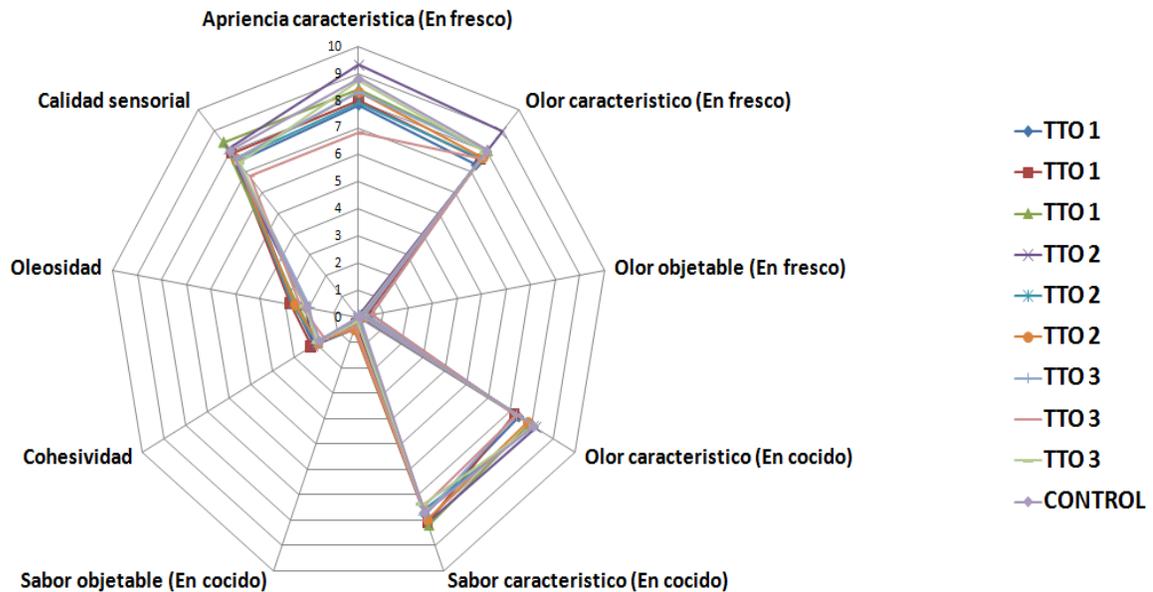
100

Los datos corresponden al promedio de tres repeticiones \pm DS.

*La calidad sensorial es un promedio de la sumatoria de las características sensoriales en fresco y cocido evaluadas. **Aceptación es una característica que evalúa el consumo total de la muestra de manera porcentual por el panel de expertos.

Gráfica 5. Prueba sensorial de filetes de cachama blanca *Piaractus brachypomus* cultivada en BFT comparada con una muestra control de filete de *P. brachypomus* comercial.

Características sensoriales



Los resultados revelan sutiles cambios de las características sensoriales entre cada uno de los tratamientos empleados y estadísticamente no se presentaron diferencias significativas entre ellos ($p > 0,05$), la aceptación de la carne de cachama blanca fue del 100% en cada uno de los casos evaluados por el panel de expertos.

3.5.6 Calidad nutricional del biofloc

En la tabla 11 se muestra el comportamiento de la proteína cruda del biofloc durante tres momentos del cultivo de la cachama blanca bajo las tres fuentes proteicas evaluadas.

Estos tratamientos para esta tabla se identifican como BFT 1= medio de cultivo del tratamiento 1 con torta de soya, BFT 2= medio de cultivo del tratamiento 2 con harina de pescado y BFT 3= medio de cultivo del tratamiento 3 con harina de espirulina.

Tabla 11: Desempeño del contenido proteína cruda del biofloc en el tiempo de cultivo en base tal cual.

Días	Dieta 1	Dieta 2	Dieta 3
	Torta de soya	T. Soya+ H. pescado	T. Soya + H. Espirulina
0	26,88 ± 2,17	23,75 ± 1,08	26,46 ± 2,60
36	19,58 ± 2,53	18,58 ± 1,30	20,42 ± 2,01
62	23,75 ± 0,63	22,29 ± 4,02	24,79 ± 1,57

En la tabla 12 se presenta el contenido de 20 ácidos grasos encontrados en biofloc en condiciones de sombrero y donde se cultivó por 84 días cachama blanca con tres fuentes proteicas diferentes: BFT 1= medio de cultivo del tratamiento 1 con torta de soya, BFT 2= medio de cultivo del tratamiento 2 con harina de pescado y BFT 3= medio de cultivo del tratamiento 3 con harina de espirulina.

Tabla 12: Evaluación del contenido de ácidos grasos en base tal cual de muestras de biofloc del cultivo de cachama blanca *Piaractus brachypomus*.

Ácido Graso	Medio de cultivo		
	BFT 1	BFT 2	BFT 3
C14:0	4,15	2,81	2,19
C14:1	2,08	1,31	1,5
C15:0	1,45	0,89	0,69
C16:0	21,65	25,12	25,93
C16:1	8,01	8,3	5,69
C17:0	0	0	0
C18:0	6,45	7,66	9,72
C18:1 Ω-9	2,34	0	0

C18:1 ω -9 ^a	22,21	27,86	23,52
C18:1 ω -7	9,71	6,45	7,99
C18:2 ω 6	14,09	13,09	14,89
C18:3 ω 6	1,63	1,31	2,59
C18:3 ω 3	0,93	0,8	0,58
C20:0	0,37	0,48	0,86
C20:1 ω -9	0,67	0,38	0,58
C21:0	0	0	0
C20: 4 ω -6	4,26	3,54	3,28
C20:5 ω -3	0	0	0
C22:5 ω -3	0	0	0
C22:6 ω -3	0	0	0
	100	100	100
PUFAS	20,9	18,7	21,3
MUFAS	45	44,3	39,3
SFAS	34,1	37	39,4
ω -3	0,9	0,8	0,6
ω -6	20	17,9	20,8
ω -6/ ω -3	21,6	22,5	22,5

Los datos corresponden al promedio de tres repeticiones \pm DS.

3.6 Discusión

Una condición inicial para los análisis sensoriales es determinar la calidad microbiológica de carne de cachama blanca cultivada en biofloc según la norma técnica colombiana (NTC) 5443 del 2006, ya que es claro que existe un riesgo latente en el procesamiento de pescado de contaminación microbiana (García et al., 2013), sin embargo, la duda sobre la calidad microbiológica en este caso no es solo debido al proceso, sino al medio de cultivo, total esta técnica de cultivo mantiene los peces en un denso ecosistema bacteriano y como reportó Bru (2016) hay presencia de bacterias potencialmente patógenas, inclusive aquellas que la norma NTC 5443 exige vigilar para considerar el producto apto para consumo humano.

Los filetes fueron procesados siguiendo las normas, con hipoclorito al 5% para desinfección de utensilios, mesas, manipulación con guantes y con agua potable para su lavado. Así, los filetes fueron encontrados microbiológicamente aptos para consumo. Adicionalmente, para la evaluación sensorial, esta condición microbiológica es una exigencia del panel, asunto que fue satisfecho a cabalidad.

3.6.1 Análisis proximal de los filetes de cachama blanca cultivada en biofloc

La carne de pescado es un alimento proteico por excelencia que presenta muy bajos o ausentes contenidos de carbohidratos; su carne es rica en fósforo y con un perfil de aminoácidos muy balanceado y completo brindando todos los aminoácidos esenciales en su consumo (Vásquez, 2004; Aquerreta, 2002). Adicionalmente la carne de pescado ofrece un buen contenido de vitaminas hidrosolubles y liposolubles como es el caso de las vitaminas del complejo B. Los contenidos de vitaminas en el pescado varían entre las distintas especies y según su edad, el hábitat y la alimentación (Villarino et al., 2011).

La calidad de la proteína de la carne de pescado compite con otras proteínas animales en proporción, presentando un valor biológico alto y con menor contenido de grasa y calorías (Villarino et al., 2011). Cuando la proteína de pescado es sometida a cocción esta obtiene mayor digestibilidad que la carne de bovino o cerdo (Iglesias y Gómez, 2011). La proteína cruda PC de los filetes estuvo entre $18,3\pm 0,7$ y $18,9\pm 0,7\%$ y la humedad entre $74,6\pm 0,5$ y $75,9\pm 0,9\%$. En estudios con cachama blanca García et al. (2013) reportaron PC de 17,12%, humedad de 75,30% y grasa de 1,96%. Similares valores reportaron Barrero et al. (2012), proteína cruda de $19,3\pm 0,3\%$, humedad de $76,5\pm 0,3\%$, y contenidos de grasa $2,6\pm 0,1\%$.

El contenido de grasa en la carne de pescado tiene a ser más baja que en otras carnes, aunque suele ser muy variable y se clasifica como magro o blanco cuando el contenido de grasa es $<3\%$, semigrasos si su contenido está entre 3-5%, y filete graso cuando su contenido es $>5\%$ (Aquerreta, 2003), por lo anterior los filetes de cachama del presente estudio con contenidos de grasa entre $2,2\pm 0,8$ y $2,6\pm 1,0\%$ pueden ser catalogados como magros. Cabe resaltar que su contenido graso presenta características de gran

relevancia con respecto a sus contenidos de ácidos grasos del tipo omega 3 y además un bajo contenido de colesterol (Acuña, 2013; Aquerreta, 2003).

En el pescado fresco la presencia de minerales como, calcio, sodio, fósforo, hierro, potasio y cobre son relativamente bajos, con respecto al sodio su contenido es benéfico para la salud humana (Castro y Pérez, 1998). Las muestras de filete cultivadas en BFT revelaron contenidos de cenizas de $1,2 \pm 0,1\%$; donde $0,2\%$ correspondió a fósforo y una concentración de calcio de $285,2 \pm 17,7$ ppm. Con respecto al contenido de cenizas estos resultados son similares a los reportados por Barrero et al. (2012). Igualmente García et al. (2013) reportaron para *P. brachypomus* contenidos de cenizas de $0,93\%$.

El calcio, el fósforo y la vitamina D en la alimentación humana, desempeñan un papel importante en la fortaleza de los huesos. Los requerimientos diarios de calcio en la alimentación humana se estiman entre 1000 a 1200 mg y provenientes de la dieta para jóvenes y adultos. En evaluaciones de Quesada (2011), encontró que en el consumo de 200 g de filete de pescado puede aportar aproximadamente 50mg de calcio al cuerpo, y aportes importantes de vitamina D. Tras la evaluación con *P. brachypomus* en BFT de este estudio se encontró contenidos superiores con una concentración promedio de $285,2 \pm 17,7$ mg de calcio lo que puede cubrir entre el 25 al 30% de los requerimientos dietarios diarios en la alimentación con esta especie. En evaluaciones Izquierdo et al. (2001) se analizaron filetes de cachama negra *Colossoma macropomum* obtenidas a pescadores, encontraron contenidos en 100g de filete un promedio de fósforo de 159mg y de calcio de 10mg, con una relación Ca/P de 0,06. En este estudio los contenidos de fósforo promedio de 200mg/100g en y de calcio entre 27 a 30 mg/100g y al calcular su relación Ca/P fue de 0,14, Algo a aclarar es que las espinas intermusculares se dejaron para los análisis, las cuales, son una fuente de minerales, apreciable en la muestra.

3.6.2 Caracterización de los aminoácidos de filetes de cachama blanca cultivada en biofloc

La proteína es sin duda el nutriente más importante en la alimentación humana y ello está directamente relacionado con su contenido de aminoácidos, es decir el valor biológico de la proteína (OPS, 1997). La mayor zona de acumulación de proteínas en los

peces es el músculo, compuesto por proteínas estructurales las cuales constituyen del 70 al 80% del contenido total del músculo, como la actina y la miosina; también están las proteínas sarcoplasmáticas del 25 al 30% las cuales son principalmente enzimas del metabolismo basal y por último las proteínas de tejido conectivo que constituye cerca de 3 al 10% y es principalmente colágeno (Acuña, 2013). La calidad nutricional de una proteína se refiere a la capacidad de cubrir los requerimientos de nitrógeno y aminoácidos. Estos aminoácidos pueden ser esenciales o no esenciales en el cuerpo y muchos de ellos actúan en la síntesis proteica (Mughan, 2005). Con respecto a los aminoácidos esenciales, deben ser suplementados en la dieta, y afectan directamente el crecimiento, el peso corporal y a nivel económico el costo del alimento (Wilson, 2002). Los contenidos de aminoácidos en la carne de pescado son muy completos, con 200 g de filete de pescado se pueden suplir los requerimientos dietarios de treonina, valina, leucina, isoleucina y cerca de un 80% del triptófano imprescindible en la síntesis sanguínea (Aquerreta, 2003). Los aminoácidos tienen diferentes funciones fisiológicas tal es el caso de la leucina responsable de la regulación de la glucosa en el cuerpo, la isoleucina indispensable en la síntesis de hemoglobina, la Valina en el balance del nitrógeno y mantenimiento tisular (Davis, 1970). Otros aminoácidos como el triptófano actúa en el control del estrés y manejo del sueño, el aminoácido fenilalanina actúa sobre la depresión, la memoria y el control de la tiroides, y la lisina tiene una gran relevancia en la síntesis de anticuerpos (Wu, 2009).

En los análisis realizados en este estudio el contenido de aminoácidos no presentó diferencia significativa entre los tratamientos ($p > 0,05$). Por tanto las adiciones de harina de pescado en el tratamiento 2 o de harina de espirulina en el tratamiento 3 no fueron diferenciadores en la expresión de aminoácidos en filete de las cachamas. Con respecto a los aminoácidos esenciales se resaltan los altos porcentajes en base húmeda de lisina entre $8,2 \pm 1,8$ y $9,5 \pm 1,6\%$ y la baja cantidad de metionina que se presentó entre $2,1 \pm 0,2$ y $2,3 \pm 0,2\%$, casi igual a lo adicionado en las dietas ofrecidas durante el cultivo. Otro valor alto fue el de la leucina entre $6,6 \pm 0,3$ y $6,9 \pm 0,3\%$, aunque sus contenidos tienden a ser más altos en peces de aguas marinas (Kaushik, 1998). Por otro lado los aminoácidos no esenciales presentaron altos valores en los aminoácidos ácido glutámico, entre $12,1 \pm 0,4$ a $12,6 \pm 0,4\%$ que es de gran importancia en el cuerpo humano ya que actúa como neurotransmisor en el sistema nervioso central (Toro et al., 2010) además también en

ácido aspártico y alanina y muy bajos valores en cistina entre $1,2\pm 0,1$ y $1,3\pm 0,2\%$ de aminoácido en 100 g de filete analizado.

Izquierdo et al. (2001) en cachama blanca encontraron contenidos de lisina muy similares a los reportados en este trabajo con concentraciones de 10,8% en 100 g de filete y mayores concentraciones de metionina 8,2%, un alto contenido de treonina 15,2% y de leucina con 16,2% que lo reportado en este estudio. El contenido de metionina es reportado bajo en la carne distintos peces de aguas continentales y marinas (Izquierdo et al., 2001). Vásquez (2001) reportó para *Piaractus brachypomus* contenidos de lisina de 7,21% y contenidos de metionina de 2,47% y además altas concentraciones de leucina y de argirina. Con respecto a los aminoácidos de cadena ramificada como son Isoleucina, leucina y valina se han reportado con propiedades antiinflamatorias en la disminución de la toxicidad en hígado y mejorar el balance del nitrógeno en el cuerpo (Savino y Patiño, 2016;Cerra,1987)

3.6.3 Perfil de ácidos grasos de cachama blanca cultivada en biofloc

Un papel fundamental que se ha atribuido al pescado son sus aportes a la salud humana en la protección contra enfermedades cardio vasculares, beneficio que es atribuido a los ácidos grasos. Estos compuestos juegan un papel fundamental en el inicio de la vida de los neonatos, donde la leche materna presenta un alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) los cuales son esenciales en la maduración y crecimiento del cerebro, en el desarrollo de los ojos, en la coagulación de la sangre, en el control de la presión arterial, en disminución de procesos inflamatorios, en el desarrollo de órganos reproductivos y en el metabolismo lipídico (Harris, 2004). Por otro lado los AGPI se han reportado como útiles en la prevención y tratamiento de la diabetes mellitus tipo II, arterioesclerosis y el control de la tensión arterial (Kant, 2004; Aquerreta, 2003).

Los AG linoléico (18:2 ω -6) y linolénico (18:3 ω -3) son los precursores de los ω -3 y ω -6, estos AG del tipo omega 3 (ω -3) y omega 6 (ω -6) son AGPI que el cuerpo humano no puede sintetizar, debido a que no se tiene la enzima desaturasa la cual es encargada de la fijación de los dobles enlaces en estos AG en las posiciones n-3 y n-6 en la cadena (Pérez y Lorenzo, 2006). El consumo de AGPI del tipo omega 3 (ω -3), tiene

una acción directa sobre el colesterol generando una disminución del colesterol tipo Lipoproteína de baja densidad (LDL) considerado como malo y un aumento potencial de la Lipoproteína de alta densidad (HDL) colesterol que es considerado como benéfico y reducción de los triglicéridos (Aquerreta, 2003). Las recomendaciones que se dan con respecto a los AGPI es el consumo de entre 2 a 3g de ω 3, lo que equivale a consumir entre uno a tres porciones de pescado semanales (Shiwaku et al., 2004), lo cual contribuye a tener un perfil lipídico balanceado y disminuir la síntesis de eicosanoides y otros compuestos responsables de los procesos inflamatorios en el cuerpo (Oliver et al., 2010), aminoácidos como lisina, alanina, ácido glutámico y Argirina tienen una acción sobre procesos antiinflamatorios.

La calidad de los lípidos que conforman la grasa de pescado es diferente del resto de las carnes a la cual se le conoce como aceite de pescado, por su alta proporción de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI), con largas cadenas de más de 20 carbonos y con varios dobles enlaces (Acuña, 2013), estos varían con la edad, la especie y su habitat en aguas continentales u oceánicas (González et al., 2006). Dentro de los AGPI están los de la serie 3 y 6 conocidos como omega3 y omega6 a los cuales se les atribuyen varios beneficios en el sistema cardiovascular y digestivo (FAO, 2016; Dallongeville, 2003). En la salud humana la alimentación con suplementación del ácido omega3 protege de enfermedades cardiovasculares, arterioesclerosis, colesterol alto y se alberga en gran cantidad en la carne y piel de los peces de aguas frías (Brenna y Carlson, 2014).

Los ácidos grasos de la serie 3 u Omega 3 (ω -3) como el ácido linoléico, linolénico y araquidónico son compuestos frecuentes en especies de peces de aguas continentales (Izquierdo et al., 2001), pero su presencia es mayor en peces de aguas oceánicas por desarrollo evolutivo (Castro et al., 2013; Rischio y Prevenzione Investigators, 2010). Es necesario dar claridad que estos ácidos grasos icosapentaenoico (EPA) y el docosahexaenoico (DHA) solo están presentes en organismos acuáticos tales como algas y peces entre otros (Swanson et al., 2012), sus contenidos son muy altos en aceites de pescado marinos donde se puede encontrar en PUFAS entre un 25 a 30% de su contenido y también en harina de pescado donde se reportan hasta 8 de su contenido (Valenzuela et al., 2014; Valenzuela et al., 2012).

Los resultados encontrados revelan un contenido superior de los SFAS o saturados seguido de los MUFAS y por último los PUFAS, donde los contenidos de ω -3 fue inferior a los ω -6, los contenidos ω -3 fueron para el DHA $0,9\pm 0,1$, $1,6\pm 0,3$ y $1,1\pm 0,2$ para los tratamientos 1, 2 y 3 respectivamente, alfa-linolénico o ALN con contenidos entre $1\pm 0,0$ y $1,1\pm 0,0$ seguido por los ácidos ácido docosapentanoico (DPA) y ácido eicosapentanoico (EPA) ambos con valores entre $0,1\pm 0,0$ y $0,2\pm 0,0$. Por último la relación ω -6/ ω -3 al presentar bajos niveles de omega 3 fue de $5,6\pm 1,0$, $6,1\pm 0,4$ y $7,6\pm 0,4$ para los tratamientos 1, 2 y 3 respectivamente.

Céspedes y López (2015) reportaron para cachama blanca en cultivo tradicional ácidos grasos saturados SFAS entre 40 a 42%, MUFAS de 40 a 44% y poliinsaturados entre 15 a 17%, de los cuales el contenido de omega 6 era superior al de omega 3, también Barrero et al. (2012) presentaron perfil de ácidos grasos de *P. brachypomus* cultivada en biofloc y RAS donde encontraron la presencia de ácidos grasos del tipo SFAS y MUFAS en cantidades adecuadas para los dos sistemas pero con relación a sus PUFAS el tratamiento con biofloc reportó ausencia de los ácidos grasos del tipo ω -6 20:3 ω -6 y 22:2 ω -6 y del tipo ω -3 el ácido eicosatrienoico 20:3 ω -3 no obstante si presentó cantidades de 4,4% de DHA y 3,2 de EPA; con respecto a la relación ω -3/ ω -6 fue mayor en biofloc que en el sistema RAS.

3.6.4 Características sensoriales de los filetes de cachama blanca cultivada en biofloc

Diferentes autores han reportado diferencias en la calidad sensorial en peces cultivados y medio silvestre (Grigorakis, 2007) lo cual puede verse también entre sistemas intensivos como el biofloc o el RAS (Barrero et al., 2012). Es por ello que se hace necesario identificar la calidad sensorial del filete de cachama blanca en biofloc lo cual también ayudaría al posicionamiento de su carne en el mercado (Barrero et al., 2012). En la prueba sensorial que se realizó, las características fueron evaluadas en una escala de intensidad de 0 a 10. Son muy pocos los trabajos encontrados de evaluaciones sensoriales con escala de intensidad, la mayoría utilizan escalas hedónicas y por otra parte son también escasos los trabajos de evaluación sensorial de carne en cachama blanca.

En el presente estudio no hubo diferencia estadística significativa ($p > 0,05$) entre los tratamientos para ninguna característica sensoriales evaluadas, tampoco cuando se comparó con la muestra control de filetes de cachama blanca comercial. Autores como Valente et al. (2011) han afirmado que la carne en sistemas intensivos tiende a ser más firme y densa lo cual se vio evidenciado en este trabajo con los filetes. Las características sensoriales del filete de pescado como son el olor, sabor y textura dependen directamente de características del medio de cultivo en el que se produzcan, teniéndose resultados diferentes en sistemas semi intensivos que en intensivos (Valente et al., 2011; Grigorakis, 2007) y en medios ricos de nutrientes como es el biofloc especies como la cachama blanca puede expresar sus adecuadas características sensoriales para una aceptación buena por el consumidor.

Barrero et al. (2012) reportaron para *Piaractus brachypomus* cultivada en biofloc en una análisis sensorial por prueba hedónica en una escala de 1 a 9, resultados de olor con 6,07 (agradable), sabor característico, de 6,25 (agradable) y textura de la carne firme que cuando las comparó con otros sistemas de cultivo. Por otro Suárez et al. (2008) realizaron una prueba hedónica con una escala de 1 a 9 para filetes preservados de cachama híbrida, y reportaron para la característica aroma un valor de 8,8 a 9,0, sabor de 8,8 y una apariencia de 8,8. Lo que lleva a apreciar similitudes en las características sensoriales de olor y sabor característico y apariencia.

Una de las características de rechazo en el filete de cachama blanca son sus espinas intermusculares que pueden ocasionar rechazo en su consumo (Mesa y Botero, 2007). Con el tratamiento del sajado reportado por Suárez et al. (2008) los cortes facilitaron unos filetes sin rechazo por espinas intermusculares dando como resultado una aceptación del 100% por el panel de expertos en los tres tratamientos. Otra característica clara de rechazo en la carne de pescado son el “*off flavor*” y “*off odor*” los cuales se dan principalmente por actividad de algas y bacterias en los medios de cultivo (Hansen et al., 1996) y su presencia está asociada a el 2-metilisoborneol (MIB) y a la geosmina (GSM) compuestos que son sintetizadas por cianobacterias (Riquelme y Avendaño, 2003); estos dos metabolitos generan la presencia de fuertes olores y sabor en la carne (Tucker, 2000). Autores como Ma et al. (2015) describen que estas bacterias pueden ser eliminadas por bacterias del tipo heterotróficas presentes en el biofloc. El aumento de bacterias heterotróficas posibilita el aumento de diatomeas y restringe el desarrollo de

cianobacterias en el medio (Riquelme y Avendaño, 2003); otras bacterias como *Bacillaceae* son también eficientes en la degradación de GSM y MIB las cuales están presentes en la conformación microbiana del biofloc (Guttman y Van Rijn 2012; Boon et al., 2000). Es por ello que en el caso de los filetes evaluados no se reportó rechazó por el panel del expertos por presencia de sabores u olores indeseables en el filete de cachama blanca. Si bien este estudio no caracterizó la comunidad de microorganismos del biofloc, las características del mismo como estar bajo alto sombrero, relación C:N de 15:1 permitieron un biofloc de color café, indicador de una mayoría de bacterias heterotróficas sobre otras. La presencia de algas verdes o verde azules no fue evidenciada a la observación bajo microscopio de las muestras de biofloc.

3.6.5 Calidad nutricional del biofloc

La composición microbiológica y su proteína microbiana posicionan al BFT como un adecuado suplemento para peces y camarones. En dietas de Camarón marinos puede llegar a remplazar hasta el 40% del contenido proteico brindado por la harina de pescado sin afectar los parámetros zootécnicos de los individuos (Lujan y Chimbom, 2016). La composición nutricional del biofloc es variable y puede generar efectos nutricionales a nivel in situ o ex situ por su alto contenido de proteína microbiana que puede incluir comunidades microbianas heterotróficas y nitrificantes como *Nitrospira* sp., *Bacillus* sp., *Nitrobacter* sp., *Pseudomonas* sp.; además de otros microorganismos como levaduras y algas (Monroy et al., 2013). El BFT por la composición presenta bacterias heterotróficas y algas, las cuales son una fuente rica de vitaminas, minerales, y puede presentar efectos probióticos compuestos (Hargreaves, 2013), además de compuestos bioactivos, aminoácidos, ácidos grasos, promotores de la inmunidad, y promotores del crecimiento que es susceptible del consumo por filtración por las especies cultivadas e incorporarlas generando beneficios nutricionales (Pandey et al., 2014). Este trabajo presentó resultados de la composición nutricional del biofloc con el cultivo de cachama blanca *Piaractus brachypomus* respecto a su contenido proteico y al de su perfil de ácidos grasos.

La proteína del BFT es variable y puede encontrarse entre 25 a 45% de PC (Hargreaves, 2013). A nivel proteico, el comportamiento del biofloc presentó fluctuaciones de la PC con relación a su contenido, donde en el día 0 que fue donde se inició el cultivo se presentó

un valores de PC de $26,9\pm 2,2\%$, $23,8\pm 1,1\%$ y $26,5\pm 2,6\%$ para cada tratamiento respectivamente. En el día 36 se presentó una disminución $19,6\pm 2,5\%$, $18,6\pm 1,3\%$ y $20,4\pm 2,0\%$ para cada tratamiento y para el día 64 se encontró un $23,8\pm 0,6\%$, $22,3\pm 4,0\%$ y $24,8\pm 1,6\%$ para los tratamientos 1, 2 y 3 respectivamente. Estos cambios en el tiempo del contenido proteico llevan a sugerir que el contenido proteico es cambiante y que hace falta un estudio más profundo al respecto. En trabajos realizados por Bru, (2016) en cultivos de *P. brachypomus* en BFT analizó los contenidos proteicos en el BFT con dietas con proteína de origen animal con distinto contenido proteico de 16%, 24% y 32% y encontró proteína de $29,9\pm 3,4\%PC$, $29,2\pm 1,5\%PC$ y $36,0\pm 2,6\%PC$ respectivamente.

Los contenidos de grasa comúnmente en el BFT se encuentran en el rango de 1 a 15% de EE donde se pueden encontrar contenidos considerables de AGPI (Hargreaves; 2013). Con respecto al perfil de ácidos grasos del biofloc donde se cultivaron las cachamas *P. brachypomus*, resalta la ausencia de los ácidos grasos de gran relevancia como son los de la línea ω -3 o omega 3 el DPA, DHA y EPA y solo presencia del ácido graso ALN con 0,93, 0,8 y 0,58% para los tratamientos 1, 2 y 3 respectivamente. A nivel global se obtuvo un mayor porcentaje de MUFAS entre 39,3 y 45%, seguido por los SFAS con porcentajes entre 34,1 y 39,4% y por último los ácidos grasos poliinsaturados con un contenido entre 18,7 y 21,3%. La ausencia de omegas del tipo 3 pudo estar debida a las condiciones de sombrero y a la relación C:N 15:1 empleadas en las unidades de cultivo del biofloc LAMAFISH 02 lo cual contribuyó a la formación de un medio heterotrófico donde no se dan o se controlan las altas concentraciones de algas principalmente por la ausencia de luz y su necesidad de hacer fotosíntesis por tanto al ser los microorganismos que aportan ácidos grasos poliinsaturados DHA y EPA no se presentaron contenidos en el perfil de ácidos grasos. Dentro de los microorganismos acuáticos, algunos como las microalgas *Schizochytrium SP*, *Phaeodactylum tricornutum* o *Isochrysis galbana*, acumulan EPA y DHA en su citoplasma como triglicéridos y como fosfolípidos de sus membranas plasmática y retículos (Burri et al., 2012; Fradique et al., 2013; Valenzuela et al., 2015). Algo a discutir es la particularidad de que el biofloc solo tuviera el ácido graso ALN, esto puede explicarse debido a que a diferencia del DHA y EPA, el ALN está sólo presente en organismos vegetales de origen terrestre semillas y frutos de oleaginosas (Swanson et al., 2012) los cuales estaban presentes en el alimento suministrado a las cachamas en el cultivo y por tanto es el único presente del AG de la línea ω -3. Los ácidos grasos EPA y DHA son ácidos grasos poliinsaturados de cadena

larga que resultan de procesos de elongación y desaturación por enzimas del ácido graso precursor alfa-linolénico ALN 18:3 ω -3, el cual en su catálisis se transforma primero en EPA y posteriormente en DHA (Brenna et al., 2009; Calder, 2012).

3.7 Conclusiones

La calidad del filete de cachama blanca cultivada en biofloc presentó características microbiológicas y organolépticas óptimas para el consumo humano, donde las tres fuentes proteicas del 24% de PC usadas en el alimento mostraron generar resultados similares en el desarrollo y características de los filetes analizados.

La prueba de calidad sensorial de los filetes presentó una aceptación del 100% en todos los casos por el panel de expertos mostrando que bajo las condiciones experimentales es posible obtener un filete con adecuadas características sensoriales para el consumidor.

Entre los tratamientos con torta de soya, harina de pescado y espirulina no se presentaron diferencias significativas ($P>0,05$) ni cambios relevantes entre las cachamas blancas cultivadas en el biofloc; con respecto a su contenido de aminoácidos y perfil ácidos grasos.

Los filetes de cachama blanca cultivada en biofloc presentan características organolépticas muy similares a las presentadas por los filetes cultivadas en otros sistemas de producción.

3.8 Bibliografía

1. Abad, D., Rincón, D., Poleo, G. (2014) Índices de rendimientos corporales en morocoto *Piaractus brachypomus* cultivado en sistemas biofloc. *Zootecnia Trop.* 32(2):119-130.
2. Acuña, R.M.J. (2013). Fish farming, composition, comparison with meats of habitual consumption. Advantages of fish consumption. Buenos Aires. *Diaeta* 31(143):26-30.
3. Aquerreta, Y., Astiasarán I., Bello, J.(2002). Use of exogenous enzymes to elaborate the Roman fish saucegarum. *Journal of science of food agriculture*, ISSN: 0022-5142. 82,1:107-112.
4. Avnimelech, Y. (2009). *Biofloc Technology - A practical Guide Book*. The World Aquaculture Society. 272.
5. Barrero, M., Paredes, A., Romero, O., Poleo, G.(2012). Proximate composition and flesh quality of red bellied pacu, *Piaractus bracypomus*, cultured in two different closed system. *Agronomía Tropical* 30(3):263-268.
6. Boon, N., Goris, J., De Vos, P., Verstraete W., Top, EM. (2000). Bioaugmentation of activated sludge by an indigenous 3-chloroaniline-degrading *Comamonas testosteroni* strain, I2gfp. *Appl Environ Microbiol.* 66, 2906–2913.
7. Brenna, J., Carlson, S. (2014). Docosaheptaenoic acid and human brain development: Evidence that dietary supply is needed for optimal development. *J Hum.* 77, 99-106.
8. Brenna, J., Salem, N., Sinclair, A., Cunnane, S. (2009). Alpha-Linolenic acid supplementation and conversion to ω -3 long-chain polyunsaturated fatty acids in humans. *Prostaglandins, Leukot Essent Fatty Acids* 80, 85-91.
9. Burri, L., Hoem, N., Banni, S., Marine.(2012). Marine Omega-3 phospholipids: metabolism and biological activities. *Int J Mol Sci.* 13, 15401-19.
10. Bru S.B.C. (2016) Cultivo en suspensión activa (Bioflocs): Una alternativa para la piscicultura urbana. Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.
11. Calder, P. (2012). Omega-3 polyunsaturated fatty acids and inflammatory processes: nutrition or pharmacology. *Brit. Jour. Clin. Pharmacol.* 75,645-662.

12. Castro, G.M.I., Maafs, R.A.G., Galindo, G.C. (2013). Perfil de ácidos grasos de diversas especies de pescados consumidos en México. *Rev. biol.* 61(4):1981-1998. ISSN 0034-7744.
13. Castro, G.M.I., Pérez, G.R.F. (1998). Vitaminas y minerales del atún aleta amarilla (*Thunnus albacares*) del Pacífico mexicano enlatado en aceite. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, Venezuela: SCIELO 48,3:265-268.
14. Céspedes, Z.C.A., López V.J.H. (2015). "Caracterización proximal y perfil de ácidos grasos de la cachama blanca (*Piaractus brachypomus*)" En: Colombia Encuentro Nacional de Investigación y Desarrollo. 2,1-6.
15. Cerra, F. (1987). The hypermetabolism organ failure complex. *World J Surg.*;11:173-81.
16. Chaverra, G.S:C.(2016). Contribución del biofloc como fuente de carbono y nitrógeno para el crecimiento de juveniles de Cachama blanca (*Piaractus brachypomus*). Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.
17. Crab, R., Defoirdt, T., Bossier, P., Verstraete, W. (2012). Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture* 356–357):351–356.
18. Cruz, C.P.E., Medina, V.M., Velasco, Y.M. (2011) Fish farming of native species in Colombia: current situation and perspectives. *Aquacult Res.*; 42: 823-831.
19. Dallongeville, J. (2003). Fish consumption is associated with lower heart rates. *Circulation* 108(7):820-825.
20. Davis, A. (1970). Lets eat right to keep fit. New York. Signet Books. 37-38.
21. Emerenciano, M., Cuzon, G., Arevalo, M., Gaxiola, G. (2014). Biofloc technology in intensive broodstock farming of the pink shrimp *Farfantepenaeus duorarum*: spawning performance, biochemical composition and fatty acid profile of eggs. *Aquaculture Research* 45, 1713–172.
22. FAO. (2016). The state of world fisheries and aquiculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

23. FAO. (2014). The state of world fisheries and aquiculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations
24. Fradique, M., Batisra, A., Nunes, M., Gouveia, L., Bandarra, N., Raymundo, A. (2013). Isochrysis galbana and Diacronema vilkaianun biomass in pasta products as PUFA's source. Food Sci. Nutr. Technol. 50,312-319.
25. García, O., Acevedo, I., Ruíz, R.J.(2013).Proximate analysis, and microbiological and sensory evaluation of hamburger patties elaborated with red-bellied pacú (*Piaractus brachypomus*) and textured soy (*Glycine max*).Rev. Venez. Cienc. Technol. Aliment. 4(2): 219-236.
26. González, S., Flick, G.J., O Keefe, S.F., Duncam, S.E., McLean, C.S.R. (2006). Composition of farmed and wild yellow perch (*Perca flavescens*). Journal of Food Composition and Analysis 19,720-722.
27. Grigorakis, K. (2007). Compositional and organoleptic quality of farmed and wild gilthead sea bream (*Sparus aurata*) and sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and factors affecting it: A review. Aquaculture 272,55-75.
28. Guttman, L., Van Rijn, J. (2012). Isolation of bacteria capable of growth with 2-Methylisoborneol and geosmin as the sole carbon and energy sources. Appl. Environ. Microbiol. 78,363–370.
29. Hansen, T.L., Gil, T., Rontved, S.D., Huss, H.H. (1996). Importance of autolysis andmicrobiological activity on quality ofcold-smoked salmon. Food Res. Intern. 29: 181–188.
30. Hargreaves, J.A. (2013). Biofloc production system for aquaculture. Southern Regional. Aquaculture Center, Stoneville, MS, Sarc publication. N° 4503.
31. Harris, W.S. (2004). Fish oil supplementation: evidence for health benefits. Cleve. Clin. J. Med. Mar. 71(3):208-215.
32. Huss, H. (1998). El pescado fresco, su calidad y cambios de calidad.FAO, documento técnico de pesca N° 348. 202.
33. ICONTEC. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación Norma Técnica Colombiana. (2006). NTC 5443. productos de la pesca y la acuicultura. buenas prácticas de proceso y comercialización de las especies acuícolas, cachama, tilapia y trucha. especificaciones. Primera actualización.

34. Iglesias, R.C., Gómez, C.C. (2011). El pescado en la dieta. Nutrición y Salud. Departamento de enfermería. Universidad Complutense de Madrid. Capítulo V. 69-80.
35. Izquierdo, C.P., Torres, F.G., Barboza, de M.Y., Márques, S.E., Allara C.M. (2001). Análisis proximal, perfil de ácidos grasos, aminoácidos esenciales y contenido de minerales en doce especies de pescado de importancia comercial en Venezuela. Revista Científica FCV- LUZ 9(2): 95-100. ISSN 0004-0622.
36. Jafari, S.M.A., Rabbani, M., Emtiazjoo, M., Piryaeei, F. (2014). Effect of dietary *Spirulina platensis* on fatty acid composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillet. Department of Marine Chemistry, Faculty of Marine Science and Technology, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran 1307-1315.
37. Kant, A.K. (2004). Dietary patterns and health outcomes. J. Am. Diet. Assoc. 104(4):615-635.
38. Kaushik, S.J. (1998). Whole body amino acid composition of European seabass (*Dicentrarchus labrax*), gilthead seabream (*Sparus aurata*) and turbot (*Psetta maxima*) with an estimation of their IAA requirement profiles, Aquatic Living Resources 11(59):355–358.
39. Lujan, M.M.B., Chimbor, M.C. (2016). Bioflocs: Tendencia en la producción acuícola sustentable. Informe de Vigilancia tecnológica. Aquahoy informes.
40. Ma, N., Luo, G., Tan, H. Li, L., Wang, X. (2015). Removal of geosmin and 2-methylisoborneol by bioflocs produced with aquaculture waste. Journal Microbiol Biotechnol. 26(8):1420-7
41. Merino, M.C., Bonilla, S.P., Bages, F. (2013). AUNAP. Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca. Diagnóstico del estado de la acuicultura en Colombia. Bogotá, Colombia.
42. Mesa, G.M.N.; Botero, A.M. (2007). La cachama blanca (*Piaractus brachypomus*), una especie potencial para el mejoramiento genético. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias 20(1):79-86.
43. Mohanty, B.P. (2011). "Fish as health food," in Handbook of Fisheries and Aquaculture, S. Ayyappan, U. Moza, A. Gopalkrishnan et al., Eds. ICAR-DKMA, New Delhi, India, 2nd edition. 843–861.

44. Monroy, M., De Lara, R., Castro, J., Castro, G., Emerenciano, M. (2013). Microbiology community composition and abundance associated to biofloc in tilapia aquaculture. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 48(3): 511-520.
45. Mughan P.J. (2005) Dietary Protein Quality in Humans-An Overview. *J AOAC Int*; 88:874-876.
46. NRC, National Research Council. (2012). *Nutrient Requirements of Swine. Eleventh Revised Edition.* National Academic Press, Washington, D.C. 20418 USA.
47. Oliver, C., Everard, M., N'Diaye, T. (2010). Omega-3 fatty acids (from fish oils) for cystic fibrosis (Review). Copyright. The Cochrane Collaboration. Published by John Wiley & Sons, Ltd.
48. Pandey, P. Bharti, V., Kumar, K. (2014). Biofilm in aquaculture production. *African Journal of Microbiology Reserch.* 9:1434-1443.
49. Quesada, J.M., Sosa, M. (2011). Nutrición y osteoporosis. Calcio y vitamina D. *Rev. Osteoporos. Metab. Miner.* 3:165-82.
50. Riquelme, C., Avendaño, H. (2003). Interacción bacteria-microalga en el ambiente marino y su potencial uso en la acuicultura. *Revista Chilena de Historia Natural* 76,725-736.
51. Rischio and Prevenzione Investigators. (2010). Efficacy of n3 polyunsaturated fatty acids and feasibility of optimizing preventive strategies in patients at high cardiovascular risk: rationale, design and baseline characteristics of the Rischio and Prevenzione study, a large randomized trial in general practice. *Trials*, 11,68.
52. Sabino, P., Patiño, J.F. (2016). Metabolismo y nutrición del paciente en estado crítico. *Rev Colomb Cir.* 31:108-27.
53. Suárez, M.H., Pardo, C.S.C., Cortés, R.M., (2009). Calidad físico química y atributos sensoriales de filetes sajados biopreservados de cachama, empacados al vacío bajo refrigeración. *Rev. Colom. Cienc. Pecu.* 21(3):330-339.
54. Shiwaku, K., Hashimoto, M., Nogi A., Kitajima, K., Yamasaki, M. (2004). Traditional Japanese dietary basics: a solution for modern health issues. *363(9422):1737-8.*

55. Swanson, D., Block, R., Mousa, S. (2012). Omega-3 fatty acids EPA and DHA: Health benefits throughout life. *Adv. Nutr.* 3,1-7.
56. Toro, G.J., Yepes, S.M., Palacios, E. (2010). *Neurología. (2da Edición). Manual Moderno LTDA. Bogota.* 53.
57. Tucker, C.S. (2000) Off-flavor problems in aquaculture. *Rev. Fish Sci.* 8:45–88
58. Valente, L.M.P., Cornet, J.C., Donnay, M.C., Gouygou, J.P., Bergé, J.P., Bacelar, M., Escorcio, C., Rocha, E., Malhão, F., Cardinal, M. (2011). Quality differences of gilthead sea bream from distinct production systems in Southern Europe: Intensive, integrated, semi-intensive or extensive systems. *Food Control*: 708-717.
59. Valenzuela, B.A., Sanhueza, C.J., Valenzuela, B.R. (2015). Microalgae: A renewable source for obtaining omega-3 long-chain fatty acids for human and animal nutrition. *Rev. Chil. Nutr.* 42(3):306-310.
60. Valenzuela, A., Valenzuela, R., Sanhueza, J., De la Barra, F., Morales, G. (2014). Fosfolípidos de origen marino: una nueva alternativa para la suplementación con ácidos grasos omega-3. *Rev. Chil. Nutr.* 41,433-8.
61. Valenzuela, A., Sanhueza, J., De la Barra, F. (2012). El aceite de pescado: ayer un desecho industrial, hoy un producto de alto valor nutricional. *Rev. Chil. Nutr.* 39: 201-9.
62. Vásquez, T.W. (2004). Principios de nutrición aplicada al cultivo de peces. IALL Instituto de Acuicultura de los Llanos. Universidad de los Llanos. Villavicencio, Colombia. Ed. Pablo XXIII. 22p.
63. Vásquez, T.W. (2001). Exigências de proteína, gordura e Carboidratos em dietas para crescimento de juvenis de pirapitinga, *Piaractus brachypomus*. Univerisdade do Amazonia-UA, Instituto Nacional De Pesquisas Da Amazonia- INPA.
64. Villarino, M. A.L., Moreno, P.P., Ortuño, S.I. (2011). El pescado en la dieta. Nutrición y Salud. Departamento de enfermería. Universidad Complutense de Madrid. Capítulo IV. 51-65.
65. Wilson, R.P. (2002). Amino acid and proteins. In: Halver, J.E.; Hardy, R.W. (Ed.). *Fish nutrition.* 3rd ed. San Diego: Academic Press 49,17.
66. Wu, G. (2009) Review. Amino acids: metabolism, functions, and nutrition. *Rev. Amino Acids*, 37:1–17.

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

La fuente de proteína utilizada en las dietas no afectó negativamente los parámetros de desempeño productivo de la cachama blanca cultivada en el biofloc, presentándose una sobrevivencia del 100% de los individuos.

El cultivo de cachama blanca en biofloc es una alternativa viable de producción con el uso de materias primas vegetales como la torta de soya y otras fuentes alternativas que presenten continuidad en el mercado y maneje precios ajustados inferiores a la harina de pescado.

La calidad de filete de cachama blanca *Piaractus brachipomus* cultivada en biofloc es aceptable en sus características microbiológicas, organolépticas y químicas. En su composición los filetes no presentaron diferencias entre tratamientos, ni en contenidos proteicos ni lipídico y en su evaluación sensorial presentaron una aceptación del 100%.

4.2 Recomendaciones y nuevas hipótesis

Son pocos los estudios realizados de cachama blanca en biofloc donde se logre una caracterización de los componentes del sistema en este caso el desempeño y la calidad de filete de sus peces y del biofloc. Es necesario entonces realizar más investigaciones con esta especie ya que ha demostrado adaptación a este sistema intensivo de producción y donde los usos de proteína animal sean mínimos.

Es necesario investigar la composición microbiológica del biofloc de los cultivos de cachama blanca y buscar diferencias en su micro biota con otras especies de cultivo ya producidas en biofloc como es el caso de la tilapia nilótica.

A partir de los resultados del presente estudio se puede lanzar una nueva hipótesis. La diferencia con otros estudios en los cuales se uso espirulina con resultados positivos para desempeño productivo y para el sistema inmune, es el medio de cultivo, el biofloc. Es probable que sea el medio de cultivo en biofloc lo que se convierte en un elemento nivelador de las condiciones de cultivo, generándose de esta forma resultados sin diferencia entre tratamientos. ¿Será que el biofloc suministra nutrientes que la dieta no hace? Será que esa proteína de origen microbiano, en algunas circunstancias otorga beneficios que desconocemos?