

Universidad Autónoma de Baja California
Instituto de Investigaciones en Ciencias veterinarias.



“Evaluación de crecimiento y parámetros hematológicos de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultivada en sistema de biofloc de alta densidad y alimentada con sustitución parcial de la dieta por cebada malteada”.

TESIS

Para la obtener el título de Médico Veterinario Zootecnista

Presenta:

Fernanda Oliva Espino

Director de tesis:

Dr. Miguel Arturo Cabanillas Gámez.

Mexicali, Baja California a octubre del 2025

Evaluación del crecimiento y parámetros hematológicos de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultivada en sistema de biofloc de alta densidad y alimentada con sustitución parcial de la dieta por cebada malteada

Tesis realizada por Fernanda Oliva Espino bajo la dirección del Comité Revisor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el título de:

Médico Veterinario Zootecnista

Director de tesis:

Dr. Miguel Arturo Cabanillas Gámez

Asesor:

Dra. Sawako Oshima

Asesor:

Dr. Gerardo E. Medina Basulto

Asesor:

Dr. José Carlomán Herrera Ramírez

Asesor:

Dra. Yissel Sacnigte Valdes García

Mexicali, Baja California a octubre del 2025

Agradecimientos

Quiero agradecer a las personas que contribuyeron durante mi carrera universitaria. A mi familia que fueron una fortaleza y apoyo constante durante este proceso y en particular a mis abuelos, J. Juan Oliva de la O y Concepción Espino Luevano, que sin su apoyo incondicional a lo largo de mi vida no podría haber llegado tan lejos, sus consejos y sabiduría siempre estarán presentes a lo largo de mi vida.

Le agradezco a mi instituto, que siempre formó parte de mi desarrollo y crecimiento como estudiante, además de brindarme grandes oportunidades para desarrollarme como profesional. Así como un particular agradecimiento y aprecio al Laboratorio de Investigación en Organismos Acuáticos del Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias que me apoyó y ejerció una gran influencia en mi desarrollo profesional, así como grandes amistades que siempre estuvieron presentes durante y después de la culminación de este proyecto.

Agradezco a mi asesor, por ser, no solamente parte importante en el desarrollo de este proyecto de titulación, sino de formar parte de mi etapa final de formación profesional, siempre apoyando este proyecto y dando su tiempo para estar presente durante el proyecto. Y en particular, por enseñarme, en el cotidiano y en particular en el Laboratorio de Investigación en Organismos Acuáticos, como ser una persona responsable y capaz de realizar mis metas siempre con el apoyo de personas capaces, pasando grandes momentos a la vez. Finalmente, agradecer a todas aquellas personas que contribuyeron de alguna manera para la realización de esta investigación.

Contenido

Lista de Cuadro.....	i
Lista de Figuras.....	ii
Introducción.....	1
Revisión de Literatura.....	2
Acuicultura.....	2
Acuicultura en México.....	2
Características de la especie.....	3
Sistema de cultivo en biofloc.....	4
Fuentes de proteína en la alimentación de peces.....	6
Hematología y química sanguínea de los peces.....	8
Justificación.....	12
Objetivos.....	12
Objetivo general.....	12
Objetivos específicos.....	12
Metodología.....	13
Lugar y tiempo de experimentación.....	13
Diseño experimental.....	13
Maduración del biofloc.....	13
Sistema de cultivo experimental.....	15
Muestreo de organismos.....	17
Parámetros de crecimiento.....	22
Parámetros hematológicos.....	26
Hematocrito (Hct).....	26
Hemoglobina (Hb).....	26
Niveles plasmáticos de glucosa (Gluc), proteínas totales (TP), albúmina (Alb) y relación albúmina-globulina (Alb:Glob).....	29
Glucosa.....	29
Proteínas totales.....	29
Albúmina.....	31
Relación Alb:Glob.....	31
Resultados.....	32
Calidad del agua.....	32
Parámetros de crecimiento.....	32
Parámetros hematológicos.....	36
Discusión.....	38

Conclusión	42
Referencias.....	43

Lista de Cuadro

Cuadro		Pág.
1	Cantidad (g) de ingredientes utilizados para la realización del fermentado para la maduración del biofloc.....	14
2	Cantidades de ingredientes utilizados para la preparación del fermento de mantenimiento del biofloc durante el bioensayo y su incremento durante las semanas del experimento.....	16
3	Parámetros de calidad del agua del cultivo en biofloc de juveniles de la tilapia <i>O. niloticus</i> alimentadas con sustitución parcial de la dieta por cebada malteada fermentada.....	33
4	Parámetros de crecimiento. Peso corporal inicial (PI), peso corporal final (PF), peso ganado (PG), tasa de conversión alimenticia (TCA), tasa de crecimiento relativo (TCR), tasa de crecimiento específico (TCE) y tasa de eficiencia proteica (TCP) de tilapias stirling juveniles cultivadas en biofloc y pienso con sustitución parcial de la dieta por cebada malteada.....	34
5	Parámetros hematológicos. Hemoglobina (Hb) y hematocrito (Hct) en sangre y niveles plasmáticos: glucosa (Glu), proteínas totales (TP), albúmina (Alb), globulinas (Glob) y relacion Alb:Glob de juveniles de tilapias stirling (<i>O. niloticus</i>) cultivadas en biofloc y alimentados con sustitución parcial de la dieta por cebada malteada.....	37

Lista de Figuras

Figura		Pág.
1	Oxígeno disuelto (mg/L) obtenido durante el cultivo en biofloc de la tilapia con sustitución parcial de la dieta por cebada malteada fermentada.....	18
2	Temperatura (grados centígrados) obtenido durante el cultivo en biofloc de la tilapia con sustitución parcial de la dieta por cebada malteada fermentada.....	19
3	Salinidad (ppm) obtenido durante el cultivo en biofloc de la tilapia con sustitución parcial de la dieta por cebada malteada fermentada.....	20
4	Toma de muestra sanguínea y peso de los organismos.....	21
5	Tubos de microhematocrito colocadas en la centrifugadora (Centrífuga-Eppendorf 5415R).....	23
6	Evisceración de organismos para la obtención de muestras biológicas.....	24
7	Empaquetado de las muestras para estudio posteriores de actividad enzimática y composición proximal.....	25
8	Determinación del porcentaje de hematocrito utilizando el lector capilar de microhematocrito (KS-READER-A).....	27
9	Lector Hach Dr-5000 (Pointe Scientific).....	28
10	Lector de microplacas (Thermo Scientific Multiskan SkyHigh) con muestras de los organismos del bioensayo.....	30

Introducción

La acuicultura es la producción de organismos acuáticos, incluidos peces, moluscos, crustáceos y plantas acuáticas, la cual se desarrolla en condiciones controladas, ya sea de la totalidad o una parte del ciclo de vida del organismo a cultivar (Tlusty, 2020).

Actualmente existe una gran diversidad de especies acuícolas con potencial de cultivo y entre estas especies se contempla a la tilapia (género *Oreochromis*), cuyas características (rusticidad, alta sobrevivencia y rápido crecimiento), le confieren una gran capacidad de crianza y adaptación a diferentes tecnologías de cultivo (Medri et al., 2009).

Una de las más recientes tecnologías de cultivo de peces es el biofloc, el cual consiste en un sistema cerrado para la cría de organismos acuáticos basado en el reciclaje de nutrientes y su conversión en hojuelas microbianas, generando un alimento natural endógeno para los organismos en producción; estimulando el crecimiento de bacterias heterótrofas, que transformaran el amoníaco en flóculos microbianos (Mota et al, 2020).

En los últimos años, se ha presentado un crecimiento de la población humana y, en consecuencia, un incremento en el consumo per cápita de productos de origen marino, lo cual ha requerido de un incremento en la escala de la producción acuícola (Little et al., 2016).

Este incremento ha creado una fuerte presión sobre el suministro de recursos alimentarios como la harina de pescado, para apoyar la producción de organismos acuáticos, buscando alternativas que permitan un crecimiento continuo para el cumplimiento de los objetivos de producción (Suehs y Gatlin, 2022).

En este contexto, la cebada malteada fermentada, que es uno de los subproductos que se generan durante la elaboración de cerveza, ha sido utilizada en la elaboración de alimentos para la acuicultura por su alto contenido de proteínas y aminoácidos esenciales (Karlsen y Skov, 2022).

Por lo anterior y considerando que no existen suficientes estudios disponibles, el objetivo del presente trabajo, es evaluar el crecimiento y los parámetros hematológicos de la tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultivada en un sistema intensivo de biofloc de alta densidad y alimentada con sustitución parcial de la dieta por cebada malteada fermentada.

Revisión de Literatura

Acuicultura

La palabra “acuicultura” designa el cultivo de animales y plantas acuáticas en agua dulce, salobre y marina, que puede ser utilizado de formas más específicas para indicar técnicas (estanques, canalización, jaulas, corrales), organismos cultivados (peces, crustáceos, moluscos, algas), entornos (agua dulce, salada, marina) o características del medio (agua fría, cálida, tierras altas o bajas, estuarios), siendo apropiado usar técnicas restrictivas en estos casos (Pillay y Kutty, 2005).

El arte del cultivo de organismos acuáticos mediante métodos controlados, permite al productor gestionar todas las fases del proceso desde la selección de reproductores para obtener “semillas” (silvestres o cultivadas) hasta el crecimiento controlado (reproducción, larvicultura, pre-engorda y engorda final) o bien enfocarse solo en las etapas finales utilizando semillas de otros productores (Luchini y Panné, 2008).

Este tipo de producción acuícola es llevada a cabo a través de un sistema de cultivo que, al igual que en otras producciones, están determinadas por diferentes factores como lo son: la densidad de organismos por metro cuadrado o cúbico, el tipo de alimentación (natural o artificial), el flujo del agua, la tecnología empleada, el capital a invertir, especie acuática a producir, entre otros factores. Por lo tanto, dependiendo del grado de tecnificación que sea utilizada para la producción y crecimiento de organismos acuáticos los podemos dividir en sistemas: extensivo, semi-intensivo, intensivo, a su vez, en las ocasiones donde se produce camarón, tilapia y trucha pueden llegar a utilizarse sistemas hiperintensivos (SADER, 2022).

Por lo tanto, la acuicultura cuenta con ventajas diferentes a la pesca tradicional al ofrecer producción controlada, trazabilidad, productos de mayor calidad y cosechas ajustadas a la demanda (parciales o totales), permitiendo un aprovechamiento sustentable y rentable al realizar una planificación adecuada (Luchini y Panné, 2008).

Acuicultura en México

México posee una extensión territorial de 1,964,375 km², con una superficie continental de 1,959,248 km² e insular de 5,127 km², ostentando a su vez una gran

variedad de sistemas costeros y marinos dentro de sus aguas territoriales: 12,500 km² de superficie de lagunas costeras y esteros y 6,500 km² de aguas interiores como lagos, lagunas, represas y ríos. Asimismo, se cuenta con 160 sistemas lagunares costeros con una superficie aproximada de 1,277,904 ha. Los recursos naturales antes descritos, así como la ubicación geográfica privilegiada con los que cuenta México le confieren un gran potencial para el desarrollo del sector pesquero y acuícola (SEGOB, 2020).

Actualmente, las principales especies de acuicultura en México son el camarón (261 mil 958 toneladas), mojarra tilapia (101 mil 749 toneladas) y los principales estados productores son Sinaloa y Nayarit. De manera general, la producción acuícola en México se lleva a cabo en 23 de los 32 estados de la república, siendo los principales productores: Morelos, Nayarit, Jalisco, Veracruz y Yucatán, donde Morelos es considerado como el productor más importante con alrededor de 30 millones de peces anuales divididos en 62 especies diferentes, siendo 70% de la producción total destinada a la exportación (SADER, 2022).

En México, el cultivo de especies ha alcanzado niveles de desarrollo que van desde una escala experimental (como en el caso del pescado blanco, mojarra nativa, abulón, callo de hacha y caracol), hasta la producción comercial de otras especies (bagre, tilapia, carpa, trucha, camarón y langostino) (SADER, 2022).

La pesca y acuicultura contribuyen de manera importante para el logro de la seguridad alimentaria de los mexicanos mediante el abasto de pescados y mariscos para satisfacer la demanda interna, contribuyendo en el crecimiento y estabilidad como parte de la alimentación para más de 290 mil familias de pescadores en todo el país (Montero, 2021).

Características de la especie

Las tilapias (familia *Cichlidae*) son nativas de África, estas fueron introducidas a México en 1964 procedentes de Estados Unidos, mantenidas primeramente en la Estación Piscícola de Temascal, Oaxaca. Es una especie de gran importancia en la producción de proteína animal en aguas tropicales y subtropicales de todo el mundo, particularmente en los países en desarrollo (IMIPAS, 2018).

El comportamiento reproductivo por el cual se han caracterizado las tilapias del género *Oreochromis* es que ellas pueden llevar a cabo su actividad sexual

durante todo el año teniendo condiciones ambientales favorables. Por lo tanto, la maduración sexual se ha observado a una edad de cinco a seis meses en las hembras y en los machos a una edad entre 4-6 meses, además que se considera que otro factor importante a considerar en la maduración sexual es la ganancia de peso durante su crianza, logrando dar inicio con el desove contando con un peso de 100g. Una vez alcanzada esta etapa y que el macho haya preparado el área creando un “nido” para la hembra, esta dará inicio con el desove de huevecillos, siendo esta una actividad que será repetitiva entre 8 y 12 veces al año (IMIPAS, 2018; Reyes-Trigueros et al., 2023).

Una vez que los huevecillos depositados por la hembra son fertilizados por el macho, la hembra los colocara dentro de su noca (incubadora bucal) para mantenerlos por una o dos semanas aproximadamente hasta que las crías eclosionan y salen de la boca de su madre. Se estima que una hembra con un peso de 100 g podrá desovar un aproximado de 100 huevos (Reyes-Trigueros et al., 2023).

De acuerdo a sus hábitos alimenticios, es considerada una especie omnívora, presentando una alimentación que abarca desde fitoplancton, plantas acuáticas, algas, zooplancton, detritus, invertebrados, pequeños insectos y organismos bentónicos (IMIPAS, 2018).

En la actualidad, es uno de los vertebrados acuáticos mayormente cultivados, esto gracias a sus características de rápido crecimiento, resistencia a enfermedades, elevada productividad, tolerancia a condiciones de alta densidad, capacidad de sobrevivencia a bajas concentraciones de oxígeno y a diferentes salinidades (organismos eurihalinos), además de la aceptación de una amplia gama de alimentos naturales y artificiales (González-Huerta et al., 2021).

Sistema de cultivo en biofloc

El sistema biofloc representa una alternativa innovadora y eficiente frente a los métodos convencionales de acuicultura (sistemas en jaulas, estanques, recirculación, etc.), al enfocarse en la optimización de la nutrición y el manejo de la calidad del agua, reduciendo costos asociados al alimento y promoviendo una producción sostenible. Este sistema se basa en una comunidad de microorganismos, como bacterias, algas y protozoos, que interactúan formando una matriz suspendida en la columna de agua. Esta matriz mejora la calidad del

agua, facilita el tratamiento de desechos y contribuye a la prevención de enfermedades, características esenciales en la acuicultura intensiva (El-Sayed, 2020; Gálvez-Cantero et al., 2022).

El biofloc se desarrolla mediante una red trófica iniciada por microorganismos heterótrofos que fijan carbono a partir de partículas orgánicas en el agua. Este proceso involucra la biosíntesis microbiana y la inmovilización de nitrógeno inorgánico, aspectos que dependen de una correcta relación carbono: nitrógeno (C:N). La adición de fuentes externas de carbono ayuda a mantener una proporción adecuada de C:N, favoreciendo el desarrollo de bacterias beneficiosas que reducen la toxicidad del amoníaco, uno de los principales compuestos de desecho en los cultivos acuícolas (Jamal et al., 2020; Oliveira et al., 2022).

Factores como la temperatura, el oxígeno disuelto, el pH, la luz y la carga orgánica afectan el desempeño del sistema. Altas temperaturas y niveles de oxígeno favorecen la formación de flóculos más densos y grandes, que son fácilmente consumidos por especies como el camarón y la tilapia, capaces de aprovechar la proteína microbiana del biofloc (Gálvez-Cantero et al., 2022).

Sin embargo, es esencial evitar la sedimentación de sólidos que pueden generar zonas anaeróbicas liberando compuestos como metano y amoníaco, lo que impacta negativamente la calidad del agua. Por ello, es indispensable un sistema eficiente de aireación que mantenga los sólidos suspendidos y satisfaga la alta demanda de oxígeno del biofloc (Choo y Caipang, 2015).

La tilapia destaca como una de las especies más cultivadas en sistemas biofloc debido a su capacidad para consumir flóculos como fuentes de proteínas adicional. Estudios recientes han demostrado que, bajo una relación C:N de 20:1 y con adición de probióticos como *Bacillus subtilis* y *Lactobacillus acidophilus*, el biofloc mejora la calidad del agua al reducir el nitrógeno tóxico y promueve un mejor desarrollo intestinal en los peces. Esto resulta en una mayor eficiencia alimenticia, lo que permite obtener cosechas de hasta 3,000 kg/ha en estanques bien manejados y reduce significativamente la necesidad de alimentos formulados (Choo y Caipang, 2015; El-Sayed, 2020; Haraz et al., 2023).

Además de los beneficios económicos y ambientales, el sistema biofloc permite a los peces acceder a una biopelícula microbiana rica en proteínas, cuya calidad nutritiva es comparable a las de los alimentos naturales, disponibles en su hábitat. Esto no solo mejora el rendimiento de los cultivos, sino que también

representa una alternativa sostenible frente a los sistemas tradicionales que enfrentan desafíos relacionados con el uso intensivo de recursos, a la generación de efluentes y la propagación de enfermedades (Emerciano et al., 2021; Gálvez-Cantero et al., 2022).

En resumen, el cultivo en biofloc es una solución integral que combina sostenibilidad, eficiencia económica y beneficios ambientales, siempre y cuando se mantengan adecuadamente las condiciones del sistema y se seleccionen especies aptas para aprovechar los flóculos como recurso alimenticio.

Fuentes de proteína en la alimentación de peces

La alimentación es considerada como el componente más costoso en la industria de la acuicultura intensiva (más del 50% de los costos operativos), siendo uno de los principales retos en la formulación de dietas para los peces el requerimiento de un alto contenido de proteínas para lograr el máximo rendimiento de los organismos, proporcionando: aminoácidos esenciales y energía (El-Sayed, 2020).

En la formulación de dietas para los peces, la proteína predomina como el componente más importante, considerando que el coeficiente de digestión general de la dieta depende de la disponibilidad de una fuente de proteína de calidad. Su incorporación a las dietas formuladas debe estar en una proporción óptima con los componentes energéticos presentes en las mismas; considerando lo anterior, la harina de pescado ha sido la fuente de proteína dietética preferida para muchas especies de peces y camarones de cultivo debido a su equilibrio de aminoácidos, contenido de vitaminas, palatabilidad y grandes cantidades de energía por unidad de peso (Reymend y Pagare, 2016).

Sin embargo, la industria de la acuicultura no puede seguir dependiendo en gran medida de la harina de pescado como fuente de proteína. Para afrontar esta situación, los científicos y fabricantes de alimentos acuícolas han buscado fuentes alternativas de proteínas que, idealmente, deberían ser económicas, fácilmente disponibles y contener un alto valor nutricional para generar una acuicultura más sostenible (McCann et al., 2021).

Por otra parte, la industria de procesamiento de materias primas agroindustriales genera una gran cantidad de residuos sólidos, como cascarillas, semillas y bagazos, que provienen del procesamiento de diversos cultivos (caña de

azúcar, arroz, uva, cebada, entre otros). En los últimos años, se han buscado alternativas para su reutilización, con el fin de aprovechar y conservar sus altos valores nutricionales, entre los que destacan vitaminas, minerales, compuestos antioxidantes y nutrientes esenciales (Custódio et al., 2021).

En este sentido, la inclusión de ingredientes de origen vegetal o residuos de agroindustrias en las formulaciones de alimentos acuícolas para la producción de especies acuáticas de aguas frías y cálidas se ha convertido en un requisito esencial para el desarrollo futuro de la acuicultura. Dichos ingredientes vegetales son utilizados para formular dietas nutritivas para el cultivo de especies acuáticas buscando generar un impacto ambiental mínimo y producción de peces de alta calidad (Gatlin et al., 2007).

Tenemos como ejemplo la utilización de la cebada como una de las alternativas vegetales utilizada en los años recientes. Actualmente la cebada es un cultivo para múltiples propósitos, incluida la malteada (bagazo de malta) para la producción de bebidas alcohólicas o la inclusión en extractos y jarabes para agregar sabor, dulzura y color a una variedad de alimentos preparados, la industria de la alimentación animal busca su reutilización y mantener su calidad nutricional para la alimentación acuícola principalmente por medio de una sustitución parcial o total de las harinas tradicionales con métodos que favorezcan la preservación de las características nutricionales (Gatlin et al., 2007; Custódio et al., 2021).

Zaretabar et al. (2021), evaluó el efecto de reemplazar la harina de pescado con concentrado de proteína de cebada y harina de gluten de trigo sobre el rendimiento del crecimiento, composición de la canal, actividad de las enzimas digestivas, entre otros parámetros en la trucha marrón del caspio (*Salmo trutta caspius*) evidenciando que la utilización de este tipo de reemplazos hasta un cierto nivel beneficia el desarrollo de los organismos, siendo los concentrados de proteína de cebada considerados cada vez más como una alternativa proteica de alta calidad.

Por su parte, Bell et al. (2014) probó tres dietas experimentales, concentrado de proteína de cebada (BPC), concentrado de proteína de soya (SPC), concentrado de proteína de pescado (FPC) y un tratamiento control (alimento comercial), en el salmón del Atlántico (*Salmo salar L.*), si bien las dietas con la proteína vegetal adicionada no presentaron cambios significativos entre ellas, al evaluar el tratamiento control se evidenció menor eficiencia proteica al compararlo con las

otras dietas del experimento y por tanto nos permite comprender que su utilización puede llegar a ser beneficioso para el cultivo particular del salmón y especies relacionadas al proporcionar una materia prima complementaria a su dieta diaria.

Hematología y química sanguínea de los peces

La sangre es un fluido corporal que circula por las venas y arterias de todos los vertebrados, encargada de transportar oxígeno, proporcionar nutrientes a las células, así como el transporte de productos de desecho metabólicos y hormonas, y defender al organismo a través de células especializadas (Bañuelas-Vargas et al., 2019).

Dadas las diversas funciones críticas de la sangre, la hematología puede proporcionar información útil sobre el bienestar de los peces, la salud, el estado nutricional de los organismos, la respuesta del sistema inmunitario, los efectos a corto y largo plazo de las condiciones del cultivo utilizado, la calidad del agua y el posible brote de enfermedades (Esmaeili, 2021).

Es importante mencionar que es difícil comparar datos hematológicos como indicadores biológicos entre especies de peces o incluso entre la misma especie debido a las diferentes firmas de cultivo que se han utilizado, además de las condiciones experimentales específicas de cada uno de ellos, adicionalmente se observan numerosos factores que pueden generar alteraciones en los parámetros, incluyendo desde las variables ambientales hasta el proceso de recolección de la muestra, los cuales tienen impacto significativo en los resultados obtenidos (Esmaeili, 2021).

Por lo tanto, el establecer rangos de referencia fisiológicos en condiciones variables, desde estados saludables, enfermedad y diversas condiciones de estrés, se vuelve importante para algunos diagnósticos, ya que estas situaciones influyen en los parámetros sanguíneos. En los parámetros de glóbulos rojos se incluye: recuento de eritrocitos (RBC), concentración de hemoglobina (Hb), volumen corpuscular medio (MCV) y hemoglobina corpuscular media (MCH) (Hisano et al., 2020).

La hemoglobina es una proteína presente en los glóbulos rojos, reconocida en la biometría hemática por su función principal de transportar oxígeno a los tejidos. El mantenimiento de niveles adecuados de hemoglobina favorece un metabolismo óptimo y, en consecuencia, permite un crecimiento eficiente y una

mejor condición de salud en los peces (Zavala-González et al., 2011; Esmaeili, 2021).

Por otro lado, el porcentaje de eritrocitos en un volumen de sangre total se denomina hematocrito. Este valor puede variar tanto entre especies como en respuesta a alteraciones fisiológicas o a cambios en la rutina de los organismos (Evans y Duncan, 2005; Thrall et al., 2015).

En cuanto a la glucosa, su metabolismo está regulado por una compleja red de interacciones entre metabolitos, enzimas, moléculas de señalización, hormonas reguladoras (como la insulina) y hormonas contrarreguladoras (como el glucagón y la epinefrina). Estas interacciones buscan mantener el equilibrio energético mediante ajustes en los distintos mecanismos de regulación (Parker, 2020).

La glucosa proviene de tres fuentes principales. La primera es la absorción intestinal, que ocurre mediante la descomposición y absorción de los carbohidratos de la dieta en el intestino. Una vez absorbida, la glucosa es transportada por la circulación portal hacia el hígado, donde los hepatocitos pueden utilizarla para la producción hepática y almacenarla en forma de glucógeno, regulando así su concentración en sangre; además, el hígado puede liberar glucosa a través de la glucogenólisis. La segunda fuente es la gluconeogénesis hepática, que permite mantener la disponibilidad de glucosa en condiciones de ayuno. Finalmente, la tercera fuente corresponde a la producción renal de glucosa, la cual se lleva a cabo en las células epiteliales renales, principalmente en el túbulo proximal (Thrall et al., 2015).

Los parámetros plasmáticos de los peces dependen de muchos factores intrínsecos y extrínsecos, entre los que podemos encontrar: el nivel de estrés al que fueron sometidos, la estación del año en que se encuentren, método de muestreo de sangre, tipo de anticoagulante, temperatura del agua (poiquiloterms), el tipo de alimento que consumen (carnívoros u omnívoros) y tiempo de almacenamiento de las muestras, así como el procedimiento analítico (Bartoňková, Hyrší y Vojtek, 2016; Hisano et al., 2020).

Las proteínas sanguíneas se sintetizan principalmente en el hígado, seguido por el sistema inmunitario. Constituyen un grupo heterogéneo con funciones diversas, así como con variaciones en peso molecular y densidad de carga eléctrica. De manera general, se clasifican en dos grandes grupos: albúmina y

globulinas (estas últimas incluyen fibrinógeno, componentes del complemento y anticuerpos) (Núñez y Bouda, 2007).

Las proteínas plasmáticas realizan una amplia gama de funciones, incluidas el mantenimiento de la presión osmótica, el transporte de diversos metabolitos y la interacción estrecha con el sistema inmunitario, teniendo un papel importante en la inmunidad humoral de los peces y su respuesta inmune innata; así mismo puede mostrar el estado nutricional del organismo a evaluar de forma indirecta, siendo la albúmina y las globulinas las que forman parte de las proteínas totales (Esmaeili, 2021).

Por lo tanto, la determinación de las concentraciones de proteínas totales, así como la evaluación de sus variaciones durante procesos patológicos o en condiciones experimentales, resultan fundamentales para identificar biomarcadores válidos que permitan el monitoreo continuo de las especies en estudio (Tothova, Nagy y Kovac, 2016).

La albúmina, por su parte, representa alrededor de dos tercios de las proteínas del compartimento circulatorio y la mitad de la albúmina total del organismo, y se le atribuye el ochenta por ciento de presión oncótica del plasma, por lo tanto, se considera la principal responsable del movimiento acuoso entre el medio intravascular y el medio intersticial (Núñez y Bouda, 2007).

El músculo, el hígado y los riñones son los principales sitios de catabolismo de la albúmina, siendo realizado un recambio que puede llegar a diferir dependiendo de la especie y está relacionada con su tamaño (Tothova, Nagt y Kovac, 2016).

En el caso de las globulinas, son un grupo heterogéneo de proteínas, se encuentran separadas en α , β y γ -globulinas mediante la electroforesis, siendo las primeras sintetizadas en el hígado y consideradas como parte de la fase aguda de la inflamación, mientras que γ -globulinas son secretadas por los linfocitos B y las células plasmáticas en muchos tejidos, de forma particular los órganos linfoides (Evans y Duncan, 2005).

La relación albúmina/globulinas se utiliza como un parámetro de apoyo para la interpretación de los valores de proteínas totales. Este índice puede mantenerse dentro del intervalo de referencia cuando ambas fracciones se alteran de forma uniforme, como ocurre en casos de hemorragia o deshidratación. En cambio, se observan desviaciones significativas cuando la alteración es predominante en una

de las fracciones, como sucede en la proteinuria renal (afectación de la albúmina) o bajo estimulación antigénica (incremento de globulinas) (Evans y Duncan, 2005).

Por lo tanto, la evaluación y monitoreo de este conjunto de analitos o parámetros de crecimiento y hematológicos nos permiten tener una mejor comprensión y desarrollo de los diferentes medios de cultivo, a su vez la búsqueda de información sobre los diferentes beneficios hacia la salud y el desarrollo de los organismos con la utilización de una alternativa diferente a la harina de pescado como complemento en las dietas de los organismos (Heisi et al., 2023).

Justificación

Considerando la necesidad de optimizar el uso de la tierra y el agua en regiones donde estos recursos son limitantes, es imperativo implementar sistemas y tecnologías de cultivo intensivo que permitan aprovechar de manera eficiente el agua y el alimento suministrado, así como utilizar productos o insumos alternativos a la harina de pescado como fuente de proteína para los organismos. Esto contribuiría al desarrollo de una acuicultura más sostenible y ambientalmente amigable, al mismo tiempo que permite la valorización de subproductos de desecho para incrementar la rentabilidad de los cultivos.

Por lo tanto, resulta necesario llevar a cabo investigaciones que generen información sobre el efecto del biofloc y la inclusión de cebada malteada fermentada en la dieta sobre los parámetros productivos, hematológicos y plasmáticos de la tilapia.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar los parámetros productivos y sanguíneos de la tilapia (*O. niloticus*) en cultivo intensivo con tecnología de biofloc, sometida a la sustitución parcial de la dieta por cebada malteada fermentada.

Objetivos específicos

- Determinar los parámetros productivos: peso corporal inicial (IBW), peso corporal final (FBW), peso ganado (WG), tasa de conversión alimenticia (FCR), tasa de crecimiento relativo (RGR), tasa de crecimiento específico (SGR) y eficiencia proteica (PER) de tilapia en sistemas biofloc con inclusión de cebada malteada fermentada.
- Evaluar los indicadores hematológicos: hematocrito y concentración de hemoglobina en sangre de tilapia cultivada en biofloc con sustitución parcial de la dieta.
- Analizar los parámetros plasmáticos: niveles de glucosa (Gluc), proteínas totales (TP) y albúmina (Alb) en tilapia cultivada en biofloc bajo la inclusión de cebada malteada fermentada.

Metodología

Lugar y tiempo de experimentación

El bioensayo se llevó a cabo en el Laboratorio de Investigación en Organismos Acuáticos del Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias de UABC, en Mexicali, Baja California.

Diseño experimental

Se realizó un estudio experimental en el que se utilizaron 19 tanques de fibra de vidrio de 110 L cada uno. Se diseñaron 5 tratamientos en cultivo biofloc, los cuales estuvieron divididos en 16 tanques, denominados: Bio-Control (4 tanques), Bio-10% (3 tanques), Bio-20% (3 tanques), Bio-30% (3 tanques) y Bio-40% (3 tanques), indicando en el nombre del tratamiento el porcentaje de sustitución de la dieta por cebada malteada fermentada, mientras que los tres tanques restantes se mantuvieron en sistema de recirculación (RAS) alimentando a los organismos con dieta comercial al 100%. Los tratamientos fueron asignados de manera aleatoria a cada uno de los tanques que formaron parte del bioensayo.

Maduración del biofloc

La maduración del biofloc se llevó a cabo en un tanque (500 litros), en el cual se agregaron los siguientes ingredientes: melaza, alimento comercial para tilapia molido (Nutripec), probióticos de alto desempeño, biodigestor de desechos orgánicos y micronutriente de alto desempeño (estos últimos tres ingredientes de la marca bioplanet México). Este biofloc inicial, al encontrarse ya maduro se utilizó como inóculo para la formación del biofloc en los 16 tanques de fibra de vidrio utilizados para los tratamientos en biofloc, los cuales se llenaron inicialmente con un 75% de agua y el restante 25% del volumen se cubrió con el inóculo (Cuadro 1).

A partir de ese momento, se preparó diariamente un fermento para añadir a los 16 tanques de biofloc una cantidad diaria de carbono (melaza), así como de probióticos de alto desempeño, biodigestor de desecho orgánico y micronutriente de alto desempeño. Para la preparación del fermento, los ingredientes fueron mezclados en una tina de plástico con 34 L de agua y se dejaron fermentar por 24 horas con aireación continua, al término del tiempo de fermentación se integraron 2 L de esta mezcla a cada tanque.

Cuadro 1. Cantidad (g) de ingredientes utilizados para la realización del fermentado para la maduración del biofloc.

Ingrediente	Cantidad (g)
Melaza	42.5
Salvado	42.5
Alimento molido	42.5
Probiótico	4.25
Biodigestor	4.25
Micronutriente	4.25

Una vez alcanzadas las condiciones óptimas del biofloc para la siembra, se realizó una biometría de una muestra representativa de la población total, con el fin de determinar la distribución de pesos. Esto permitió seleccionar los peces dentro de un rango estrecho de peso, garantizando la formación de grupos homogéneos para el bioensayo.

Posterior a la siembra de los organismos en los tanques correspondientes a los tratamientos del experimento, los ingredientes del fermento se colocaron en tres tinas de plástico, de manera que cada día una tina estuviera lista para su uso. Esto permitió incrementar el tiempo de fermentación a 36 horas. La información detallada se presentó en el Cuadro 2.

Sistema de cultivo experimental

Al momento de la siembra, los peces fueron anestesiados por inmersión en una solución de aceite de clavo (4-allyl-2-methoxyphenol), cuando estos entraban en un plano anestésico adecuado se tomó el peso considerando un peso de 11.0 ± 0.2 g para la selección de los organismos que formaron parte del bioensayo. Los organismos seleccionados fueron colocados en una cubeta de recuperación (agua con aireación y sin anestésico) para posteriormente ser asignados aleatoriamente a uno de los 19 tanques experimentales. Posteriormente, los tratamientos se asignaron de forma aleatoria a cada uno de los tanques (16 tanques con biofloc y 3 con el sistema RAS).

Se sembraron 12 organismos en cada uno de los tanques, posteriormente, los peces de todos los tanques fueron alimentados con alimento comercial (4% de su peso) durante el periodo de aclimatación (16 días).

Después del periodo de aclimatación, se realizó un ajuste en la preparación del fermento utilizado para la maduración del biofloc a una formulación de mantenimiento, integrando granos de cebada malteada obtenidos después de la maceración a la fórmula como fuente de CHOS; los granos y la melaza se formularon en base al 25% de alimento consumido por tanque, mientras que los probióticos se ajustaron a 0.25 g por tanque, estos componentes fueron integrados en una cubeta de 17 L para ser fermentados por 3 días con aireación continua, después de este tiempo se añadió un litro del fermento a cada tanque.

Este procedimiento se realizó diariamente utilizando tres cubetas diferentes, con el fin de producir la cantidad adecuada de fermento para los tanques.

Cuadro 2. Cantidades de ingredientes utilizados para la preparación del fermento de mantenimiento del biofloc durante el bioensayo y su incremento durante las semanas del experimento.

Ingrediente (g)	Sem 1	Sem 4	Sem 7	Sem 9	Sem 11
Melaza	12 g	32 g	32 g	64 g	96 g
Granos de cebada	12 g	32 g	32 g	64 g	96 g
Probiótico	4.25 g	8.5 g	8.5 g	8.5 g	8.5 g
Biodigestor	4.25 g	8.5 g	8.5 g	8.5 g	8.5 g
Micronutriente	4.25 g	8.5 g	8.5 g	8.5 g	8.5 g

Durante el bioensayo, se realizaron ajustes a la fórmula de la mezcla de fermento de acuerdo con los cambios en el consumo de alimento en los tanques (Cuadro 2). Durante las primeras tres semanas, el consumo registrado fue de 3 g de alimento por tanque.

Los parámetros fisicoquímicos (oxígeno, salinidad y temperatura), fueron medidos diariamente a las 08:00 a.m. y a las 17:00 p.m. Mientras que, los niveles de pH, amonio (NH_4^+), nitritos (NO_2^-), nitratos (NO_3^-) y los sólidos sedimentables (SS) se analizaron cada 4 días en los tanques del sistema biofloc durante el tiempo que duró el experimento. Todos los parámetros se analizaron de la misma manera en los tanques de cultivo RAS y biofloc, excepto los sólidos sedimentables, los cuales se monitorearon solo en los tanques de biofloc (Figura 1, Figura 2 y Figura 3).

Conforme al consumo de alimento de los peces, se ajustó la cantidad de alimento durante el transcurso del experimento como se muestra en el Cuadro 2. Siendo las cantidades del último ajuste las que se mantuvieron hasta la cosecha de los organismos, la cual se realizó en la semana 14.

Muestreo de organismos

La realización del muestreo final se llevó a cabo en la semana 14. Se utilizó una cubeta de 18 L con solución de aceite de clavo (4-allyl-2-methoxyphenol) para la inducción y mantenimiento de la anestesia, según fue descrito previamente durante la siembra de los organismos al inicio del experimento aplicando aireación continua para la correcta distribución del anestésico.

Después de un tiempo de inmersión en el anestésico (2 minutos aproximadamente), se evaluó que los organismos se encontraran en un estado en el cual se lograra realizar su correcto manejo, evitando ocasionarles algún estrés adicional a los mismos.

Posteriormente, se realizó el sangrado de los organismos (Figura 4), para lo cual se prepararon previamente jeringas insulínicas (1 ml), cargadas con 0.1 ml de ácido etilen-diamino-tetra-acético (EDTA) como anticoagulante. Considerando el tamaño de los organismos, se decidió utilizar la técnica de cardiocentesis, siguiendo un abordaje ventral. La aguja se insertó ligeramente caudal al vértice de la muesca en forma de V formada por las cubiertas branquiales (opérculos) y el istmo, se avanzó hacia el corazón mientras que se aplicó un ligero vacío para

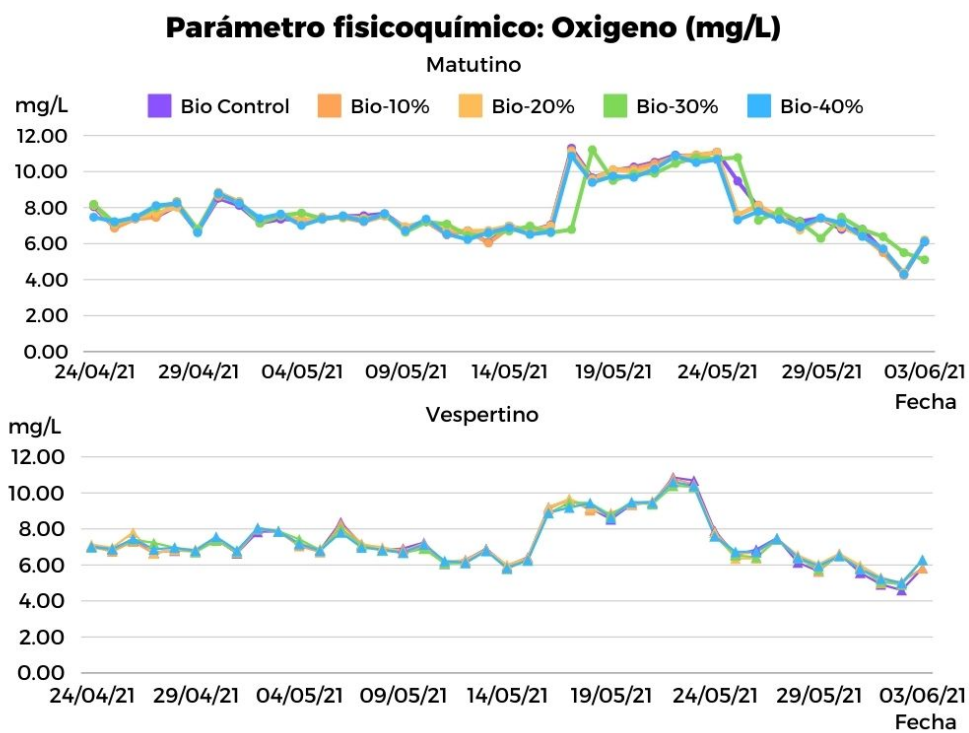


Figura 1. Oxígeno disuelto (mg L^{-1}) obtenido durante el cultivo en biofloc de la tilapia (*O. niloticus*) con sustitución parcial de la dieta por cebada malteada fermentada.

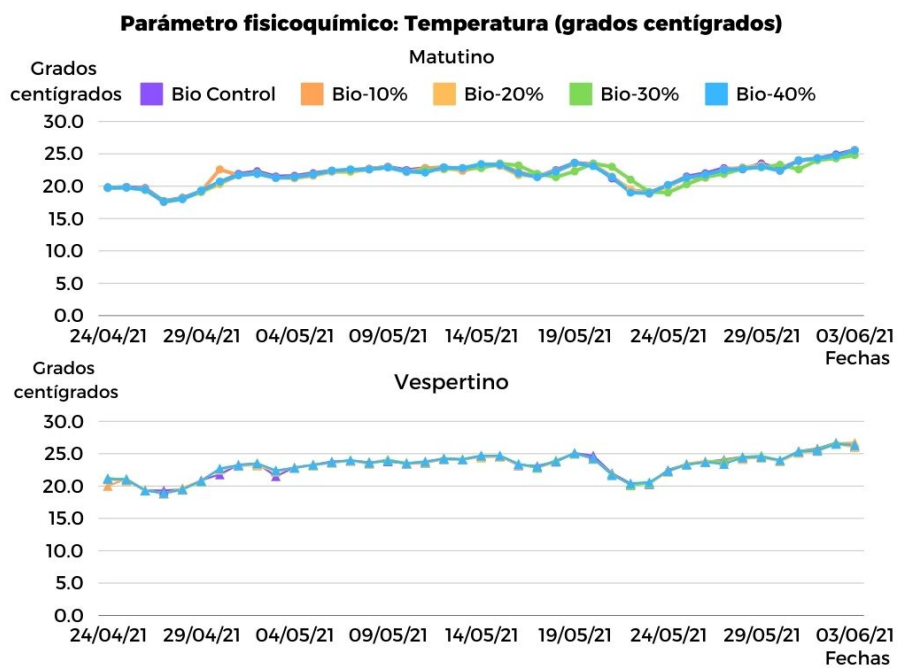


Figura 2. Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) obtenido durante el cultivo en biofloc de la tilapia (*O. niloticus*) con sustitución parcial de la dieta por cebada malteada fermentada

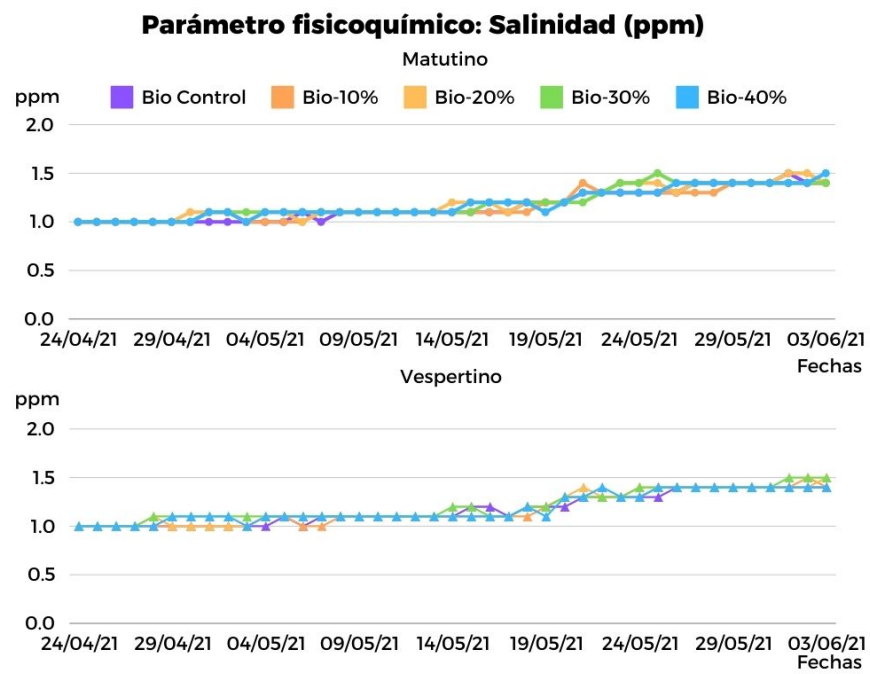


Figura 3. Salinidad (ppm) obtenido durante el cultivo en biofloc de la tilapia (*O. niloticus*) con sustitución parcial de la dieta por cebada malteada fermentada.



Figura 4. Toma de muestra sanguínea y peso de los organismos.

permitir que la sangre entrara en la jeringa una vez que se hubo entrado en el corazón (Thrall et al., 2015).

Las muestras obtenidas fueron vaciadas en tubos eppendorf de 1.5 mL y colocadas en un mezclador de sangre (Tube Mixer SM-100) para permitir que las muestras se homogenizaran con el anticoagulante. Posteriormente se tomaron alícuotas de cada una de las muestras para los análisis de Hct y Hb, mientras que el resto del volumen de cada una de las muestras fue centrifugado a $10,000 \times g$ x 5 min a $4^{\circ} C$ para la separación del plasma sanguíneo el cual se conservó a $-20^{\circ} C$ hasta los análisis de glucosa, proteínas totales y albúmina (Hrubec et al., 2000; Espinoza, 2014) (Figura 5).

Una vez sangrados los peces, fueron trasladados al siguiente punto de muestreo, en el cual se obtuvo el peso final del organismo por medio de una balanza (OHAUS-Explorer™ Pro) y, finalmente eran enviados a la última estación, en la cual se obtuvieron muestras de diferentes tejidos (vísceras, filetes, etc.), presentados en la Figura 6 y la Figura 7, para su futura evaluación.

Parámetros de crecimiento

Para la evaluación de los parámetros de crecimiento se utilizaron las siguientes fórmulas:

- **Peso corporal final (PF)**
 - $PF = BTF/n$
 - Dónde:
 - BTF= Biomasa total final
 - n = Número total de organismos
- **Tasa de crecimiento relativa (TCR)**
 - $TCR = (Pf - Pi) / Pi \times 100$
 - Dónde=
 - Pf = Peso final
 - Pi = Peso inicial
- **Tasa de crecimiento específica (TCE)**
 - $TCE = (LnPf - LnPi) / t \times 100$
 - Dónde=
 - Ln= Logaritmo natural
 - Pf = Peso final



Figura 5. Tubos de microhematocrito colocadas en la centrifugadora (Centrífuga-Eppendorf 5415R).



Figura 6. Evisceración de organismos para la obtención de muestras biológicas.

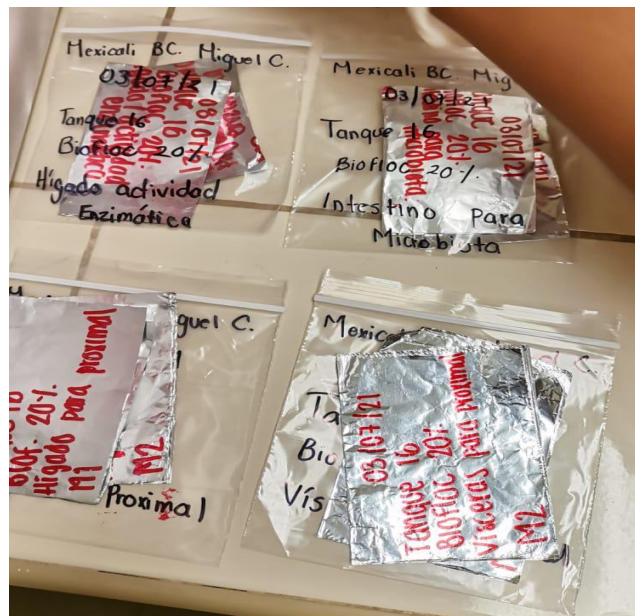


Figura 7. Empaquetado de las muestras para estudio posteriores de actividad enzimática y composición proximal.

- Pi = Peso inicial
- T= Tiempo en días
- **Tasa de conversión alimenticia (TCA)**
 - $TCA = \text{Alimento consumido} / (Pf - Pi)$
- **Tasa de eficiencia proteica (TEP)**
 - $PER: (\text{Peso final} - \text{Peso inicial}) / \text{Proteína consumida}$
- **Índice hepatosomático (IH)**
 - $IH = (\text{Peso del hígado} / \text{Peso total}) \times 100$
- **índice viscerosomático (IV)**
 - $IV = (\text{Peso de las vísceras} / \text{Peso total}) \times 100$

Parámetros hematológicos

Hematocrito (Hct)

De cada muestra de sangre que se obtuvo de los organismos, se tomó una alícuota por medio de capilares para microhematocrito (VWR® Tubos capilares de microhematocrito), en seguida estos capilares con la muestra fueron sellados en uno de los extremos con un material sellador (plastilina), para después ser colocados en la centrífuga (Eppendorf 5415R), durante 5 minutos a 12,000 rpm.

Inmediatamente después de centrifugar las muestras, se utilizó el lector de microhematocrito para la lectura, la cual se realizó por medio de escalas, colocando la base de la columna de eritrocitos (encima del sellador) en la línea del valor 0 y la parte superior de la columna de plasma en la línea del valor 100, siendo la parte superior de la columna de eritrocitos la que nos indicó el porcentaje final a evaluar (Figura 8).

Hemoglobina (Hb)

El principio para la determinación cuantitativa de hemoglobina total en las muestras de suero se basa en que, en la conversión de la hemoglobina en cianometahemoglobina (HiCN) mediante la acción del ferricianuro de potasio y el cianuro de potasio, y la medición de su absorbancia de color a una longitud de onda específica (540 nm) para determinar su concentración. La lectura de absorbancia se realizó mediante el espectrofotómetro Hach Dr-5000 UV/VIS de escaneado y se utilizó el reactivo de hemoglobina total y estándar de hemoglobina (Pointe Scientific) (Figura 9).

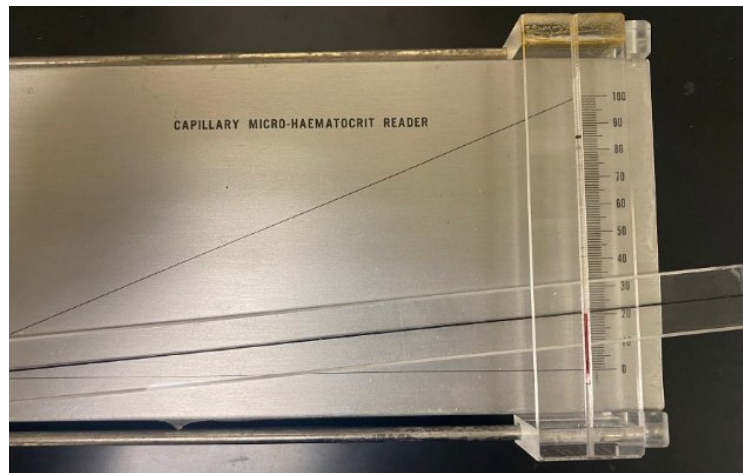


Figura 8. Determinación del porcentaje de hematocrito utilizando el lector capilar de microhematocrito (KS-READER-A).



Figura 9. Lector Hach Dr-5000 (Pointe Scientific).

Este espectrofotómetro es empleado para realizar diferentes análisis por medio de longitudes de ondas visibles y ultravioleta, generando lecturas digitales en unidades directas de concentración, absorción o porcentaje de transmitancia (Hach company, 2006).

Niveles plasmáticos de glucosa (Gluc), proteínas totales (TP), albúmina (Alb) y relación albúmina-globulina (Alb:Glob).

La determinación de los siguientes niveles a evaluar fue realizada en el Multiskan Go de Thermo Scientific, el cual es un espectrofotómetro UV/VIS, cuya acción es la de un escaneo espectral de las muestras que permite medir la absorbancia en un rango de longitud de ondas de 200 a 1,000 nm a partir de placas de 96 pozos adecuadas, siendo consideradas las indicaciones del fabricante para la correcta utilización de cada reactivo (Figura 10) (Thermo Scientific, 2010).

El análisis de Glucosa (Glu), proteínas totales (PT), albúmina (Alb) y la relación albúmina-globulina (Alb:Glob) se realizó a partir del plasma que fue obtenido de las muestras de sangre como fue previamente descrito.

Glucosa

Para la medición de glucosa, el principio del método que se utilizó, consiste en que la glucosa es fosforilada con adenosin trifosfato (ATP) en la reacción que es catalizada por hexoquinasa. El producto glucosa-6-fosfato se oxida con la reducción de la nicotinamida adenina dinucleótido (NAD) a nicotinamida adenina dinucleótido (NADH), en la reacción catalizada por la glucosa-6-fosfato deshidrogenasa permitiendo la formación del NADH, ocasionando un aumento en la absorción a 500 nm, este aumento es proporcional a la cantidad de glucosa presente en la muestra (se utilizó un estándar de glucosa de Pointe Scientific para determinar la concentración de la muestra).

Proteínas totales

En el caso de la cuantificación de proteínas totales, el principio de la técnica se basa en que las proteínas en suero forman un complejo azul cuando reaccionan con el cobre en solución alcalina, por lo que la intensidad del color es proporcional a la concentración de proteínas presentes. Para el cálculo de la concentración se utilizó una solución con concentración conocida de proteínas (estándar) de Pointe Scientific.



Figura 10. Lector de microplacas (Thermo Scientific Multiskan SkyHigh) con muestras de los organismos del bioensayo.

Albúmina

La albúmina se une al tinte verde de bromocresol para producir un aumento en el color azul-verde medido a 630 nm. Por lo tanto, el aumento de color es proporcional a la concentración de albúmina presente.

Relación Alb:Glob

En cuanto a la relación albúmina-globulina (Alb:Glob), esta se obtuvo por medio de una división entre el valor de albúmina con las globulinas de los resultados de nuestras muestras.

Resultados

Calidad del agua

Los parámetros de calidad del agua del cultivo en biofloc se presentan en el Cuadro 3. No se observaron diferencias significativas en el OD, ni en la temperatura (24.2 ± 0.3 °C y 24.5 ± 0.26 °C), sin diferencias significativas ($P = 0.124$ y 0.503 , respectivamente). La salinidad (Sal) fue menor ($P < 0.001$) y el pH mayor ($p = 0.003$) en el RAS respecto a los grupos cultivados en biofloc.

Los niveles de amonio (NH_4^+) disminuyeron progresivamente al aumentar la sustitución de la dieta en los grupos cultivados en biofloc (desde 0.18 ± 0.05 ppm en Bio-Control hasta 0.03 ± 0.09 ppm en Bio-40%), aunque esta diferencia no fue significativa ($P = 0.051$). Los nitritos (NO_2^-) y nitratos (NO_3^-) no mostraron diferencias significativas entre tratamientos ($P = 0.63$ y $P = 0.082$, respectivamente).

La alcalinidad (Alk) mostró diferencias significativas entre los tratamientos ($P = 0.01$), presentando los valores más altos en Bio-40% (156.1 ± 11.8 ppm) y los más bajos en Bio-Control (98.1 ± 7.6 ppm). Los sólidos sedimentables (SS) variaron entre 12.8 ± 1.2 y 15.9 ± 1.4 ml/L, sin diferencias significativas entre los grupos de biofloc ($P = 0.246$).

En general, los parámetros de calidad del agua se mantuvieron dentro de rangos adecuados para el cultivo de tilapia, con estabilidad en temperatura, salinidad y sólidos sedimentables, mientras que la alcalinidad y pH mostraron variaciones significativas entre los tratamientos con sustitución parcial de la dieta por cebada malteada fermentada.

Parámetros de crecimiento

Los resultados relacionados con los parámetros de crecimiento de *O. niloticus* se presentan en el Cuadro 4. El peso corporal inicial (PI) fue similar entre tratamientos, con valores entre 11.15 ± 0.23 g y 11.76 ± 0.24 g. El peso corporal final (PF) fue significativamente mayor en los tratamientos RAS (57.65 ± 2.5 g) y Bio-Control (58.47 ± 2.2 g), mientras que el tratamiento Bio-10% (51.69 ± 2.6 g) mostró un desarrollo comparable, permitiendo que los organismos mantuvieran un crecimiento estable. Los tratamientos Bio-20% (47.59 ± 1.7 g) al Bio-40% (42.84 ± 2.0 g) presentaron los PF más bajos.

Cuadro 3. Parámetros de calidad del agua del cultivo en biofloc de juveniles de la tilapia *O. niloticus* alimentadas con sustitución parcial de la dieta por cebada malteada fermentada.

Tratamiento	RAS	Bio-Control	Bio-10%	Bio-20%	Bio-30%	Bio-40%	Valor p.
OD (ppm)	7.43 ± 0.56	6.86 ± 1.01	6.48 ± 1.27	6.55 ± 1.29	6.46 ± 1.25	6.39 ± 1.25	0.124
T (°C)	24.9 ± 0.25	24.4 ± 0.27	24.4 ± 0.26	24.2 ± 0.3	24.5 ± 0.26	24.4 ± 0.26	0.503
Sal (‰)	0.8 ± 0.01 ^b	1.3 ± 0.02 ^a	1.3 ± 0.02 ^a	1.3 ± 0.02 ^a	1.3 ± 0.02 ^a	1.3 ± 0.02 ^a	<0.001
pH	8.2 ± 0.03 ^a	7.1 ± 1.22 ^b	7.3 ± .146 ^b	7.4 ± .17 ^b	7.4 ± .188 ^b	7.5 ± .14 ^b	0.003
NH ₄ ⁺ (ppm)	0.11 ± 0.03 ^a	0.18 ± 0.5	0.11 ± .05	0.07 ± .04	0.04 ± .03	0.03 ± .09	0.051
NO ₂ ⁻ (ppm)	0 ± 0.00	0.07 ± 0.5	0.07 ± .05	0.03 ± .03	0.09 ± .05	0.09 ± .05	0.63
NO ₃ ⁻ (ppm)	2.5 ± 0.87 ^b	5.08 ± 0.1	5 ± 0	4.38 ± .6	4.38 ± .6	5 ± .9	0.082
Alk (ppm)	145 ± 3.2 ^a	98.1 ± 7.6 ^b	127.9 ± 11.1 ^b	125.3 ± 9.9 ^b	143.3 ± 9.8 ^a	156.1 ± 11.8 ^a	0.01
SS (ml/L ⁻¹)	0 ± 0.0 ^b	14.3 ± 1.1	13.3 ± 1	15.9 ± 1.3	15.9 ± 1.4	12.8 ± 1.2	0.246

Valor expresado en media ± error estándar

T, temperatura; Sal, salinidad; NH₄⁺, Amonio; NO₂⁻, nitrito; NO₃⁻, nitrato; Alk. Alcalinidad; SS, solidos sedimentables.

Cuadro 4. Parámetros de crecimiento. Peso corporal inicial (PI), peso corporal final (PF), peso ganado (PG), tasa de conversión alimenticia (TCA), tasa de crecimiento relativo (TCR), tasa de crecimiento específico (TCE) y tasa de eficiencia proteica (TCP) de juveniles de la tilapia *O. niloticus* cultivadas en biofloc y alimentadas sustituciones parciales de la dieta por cebada malteada.

Tratamiento	PI	PF	PG	TCA	TCR	TCE	TEP	Índice Hepatosomático	índice Visceral
	$\bar{x} \pm EE$	$\bar{x} \pm EE$	$\bar{x} \pm EE$	$\bar{x} \pm EE$	$\bar{x} \pm EE$	$\bar{x} \pm EE$	$\bar{x} \pm EE$	$\bar{x} \pm EE$	$\bar{x} \pm EE$
RAS	11.15 ± 0.23	57.65 ± 2.5 ^a	51.16 ^a ± 2.19	1.2 ± 0.01 ^b	403.4 ± 1.7 ^a	0.75 ± 0.001 ^a	2.10 ± 0.02 ^a	1.18 ± 0.08 ^c	9.46 ± 0.27 ^b
Bio-Control	11.60 ± 0.24	58.47 ± 2.2 ^a	50.59 ^a ± 1.95	1.3 ± 0.02 ^a	402.2 ± 2.5 ^a	0.73 ± 0.002 ^a	2.14 ± 0.04 ^{ab}	3.17 ± 0.21 ^a	10.67 ± 0.77 ^{ab}
Bio-10%	11.42 ± 0.24	51.69 ± 2.6 ^{ab}	47.77 ^a ± 4-24	1.3 ± 0.01 ^{ab}	384.2 ± 22.1 ^{ab}	0.70 ± 0.020 ^a	2.00 ± 0.03 ^b	2.74 ± 0.23 ^{ab}	8.98 ± 0.26 ^b
Bio-20%	11.56 ± 0.24	47.59 ± 1.7 ^b	34.23 ^b ± 1-05	1.2 ± 0.02 ^b	323.7 ± 16.9 ^{bc}	0.64 ± 0.018 ^{bc}	2.00 ± 0.04 ^b	3.04 ± 0.25 ^a	9.00 ± 0.27 ^b
Bio-30%	11.58 ± 0.29	43.65 ± 2.1 ^b	31.36 ^b ± 0.51	1.2 ± 0.01 ^{bc}	278.4 ± 2.8 ^c	0.59 ± 0.003 ^{cd}	2.08 ± 0.06 ^b	2.58 ± 0.23 ^{ab}	9.65 ± 0.35 ^b
Bio-40%	11.76 ± 0.24	42.84 ± 2.0 ^b	36.05 ^b ± 1-05	1.1 ± 0.01 ^c	255.4 ± 10.3 ^c	0.56 ± 0.013 ^d	2.12 ± 0.03 ^{ab}	2.15 ± 0.17 ^b	11.60 ± 0.42 ^a
Valor P	0.113	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.003	<0.001	<0.001

*Las letras indican diferencias significativas entre tratamientos.

El peso ganado (PG) evidenció una disminución significativa en los tratamientos Bio-20% a Bio-40% (34.23–36.05 g) en comparación con los demás tratamientos. La tasa de conversión alimenticia (TCA) mostró los valores más altos en Bio-Control (1.3 ± 0.02) y Bio-10% (1.3 ± 0.01), mientras que el valor más bajo se registró en Bio-40% (1.1 ± 0.01).

La tasa de crecimiento relativo (TCR) disminuyó significativamente en Bio-20% (323.7 ± 16.9), Bio-30% (278.4 ± 2.8) y Bio-40% (255.4 ± 10.3) frente a RAS (403.4 ± 1.7) y Bio-Control (402.2 ± 2.5), siendo Bio-30% y Bio-40% también menores que Bio-10% (384.2 ± 22.1) ($P < 0.001$). La tasa de crecimiento específico (TCE) siguió un patrón similar, con valores significativamente más bajos en Bio-20% (0.64 ± 0.018), Bio-30% (0.59 ± 0.003) y Bio-40% (0.56 ± 0.013) en comparación con RAS, Bio-Control y Bio-10% (0.75 ± 0.001 , 0.73 ± 0.002 y 0.70 ± 0.020 , respectivamente) ($P < 0.001$).

La tasa de eficiencia proteica (TEP) mostró disminuciones significativas en Bio-10% (2.00 ± 0.03), Bio-20% (2.00 ± 0.04) y Bio-30% (2.08 ± 0.06) únicamente frente a Bio-Control (2.14 ± 0.04). El índice hepatosomático (IH) fue mayor en Bio-Control (3.17 ± 0.21) y Bio-20% (3.04 ± 0.25), mientras que Bio-40% presentó el valor más bajo (2.15 ± 0.17); el grupo RAS mostró un valor inferior (1.18 ± 0.08) a todos los tratamientos con biofloc ($P < 0.001$).

En cuanto al índice visceral, se presentó una particularidad: el tratamiento Bio-40% (11.60 ± 0.42) mostró un incremento significativo con respecto al resto de los grupos (8.98 ± 0.26 a 10.67 ± 0.77) ($P < 0.001$).

En resumen, los tratamientos RAS y Bio-Control presentaron un desempeño de crecimiento superior, mientras que la inclusión de sustituciones parciales de la dieta por cebada malteada, especialmente en niveles del 20% al 40%, se asoció con una disminución significativa de los parámetros de crecimiento y eficiencia alimenticia, aunque Bio-40% presentó un incremento destacado en el índice visceral.

En cuanto al índice visceral, se presentó una particularidad con sus resultados, en donde el valor del tratamiento Bio-40% (11.60 ± 0.42) presentó un incremento significativo con respecto al resto de los grupos (8.98 ± 0.26 a 10.67 ± 0.77) ($p < 0.001$).

Parámetros hematológicos

En el Cuadro 5 se presentan los parámetros hematológicos y plasmáticos obtenidos en el bioensayo con *O. niloticus*. La hemoglobina (Hb) mostró disminuciones significativas en los tratamientos Bio-30% (7.9 ± 0.6) y Bio-40% (8.2 ± 0.4) frente a Bio-Control y Bio-10% ($10.0 \pm 0.3-0.4$) ($P < 0.05$), mientras que RAS (9.4 ± 0.8) y Bio-20% (8.6 ± 0.4) no difirieron significativamente del resto de los grupos.

El hematocrito (Hct) presentó los valores más altos en RAS (27.3 ± 0.8), seguido de Bio-Control (22.9 ± 0.8), mientras que los tratamientos Bio-10% (20.5 ± 1.4) y Bio-20% a Bio-40% ($17.6-18.6$) mostraron disminuciones significativas respecto a RAS y Bio-Control ($P < 0.001$).

En los parámetros plasmáticos, la glucosa (Glu) fue significativamente mayor en RAS (136.5 ± 12.9) y Bio-Control (126.2 ± 8.0) en comparación con los tratamientos Bio-10% a Bio-40% ($66.4-79.1$) ($P < 0.001$). Las proteínas totales (TP) fueron mayores en RAS y Bio-Control (4.2 ± 0.3 y 4.2 ± 0.2), seguidas de Bio-10% (3.4 ± 0.2), mientras que Bio-20% a Bio-40% mostraron valores más bajos ($2.6-3.0$) ($P < 0.001$).

La albúmina (Alb) presentó los valores más altos en Bio-Control (1.94 ± 0.07) y Bio-10% (1.77 ± 0.10), y los más bajos en Bio-30% (1.34 ± 0.06) y Bio-40% (1.49 ± 0.06) ($P < 0.001$). Las globulinas (Glob) fueron significativamente menores en todos los tratamientos con sustitución parcial de la dieta ($1.40-1.82$) respecto a Bio-Control y RAS ($2.61-2.66$) ($P < 0.001$). La relación Alb:Glob no mostró una tendencia clara, aunque los valores más altos se observaron en los tratamientos con mayor sustitución de la dieta, especialmente Bio-40% (1.19 ± 0.17) ($P = 0.010$).

En resumen, los tratamientos RAS y Bio-Control presentaron los valores hematológicos y plasmáticos más altos, mientras que las sustituciones parciales de la dieta por cebada malteada, especialmente a partir del 20%, se asociaron con disminuciones significativas en la mayoría de los parámetros evaluados.

Cuadro 5. Parámetros hematológicos. Hemoglobina (Hb) y hematocrito (Hct) en sangre y niveles plasmáticos: glucosa (Glu), proteínas totales (TP), albúmina (Alb), globulinas (Glob) y relación Alb:Glob de juveniles de la tilapia (*O. niloticus*) cultivada en biofloc y alimentada con sustitución parcial de la dieta por cebada malteada fermentada.

Tratamientos	Hb	Hct	Glu	TP	Alb	Glob	Alb:Glob
	$\bar{x} \pm EE$	$\bar{x} \pm EE$	$\bar{x} \pm EE$	$\bar{x} \pm EE$	$\bar{x} \pm EE$	$\bar{x} \pm EE$	$\bar{x} \pm EE$
RAS	9.4 ± 0.8 ^{ab}	27.3 ± 0.8 ^a	136.5 ± 12.9 ^a	4.2 ± 0.3 ^{ab}	1.66 ± 0.06 ^{abc}	2.66 ± 0.17 ^a	0.62 ± 0.030 ^b
Bio-Control	10.0 ± 0.3 ^a	22.9 ± 0.8 ^{ab}	126.2 ± 8.0 ^a	4.2 ± 0.2 ^a	1.94 ± 0.07 ^a	2.61 ± 0.18 ^a	1.01 ± 0.053 ^{ab}
Bio-10%	10.0 ± 0.4 ^a	20.5 ± 1.4 ^b	79.1 ± 5.6 ^b	3.4 ± 0.2 ^{bc}	1.77 ± 0.10 ^{ab}	1.82 ± 0.14 ^b	1.15 ± 0.056 ^{ab}
Bio-20%	8.6 ± 0.4 ^{ab}	17.6 ± 1.0 ^c	70.0 ± 3.8 ^b	2.6 ± 0.1 ^d	1.55 ± 0.06 ^{bc}	1.40 ± 0.11 ^b	1.26 ± 0.070 ^a
Bio-30%	7.9 ± 0.6 ^b	17.9 ± 1.0 ^c	67.2 ± 4.7 ^b	3.0 ± 0.2 ^c	1.34 ± 0.06 ^c	1.76 ± 0.14 ^b	0.93 ± 0.056 ^{ab}
Bio-40%	8.2 ± 0.4 ^b	18.6 ± 0.9 ^c	66.4 ± 4.1 ^b	2.9 ± 0.1 ^c	1.49 ± 0.06 ^{bc}	1.66 ± 0.10 ^b	1.19 ± 0.17 ^a
Valor P	0.019	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	P=0.010

*Las letras indican diferencias significativas entre tratamientos.

Discusión

El bioensayo nos permitió, durante sus 11 semanas de desarrollo, obtener información relacionada con el crecimiento y la hematología en la tilapia (*O. niloticus*) cultivada en sistema intensivo con tecnología de biofloc, alimentada con sustitución parcial de las dietas por cebada malteada. Se evidenciaron diferencias significativas de forma particular en los grupos Bio-Control y RAS en los parámetros de crecimiento (PI, PF, PG, TCA, TCR, TCE, TEP, IH e IV) y hematológicos (Hb, Hct, Glu, PT, Alb, Glob y relación Alb:Glob).

Durante el bioensayo se observaron diferencias significativas en los parámetros productivos de los diferentes tratamientos. Los datos mostraron cambios significativos en el PF, donde los grupos Bio-Control (58.47 ± 2.2) y RAS (57.65 ± 2.5) mostraron valores mayores que los tratamientos con mayores porcentajes de sustitución de la dieta por cebada malteada fermentada.

Mota et al. (2020) evaluaron el crecimiento y los parámetros hematológicos en tilapia en un sistema biofloc con densidades de población variables: T1 (200 peces/m³), T2 (300 peces/m³), T3 (400 peces/m³), T4 (500 peces/m³) y T5 (600 peces/m³). Se evidenció un mayor PF promedio y una tasa de crecimiento específica en T1 (28.87 ± 0.67), sugiriendo que densidades menores proporcionan un mejor ambiente con menores concentraciones de compuestos nitrogenados y otros residuos metabolizados.

En cuanto al PG, se observó un valor mayor en los tratamientos RAS (51.16 ± 8.7) y Bio-Control (50.59 ± 9.3), evidenciando que un porcentaje bajo de sustitución de la dieta por cebada malteada fermentada permite un crecimiento sin anomalías ni disminución en el desarrollo. Sarsangi et al. (2022) reportaron incrementos significativos en PG en sistemas biofloc sin restricción de alimento, confirmando que este tipo de sistemas por sí solos favorecen un crecimiento normal de los organismos.

Considerando el PG en nuestros tratamientos, el Bio-10% mostró mejores parámetros de crecimiento. Esto indica que, aunque los organismos reciben alimentación constante en biofloc, la adición de un componente alternativo a la dieta no genera efectos negativos, sino que mantiene el desarrollo esperado.

Para la TCA, se observó un valor más bajo en RAS (1.2 ± 0.01) comparado con Bio-Control (1.3 ± 0.02), y menor aún en Bio-40% (1.1 ± 0.01), sugiriendo que mayores porcentajes de sustitución podrían generar niveles menores en TCA y, por ende, una utilización más eficiente del alimento.

La TCR mostró valores más altos en RAS (403.4 ± 1.7) y Bio-Control (402.2 ± 2.5). Esto indica que desbalances nutricionales o menor disponibilidad de proteínas/lípidos podrían disminuir el desarrollo en los grupos con sustitución de dieta. La presencia de excremento, restos de alimento y biomasa microbiana son fuentes de amoníaco que pueden afectar negativamente la fisiología de los peces, por lo que el sistema biofloc y la adición de carbono orgánico son fundamentales para controlar la relación C:N, favorecer bacterias heterótrofas y reducir nitrógeno tóxico (Castillo, 2024).

García-Ríos et al. (2019) y Khanjani (2021) demostraron que la elección adecuada de fuentes de carbono mejora la eficiencia de conversión de nitrógeno y favorece el crecimiento de tilapia en biofloc, evidenciando la importancia de controlar la calidad del agua y la fuente de nutrientes.

En nuestros resultados, la TCR disminuyó al aumentar la sustitución de dieta, aunque Bio-40% mostró mejor TCA, sugiriendo que la reducción de TCR se relaciona más con menor consumo de alimento que con mala utilización de la dieta.

La TCE no presentó diferencias significativas entre RAS (0.75 ± 0.001) y Bio-Control (0.73 ± 0.002), indicando una tasa de crecimiento específica adecuada. Long et al. (2015) reportaron incremento en TCE al añadir glucosa en biofloc, confirmando el efecto benéfico de fuentes alternativas de carbohidratos en la eficiencia del alimento.

La TEP se incrementó en Bio-Control (2.14 ± 0.04) frente a RAS (2.10 ± 0.02), sin diferencias significativas entre tratamientos con diferentes niveles de sustitución. Durigon et al. (2020) y Figueroa-Espinoza et al. (2022) evidenciaron que la disponibilidad de alimento y la correcta asimilación de nutrientes influyen directamente en la TEP, confirmando que la sustitución parcial de dieta por cebada malteada no afecta negativamente este parámetro.

El IH se incrementó significativamente en todos los grupos biofloc (2.15 ± 0.17 a 3.17 ± 0.21) respecto a RAS (1.18 ± 0.08), reflejando reservas energéticas adecuadas. La reducción de IH con mayores porcentajes de sustitución podría relacionarse con menor disponibilidad de nutrientes. Los resultados de IV mostraron

incremento solo en Bio-40% (11.60 ± 0.42), coincidiendo con menor proteína disponible, lo que sugiere que la dieta influye en el metabolismo hepático y reservas energéticas (Durigon et al., 2020).

En conjunto, los resultados indican que la sustitución del 10% de la dieta por cebada malteada fermentada permite un ahorro económico sin afectar el desempeño de los organismos, mientras que mayores porcentajes requieren ajustes nutricionales para mantener parámetros óptimos.

Los valores de hemoglobina (Hb) no mostraron diferencias significativas entre RAS (9.4 ± 0.8) y Bio-Control (10.0 ± 0.3), mientras que Bio-30% y Bio-40% mostraron menores valores, posiblemente debido a estrés nutricional por menor disponibilidad de nutrientes. Hrubec et al. (2000) reportaron valores similares, confirmando que los resultados se encuentran dentro del rango normal de la especie.

El hematocrito (Hct) no presentó diferencias significativas entre RAS (27.3 ± 0.8) y Bio-Control (22.9 ± 0.8), aunque disminuyó en los grupos con mayor sustitución de dieta. Esto podría relacionarse con mayor proporción de carbohidratos y la alta densidad de siembra (120 peces/ m^3). Silva et al. (2022) reportaron efectos similares al evaluar densidades variables en biofloc, indicando que la homeostasis sanguínea se mantiene estable.

La glucosa plasmática (Glu) fue menor en tratamientos con sustitución de cebada malteada respecto a Bio-Control, indicando un aporte nutricional adecuado pero moderado, sin generar estrés metabólico significativo (Thrall et al., 2015; Figueroa-Espinoza et al., 2022).

La PT se mantuvo constante entre Bio-Control (4.2 ± 0.2) y RAS (4.2 ± 0.3), lo que sugiere un estado inmunológico adecuado. La albúmina (Alb) y globulina (Glob) mostraron ligeras variaciones en Bio-10%, indicando que sustituciones bajas no afectan la nutrición ni la salud inmunológica. La relación Alb:Glob presentó diferencia significativa solo en Bio-20% (1.26 ± 0.07), evidenciando la necesidad de seguir evaluando el porcentaje óptimo de sustitución.

La calidad del agua es determinante para la salud y el crecimiento de tilapia en sistemas intensivos. El biofloc ayuda a controlar la concentración de amoníaco y nitritos al transformar la materia orgánica en biomasa bacteriana, reduciendo la toxicidad y mejorando la disponibilidad de nutrientes. Esto permite que los

organismos mantengan un crecimiento constante y parámetros hematológicos normales, incluso con la sustitución parcial de dieta (Castillo, 2024).

La harina de pescado es la fuente principal de proteína de alta calidad, pero su costo y disponibilidad limitada motivan la búsqueda de alternativas. El bagazo de cebada fermentada aporta carbohidratos, fibra y compuestos bioactivos, mejorando digestibilidad y eficiencia del alimento. La sustitución parcial (10–40%) mostró que Bio-10% mantiene crecimiento y hematología similares a Bio-Control y RAS, permitiendo ahorro económico sin comprometer salud ni desarrollo.

Además, la inclusión de bagazo puede favorecer la formación de biofloc, proporcionando sustrato para bacterias heterótrofas y optimizando la eficiencia de conversión de nitrógeno y energía, logrando un efecto doble: aporte nutricional alternativo y mejora del ecosistema microbiano dentro del tanque.

Conclusión

El sistema biofloc permite un desarrollo adecuado de la tilapia (*O. niloticus*) en condiciones de cultivo intensivo, manteniendo parámetros de crecimiento y hematológicos dentro de rangos normales, incluso al introducir sustituciones parciales de la dieta.

La sustitución del 10% de la dieta por cebada malteada fermentada (Bio-10%) no afectó negativamente el crecimiento ni los parámetros hematológicos, lo que indica que es un porcentaje óptimo para lograr un ahorro económico sin comprometer la salud de los organismos.

Porcentajes mayores de sustitución (20–40%) mostraron efectos ligeros sobre algunos parámetros de crecimiento y hematología, sugiriendo que se requiere un ajuste nutricional adicional para mantener el desempeño óptimo de los peces.

La incorporación de bagazo de cebada fermentada contribuye a la eficiencia del sistema biofloc, al actuar como fuente de carbohidratos y sustrato para bacterias heterótrofas, lo que mejora la calidad del agua, reduce la toxicidad de compuestos nitrogenados y favorece la conversión de nutrientes.

La sustitución parcial de harina de pescado con bagazo de cebada fermentada representa una estrategia viable para optimizar costos y promover la sustentabilidad en la acuicultura de tilapia, siempre y cuando se mantenga un balance nutricional adecuado y un monitoreo constante de la calidad del agua.

Los resultados sugieren que el uso combinado de biofloc y subproductos agrícolas como la cebada fermentada puede ser una herramienta efectiva para la producción sostenible de tilapia, fomentando un manejo más eficiente de los recursos y reduciendo la dependencia de insumos tradicionales de origen animal.

Referencias

- Bartoňková, J., P. Hyršl and L. Vojtek. 2016. Glucose determination in fish plasma by two different moderate methods. Masaryk University. 85. 349-353. DOI: 10.2754/avb201685040349
- Bell, J., F. Strachan, W. Roy, C. Matthew, P. McDonald, F. Barrows and M. Sprague. 2014. Evaluation of barley protein concentrate and fish protein concentrate, made from trimmings, as sustainable ingredients in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) feeds. *Aquaculture nutrition*. 22 (2). 326-334
- Castillo, E. 2024. Cultivo de peces en tecnología de biofloc (BFT): información sobre la densidad de población las fuentes de carbono, la relación C/N, la nutrición y la salud de los peces. *El acuicultor*. Sociedad venezolana de acuicultura. 4:4. 5-12. Disponible en: <https://svacuicultura.org/wp-content/uploads/2024/11/Revista-El-Acuicultor-SVA-Issue-16-Vol.4-N%C2%B04-October-2024.pdf>
- Choo, H. and C. Caipang. 2015. Biofloc technology (BFT) and its application towards improved production in freshwater tilapia culture. *AACL Bioflux*. 8 (3):1-4.
- Custódio, J., G. Souza, A. Ferrari y D. Felipe. 2021. Nutritional composition of malted barley residue from brewery. *Journal of Management and sustainability*. 11 (1) 1-20.
- Durigon, E., R. Lazzaru, J. Uczay, D. Alcantara, G. Jeronimo, T. Sgnaulin and M. Emerenciano. 2020. Biofloc technology (BFT): Adjusting the levels of digestible protein and digestible energy in diets of Nile tilapia juveniles raised in brackish water. *Aquaculture and Fishers*. 5 (1):42-51.
- El-Sayed, A. 2020. *Tilapia Culture*. Editorial Elsevier. 2da ed. San Diego, United State. p 69-134
- Esmaeili, M. 2021. Blood performance: A new formula for fish growth and health. *Biology*. Editorial MDPI. 10(12):1-17.
- Evans, E. and J. Duncan. 2005. Proteínas, lípidos y carbohidratos. En: *Patología clínica veterinaria*. Ed. Multimédica Ediciones Veterinarias. 4 ed. Barcelona, España. 199-209.
- Figueroa-Espinoza, J., M. Rivas-Vega, M. Mariscal López, M. Emerenciano, M. Martínez-Porchas y A. Miranda Baeza. 2022. Reusing water in a biofloc culture

- system favors the productive performance of the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) without affecting the health status. *Aquaculture*. 558 (15):1-9
- Gálvez-Cantero, L., M. Julián-Ricardo y L. Ramos-Sánchez. 2022. El biofloc en la acuicultura. *Revista Centro Azúcar*. 49 (2). p 137-143.
- García-Ríos, L. A. Miranda-Baeza, M. Coelho-Emerenciano, J. Huerta-Rábago and P. Osuna-Amarillas. 2019. Biofloc technology (BFT) applied to tilapia fingerlings production using different carbon sources: Emphasis on commercial applications. *Aquaculture*. 502 (15). p 26-31.
- Gatlin, D., F. Barrows, P. Brown, K. Dabrowski, T. Gaylord, R. Hardy, E. Herman, G. Hu, A. Krogdahl, R. Nelson, K. Overturf, M. Rust, W. Scaley, D. Skonberg, E. Souza, D. Stone, R. Wilson and E. Wurtele. 2007. Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. *Aquaculture Research*. 38 (6):551-579.
- González-Huerta, C., O. Zavala-Leal y J. Flores-Ortega. 2021. Tilapias: de la introducción a la producción, desarrollo económico de su cultivo en México. Directory of Research Journal Indexing.
- González, M., M. Zamora and S. Solano. 2016. Evaluación agronómica y física en líneas avanzadas de cebada maltera. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 7:159.171.
- Haraz, Y., R. Shourbela, W. El-Hawarry, A. Mansour and S. Saad. 2022. Performance of juvenile *Oreochromis niloticus* (Nile tilapia) raised in conventional and biofloc technology systems as influenced by probiotic water supplementation. *Aquaculture*. 566 (15):1-10.
- Hach company. 2006. Manual de espectrofotómetro del DT 5000. Edición 1. Disponible en:<https://www.manualslib.es/manual/14388/Hach-Dr5000.html?page=107#manual> Accedido en noviembre, 26 del 2024.
- Hisano, H., V. Pinheiro, M. Losekann and M. Silveira. 2020. Effect of feeding frequency on water quality, growth, and hematological parameters of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* reared using biofloc technology. *Journal of Applied Aquaculture*. 33 (2):9-11.
- Hrubec, T., J. Cardinale and S. Smith. 2000. Hematology and Plasma Chemistry Reference Intervals for Cultured Tilapia (*Oreochromis Hybrid*). *Veterinary Clinical Pathology*. 29 (1):7-20.

- Instituto Mexicano de Investigación en Pesca y Acuicultura Sustentable (IMIPAS) 2018. Acuicultura tilapia. Gobierno de México. Disponible en: <https://www.gob.mx/imipas/acciones-y-programas/acuicultura-tilapia>.
Accedido agosto 19, 2024.
- Jamal, M., M. Broom, B. Al-Mur, M. Al Harbi, M. Ghandourah, A. Al Otaibi and F. Haque. 2020. Biofloc Technology: Emerging Microbial Biotechnology for the Improvement of Aquaculture Productivity. Polish Journal of Microbiology. 69 (4):401-409.
- Karlsen, F. and P. Skov. 2022. Review-Potentials and limitations of utilizing brewer's spent grain as a protein source in aquaculture feeds. Journal of Cleaner Production. 357:2-13.
- Khanjani, M, M. Alizadeh, M. Mohammadi and H. Sarsangi. 2021. Biofloc system applied to Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) farming using different carbon sources: Growth performance, carcass analysis, digestive and hepatic enzyme activity. Iranian Journal of Fisheries Sciences. 20 (2):490-513.
- Little, D., R. Newton and M. Beveridge. 2016. Aquaculture: a rapidly growing and significant source of sustainable food? Status, transitions and potential. Symposium 3: Alternatives to meat. Proceedings of the nutrition society. 75:274-286
- Long, L. J. Yang, Y. Li, C. Guan and F. Wu. 2015. Effect of biofloc technology on growth, digestive enzyme activity, hematology, and immune response of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquaculture. 448:135-141.
- Lucas, J., P. Southgate and C. Tucker. 2019. Aquaculture. Farming Aquatic Animals and Plants. John Wiley & Sons Ltd. 3era ed. West Sussex, UK. p 391-412.
- Luchini, L. y S. Panné. 2008. Perspectivas en acuicultura: nivel mundial, regional y local. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SAGPyA). Disponible en: https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_peces/piscicultura/113-perspectivas.pdf Accedido en: mayo, 18 del 2023.
- Medri, V., W. Medri and M. Caetano. 2009. Growth of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets with different levels of proteins of yeast. Braz. Arch. Biol. Technol. 52 (3):721-728.
- Montero M. 2021. Visión general del sector acuícola nacional-México. Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO. Disponible en: <https://www.fao.org/common->

[pages/search/en/?q=l.%20Caracter%C3%ADsticas%2C%20Estructura%20Y%20Recursos%20Del%20Sector](#) Accedido en: mayo, 18 del 2023.

- Mota, L., M. Shizuo, J. Pedreira, B. Correa y F. do Nascimento. 2020. Nile Tilapia nursery in a biofloc system: Evaluation of different stocking densities. Bol. Inst. Pesca. 46(2):1-9.
- Núñez, L. y J. Bouda. 2007. Patología clínica veterinaria. Universidad Autónoma de México. 2 da. México. p 39-40.
- Oliveira, L. W. Wasielesky and M. Borges. 2022. Fish culture In biofloc technology (BFT): Insights on stocking density carbon sources, C/N ratio, fish nutrition and health. Aquaculture and fisheries. Rio grande, Brazil. 30 (40):3-8.
- Parker, J. 2020. Glucose metabolism, energy production and refulation of cellular and whole-body metabolism. ACNEM Journal. 39 (1). 29-33.
- Pillay, T. and M. Kuttly. 2005. Aquaculture. Principles and Practice. Blackwell Publishing Ltd. 2da ed. Iowa, USA. p 400-412.
- Reyes-Trigueros, L., M. Monroy-Dosta, E. Torres-Ochoa, A. Cortés-Sánchez y L. Espinosa-Chaunrand. 2023. Parámetros reproductivos en la producción de crías tilapia *Oreochromis niloticus*: Revision. Universidad Politécnica Salesiana. 38 (2). Disponible en: <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/lgr/v38n2/1390-8596-lgr-38-02-00124.pdf>
- Reymend, E. and S. Pagare. 2016. Partial Replacement of Fishmeal by animal protein with supplement of Diets in Freshwater Fish *Rasbora daniconius* (Hamilton, 1822) and *Puntius ticto* (Hamilton,1822). Food and Feed Research. 43(1):57-66.
- Sarsangi, H., A. Naji, S. Seyed, I. Sourinejad y A. Akbarzadeh. 2022. Effects of restricted feeding levels and stocking densities on water quality, growth performance, body composition and mucosal innate immunity of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry in a biofloc system. Elsevier. 546:2-8.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). 2022. Acuicultura en México. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/acuicultura-en-mexico?idiom=es> Accedio en: agosto, 11 del 2024
- Secretaría de Gobernación (SEGOB). 2020. Programa Nacional de Pesca y Acuicultura 2020-2024. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. Disponible en:

http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5609194&fecha=30/12/2020

Accedido en: mayo, 18 del 2023.

- Silva, B., H. Massago, J. Alves. R. de Leão and A. Jatobá. 2022. Tilapia nursery stocking densities in a chemoautotrophic biofloc system. *Animal Science and Veterinary*. 46:1-9.
- Souza P. and G. Bonilla-Rodriguez. 2007. Fish hemoglobins. *Braz. J. Med. Biol. Research*. 40:469-778.
- Thermo Scientific. 2010. Multiskan GO User Manual. Rev. 1.0. Disponible en: <https://photos.labwrench.com/equipmentManuals/15093-5877.pdf> Accedido en; noviembre, 26 del 2024
- Thrall, M., G. Weiser, R. Allison and T. Cambell. 2015. *Veterinary Hematology and Clinical Chemistry*. Wiley-Blackwell. 2da ed. Iowa, USA. p 298-613.
- Thlusty, M. 2020. *Aquaculture Health Management. Design and operation approaches*. Elsevier Inc. London, UK. p
- Tothova, C., O. Nagy and G. Kovac. 2016. Serum proteins and their diagnostic utility in veterinary medicine: a review. *Veterinrni Medicine*. Vol. 61 (9). p 475-496.
- Zaretabar, A., H. Ouraji, A. Abedian, S. Yeganeh, N. Esmaeili and A. Keramat. 2021. One step toward aquaculture sustainability of a carnivorous species: Fish meal replacement with barley protein concentrate plus wheat gluten meal in Caspian brown trout (*Salmo trutta caspius*). *Aquaculture reports*. Vol. 20. p 2-11.
- Zavala-González, M., A. Frías-Ortiz, S. Posada-Arévalo y E. Quevedo-Tejero. 2011. Parámetros normales de hemoglobina y hematocrito en universitarios de 16 a 35 años de Tabasco, México. *Medicas Vis*. Disponible en: <https://biblat.unam.mx/hevila/MedicasUIS/2011/vol24/no1/6.pdf> Accedido en: mayo, 07 del 2025.