

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN CIENCIAS VETERINARIAS



**EFFECTO DE LA SUSTITUCIÓN PARCIAL DE LA DIETA CON
SUBPRODUCTOS DE CERVEZA SOBRE CALIDAD DEL AGUA,
CRECIMIENTO, BIOQUÍMICA SANGUÍNEA Y CALIDAD DE LA CARNE DE
TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) CULTIVADA EN BIOFLOC.**

TESIS

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS VETERINARIAS

PRESENTA

JUAN ÁNGEL GÓMEZ CADENA

DIRECTOR DE TESIS

DR. FERNANDO FIGUEROA SAAVEDRA

CO-DIRECTOR DE TESIS

DR. MIGUEL ARTURO CABANILLAS GÁMEZ

Mexicali, Baja California, México

Abril, 2023

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por apoyarme en cada una de mis ideas extrañas a lo largo de los años, a pesar de no ser la persona más expresiva del mundo, valoro cada gota de esfuerzo y sacrificio hecho para mí y espero encontrar la forma de retribuirlo y llenarlos de orgullo.

A mi hermano porque a su peculiar estilo siempre estuvo pendiente de mí y además participo como asistente sin paga en diversas etapas del experimento, espero ser un guía y ejemplo digno.

A mi director y codirector de tesis por tenerme una paciencia sobrehumana y guiarme en cada paso de este camino, no solo de forma académica sino también por darme la confianza de interactuar como humanos.

A todos los amigos y maestros que han formado parte de este camino y me ayudaron a crecer, los llevo a todos en mi corazón.

A mis compañeros del laboratorio de organismos acuáticos del Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias, en especial al L.B.A Oscar Alvarado Muñoz, a los e.M.V.Z Fernanda Oliva Espino, Fabián Ilhuicamia Bastidas, Alejandra Espíndola, Karina Miranda Rivera, Francisco Berumen Sahagún, al M.V.Z David Martínez Curiel y al e.M.C Bernardo Reyes, ya que su ayuda fue vital para el experimento y los análisis posteriores.

A la facultad de Ciencias Marinas de la UABC Ensenada y puntualmente al Dr. Mario Alberto Galaviz, Dra. Lus Mercedes Lopez Acuña, Dr. Fernando Barreto Curiel y a la Dra. Idaly Trejo Escamilla por abrirme las puertas y el facilitar realizar los análisis necesarios para este proyecto en el laboratorio de nutrición acuícola.

Al Dr. Luis Enrique Palafox Maestre, la M.D. Mariana Yañez Ruiz y al Ing. Gerardo Ramírez Villanueva, por darme su voto de confianza a través de las cartas de recomendación para continuar con mi formación académica.

Al instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias por ser mi hogar durante mi licenciatura y ahora en mis estudios de postgrado.

Finalmente, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico para permitirme realizar mis estudios de postgrado.

“Efecto de la Sustitución Parcial de la Dieta con Subproductos de Cerveza Sobre la Calidad del Agua, Crecimiento, Bioquímica Sanguínea y Calidad de la Carne de Tilapia (*Oreochromis Niloticus*) Cultivada en Biofloc”. Tesis presentada por el M.V.Z. Juan Ángel Gómez Cadena, como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias Veterinarias, que ha sido aprobada por el comité particular indicado:

Ph. D. Fernando Saavedra Figueroa
Director

Ph. D. Miguel Arturo Cabanillas Gamez
Co- Director

Ph. D. Cristina Pérez Linares

Dr. Eduardo Sánchez López

Dr. Mario Alberto Galaviz Espinoza

CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTOS	II
LISTA DE CUADROS	III
LISTA DE FIGURAS	IV
INTRODUCCIÓN	1
REVISIÓN DE LITERATURA	2
Importancia de la acuicultura	3
Alimento tradicional	4
Fuentes alternativas para las dietas	5
Cultivo en biofloc	7
Parámetros de calidad del agua	9
<i>Temperatura</i>	9
<i>Oxigenación</i>	11
<i>pH</i>	13
Parámetros Sanguíneos	13
Características de calidad de la carne	15
<i>pH</i>	15
<i>Capacidad de retención del agua</i>	15
<i>Color</i>	16

MATERIALES Y MÉTODOS	17
Lugar de estudio	17
Duración de estudio	17
Tratamientos	17
<i>Manejo del subproducto utilizado</i>	18
<i>Maduración del biofloc</i>	18
<i>Selección de organismos</i>	19
<i>Siembra</i>	20
<i>Alimentación</i>	20
<i>Mantenimiento del biofloc</i>	21
<i>Cosecha de los organismos</i>	21
Metodología	21
Parámetros de calidad del agua	21
Parámetros de crecimiento	22
Bioquímica sanguínea	23
Parámetros de calidad de la carne	23
Análisis estadístico	24
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
Parámetros de calidad del agua	26
Parámetros de crecimiento	28
Bioquímica sanguínea	31
Parámetros de calidad de la carne	33

CONCLUSIONES	38
LITERATURA CITADA	39

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Pág.
1	Parámetros óptimos de calidad de agua en cultivo de tilapia	10
2	Parámetros sanguíneos en tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>).	14
3	Valores promedio de los parámetros de calidad del agua del experimento	27
4	Parámetros de crecimiento de la tilapia del nilo cultivada en biofloc sometida a la sustitución parcial de alimento con subproductos de cerveza	29
5	Parámetros sanguíneos de la tilapia del nilo cultivada en biofloc sometida a la sustitución parcial de alimento con subproductos de cerveza	32
6	Parámetros fisicoquímicos en filete de tilapia cultivada en biofloc sometida a la sustitución parcial de alimento con subproductos de cerveza al final de experimento	34

LISTA DE FIGURAS

Figura		Pág.
1	Curvas de crecimiento de tilapia para distintas temperaturas del agua	12

INTRODUCCIÓN

Según la FAO (2022) en 2020 la acuicultura, fue responsable de aportar el 49.2% de la producción mundial total de pescado, no obstante, las granjas acuícolas dependen casi exclusivamente de alimentos balanceados para la engorda de la tilapia, por lo que el beneficio económico de la acuicultura intensiva y semi-intensiva se encuentra relacionado de manera inversa al abasto y al costo del alimento proteico, partiendo del principio de que los cultivos intensivos requieren de elevados niveles de proteína que oscilan entre el 25 y 50%, la alimentación representa más del 50% de los gastos operativos. El principal ingrediente proteico de las dietas para organismos acuícolas es la harina de pescado, ingrediente que, por su alta demanda y precio es inviable al largo plazo, lo cual genera la necesidad de encontrar recursos alternativos de buena calidad, baratos y con mayor disponibilidad para las dietas acuícolas.

La industria de los alimentos acuícolas en los últimos años ha reconocido la viabilidad de la utilización de fuentes vegetales para la formulación de alimentos y serán un requisito esencial para el desarrollo futuro de la acuicultura. En los últimos años se ha estudiado el efecto de la sustitución de la harina de pescado en la dieta con distintos subproductos, incluyendo los recuperados de la industria cervecera ya que se ha reportado que los granos derivados de esta industria presentan un 18-35.4% de proteína y podría ser integrado en las dietas acuícolas sin afectar el desarrollo de los peces.

En base a lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la sustitución parcial de la dieta utilizando subproductos de la industria cervecera sobre la calidad del agua, crecimiento, bioquímica sanguínea y la calidad de la carne en tilapia (*Oreochromis niloticus*) stirling cultivada en biofloc.

REVISIÓN DE LITERATURA

Importancia de la acuicultura

Actualmente la acuicultura suministra más de la mitad del pescado para consumo humano del mundo, según los últimos estadísticos de la FAO (2022), en 2018, la producción mundial de pescado producto de la acuicultura alcanzó 87.5 millones de toneladas.

No obstante, debido al crecimiento acelerado de la población mundial, la FAO (2020) estima que para el 2050 será necesario quintuplicar la producción acuícola para satisfacer la demanda mundial, por lo que esta se convertirá en el principal motor para lograr este impresionante crecimiento, ya que se predice un estancamiento en la pesca de captura.

La acuicultura se ha desarrollado en todas las regiones del país, ya sea de forma extensiva, semi-intensiva o intensivas, donde el cultivo de tilapia juega un papel importante como actividad productiva, dado que el 50% de todas las granjas en México (4,623 unidades de producción) son de tilapia (SADER, 2017).

El cultivo de tilapia, es uno de los más rentables dentro de la acuicultura, debido a su rápido crecimiento, resistencia a enfermedades, alta productividad, tolerancia a condiciones de alta densidad, capacidad para sobrevivir a bajas concentraciones de oxígeno y a diferentes salinidades (organismos *eurihalinos*) (Lim y Webster, 2006; FAO, 2009)

Alimento tradicional

En la acuicultura, se utilizan distintas fuentes de proteínas para la elaboración alimento, siendo la harina de pescado la más empleada (FAO, 2009). Esto se debe a que ofrece un buen balance de aminoácidos y ácidos grasos esenciales, vitaminas y minerales, así como un alto contenido en proteína (64-68 %), buena palatabilidad y digestibilidad (Suárez et al., 2009).

La alimentación de los peces representa uno de los gastos operativos más altos en una granja acuícola, ya que los sistemas de cultivo intensivos y semi-intensivos dependen casi exclusivamente de alimentos balanceados para la engorda de la tilapia, siendo las proteínas la fuente dietética más costosa, los alimentos comerciales tradicionalmente utilizan harina de pescado como principal fuente de proteína, provocando que la alimentación represente entre el 40 y 70 % del costo total de la producción (El-Sayed, 1999; FAO, 2009; Naylor et al., 2009).

El aumento de la demanda de la harina de pescado en la ganadería y avicultura, ha provocado escasez de la harina de pescado y por consecuencia un aumento a los precios de este insumo, lo cual es inviable al largo plazo, ya que un aumento en los insumos repercutiría en la rentabilidad del cultivo. Siguiendo esta tendencia es evidente que, a largo plazo, muchos países en vías de desarrollo no podrán depender de la harina de pescado como fuente principal de proteínas en alimentos acuícolas (El-Sayed 1999).

Fuentes alternativas para la dieta

Una de las cualidades de la tilapia que facilitan su cultivo, es la variedad de alimento que consume, pudiendo incluir plancton, hojas macrófitos, invertebrados acuáticos, larvas de peces, detrito y materia orgánica en descomposición (Lim y Webster, 2006).

La industria de los alimentos acuícolas en los últimos años ha reconocido la utilización de fuentes vegetales para la formulación de alimentos de especies acuáticas como viable y serán un requisito esencial para el desarrollo futuro de la acuicultura, dichos ingredientes deben proporcionar dietas nutritivas que permitan el desarrollo de las especies acuáticas con un impacto medioambiental mínimo y producción de carne de alta calidad para conferir beneficios a la salud humana de forma rentable (Gatlin et al., 2007).

La industria cervecera genera cantidades relativamente grandes de subproductos y residuos; los más comunes son el grano, lúpulo y la levadura. Los cuales, al ser productos agrícolas, pueden ser fácilmente reciclados y reutilización (Ishiwaki et al., 2000).

El grano usado de cervecería (BSG) representan el 85% del total de subproductos generados en la producción de cerveza (Rachwal et al., 2020). La cebada (*Hordeum vulgare*) es el principal grano en la producción de cerveza y se consta de tres componentes principales: el germen (embrión), el endospermo que comprende una matriz de almidón y proteína encerrada por una capa de células

de aleurona, y una cubierta que consiste principalmente en células muertas con un alto contenido de lignina. (Willows et al., 2017).

La composición química de los BSG se caracteriza por un alto contenido de agua (75-80%) y de proteínas (18-35.4%) donde el contenido de aminoácidos representa aproximadamente el 30%, con un 14.3% de lisina, cantidades significativas de leucina, fenilalanina, isoleucina, treonina y triptófano. Además de contar con polisacáridos (por ejemplo, β -glucanos) y compuestos fenólicos que han demostrado tener beneficios para la salud (Farcas et al.,2017).

Con un contenido relativamente alto en proteínas y un perfil favorable de aminoácidos, un precio de mercado bajo y una disponibilidad anual estable, los BSG representan una fuente potencial de proteínas para alicios acuícolas. No obstante, es necesario realizar más estudios ya que los BSG aún no se han podido aplicar en la formulación de alimentos acuícolas comerciales, debido a que presentan un alto contenido de anti nutrientes y componentes no digeribles que reducen el valor nutritivo (Karlsen y Skov, 2022).

En estudios realizados por Estévez et al. (2021) reportaron que es posible utilizar una sustitución del 15% de la harina de pescado con BSG no afecto negativamente la digestibilidad de la trucha arco iris y la dorada (*Sparus aurata*), mientras que Nezzaro et al. (2021) encontraron que la sustitución puede ser de hasta 20%. En ambos casos se observó que elevados niveles de inclusión afectaban negativamente en el crecimiento.

Cultivo en biofloc

Los sistemas biofloc (BFT) se basan en aprovechar las bacterias que crecen en el micro sistema y su capacidad para usar compuestos que pueden ser tóxicos para el cultivo como; carbono orgánico, nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos y fosfatos como fuente de energía, oxidándose en formas químicas y siendo aprovechables para algas, hongos, otras bacterias y organismos filtradores. El nitrógeno no consumido por los organismos del cultivo puede ser utilizado para producir proteína microbiana, en lugar de generar componentes tóxicos, lo que ayuda a controlar el nitrógeno inorgánico tóxico, los residuos de alimento, así como los restantes de la producción del fitoplancton que también serán convertidos a componentes más simples (Avnimelech, 2009).

En los sistemas biofloc es vital tener en consideración la relación carbono:nitrógeno (C:N), cuando las bacterias se alimentan con sustratos orgánicos altos en carbono (almidón, melaza, harina de yuca), éstas toman el nitrógeno del agua para producir la proteína necesaria para su crecimiento celular y multiplicación. resultando en la conversión del nitrógeno inorgánico nocivo en proteínas microbianas, aproximadamente, se necesitan entre 20 y 25 g de material alto en carbono para convertir 1 g de nitrógeno amoniacal en proteína microbiana (Avnimelech, 1999).

Según un estudio realizado por Betanzo et al. (2019), en las granjas de México en las sé que utiliza el sistema biofloc de forma eficaz, se ha logrado obtener menores factores de conversión de alimenticia (0.99 -1.10:1), ahorro de agua (72% -84%), productividad (3.4 -15.5 kg/m³) e incremento en la producción

(38 -44%), destacando la supervivencia de los organismos (95 % -99%). Sin embargo, uno de los datos más interesante obtenido en este estudio es el uso mínimo de agua, ya que para producir un kilogramo de tilapia solo fue utilizado 2.07 m³ en un ciclo de producción.

Los peces adultos producidos en sistemas Biofloc (BF) pueden tener mayores tasas de crecimiento en comparación con los sistemas de recirculación (SR) (Azim y Little, 2008). En comparación con el cultivo en sistemas de recirculación se ha reportado que en los sistemas de cultivo en biofloc los peces pueden alcanzar un peso de hasta 22% mayor al momento de la cosecha (Guozhi et al., 2013).

La determinación de una densidad de siembra óptima debe realizarse a partir de una evaluación compleja, que debe considerar la ganancia de peso, la calidad del agua, el bienestar animal, los costes de producción y la rentabilidad (Wu et al., 2018).

Se ha reportado que, con un manejo adecuado de la calidad del agua y adición de fuentes de carbono, es posible alcanzar altas densidades de población (hasta 75 peces/m³), no obstante, la alta densidad puede dar lugar a una baja tasa de crecimiento, por lo que una densidad de población entre 30 y 35 peces/m³ parece brindar mejores resultados de costo-beneficio (Manduca et al., 2021).

Se debe tener en consideración que la concentración de sólidos tiende a aumentar con el incremento de la densidad de población debido al aumento del alimento, las heces y la fuente de carbono (Azim y Little, 2008)

Parámetros de calidad del agua

De manera rutinaria deben realizarse análisis para monitorear y mantener la calidad del agua en las unidades de producción. Se debe procurar que el cultivo se realice dentro de condiciones favorables para el crecimiento de los organismos (Cuadro 1), lo cual contribuye a disminuir los problemas causados por diferentes enfermedades y el posible uso de sustancias químicas, antibióticos, etc. Que pudieran llegar a manifestarse en el producto final, para tener evaluaciones confiables de parámetros estos deberán ser realizados con equipos calibrados y verificados (SAGARPA, 2008).

Temperatura: La temperatura es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, ya que influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, sedimentación y filtración. Múltiples factores, principalmente ambientales, pueden ocasionar fluctuaciones en la temperatura del agua. El rango óptimo es de 28-32°C, cuando disminuye a los 15°C los peces dejan de comer (Figura 1), las temperaturas letales se ubican entre los 10 y 11°C. Cuando la temperatura es mayor a 30°C los peces consumen más oxígeno (Jover et al., 2003)

Cuadro 1. Parámetros óptimos de calidad de agua en cultivo de tilapia

Parámetro	Rango
Oxígeno (mg/L)	>3
Salinidad (%)	<20
pH	6.5 a 8.5
Alcalinidad total	0.1 a 0.2 mg/L
Dureza total (CaCO ₃)	50 a 350 mg/L
Dióxido de carbono	<20 Mg/L
Amonio no ionizado NH ₃	0.01 a 0.1 mg/L
Amonio total	<20
Nitrito NO ₂ (mg/L)	<0.1
Nitrato NO ₃ (mg/L)	>10
Fosfatos PO ₄ (mg/L)	0.6 a 1.5
Temperatura	28 a 32 (ideal) 24 (mínima)

INAPESCA, 2018; Surech y Bhuel, 2019

Oxigenación: se reporta que la tilapia tiene la capacidad de resistir bajas concentraciones de oxígeno disuelto (hasta 0.5 mg/L) debido a su capacidad de usar el oxígeno de la interfase agua-aire, es recomendable mantener las concentraciones superiores a 3 mg/L para un crecimiento óptimo (Lim y Webster, 2006)

De manera general el cultivo de tilapia en sistemas biofloc se asocia a un mayor consumo de oxígeno por parte de los peces, ya que la biomasa de éstos está en el orden de 10 a 30 kg/m³ (Avnimelech, 2009).

Por lo que es conveniente mantener el oxígeno disuelto a niveles cercanos a 6 mg/L con saturaciones mayores del 60%, siendo que existe una relación inversa entre el consumo de oxígeno y el peso corporal, así como un efecto positivo de la temperatura del agua sobre la tasa metabólica para tilapia (Valbuena y Cruz, 2006)

En los sistemas biofloc es importante de incorporación de oxígeno para mantener los bioflóculos en suspensión constante con el fin de evitar la sedimentación y acumulo de solidos que conduzcan a reacciones anaerobias que produzcan metabolitos tóxicos letales que puedan llegar a afectar el cultivo (Boyd y Clay, 2002).

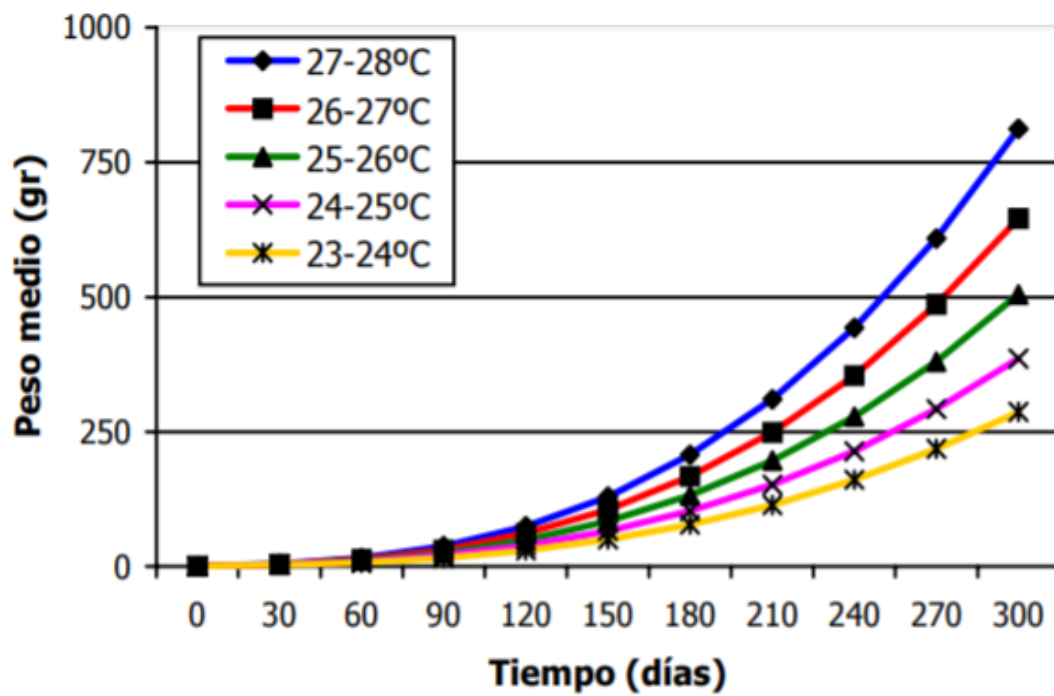


Figura 1. Curvas de crecimiento de tilapia para varias temperaturas del agua (Jover et al., 2003)

pH: El pH y la alcalinidad del agua en sistemas de producción con biofloc normalmente son estables con rangos y valores de 7-9 y >50 mg de CaCO₃/L respectivamente, ya que existe una relación directa entre los procesos de nitrificación y la alcalinidad, en este sentido cuando el pH es alto es provocado por amonio no ionizado que promueve toxicidad (Avnimelech, 2009)

Parámetros sanguíneos

Las altas densidades de población de los sistemas de acuicultura intensiva podrían afectar negativamente al estado de salud y al sistema inmunitario de las especies de peces (Ortuño et al., 2001). Así mismo, problemas ambientales, como la mala calidad del agua y otros factores de estrés, suelen contribuir a la aparición de enfermedades (Fazio, 2019).

El perfil hematológico (Cuadro 2) de un cultivo de peces puede indicar alteraciones fisiológicas y de salud, por lo que la hematología, combinada con otros métodos de diagnóstico de rutina, podría utilizarse para identificar y evaluar las condiciones que causan estrés y/o enfermedades que afectan al rendimiento de la producción (Tavares-Dias y Moraes, 2004).

En un sistema de acuicultura, las pérdidas económicas pueden reducirse cuando la hematología es utilizada como herramienta para el diagnóstico temprano de enfermedades de los peces (Fazio, 2019), ya que indican el estado nutricional y el estado de salud general de los peces (Akinrotini et al., 2012).

Cuadro 2. Parámetros sanguíneos en tilapia (*oreochromis niloticus*).

Especie	Eritrocitos (x 10/ μ L)	Leucocitos (x 10/ μ L)	Hb (g/dL)	Hct (%)	Glu (g/dL)	PT (g/dL)	Alb (g/dL)	Glob (g/dL)
O.	1.76 \pm 0.09	829.33 \pm 27.64	8.24 \pm 0.15	25.36 \pm 0.99	105.78 \pm 4.04	5.12 \pm 0.95	-	-
<i>niloticus</i>	1.13 \pm 0.90	28.58 \pm 0.40	4.70 \pm 0.44	18.20 \pm 1.05	-	2.71 \pm 0.27	1.08 \pm 0.07	1.62 \pm 0.22

Hb, hemoglobina; Hct, hematocrito; VCM, volume corpuscular medio; HCM hemoglobina corpuscular media; CHCM concentración de hemoglobina corpuscular edua; TC trombocitos ,

Sayed y Moneeb, 2015; Ismail y Mahboub, 2016.

Las técnicas utilizadas para los mamíferos son generalmente aplicables a los peces con ligeras modificaciones. La presencia de eritrocitos nucleados y trombocitos en los peces puede causar cierta confusión en la identificación de las células sanguíneas, principalmente en el recuento total de leucocitos (Fazio, 2019).

Características de calidad de la carne

Las características de la calidad de la carne no dependen solo de factores inherentes al animal tales como edad, sexo, alimentación, estado nutricional etc., también influye como se desarrollan los cambios postmortem, el descenso del pH en el musculo y su valor final, son factores que se relacionan con las condiciones del animal previo al sacrificio, por lo que serán determinantes en la calidad de la carne como materia prima (Amerling, 2001).

pH: Según Hofmann (1988), el pH tiene una influencia directa o indirecta sobre: el color, la terneza, el sabor, la capacidad de fijación de agua y la vida de anaquel de la carne. Posterior al sacrificio, el tejido muscular entra en condiciones anaeróbicas, tanto la velocidad como el grado del descenso del PH se debe a la disociación de ácido láctico, en función de las reservas de glucógeno del musculo (Forrest et al., 1975).

Capacidad de retención del agua: La capacidad de retención de agua (CRA) se define como la capacidad de la carne de retener su agua durante la aplicación de fuerzas externas (cortes, calentamiento, prensado o centrifugación). Es importante ya que determina dos importantes parámetros

económicos: las pérdidas de peso en los procesos de transformación y la calidad de los productos obtenidos (Swatland, 2003).

Propiedades sensoriales de la carne como el color, textura y la firmeza, están relacionadas con la cantidad de agua que se tiene contenida o retenida en la carne. Nutricionalmente, una baja CRA resulta en pérdidas importantes de agua, que acarrearán, proteínas, minerales y vitaminas hidrosolubles (Swatland, 1991). La CRA está relacionada al pH del músculo, mientras más alejado este el pH del punto isoelectrico de las proteínas del músculo, más agua se retendrá (Gastón et al., 2008).

Color: El color es un indicador clave para determinar el estado de la calidad de la carne, y los consumidores consideran que el color de la carne es el principal criterio para juzgar si es fresca o no; por lo cual tiene una gran influencia en la decisión de compra de los consumidores y un color desagradable puede resultar en una pérdida de ingresos (Mancini y Hunt, 2005).

Una de las técnicas para determinar color es el modelo CIELAB el cual se representa mediante un eje vertical (L^*), que indica claridad u oscuridad, y un plano horizontal conformado por las coordenadas a^* y b^* . La coordenada a^* define el tono de color y va del rojo ($+a^*$) al verde ($-a^*$), y la coordenada b^* representa el tono de color del amarillo ($+b^*$) al azul ($-b^*$) Por otro lado, la saturación está asociada a qué tan vívido es un color y el tono (h^*) (Honikel, 1998).

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de estudio

El estudio fue realizado en el Laboratorio de Organismos Acuáticos del Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias (IICV) de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), situado en el km 3.5 carretera Mexicali-San Felipe, en la ciudad de Mexicali con una latitud de 114.6°, una longitud de 32.8° y una altitud de 10 msnm ubicado al noreste de México, limítrofe con los Estados Unidos de Norteamérica. Región caracterizada por un clima seco continental similar al desierto de Sonora con una temperatura media de 34.7°C (-5°C invierno y 50°C verano), con una precipitación anual de 37 mm y una humedad relativa superior al 50% (García, 1981).

Duración del estudio

El estudio tuvo una duración de 14 semanas teniendo en cuenta el día 0 como el día en el que los organismos fueron sembrados en los tanques del sistema biofloc y finalizando hasta el día de sacrificio de los mismos, se consideraron 4 semanas previas para la maduración del biofloc utilizado en el estudio, dando un total de 18 semanas de trabajo experimental.

Tratamientos

Se realizaron 4 tratamientos con diferentes grados de sustitución parcial de la dieta con subproductos de cerveza: 10%, 20%, 30% y 40% y un control sin alteración de la dieta comercial. Cada tratamiento fue asignando por triplicado de

manera aleatoria a los tanques, utilizando 12 organismos por tanque, los cuales provenían de una muestra homogénea del mismo origen.

Los organismos utilizados en este experimento fueron tilapias (*Oreochromis niloticus*) variedad Stirling mono sexadas de un mismo lote con un peso y edad similar, provenientes de la empresa Maricultura del Pacífico S. A. de C.V., ubicada en la ciudad de Mazatlán Sinaloa.

Manejo del subproducto utilizado: Se utilizó cebada malteada, la cual fue donada por la cervecera artesanal Brew Capital Co, ubicada en la ciudad de Mexicali. La cebada malteada se empacó en bolsas Ziploc de 2 kg y fueron almacenadas a -20°C hasta su utilización en el experimento. Al iniciar el experimento, se descongeló diariamente uno de los paquetes y se tomó la cantidad necesaria para la preparación del fermento utilizado para la maduración y mantenimiento del biofloc. El aporte nutricional de la cebada malteada tras la fermentación fue el 17.8% y 10.6% de proteínas y lípidos, respectivamente.

Maduración del biofloc: Se utilizó en un sistema que consta de 16 tanques de fibra de vidrio de 110 lts cada uno. Cada uno de los tanques fue inoculado diariamente con un fermento con una concentración equivalente a 25 g/m³ de melaza, salvado de trigo y alimento comercial molido y 2.5 g de probióticos (*Saccharomyces cerevisiae*), biodigestores (*Bacillus subtilis*) y micronutrientes (*Micronutrients*) de una marca comercial (Bioplanet). Los ingredientes se disolvieron en 32 lts de agua y se colocaron en un reactor provisto de aireación constante para mantener los sólidos en suspensión durante 24

horas. Transcurrido este tiempo, se distribuyeron 2 lts del fermento a cada uno de los tanques de biofloc.

El procedimiento anterior se realizó diariamente durante un mes, periodo en el cual se determinaron los niveles de nitrógeno amoniacal total (TAN), nitritos y nitratos cada 3 días para monitorear, de manera indirecta, el establecimiento de las poblaciones de bacterias nitrificantes. Para la aireación de los tanques se utilizó un aireador de 1 caballo de fuerza, el aire se distribuyó a todos los tanques con una red de tubos de PVC que terminaban en una manguera difusora circular colocada en el fondo de cada tanque para mantener los bioflocs y los sólidos suspendidos en la columna de agua.

Selección de organismos: Cuando las temperaturas y el biofloc presentó condiciones adecuadas para la siembra, se realizó una biometría de control a los organismos, para conocer la distribución de talla y peso de la población y así seleccionar organismos homogéneos para el experimento.

Se tomaron muestras al azar de la población total y una vez en un plano anestésico los peces fueron pesados utilizando una balanza de precisión (ohaus Explorer pro, Newark, new jersey, usa), se registró el peso y posteriormente se tomaron medidas de los organismos utilizando una regla convencional midiendo desde la boca hasta el borde de la aleta caudal.

A partir de los datos obtenido de la biometría realizada se seleccionaron organismos con un peso de 11.57 ± 0.4 g para tener muestras homogéneas y reducir la variabilidad al máximo.

Siembra: Cuando los niveles de nitrito y amoníaco total del biofloc fueron estabilizadas y las temperaturas fueron adecuadas, se procedió a la siembra de los organismos en los tanques de biofloc. Se sembraron 180 juveniles (11.57 ± 0.4 g) en 15 tanques (0.1 m^3 cada uno) con cultivo de biofloc (12 peces/tanque). Los organismos fueron asignados a un tanque de biofloc al azar, registrando en la bitácora el peso/talla/tanque asignado aleatoriamente. La densidad de población fue de 120 peces por metro cúbico (biomasa de 1.38 kg por metro cúbico).

Alimentación: Todos los organismos fueron alimentados con una dieta comercial (38% de proteínas y 9% de lípidos) en los 5 tratamientos con distintos porcentajes de sustitución de la dieta por cebada malteada fermentada (sólidos asentables del reactor).

Los tratamientos se designaron según el nivel de porcentaje de sustitución de la dieta: Bio-Control (Bio-C, 100% dieta comercial), Bio-10 (90% dieta comercial y 10% cebada malteada), Bio-20 (80% dieta comercial y 20% cebada malteada), Bio-30 (dieta comercial 70% y cebada malteada 30%) y Bio-40 (dieta comercial 60% y cebada malteada 40%). Para mantener una relación C:N de 10 se agregó la cantidad necesaria de melaza y cebada mateada fermentada según Emerenciano et al. (2013) y utilizando los cálculos propuestos por Crab et al. (2012).

El alimento se distribuyó en dos raciones a las 9:00 horas y a las 17:00 horas. El periodo de cultivo tuvo una duración de 98 días en los sistemas biofloc.

Mantenimiento del biofloc: Una vez madurado el cultivo de biofloc y sembrados los organismos, se sustituyó el salvado de trigo por el subproducto de la cerveza (cebada malteada) en la preparación del fermento como fuente alternativa de carbohidratos. La melaza y la cebada malteada se ajustaron cada 15 días según la dieta suministrada; mientras que los productos del inóculo bacteriano se mantuvieron en 25 gr/m³ y el tiempo de fermentación fue de 3 días con aireación continua, al tercer día, se integró un litro del fermentado a cada uno de los tanques.

Cosecha de los organismos: Al llegar al día 98 se realizó la cosecha de los organismos. Los peces fueron anestesiados utilizando 50 µL/l de aceite de clavo, una vez en un plano anestésico se les extrajo una muestra sanguínea a través de punción cardíaca, fueron pesados y se midió la talla de cada organismo y se registraron en una bitácora. Finalmente, se sacrificaron los peces por decapitación, los peces sacrificados fueron empacados en bolsas de polietileno y fueron congelados hasta el posterior análisis de calidad de la carne.

Metodología

Parámetros de calidad del agua: Se realizaron mediciones diarias del nivel de oxígeno disuelto (DO, mg/L), temperatura (T) y salinidad a las 9:00 a.m. y a las 17:00 p.m. La determinación del oxígeno disuelto se realizó utilizando un oxímetro YSI 550A, mientras que la salinidad y temperatura se determinaron con el YSI 30 salinity, conductivity and temperatura meter.

Los compuestos nitrogenados fueron determinados cada cuatro días utilizando reactivos colorimétricos comerciales (Hanna®) para el nitrógeno

amoniacal total (Solución de prueba de amoníaco $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$), nitritos (Solución de prueba de nitrito NO_2^-), nitratos (Solución de prueba de nitrato NO_3^-) y la alcalinidad (Alk) se determinó indirectamente con el kit GH y KH (Kit de dureza general y de carbonatos) de (Mars Fishcare North America, Inc), y, cuando el pH alcanzaba 6.5, se añadía NaHCO_3 para elevarlo a 7.5. Los parámetros se monitorearon a lo largo de todo el experimento.

Los sólidos sedimentables (SS) se determinaron cada cuatro días colectando una muestra de 1L del agua de cultivo de cada tratamiento, la muestra de agua se colocó en un matraz de separación. Cuando los SS superaban los 20 ml/l, se procedía a la sedimentación y la eliminación de los sólidos del fondo del tanque

Parámetros de crecimiento: Los datos de desarrollo fueron evaluados partir de comparar los pesos iniciales promedio registrados con los pesos obtenidos en la cosecha en cada uno de los tanques, a partir de estos datos utilizando la metodología de Hardy y Barrows (2002) se calculó peso ganado (GP), porcentaje de ganancia de peso (GP%), peso corporal medio (PCM), tasa de crecimiento específico (SGR), índice de crecimiento diario (ICD), además a partir del consumo de alimento y la ganancia de peso se calculó el factor de conversión alimenticia (FCA).

Para la evaluación del rendimiento de la canal se utilizaron 3 organismos previamente sacrificados seleccionados aleatoriamente de cada tanque. Se procedió a pesar y medir los 3 peces y registrar los datos, se realizó una disección de las muestras separando: “cabeza, cola y aleta, viseras y canal”,

posteriormente se registraron los pesos individuales. Finalmente, se registró la diferencia entre el peso de la canal y el peso original del organismo.

Bioquímica sanguínea: Para la medición de los parámetros sanguíneos, previo al sacrificio se obtuvo una muestra sanguínea por vía intracardiaca utilizando jeringas insulínicas de 1 mL previamente impregnadas con solución de EDTA (50 mg/mL de sangre) según la metodología descrita por Blaxhall y Daisley (1973).

La sangre recolectada se analizó inmediatamente para determinar la concentración de hemoglobina (HB) mediante un procedimiento estandarizado utilizando el kit Pointe Scientific (USA). La lectura de la absorbancia se realizó en cubeta utilizando el espectrofotómetro Hach DR-5000 y luego se determinaron los valores de hematocrito (Hct) por el método del microhematocrito según el método propuesto por Blaxhall y Daisley (1973).

Las muestras de sangre restantes se centrifugaron durante 5 minutos a 12.000 rpm a 4°C (Atencio-García et al., 2007). El plasma obtenido se congeló inmediatamente y se almacenó a -80°C. hasta su análisis. Se determinó la proteína total (TP), albúmina (AL) y glucosa (GLU) mediante un procedimiento estandarizado en placas utilizando los kits de Pointe Scientific (USA). Todas las lecturas de absorbancia se realizaron con el lector de microplacas Multiskan™ GO, Thermo Scientific.

Calidad de la carne: Para determinar los valores de pH se utilizó un medidor de pH (Hach, H160G, Colorado, USA. Se procedió a realizar 3

mediciones, introduciendo el medidor en 3 distintas regiones de la canal (craneal, medial y caudal) y registrando los resultados en la bitácora.

El color fue determinado utilizando un espectrofotómetro (Minolta CM-2002, Japón) obteniendo valores CIELAB (L^* , a^* , b^* , C^* , H^*), donde L^* indica la luminosidad, a^* intensidad del pigmento rojo, b^* la intensidad de pigmento amarillo, C^* el chroma y H^* la amplitud del color. Fue necesario retirar la piel de las canales de las muestras y se procedió a realizar 3 mediciones en 3 distintas regiones de la canal (craneal, medial y caudal) y se registraron los resultados en la bitácora.

La capacidad de retención del agua (CRA), fue determinada utilizando tres muestras de $0.30 \text{ g} \pm 0.01 \text{ g}$ de filete de cada canal de tilapia. Se colocó cada muestra con una gasa, la cual se sujetó dentro de un tubo de ensayo, se centrifugaron las muestras con una centrifuga (Centrificient II, Grm globe, Chicago IL, USA) a 3600 revoluciones por 5 minutos, finalmente se registraron los pesos finales de las muestras y se calculó la CRA comparando el peso final de la muestra, respecto al peso inicial, con la siguiente fórmula: $\text{peso final/peso inicial} \times 100$ (Sutton et al.,1997).

Análisis estadísticos

En este estudio se empleó un diseño completamente al azar. Se analizó la normalidad de todos los datos (Kolmogorov-Smirnov) y la homocedasticidad de la varianza (prueba de la mediana de Levene). Los parámetros sanguíneos y plasmáticos, el rendimiento del crecimiento y la calidad de la carne se analizaron

mediante un ANOVA de una vía con el tratamiento como variable independiente. Los datos se presentan como medias \pm SE. Cuando se obtuvieron diferencias significativas a partir del ANOVA, se llevaron a cabo comparaciones múltiples realizando la prueba de comparación de medias Tukey HSD. El nivel de significación utilizado fue $p \leq 0.05$ para todas las pruebas estadísticas. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el paquete informático SIGMA STAT 3.5.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros de calidad del agua

En el cuadro 3 se muestran los datos de calidad de agua entre los tratamientos, no se encontró diferencia estadística, los parámetros de calidad de agua de todos los tratamientos se observaron en rango óptimo, solo se reportaron diferencias ($P < 0.05$) respecto al parámetro de alcalinidad en el tratamiento Bio-40% con respecto al tratamiento Bio-C. No se observaron diferencias significativas entre la cantidad de sólidos suspendidos entre los tratamientos ($P = 0.246$).

La temperatura del agua estuvo dentro de los rangos aceptables para el cultivo estable en biofloc (20 a 25 °C) según De Schryver et al. (2008). Los parámetros de calidad del agua (T, pH, Alk, NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-) se mantuvieron dentro de los rangos aceptables para el cultivo de tilapia en biofloc (Avnimelech 2011).

El pH y el Alk tuvieron que ser corregidos varias veces mediante la adición de NaHCO_3 para elevar la Alk al rango recomendado por (Oviedo et al., 2013) para especies de cultivo (50-150 mg/L). La disminución de Alk puede deberse tanto a los procesos de asimilación por bacterias heterótrofas, como a la nitrificación por bacterias quimioautótrofas (Brú-Cordero et al., 2017), por lo que pH y Alk bajos pueden ser indicadores de un buen proceso de asimilación y nitrificación. La nitrificación requiere 8 mg de HCO_3^- para oxidar 1 mg de nitrógeno amoniacal total (TAN) (Gujer y Jenkins, 1974; Sharma y Ahlert, 1977)

Cuadro 3. Parámetros de calidad del agua del experimento

Tratamiento	Bio-C	Bio-10%	Bio-20%	Bio-30%	Bio-40%	Valor p.
T (°C)	24.4 ± 0.27	24.4 ± 0.26	24.2 ± 0.3	24.5 ± 0.26	24.4 ± 0.26	0.503
Sal (‰)	1.3 ± 0.02a	1.3 ± 0.02a	1.3 ± 0.02	1.3 ± 0.02	1.3 ± 0.02a	<0.001
pH	7.1±122 ^a	7.3±.146a	7.4±.17a	7.4±.188a	7.5±.14	0.003
NH ₄ ⁺ (ppm)	0.18±.05	0.11±.05	0.07±.04	0.04±.03	0.03±.09	0.051
NO ₂ ⁻ (ppm)	0.07±.05	0.07±.05	0.03±.03	0.09±.05	0.09±.05	0.63
NO ₃ ⁻ (ppm)	5.08±.1	5±0	4.38±.6	4.38±.6	5±.9	0.082
Alk (ppm)	98.1±7.6 ^a	127.9±11.1	125.3±9.9	143.3±9.8	156.1±11.8b	0.01
SS (m/L ⁻¹)	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.

y según Ebeling et al (2006), los procesos heterótrofos y autótrofos requieren 7,14 g de CaCO_3 por gramo de nitrógeno amoniacal reducido a nitrato para mantener niveles de alcalinidad adecuados. La baja oscilación en los niveles de amoníaco observada a lo largo del experimento demuestra la ventaja del sistema biofloc, ya que los microorganismos presentes en el agua pueden controlar este compuesto tóxico (Kishida et al., 2008). Los bajos niveles de TAN observados durante el cultivo indican un buen funcionamiento del biofloc (Avnimelech., 2011; Velasco-Posada, 2019).

Los niveles de sólidos sedimentables se mantuvieron bajos, debido a que es necesario implementar estrategias de control de la concentración de floculos durante la producción (Ray et al., 2010). Esto debido a que el exceso de sólidos aumenta la demanda de oxígeno, reduce el consumo de alimento y consumo de carbonato cálcico, lo que consecuentemente reduce la alcalinidad. Además de que algunos autores relacionan los altos niveles de sólidos con la obstrucción de las branquias, reduciendo el crecimiento (Rakocy et al., 2004; Ray et al., 2010; Hargreaves, 2013).

Parámetros de crecimiento

Se observó que el peso ganado, el peso final (PF) y el peso promedio (PP) fueron similares en las dietas Bio-C y Bio-10% ($P > 0.05$) (Cuadro 4).

Estadísticamente los parámetros se vieron afectados negativamente en Bio-20% a Bio-40% ($P < 0.05$). El factor de conversión alimenticia (FCA), el valor más alto se observó en Bio-C, este valor fue similar al de Bio-10% ($p > 0.05$) pero superior al del resto de los tratamientos ($P < 0.05$),

Cuadro 4. Parámetros de crecimiento de la tilapia del nilo cultivada en biofloc sometida a la sustitución parcial de alimento con subproductos de cerveza

Parámetros	Bio-C	Bio-10%	Bio-20%	Bio-30%	Bio-40%	Valor p.
PI (gr)	11.6±0.34	11.4±0.43	11.56±0.70	11.50±0.28	12.16±0.21	
PF (gr)	58.5±12.5 ^a	55.7±14.4 ^{ab}	47.6±10.2 ^{bc}	44.3±11.7 ^c	42.9±11.4 ^c	<0.001
PG (gr)	49.7±9.3 ^a	44.6±10.8 ^a	36.3±7.9 ^b	34.4±8.9 ^b	33.0±9.4 ^b	<0.001
PG (%)	408.7±53.97 ^a	415.1±66.93 ^a	309.12±52.09 ^b	283.43±39.31 ^{bc}	251.36±59.03 ^{bc}	<0.001
PP (g) ⁵	35.0±6.8 ^a	32.5±7.1 ^a	29.6±5.7 ^{bc}	28.3±6.4 ^c	27.8±7.0 ^c	<0.001
FCA	1.3±0.02 ^a	1.3±0.01 ^{ab}	1.2±0.02 ^b	1.2±0.01 ^b ^c	1.1±0.01 ^c	<0.001
TCE	1.66±0.12 ^a	1.53±0.22 ^b	1.45±0.11 ^b	1.38±0.11 ^c	1.26±0.18 ^c	<0.001
ICD	1.64±0.20 ^a	1.49±0.33 ^{bc}	1.41±0.17 ^{cd}	1.31±0.15 ^d	1.22±0.23 ^d	<0.001

Valor expresado en media ± error estándar

PI, peso inicial; PF, peso final; PG, peso ganado; PP peso ganado; FCA, factor de conversión alimenticia; TCE, Tasa de crecimiento específico; ICD índice de crecimiento diario

asimismo, el valor observado en Bio-30% y Bio-40 %, fue significativamente menor respecto a todos los demás tratamientos ($P < 0.05$).

No obstante, los resultados de FCA fueron menores a los reportados por Manduca et al. (2020) donde cultivaron tilapia en un sistema biofloc de cero intercambios de agua (1.52) y con los de Yen Nhi et al. (2018) donde cultivaron tilapia en un sistema biofloc utilizando levadura como subproducto cervecero (1.39).

Los valores de TCE, ICD y PER, se mostraron menores en el resto de tratamientos respecto al control ($P > 0.05$). PF, PG (g), PG (%), y el PP no fueron diferentes cuando se sustituyó el 10% de la dieta por cebada malteada (Bio-10%). Demostrando que es posible sustituir parcialmente la dieta por cebada malteada sin afectar negativamente al rendimiento de los peces.

Estos resultados coinciden con los de Estévez et al. (2021), quienes reportaron que es posible utilizar el subproducto de los granos cervecera en niveles del 15%, sin encontrar diferencias en el crecimiento, FCA y composición del filete de la especie marina dorada (*Sparus aurata*). Un mayor porcentaje de sustitución de la dieta disminuyó los parámetros de crecimiento, pero esto es comprensible debido al menor contenido proteico de la cebada malteada (17.84) respecto a la dieta control (38%); sin embargo, la supervivencia no se vio afectada por los tratamientos.

Uno de los factores que puede ser responsable de la reducción del crecimiento a mayor nivel de sustitución puede ser el mismo subproducto utilizado, ya que a pesar de que la cebada malteada contiene un nivel

relativamente alto de proteína, si no se le da un tratamiento adecuado contiene altos niveles de factores antinutricionales (ANF), como lignina y fibra, que se sabe que reducen el rendimiento digestivo de los peces (Karlsen y Skov, 2022).

Es importante tener en cuenta para futuros estudios que, al ser un producto de reciclaje puede presentarse el problema de la homogenización ya que los subproductos de cerveza varían no solo entre diferentes recetas de producción, sino también entre lotes de la misma fábrica de cerveza (Gallone et al., 2018). Los resultados este estudio se obtuvieron utilizando un lote único de cebada malteada

Bioquímica sanguínea

Se mostraron diferencias significativas en los parámetros sanguíneos y plasmáticos (Cuadro 5). Se observó que el aumento del porcentaje de cebada malteada generó una disminución de la hemoglobina en los tratamientos Bio-30% y Bio-40% ($P < 0.05$). El mayor nivel de hematocrito se observó en Bio-C ($P > 0.05$) respecto al resto de los tratamientos ($P < 0.05$) indicando una tendencia a la anemia. No obstante, los valores de hematocrito a excepción de Bio-20% y Bio-30% se encontraron dentro de los rangos de referencia dados por Ismail y Mahboud (2016) 18.20 ± 1.05 y Sayed y Moneeb, (2015) 25.36 ± 0.99

El nivel de glucosa y PT fueron mayores en Bio-C en comparación con el resto de los tratamientos ($P < 0.05$). El nivel más alto de albúmina se mostró en Bio-C, este fue similar a Bio-10% ($P > 0.05$) y mayor respecto al resto de los tratamientos ($P < 0.05$). Las globulinas Bio-C ($P > 0.05$) fueron mayores respecto al

Cuadro 5. Parámetros sanguíneos de la tilapia del nilo cultivada en biofloc sometida a la sustitución parcial de alimento con subproductos de cerveza

	Bio-C	Bio-10%	Bio-20%	Bio-30%	Bio-40%	Valor p.
Hb	10.0 ± 0.3 ^a	10.0 ± 0.4 ^a	8.6 ± 0.4 ^{ab}	7.9 ± 0.6 ^b	8.2 ± 0.4 ^b	P = 0.019
Hct	22.9 ± 0.8 ^a	20.5 ± 1.4 ^b	17.6 ± 1.0 ^c	17.9 ± 1.0 ^c	18.6 ± 0.9 ^c	< 0.001
Glu	126.2 ± 8.0 ^a	79.1 ± 5.6 ^b	70.0 ± 3.8 ^b	67.2 ± 4.7 ^b	66.4 ± 4.1 ^b	< 0.001
PT	4.2 ± 0.2 ^a	3.4 ± 0.2 ^{bc}	2.6 ± 0.1 ^d	3.0 ± 0.2 ^c	2.9 ± 4.1 ^b	< 0.001
Alb	1.94 ± 0.07 ^a	1.77 ± 0.10 ^{ab}	1.55 ± 0.06 ^{bc}	1.34 ± 0.06 ^c	1.49 ± 0.06 ^{bc}	< 0.001
Glob	2.61 ± 0.18 ^a	1.82 ± 0.14 ^b	1.40 ± 0.11 ^b	1.76 ± 0.14 ^b	1.66 ± 0.10 ^b	< 0.001
Alb:Glob	1.01 ± 0.05 ^{ab}	1.15 ± 0.05 ^{ab}	1.26 ± 0.07 ^a	0.93 ± 0.05 ^{ab}	1.19 ± 0.17 ^a	P = 0.010

Valor expresado en media ± error estándar

Hb, hemoglobina; Hct, hematocrito; Glu, glucosa; PT proteínas totales; Alb, albumina; Glob, globulinas

resto de los tratamientos ($P < 0.05$). La relación Alb:Glob fue mayor en Bio-20% y Bio-40% con respecto al resto de tratamientos.

Los resultados de PT, Alb, Glob y Gluc del tratamiento control fueron muy similares a informes anteriores (Hrubec et al., 2000; Mansour y Esteban, 2017), observando una diferencia significativa tras sustituir el 20% del alimento. La concentración de proteína plasmática está relacionada con el estado nutricional siendo un reflejo del metabolismo y desarrollo productivo (Wang et al., 2016).

Sá et al. (2014) reportaron que las dietas con bajo nivel de proteína ($< 30\%$) presentan una digestibilidad inferior, lo cual coincide con la tendencia a la disminución de PT y GLU a medida que aumenta el nivel de sustitución, esto es relevante ya que la glucosa es esencial para la generación de energía, comprometiendo la tasa de crecimiento.

La tendencia a la disminución en parámetros sanguíneos a medida que aumenta el nivel de sustitución coincide con los de Wang et al. (2016), donde las dietas con mayor nivel de almidón de maíz presentaron menor proteína plasmática y atribuyeron este comportamiento a una baja digestibilidad provocada posiblemente por el alto nivel de celulosa en la dieta.

Calidad de la carne

En cuanto a las características fisicoquímicas del filete de tilapia del Nilo (Cuadro 6). El valor de L^* fue mayor en Bio-C y Bio-40% presentando mayor luminosidad en comparación con Bio-20% y Bio-30% ($P < 0.05$). El valor a^* fue mayor en Bio-30% presentando una coloración rojiza más intensa en

Cuadro 6. Parámetros fisicoquímicos en filete de tilapia cultivada en biofloc sometida a la sustitución parcial de alimento con subproductos de cerveza al final de experimento

Tratamiento	Bio-C	Bio-10%	Bio-20%	Bio-30%	Bio-40%	Valor P.
L*	42.9 ± 1.0a	39.1 ± 0.7ab	35.4 ± 0.8b	35.8 ± 0.8b	41.1 ± 0.6a	<0.001
a*	42.9 ± 1.0a	39.1 ± 0.7ab	35.4 ± 0.8b	35.8 ± 0.8b	41.1 ± 0.6a	0.003
b*	3.10 ± 0.64b	5.31 ± 0.52ab	5.35 ± 0.67ab	6.79 ± 0.68a	3.83 ± 0.72b	<0.001
C*	10.8 ± 0.57b	12.3 ± 0.47b	18.6 ± 0.41a	12.1 ± 0.41b	11.0 ± 0.42b	<0.001
H*	11.6 ± 0.64c	13.4 ± 0.55bc	19.6 ± 0.49a	14.2 ± 0.56b	11.6 ± 0.51c	<0.001
pH	6.48 ± 0.02ab	6.46 ± 0.05ab	6.50 ± 0.02a	6.37 ± 0.04b	6.45 ± 0.02ab	0.002
CRA	78.8 ± 0.70a	76.3 ± 0.52bc	77.8 ± 0.56ab	74.2 ± 0.67c	77.3 ± 0.54ab	<0.001

Valor expresado en media ± error estándar

L*, Luminosidad; a* pigmento rojo; b*, pigmento amarillo; C* chroma; H* amplitud del color; CRA, capacidad de retención del agua

comparación con Bio-C y Bio-40% ($P < 0.05$). La coordenada b^* fue mayor en Bio-20% respecto al resto de tratamientos ($P < 0.001$). El valor de C^* fue mayor en Bio-20% respecto al resto de los tratamientos y el valor de Bio-30% fue mayor respecto a Bio-C y Bio-40% ($P < 0.05$). El valor de H^* fue mayor en Bio-C respecto a Bio-10% y Bio-30%, asimismo, el valor en Bio-20% y Bio-40% fue mayor respecto a Bio-30% ($P < 0.05$). El WHC fue mayor en Bio-C respecto a, Bio-10% y Bio-30%, mientras que el valor en Bio-20% y Bio-40% fue mayor respecto a Bio-30% ($P < 0.05$).

El pH de la canal osciló entre 6.37 y 6.5 del filete donde encontramos que el valor más alto fue en el tratamiento Bio-20% presentando únicamente diferencia significativa respecto a Bio-30% ($P < 0.05$). mientras que en la capacidad de retención de agua La capacidad de retención del agua fue significativamente mayor en Bio-C respecto a Bio-10% y Bio-30% ($P < 0.05$).

El pH del músculo de los peces vivos es cercano a 7,0. Sin embargo, el pH post-mortem puede variar de 6.0 a 7.1 dependiendo de la estación, la especie y otros factores (Simeonidou, et al., 1998). La disminución del pH muscular afecta las propiedades físicas y tecnológicas del músculo (Ashie et al., 1996), como son la textura y capacidad de retención de agua (CRA), propiedades que se ven afectadas conforme el pH se acerca al punto isoeléctrico de las actomiosina (pH de 5.5) incrementando el número de cargas disponibles, aumentando así el WHC (Gault, 1985).

En los organismos sometidos a estrés antemortem, los niveles de glucógeno son bajos y el descenso de pH es mínimo, favoreciendo el crecimiento bacteriano y acelerando el deterioro (Huss, 1999).

Los resultados de este estudio, fueron muy similares a los reportados por Pinto et al. (2019) con un rango entre 6.5 y 6.6 y a los reportados por Montoya-Camacho (2013) ($\text{pH} = 6.77 \pm 0.03$) para tilapia. Además, fueron ligeramente inferiores a los reportados por Montoya-Camacho et al. (2018) donde los valores de pH oscilaron entre 6.77 y 6.81 en tilapias sometidas a la sustitución de proteína animal por vegetal en la dieta.

Se observó una relación directa entre los valores de CRA y los valores del parámetro L^* , siendo ambos mayores en Bio-C y Bio-40% y menores en los grupos con porcentaje intermedio de sustitución de la dieta por cebada malteada.

La poca variación del pH del músculo de los peces después del sacrificio puede estar relacionado con un bajo nivel de producción de ácido láctico debido al bajo contenido de carbohidratos en estos organismos, que es aproximadamente del 0.5% (Huss, 1988).

Wang et al. (2017) reportan que los filetes de tilapia presentan un aumento de los valores de b^* durante el período de almacenamiento adquiriendo una pigmentación amarillenta y esto puede ser causado por los pigmentos amarillos resultantes de la oxidación de lípidos y proteínas. Los resultados de este estudio apoyan parcialmente esta teoría, puesto que dos de los grupos con mayor contenido de lípidos en el filete (Bio-20 y Bio-30%) fueron los que mostraron los niveles más altos de b^* .

Es importante considerar que el biofloc contiene diversos compuestos bioactivos, como carotenoides, PHB, fitosteroles, bromofenoles y aminoazúcares (Ju et al., 2008). Se ha reportado que los carotenoides proporcionan nutrientes esenciales y muchas funciones fisiológicas bioactivas en los tejidos animales relacionados a la calidad del pescado al mejorar el color y la pigmentación de los músculos, además de estimular el sistema inmunitario de los animales, el aumento de la tolerancia al estrés y el crecimiento (Linan-Cabello et al., 2002; Chavarria y Maurilio, 2013), lo cual podría explicar los valores altos de a^* (pigmento rojo) en el estudio (35.4 y 42.9).

Aún son necesarios más estudios para establecer las características estándar de calidad de la carne en el pescado. Es de esperar que estos parámetros estén relacionados con factores como la composición de la dieta o las condiciones de cultivo; sin embargo, en este estudio no se observó una tendencia clara en los parámetros de calidad de la carne.

CONCLUSIONES

Actualmente la acuicultura se enfrenta a dos retos enormes, el fluctuante precio y poca disponibilidad de la harina de pescado que hace inviable la utilización de este ingrediente en el futuro cercano y la utilización de fuentes alternativas de proteína provenientes de desechos agrícolas parece ser la opción más viable y las más estudiadas en los últimos años teniendo resultados prometedores, siendo de las opciones más amigables con el medio ambiente.

Los resultados de este estudio sugieren que se puede sustituir entre un 10-20% de la dieta sin comprometer los parámetros productivos, hematológicos y de calidad de la carne, coincidiendo en gran parte con diversos autores que han experimentado con diversos subproductos.

A pesar de que el porcentaje de sustitución sin comprometer los parámetros productivos es relativamente bajo, es importante considerar el factor económico y de disponibilidad, ya que se estaría hablando de un ahorro de entre 10-20% en gasto de alimento, usando en su lugar un ingrediente virtualmente gratis que presenta buena disponibilidad en el estado de Baja California gracias al aumento de las cervecerías artesanales.

No obstante, es importante que se realicen más estudios con el fin de estandarizar el manejo de los ingredientes, definir formulaciones que cumplan con las necesidades nutricionales de cada especie, compense las deficiencias de aminoácidos esenciales y reduzcan los factores anti nutricionales (baja digestibilidad relacionada a la fibra).

LITERATURA CITADA

- Akinrotini, O.A. et al., 2012. Changes in blood parameters of *Tilapia guineensis* exposed to different salinity levels. *J. Environ. Eng. Technol.* 1:4–12.
- Amerling, C. 2001. *Tecnología de la Carne*. Euned.
- Ashie, I.N.A., B.K. Simpson y J.P. Smith. 1996. Mechanisms for controlling enzymatic reactions in foods, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 36:1-2, 1-30
- Atencio-Garcia, V., F. Genes-López, D. Madariaga-Mendoza y S. Pardo-Carrasco. 2007. Hematología y química sanguínea de juveniles de rubio (*Salminus affinis* PISCES: CHARACIDAE) del río Sinu. *Acta Biológica Colombiana*, 12:27–40.
- Avnimelech, Y. (2009). *Biofloc technology. A practical guide book*. (1st Ed.). The World Aquaculture Society. Baton Rouge. Society. Jerusalem. Pp. 272.
- Avnimelech, Y. (2011). *Tilapia Production Using BioFloc Technology (BFT)*. Dept. of Civil & Environmental Eng., Technion, Israel Inst. Of Technology Haifa, 32000, Israel. Pp 4.
- Avnimelech, Y. 2009. *Biofloc technology. A practical guide book*. 1st ed. The World Aquaculture Society. Baton Rouge. Society. Jerusalem. p. 272.
- Azim, M.E. y C.L., Little. 2008. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *J. Aquaculture*. 283:29–35.
- Betanzo-Torres, E.A., J.L. Marín-Muñiz, M.Á. Piñar-Álvarez, S. D. Celdrán y H. Mata-Alejandro. 2019. Análisis de la aplicación de la tecnología biofloc en la producción de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en regiones rurales de México. *RINDERESU 4 (1-2)*: 42-58.
- Blaxhall, P. C. y P. W. Daisley. 1973. Routine haematological methods for use with fish blood. *Journal of Fish Biology*, 5:771–781.
- Boyd, C., y Clay, J. 2002. *Evaluation of Belize Aquaculture Ltd: A superintensive shrimp aquaculture system*. FAO.

- Brú-Cordero, S.B., V.M. Pertúz-Buelvas, J.E. Ayazo-Genes, V.J. Atencio-García y S.C. Pardo-Carrasco. 2017. Biocultivo en biofloc de cachama blanca-*Piaractus brachypomus*- y tilapia nilótica-*Oreochromis niloticus*-alimentados con dietas de origen vegetal. *Rev.Med.Vet.Zoot.* 64(1):44-60.
- Chavarria, M.G. y L.F. Maurilio. 2013. The use of carotenoid in aquaculture. *Res. J. Fish. Hydrobiol.* 8:38–49.
- Crab, R., T. Defoirdt, P. Bossier y W. Verstraete. 2012. Biofloc technology in aquaculture: beneficial effects and future challenges. *Aquaculture* 356–357, 351–356. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.046>.
- De Schryver, P. y W. Verstraete. 2009. Nitrogen removal from aquaculture pond water by heterotrophic nitrogen assimilation in lab-scale sequencing batch reactors. *Bioresource technology.* 100(3):1162-1167.
- Ebeling, J.M., M.B. Timmons y J.J. Bisogni. 2006. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia -nitrogen in aquaculture systems. *J. Aquaculture.* 257: 346-358.
- El-Sayed, M. A. F. 1999. Alternative dietary protein sources for farmed tilapia, *Oreochromis spp.* *J. Aquaculture.* 179:149-168.
- Emerenciano, M.G.C. 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 Fisheries* 5(1):42-51.
- Estevez, A., L. Padrell, B. Inarra, M. Orive y D. San Martín. 2021. Brewery by-products (yeast and spent grain) as protein sources in gilthead seabream (*Sparus aurata*) feeds. *J. Aquaculture*, 543(736921).
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2009. Cultured aquatic species fact sheets, *Oreochromis niloticus*. Disponible en: http://www.fao.org/tempref/FI/DOCUMENT/aquaculture/CulturedSpecies/file/es/es_niletlapia.htm. Fecha de acceso 28 de febrero 2021.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2020. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La

- sostenibilidad en acción. Roma. Disponible en: <http://www.fao.org/publications/sofia/2020/es/>. Fecha de acceso: 24 de febrero 2021.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2022. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. La sostenibilidad en acción. Roma. Disponible en: <https://www.fao.org/publications/sofia/2022/es/> Fecha de acceso: 24 de febrero 2023.
- Farcaș, A.C., A.S. Socaci, E. Mudura, F.V. Dulf, D.C. Vodnar, M. Tofană y L.C. Salanță. 2017. Exploitation of brewing industry wastes to produce functional ingredients. In: Kanauchi, M. (ed.) *Brewing Technologies*, pp. 137–156. Intech Open
- Fazio, F. 2019. Fish hematology analysis as an important tool of aquaculture: a review. *J. Aquaculture*, 500:237-242.
- Gallone, B., S. Mertens, J.L. Gordon, S. Maere, K.J. Verstrepen y J. Steensels. 2018. Origins, evolution, domestication and diversity of *Saccharomyces* beer yeasts. *Curr. Opin. Biotechnol.* 49:148–155.
- García, F. E. 2010. Modificaciones al Sistema de clasificación climática de köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República mexicana). Instituto de Geografía, UNAM. México, DF.
- Gastón, R., U. Torrescano, E. A. Sanchez, M.N. Gonzalez y A. J. Camou. 2008. Tecnología en ingeniería del sacrificio y su repercusión en la calidad de los animales de abasto. *NACAMEH.* 2:78-96.
- Gatlin, D.M., F.T. Barrows, P. Brown, K. Dabrowski, T.G. Gaylord, R.W. Hardy, E. Herman, G. Hu, A. Krogdahl y R. Nelson. 2007. Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. *J. Aquaculture. Res.* 38:551–579.
- Gault, N.F. 1985. The relationship between water-holding capacity and cooked meat tenderness in some beef muscles as influenced by acidic conditions below the ultimate pH. *Meat Science.* 15 (1): 15-30.

- Gujer, W., y D. Jenkins. 1974. A nitrification model for contact stabilization activated sludge process. *Water research* 9 (5):5.
- Guozhi, L., Q. Gao, C. Wang, W. Liu, D. Sun, L. Li, and H. Tan. 2013. Growth, digestive activity, welfare, and partial cost-effectiveness of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured in a recirculating aquaculture system and an indoor biofloc system. *J. Aquaculture*. 422–423:1–7.
- Hardy, R., B. y Barrows, F. 2002. Diet formulation and manufacture. En: *Fish Nutrition* (J.E. Halver y R. Hardy, editores). Academic Press. New York .824 p.
- Hargreaves, J.A. 2013. Biofloc Production Systems for Aquaculture. Regional Aquaculture Center, SRAC Publication No. 4503. SRAC Publ. 1–12.
- Hofmann, K. 1988. El pH, una característica de la calidad de la carne. *Fleischwirtsch, español*, 1, 13-18.
- Honikel, KO. 1998. Reference Methods for the Assessment of Physical Characteristics of Meat. *J. Meat Sci.* 49:447-457.
- Hrubec, T.C., J.L. Cardinale y S.A. Smith. 2000. Hematology and Plasma Chemistry Reference Intervals for Cultured Tilapia (*Oreochromis Hybrid*). *Veterinary Clinical Pathology*. 29(1):7-12.
- Huss, H. H. 1999. El pescado fresco: su calidad y cambios de su calidad. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible en: <https://www.fao.org/3/v7180s/v7180s00.htm#:~:text=Se%20estudian%20los%20cambios%20post,determinar%20la%20calidad%20del%20pescado>. Fecha de acceso: 22 de junio 2022.
- Huss, H.H. 1988. El pescado fresco: su calidad y cambios de calidad. Manual de capacitación preparado por el Programa de Capacitación FAO/DANIDA en Tecnología Pesquera y Control de Calidad. Colección FAO: Pesca, No.29. 147 pp.
- INAPESCA, Instituto Nacional de Pesca. 2018. Acuicultura Tilapia. Disponible en <https://www.gob.mx/inapesca/acciones-y-programas/acuicultura-tilapia>. Fecha de acceso: 22 de febrero 2023

- Ishiwaki, N., H. Murayama, H. Awayama, O. Kanauchi y T. Sato. 2000. Development of high value uses of spent grain by fractionation technology. *J. Cereal Science* .37:261–265.
- Ismail, H.T., H.H. Mahboub. 2016. Effect of acute exposure to nonylphenol on biochemical, hormonal, and hematological parameters and muscle tissues residues of Nile tilapia; *Oreochromis niloticus*. *Vet. World*. 9:616-625.
- Jover, M., S. Martínez, A. Tomás y L. Pérez. 2003. Propuesta metodológica para el diseño de instalaciones piscícolas. *AquaTIC*. 19:17-26.
- Ju, Z.Y., I. Forster, L.Conquest, W. Dominy, W.C. Kuo y F.D. Horgen. 2008. Determination of microbial community structures of shrimp floc cultures by biomarkers and analysis of floc amino acid profiles. *J. Aquaculture. Res.* 39:118–133.
- Karlsen, F. y P.V. Skov. 2022. Review – Potentials and limitations of utilising brewer’s spent grain as a protein source in aquaculture feeds. *Journal of Cleaner Production*. 357:131986.
- Karlsen, F. y P.V. Skov. 2022. Review – Potentials and limitations of utilising brewer’s spent grain as a protein source in aquaculture feeds. *Journal of Cleaner Production* 357:131986
- Kishida, N., S. Tsuneda, Y. Sakakibara, J. H. Kim, y R. Sudo. 2008. Real-time control strategy for simultaneous nitrogen and phosphorus removal using aerobic granular sludge. *Water Science and Technology*, 58:445–450. <https://doi.org/10.2166/wst.2008.410>.
- Lim, C. E y C.D. Webster. 2006. *Tilapia: Biology, Culture, and Nutrition*. Food Products Press. 678 p.
- Linan-Cabello, M.A., J. Paniagua-Michel y P.M. Hopkins. 2002. Bioactive roles of carotenoids and retinoids in crustaceans. *Aquac. Nutr.* 8:299–309.
- Mancini, R. A., y Hunt, M. C. (2005). Current research in meat color. *Meat Sci.* 71:100–121.
- Mancini, R. A., y M. Hunt. 2005. Current research in meat color. *Meat Sci.* 71(1):100-121.

- Manduca, L.G., M.A. Silva, E.R. Alvarenga, G.F.O. Alves, A.F.A. Fernandes, A.F. Assumpção, C.C. Cardoso, S.C.M. Sales, E.A. Teixeira, M.A. Silva y E.M. Turra. 2020. Effects of a zero exchange biofloc system on the growth performance and health of Nile tilapia at different stocking densities. *J. Aquaculture*. 521:735064.
- Mansour, A.T., y M.E. Esteban. 2017. Effects of carbon sources and plant protein levels in a biofloc system on growth performance, and the immune and antioxidant status of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish and Shellfish Immunology*. 64:202-209.
- Montoya-Camacho, N. 2013. Efecto de la temperatura de almacenamiento sobre el rigor mortis y la calidad del músculo de tilapia *Oreochromis niloticus*. M.S thesis. Universidad de Sonora. Hermosillo, Sonora, México.
- Naylor, R.L., R.W. Hardy, D.P. Bureau, A. Chiu, M. Elliott, A.P. Farrell, I. Forster, D.M. Gatlin, R.J. Goldberg, K. Hua y P.D. Nichols. 2009. Feeding aquaculture in an era of finite resources. *PNAS* 106(36):15103-15110.
- Nhi, N.H.Y., C.T. Da, T. Lundh, T.T. Lan y A. Kiessling. 2018. Comparative evaluation of Brewer's yeast as a replacement for fishmeal in diets for tilapia (*Oreochromis niloticus*), reared in clear water or biofloc environments. *J. Aquaculture* 495:654–660.
- Ortuño, J., M.A. Esteban y J. Meseguer. 2001. Effects of short-term crowding stress on the gilthead sea bream (*Sparus aurata*) innate immune response. *Fish Shellfish Immunol.*, 11:187-197.
- Oviedo, M., S. Brú, V. Atencio y S. Pardo. 2013. Potencialidad de la región costera de Córdoba-Colombia-para el cultivo de tilapia nilótica. *Rev.MVZ Córdoba*. 18(3):37813789.
- Pinto, L., K. Nascimento, J. Monteschio, A. Vital, M. Scapim, G. Madrona y I. Prado. 2019. Effect of Alginate-based Edible Coating with Oatmeal on the Quality of Nile Tilapia Fillets, *Chemical Engineering Transactions*, 75:589-594.
- Rachwał, K., A. Waśko, K. Gustaw, M. Polak-Berecka. 2020. Utilization of brewery wastes in food industry. *PeerJ* 8, 1–28.

- Rakocy, J.E., D.S. Bailey, E.S. Thoman y R.C. Shultz. 2004. Intensive tank culture of tilapia with a suspended, bacterial-based, treatment process. In: Proc. Sixth Int. Symp. Tilapia Aquac. pp. 584–596.
- Ray, A.J., B.L. Lewis, C.L. Browdy y J.W. Leffler. 2010. Suspended solids removal to improve shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production and an evaluation of a plant-based feed in minimal-exchange, superintensive culture systems. *J. Aquaculture* 299:89–98. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.11.021>.
- Sá, R., M. Gavilán, M.J. Rioseco, A. Llancabure, L. Vargas-Chacodd, A. Augsburger y F. Bas. 2014. Dietary protein requirement of Patagonian blennie (*Eleginops maclovinus*, Cuvier 1830) juveniles. *J. Aquaculture* 428–429:125-134.
- SADER, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. 2017. Avanza México como una potencia de producción acuícola. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/avanza-mexico-como-una-potencia-en-produccion-acuicola>. Fecha de acceso 24 de febrero 2021.
- SAGARPA. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2008. Manual de Buenas Prácticas de Producción Acuícola de Tilapia para la Inocuidad Alimentaria. Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/311366/ManualBPTil.pdf> Fecha de acceso: 22 de mayo 2021.
- Sayed, A.E.D.H. y R.H. Moneeb. 2015. Hematological and biochemical characters of monosex tilapia (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1758) cultivated using methyltestosterone. *J. Basic Appl. Zool.*, 72:36-42.
- Sharma, B. y R.C. Ahlert. 1977. Nitrification and nitrogen removal. *Water research* 11: 897-925.
- Simeonidou, S., A. Govaris y K. Vareltzis. 1997. Quality assessment of seven Mediterranean fish species during storage on ice. *Food research international*. 30(7):479-484.

- Suresh V. y R.C. Bhujel. 2019. Tilapias. En: Lucas J.S., P.C. Southgate y C.S. Tucker. 2019. Aquaculture: Farming Aquatic Animals and Plants. 3^{er} edición. Pp 403-406. John Wiley & Sons Ltd. Hoboken, NJ.
- Sutton, D. S., M. Ellis, Y. Lan, F. K. McKeith, y E. R. Wilson. 1997. Influence of slaughter weight and stress gene genotype on the water-holding capacity and protein gel characteristics of three porcine muscles. *J. Meat Sci.* 46(2):173-180.
- Swatland, H. J. 2003. Evaluación de la Carne en la Cadena de Producción. Edit. Acribia, S.A. Zaragoza, (España) Pp.181-201.
- Swatland, H.J. 1991. Estructura y Desarrollo de los Animales de Abasto. Ed. Acribia. Zaragoza, España.443 p.
- Tavares-Dias, M. y F.R. Moraes. 2004. Hematología de peixes teleósteos Villimpres Complexo Gráfico, Ribeirão Preto.
- Tavares-Dias, M. y F.R. Moraes. 2006. Hematological parameters for the *Brycon orbignyanus* Valenciennes, 1850 (Osteichthyes: Characidae) intensively bred *Hidrobiológica.*, 16:271-274.
- Valbuena-Villarreal, R. D. y P. E. Cruz-Casallas. 2006. Efecto del peso corporal y temperatura del agua sobre el consumo de oxígeno de tilapia roja (*Oreochromis* sp). *Orinoquia*, 10(1):57-63.
- Velasco-Posada, N. Y. 2019. Evaluación de diferentes fuentes de carbono en sistema biofloc para la producción de juveniles de tilapia roja (*Oreochromis* spp.). *Maestría Ciencias Agrarias*. Universidad Nacional de Colombia. Pp 102.
- Wang, J., Y. Jiang, T. Li, Y. Yang, S. Hu y M. Yang. 2016. Dietary protein requirement of juvenile red spotted grouper (*Epinephelus akaara*). *J. Aquaculture* 450: 289-294.
- Wu, F., H. Wen, J. Tian, M. Jiang, W. Liu, C. Yang, L. Yu y X. Lu. 2018. Effect of stocking density on growth performance, serum biochemical parameters,

and muscle texture properties of genetically improved farm tilapia, *Oreochromis niloticus*. J. Aquaculture. Int. 26:1247-1259.