



Universidad Autónoma del Estado de México
Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua

**Impacto en la calidad del agua por técnicas
alternativas de nutrición en la producción acuícola.**

Tesis para obtener el grado de MAESTRA EN CIENCIAS DEL AGUA
presenta:

Aylin Trujillo Rogel

Tutor académico:

Dr. Iván Gallego Alarcón

Tutores adjuntos:

Dr. Daury García Pulido

Dr. Carlos Roberto Fonseca Ortiz

Índice

| | |
|---|----|
| Índice de tablas | 4 |
| Índice de figuras..... | 4 |
| 1. Introducción | 6 |
| 2. Antecedentes..... | 10 |
| 2.1 Acuicultura | 10 |
| 2.2 Calidad del agua | 12 |
| 2.2.1 Temperatura | 13 |
| 2.2.2 Oxígeno disuelto | 14 |
| 2.2.3 Dióxido de carbono | 15 |
| 2.2.4 Nitrógeno | 16 |
| 2.2.5 Fósforo..... | 17 |
| 2.2.6 pH | 18 |
| 2.2.7 Solidos suspendidos | 19 |
| 2.3 Relación entre la alimentación de peces y la calidad del agua | 19 |
| 2.4 Elasticidad..... | 28 |
| 3. Justificación contextual y científica | 29 |
| 4. Hipótesis..... | 29 |
| 5. Objetivo general | 30 |
| 6. Objetivos específicos | 30 |
| 7. Metodología..... | 30 |
| 7.1 Unidad experimental..... | 30 |
| 7.2 Velocidad del flujo y tiempo de retención hidráulica | 31 |
| 7.2 Organismos experimentales | 32 |
| 7.3 Tratamientos | 32 |
| 7.4 Dietas experimentales | 33 |
| 7.5 Calidad del agua | 35 |
| 7.7 Elasticidad | 36 |
| 7.8 Análisis estadístico | 36 |

| | |
|---|-----|
| 8. Resultados y discusión | 36 |
| 8.1 Velocidad y tiempo de retención hidráulico | 37 |
| 8.2 Análisis bromatológico de los alimentos | 37 |
| 8.3 Normalidad de los datos | 40 |
| 8.4 Calidad del agua | 40 |
| 8.4.1 Especies nitrogenadas | 41 |
| 8.4.1.1 Nitrógeno Amoniacal Total (NAT) | 41 |
| 8.4.1.2 Comportamiento del nitrato | 44 |
| 8.4.2 Materia orgánica | 47 |
| 8.4.2.1 Demanda Química de Oxígeno (DQO) | 47 |
| 8.4.2.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) | 49 |
| 8.4.2.3 Solidos Suspendidos Totales (SST) | 52 |
| 8.4.2.4 Solidos Disueltos Totales (SDT) | 55 |
| 8.4.3 Parámetros descriptivos y limitantes | 58 |
| 8.4.3.1 pH, temperatura y oxígeno disuelto | 58 |
| 8.5 Parámetros zootécnicos | 63 |
| 8.6 Elasticidad | 65 |
| 8.7 Análisis económico | 69 |
| 8.8 Desempeño general de la calidad del agua vs las alternativas nutrimentales | 70 |
| 9. Conclusiones y recomendaciones | 80 |
| 9.1 conclusiones | 80 |
| 9.2. Recomendaciones | 81 |
| 10. Literatura citada | 82 |
| Anexos | 109 |
| Anexo 1 Listado de abreviaturas | 109 |
| Anexo 2 Diagrama de flujo del plan general del trabajo | 112 |
| Anexo 3 Esquema de los cuatro sistemas de recirculación acuícola (SRA) | 113 |
| Anexo 4. Protocolos de alimentación | 114 |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Producción acuícola de tilapia en México (en toneladas por año), tomado de Conapesca,2018 | 11 |
| Tabla 2. Efectos de diferentes niveles de concentración de oxígeno disuelto en peces, tomado de Boyd, 2017 | 14 |
| Tabla 3. Descripción de los grupos experimentales, Grupo control (T_{ex}), fermentado de soya ($T_{fesoyaz}$), fermentado de sorgo ($T_{fesorgo}$) y predigerido de trigo ($T_{pretrigo}$)..... | 33 |
| Tabla 4. Velocidad del agua recomendada vs velocidad del agua en el estanque. | 37 |
| Tabla 5. Valores utilizados para los cálculos de hidrodinámica. | 37 |
| Tabla 6. Análisis bromatológico de los alimentos utilizados en cada tratamiento. | 37 |
| Tabla 7. Precio por kilo de los alimentos utilizados durante la experimentación. | 69 |
| Tabla 8.Escala de las zonas de los parámetros fisicoquímicos de cada tratamiento realizado. | 71 |
| Tabla 9. Eficiencia de la utilización de las alternativas de nutrición. | 78 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Comportamiento den Nitrógeno Amoniaca Total (NAT)..... | 43 |
| Figura 2. Comportamiento del Nitrato..... | 46 |
| Figura 3. Comportamiento de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) | 48 |
| Figura 4. Comportamiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) | 51 |
| Figura 5. Comportamiento de los Solidos Suspendidos Totales (SST)..... | 54 |
| Figura 6. Comportamiento de los Solidos Disueltos Totales (SDT) | 57 |
| Figura 7.Comportamiento de la temperatura (°C)..... | 60 |
| Figura 8. Comportamiento del pH..... | 61 |
| Figura 9. Comportamiento del Oxígeno Disuelto (OD) | 62 |
| Figura 10 Parámetros zootécnicos | 64 |

| | |
|---|----|
| Figura 11. Análisis de regresión entre la diferencia de concentración de DQO con respecto a la biomasa..... | 67 |
| Figura 12. Análisis de elasticidad para DQO de acuerdo con la biomasa..... | 68 |
| Figura 13. comparación del desempeño general de cada tratamiento suministrado..... | 74 |

Resumen

La calidad del agua juega un rol esencial en la acuicultura, dado que el correcto desarrollo de los organismos acuáticos depende de la manera en que se mantengan sus parámetros físicos, químicos y biológicos. Por lo tanto, estos deben ser mantenidos dentro de los rangos aceptables para el buen desarrollo de estos. Finalmente, un adecuado monitoreo, que consiste en la aplicación de las medidas correctas durante el proceso de producción, incrementa el nivel de producción de las especies y mejora la sostenibilidad del cultivo.

El alimento es el principal factor que afecta la calidad del agua, la aplicación de alimentos alternativos de origen vegetal en la nutrición de peces donde los componentes nutricionales están disponibles. Su contacto con el agua puede ocasionar un cambio en su composición, por consiguiente, saber y comprender su comportamiento y efecto, ayudará a la elección de aquellos alimentos que apoyan a la creación de una acuicultura más sustentable.

El presente trabajo hace referencia a tres alimentos alternativos de alimentación: fermentado de soya, fermentado de sorgo y predigerido de trigo, comparados con el alimento de extruido tradicional sobre el efecto causante en la calidad del agua en la producción de *Oreochromis niloticus*. A cada tratamiento se le suministro una mezcla de probióticos comercial.

El experimento se llevó a cabo en un sistema de recirculación acuícola (SRA) que consistía en cuatro tratamientos con tres estanques conectados a un biofiltro y un reservorio de agua con una bomba de 1HP que alimentaba el sistema. El periodo de estudio duró 2 meses.

Se evaluó el impacto en la calidad del agua de cada una de las fuentes nutricionales de alimentación administradas, mediante la determinación de la concentración de los siguientes parámetros fisicoquímicos: Nitrógeno Amoniacal Total (NAT), nitratos, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Solidos Disueltos Totales (SDT), Solidos Suspendidos Totales (SST), Temperatura, pH, Oxígeno disuelto.

Aunque no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos sobre la concentración de cada parámetro fisicoquímico analizado, ni concentraciones que afectaran la sobrevivencia de especie cultivada. Sin embargo, el tratamiento de fermentado de sorgo demostró ser más eficiente en cuanto a las mínimas variaciones en el comportamiento de los parámetros determinantes de la calidad del agua, además de la ganancia de peso de los organismos y la rentabilidad del alimento.

Palabras clave: Calidad del agua, *Oreochromis niloticus*: tilapia, alimento extruido tradicional, alimentos alternativos.

Abstract

Water quality plays an essential role in aquaculture, since the correct development of aquatic organisms depends on the way in which their physical, chemical, and biological parameters are maintained. Therefore, these elements must be kept within acceptable ranges for their proper development. Finally, adequate monitoring, which consists of applying the correct measures during the production process, increases the production level of the species and improves the sustainability of the fish production.

Feed is the main factor affecting water quality, the application of alternative feeds of plant origin in fish nutrition where the nutritional components are available. Their contact with water can cause a change in its composition, therefore, knowing and understanding its behavior and effect will help to choose those feeds that help create a more sustainable aquaculture.

The present work refers to three alternative feeds: fermented soybean, fermented sorghum and predigested wheat, compared with the traditional extruded feed on the causative effect on water quality in a production of *Oreochromis niloticus*. Each treatment was supplied with a commercial probiotic mixture.

The experiment was carried out in a recirculating aquaculture system (RAS) that consisted of four treatments with three ponds connected to a biofilter and a water reservoir with a 1HP pump that fed the system. The study period lasted 2 months.

The impact on water quality of each of the administered nutritional sources of feed was evaluated by determining the concentration of the following physicochemical parameters: Total Ammoniacal Nitrogen (TAN), nitrates, Chemical Oxygen Demand (COD), Demand Oxygen Biochemistry (BOD₅), Total Dissolved Solids (TDS), Total Suspended Solids (TSS), Temperature, pH, Dissolved Oxygen.

Although no significant differences were found between the treatments on the concentration of each physicochemical parameter analyzed, nor concentrations that affected the survival of the produced specie. However, the fermented sorghum treatment proved to be more efficient in terms of minimal variations in the behavior of the determining parameters of water quality, in addition to the weight gain of the organisms and the profitability of the feed.

Key words: Water quality, *Oreochromis niloticus*: tilapia, traditional extruded feed, alternative feeds.

1. Introducción

La actividad acuícola ha sostenido una evolución lenta a través del tiempo, basándose principalmente en conocimientos tradicionales. Sus logros han sido gracias al esfuerzo de los productores e investigadores, que mediante experiencias, indagación y trabajo en equipo han desarrollado las técnicas y procesos que dieron pie a la acuicultura moderna (FAO, 2019). En el 2018, se reportó un récord mundial cuando se logró una producción anual de 114.5 millones de toneladas de peso vivo cuyo origen fue la acuicultura. Su valor de venta fue de 263,600 millones de dólares (USD) (FAO, 2020).

Con este gran desarrollo, también se ha generado un fuerte consumo de recursos naturales. En el 2015, la producción de alimentos balanceados fue de 60 millones de toneladas con un crecimiento constante (Olude *et al.*, 2016; Kabir *et al.*, 2020). Desde entonces ha aumentado su producción. Estos alimentos tienen su fuente de proteínas y grasas en las harinas y aceites de pescado, cuyo origen son peces capturados en los océanos (Maas *et al.*, 2020; Ngugi *et al.*, 2017), lo que ha llevado a la sobreexplotación de las poblaciones de peces utilizados para preparar alimentos balanceados industrializados (Samaddar *et al.*, 2011; Kabir *et al.*, 2020; Xu *et al.*, 2020).

La complejidad del uso de la harina y el aceite de pescado ha llevado a la comunidad científica a desarrollar investigación para sustituir estos ingredientes por otros de origen terrestre (Carlberg *et al.*, 2018; Davies *et al.*, 2020; McLean *et al.*, 2020; Mokrani *et al.*, 2020). Actualmente la harina, sémola y granos de soya son los más utilizados con excelentes resultados en la sustitución de harina de pescado (Hossain *et al.*, 2018; Huang *et al.*, 2018; Mamauag *et al.*, 2019; McLean *et al.*, 2020).

El uso de las diferentes técnicas de alimentación ha expresado preocupaciones por acuicultores, científicos y el público con respecto a impactos al medio ambiente y social de la actividad (ICES 1995, 1999; Gillibrand 2000; Black 2001; Focardi, *et al.*, 2005). La calidad del agua es uno de los elementos que más ha tenido relevancia con respecto a su impacto en el medio ambiente.

El conocimiento de los principios de la calidad del agua ayuda a los acuicultores a determinar el potencial de este líquido para: producir especies acuícolas, mantener o mejorar la calidad, minimizar los problemas de estrés y salud de los peces, producir

productos acuícolas de mayor calidad, reducir los impactos ambientales de los efluentes, lograr una producción más eficiente y mayores ganancias (Summerfelt, 2000).

Algunas variables, como la salinidad y la temperatura del agua, son importantes al evaluar la idoneidad de un sitio para la producción de una especie en particular. Otras propiedades, como la alcalinidad, la turbidez y las especies de fósforo y nitrógeno son importantes porque afectan la productividad de las plantas, lo que, a su vez, puede influir en la producción acuícola. El oxígeno disuelto, el dióxido de carbono, el amoníaco y otros factores entran en juego durante el período de crecimiento porque son factores potencialmente estresantes del organismo acuícola (Boyd y Tucker, 2012).

El evidente impacto que la alimentación tiene en la calidad del agua puede deberse principalmente a los desechos generados por la actividad acuícola (heces y alimento no consumido), los cuales se disuelven o sedimentan. Dando como resultado la acumulación de sedimentos anóxicos, que pueden contribuir el crecimiento de bacterias y virus perjudiciales para la salud de los peces, así como modificar algunas características de la composición fisicoquímica del agua. Por lo tanto, este estudio mostrara la importancia de evaluar el impacto en la calidad del agua de las diferentes técnicas de nutrición de peces, en sistemas acuícolas, para optimizar el uso de los recursos naturales en la producción.

2. Antecedentes

2.1 Acuicultura

La palabra "acuicultura", aunque se ha utilizado de forma bastante amplia durante las últimas dos décadas para denotar todas las formas de producción, crecimiento y comercialización de animales y plantas acuáticos en ambientes dulceacuícolas, salobres y útiles para el hombre y/o animales (de Pesca, 2013).

Sin embargo, es necesario usarlo para indicar (1) el tipo de técnicas o sistemas de producción (por ejemplo, cultivo en estanques, en canales, en jaulas, en corrales, en balsas); (2) el tipo de organismo cultivado (por ejemplo, piscicultura o cría de peces, cultivo de ostras, mejillones, camarones o algas marinas); (3) el entorno en el que se realiza el cultivo (por ejemplo, agua dulce, agua salobre, o acuicultura marina); o, (4) un carácter

específico del medio ambiente utilizado para el cultivo (por ejemplo, acuicultura en aguas frías o calientes, tierras altas o bajas, tierra adentro, costas, estuarios) (Pillay y Kutty, 2005).

Hasta el momento la definición más completa es la de Lucas y Southgate (2006) donde se le conoce como acuicultura a la producción organismos acuáticos en un ambiente controlado y delimitado físicamente. Estos organismos pueden pasar toda su vida o solamente parte de ella en el agua, con el fin de producir su carne o su especie.

La domesticación de una especie acuícola se basa en el control de diversos fenómenos como: 1) temperatura, puede ser cálida, templada o fría; 2) terreno, los mejores sitios son aquellos con agua de calidad adecuada para la especie, pendiente menor al 5%; 3) abastecimiento de agua, cantidad y calidad adecuada; 4) infraestructura, estanques (formas, profundidades, velocidades) que permitan el desarrollo de los organismos (Vázquez-Soto, *et al*, 2011).

Esta actividad se ha dividido con base en diferentes características como son la densidad de producción o el tipo de especie que se produce (Saavedra-Martínez, 2006). Cuando se trata de la primera, la acuicultura se divide en sistemas extensivo, semi-intensivo, intensivo e hiper-intensivo. En el caso de las especies se destaca la camaronicultura, la truficultura, etcétera. No obstante, la producción de tilapia ha tomado mucha fuerza en los últimos años, siendo la especie de agua dulce más producida en el mundo.

En México su producción ha alcanzado niveles muy altos, en la tabla 1 se muestra la producción de tilapia en toneladas en varios estados de la república mexicana.

Tabla 1. Producción acuícola de tilapia en México (en toneladas por año), tomado de Conapesca, 2018

| Año | Entidad federativa | | | | | | | | |
|------|--------------------|---------|-----------|---------|---------|----------|---------|----------|--------|
| | Jalisco | Chiapas | Michoacán | Sinaloa | Nayarit | Veracruz | Tabasco | Guerrero | México |
| 2009 | 8,098 | 7,011 | 9,129 | 6,974 | 6,809 | 13,523 | 3,972 | 1,924 | 925 |
| 2010 | 9,732 | 6,236 | 5,824 | 9,192 | 7,048 | 14,839 | 3,082 | 1,500 | 972 |
| 2011 | 7,677 | 9,231 | 6,597 | 6,335 | 6,107 | 11,561 | 3,487 | 1,168 | 1,033 |
| 2012 | 4,170 | 10,962 | 13,330 | 6,017 | 7,990 | 11,292 | 3,840 | 1,533 | 1,100 |
| 2013 | 20,927 | 16,445 | 9,647 | 8,104 | 8,927 | 11,482 | 3,785 | 2,369 | 1,869 |
| 2014 | 26,753 | 23,938 | 15,599 | 11,114 | 9,523 | 13,393 | 4,079 | 3,134 | 1,941 |
| 2015 | 32,039 | 29,136 | 10,319 | 12,178 | 10,710 | 9,967 | 5,267 | 3,929 | 2,581 |

| Año | Entidad federativa | | | | | | | | |
|------|--------------------|---------|-----------|---------|---------|----------|---------|----------|--------|
| | Jalisco | Chiapas | Michoacán | Sinaloa | Nayarit | Veracruz | Tabasco | Guerrero | México |
| 2016 | 36,879 | 36,079 | 27,497 | 17,174 | 13,248 | 11,130 | 6,572 | 5,303 | 3,829 |
| 2017 | 39,538 | 26,759 | 25,873 | 16,172 | 14,239 | 13,038 | 7,053 | 6,347 | 5,111 |
| 2018 | 35,887 | 28,230 | 17,615 | 17,553 | 14,292 | 12,386 | 7,620 | 5,674 | 4,948 |

La creciente importancia de la tilapia como candidata a la acuicultura la hace una gran anfitriona para producción de investigaciones científicas, cuenta con una ventaja al ser generalmente omnívoras con tendencia a herbívoras, siendo esta característica extremadamente importante para la economía del cultivo de tilapia, se alimentan de los organismos pertenecientes a los niveles bajos de tróficos (productores primarios) y los costos de alimentación son menores que los de peces carnívoros (El-Sayed ,2019)

Aparte de la gran importancia económica de las tilapias para la acuicultura y la pesca, desempeñan un papel importante en los ecosistemas acuáticos tropicales. Esto significa que es probable que las introducciones y / o cultivos no planificados de tilapia causen impactos ecológicos severos. Por lo tanto, el estudio de la biología y ecología básica de la tilapia es necesario antes de su introducción y / o cultivo en diferentes regiones geográficas para evitar, o al menos minimizar, estos impactos (El-Sayed ,2019).

2.2 Calidad del agua

Cualquier propiedad física, química o biológica que afecte el uso del agua para cualquier propósito es una variable de calidad del agua (Boyd y Lichtkoppler, 1979).

La calidad del agua es de suma importancia en la acuicultura, porque afecta la salud, la supervivencia y la producción de las especies acuícolas (Boyd y Tucker, 1998). Debe considerarse en todas las etapas de la producción. Es decir, en el origen del agua, en los sistemas de cultivo antes de la siembra y durante el engorde. Estas tareas se facilitan mediante la medición de variables clave, la interpretación de los valores medidos y la implementación de intervenciones para mejorar la calidad del agua cuando sea necesario.

La gestión adecuada de la calidad del agua en la actividad acuícola es esencial para promover la buena salud de los animales acuáticos, necesaria para una producción eficiente (Stickney, 2016).

Asimismo, se debe considerar la salud ambiental de los cuerpos de agua que reciben efluentes de la acuicultura, porque las aguas residuales de la acuicultura pueden contaminar los cuerpos de agua receptores (Tucker y Hargreaves, 2008). Sin embargo, cuando la calidad del agua se gestiona adecuadamente dentro de los sistemas de producción, los posibles impactos negativos de los efluentes de la acuicultura en la biota de los cuerpos de agua receptores se reducen en gran medida (Boyd, 2017).

Las variables de calidad del agua más comunes que causan estrés y afectan al bienestar de los organismos acuícolas son: temperatura, salinidad y pH; baja concentración de oxígeno disuelto; altas concentraciones de dióxido de carbono, nitrógeno amoniacal total, nitritos y toxinas de algas (Boyd, 2019).

2.2.1 Temperatura

Los peces y crustáceos son poiquilotérmicos o "de sangre fría". Esto significa que su temperatura corporal es aproximadamente la misma que la temperatura del agua que los rodea, y debido a que la temperatura del agua cambia a diario y estacionalmente, es de suma importancia mantener su control (Boyd y Tucker, 1998).

La temperatura, interviene sobre la biología de los peces, condicionando la maduración gonadal, el tiempo de incubación de las ovas, el desarrollo larval, la actividad metabólica y el ritmo de crecimiento de larvas, alevines y adultos. Además del retardo o aceleración de la actividad biológica que tiene efecto en la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, sedimentación y filtración (Bautista, *et al.*, 2011; Rodríguez y Anzola, 2001).

La supervivencia de los organismos acuícolas, en los extremos de tolerancia térmica o cerca de ellos depende en gran medida de la tasa de cambio de temperatura y la temperatura de aclimatación. Cuando las temperaturas cambian lentamente (no más de aproximadamente 2 °C / día), ocurren cambios fisiológicos que permiten que los animales acuáticos se adapten y sobrevivan a la nueva temperatura. La aclimatación implica cambios bioquímicos en los sistemas enzimáticos y la estructura de la membrana celular que permiten que las reacciones metabólicas se desarrollen de manera más eficiente a la nueva temperatura (Boyd y Tucker, 1998).

Los cambios de temperatura muy rápidos (más de aproximadamente 0.5 °C / min para variaciones de más de aproximadamente 5 °C) pueden causar un choque térmico y posiblemente la muerte (Boyd y Tucker, 1998).

El estrés térmico de los animales acuáticos a menudo provoca un deterioro de la osmorregulación. Por lo tanto, la tolerancia térmica interactúa con otros aspectos de la calidad del agua que afectan a esta. Dos importantes moduladores de la tolerancia térmica son la salinidad y la concentración de calcio ambiental. La capacidad de soportar alteraciones repentinas de temperaturas y de sobrevivir a intervalos extremos son mayores cuando los animales viven en agua cerca de la salinidad óptima para la especie en cuestión. El calcio también es importante porque afecta la permeabilidad de iones y agua en las membranas branquiales (Boyd y Tucker, 1998).

2.2.2 Oxígeno disuelto

El nivel de oxígeno disuelto (OD) presente en un estanque de acuicultura se considera el parámetro más importante en la calidad del agua. Una mala concentración de oxígeno disuelto aumenta la vulnerabilidad a enfermedades, parásitos, o morir por falta de este elemento. Además, se ha comprobado que los peces no aceptan el alimento cuando se presentan niveles bajos de oxígeno. Lo cual conlleva a la pérdida de este insumo, afectando el crecimiento y la tasa de conversión alimenticia (Summerfelt, 2000). Por lo tanto, el oxígeno disuelto debe mantenerse en o cerca de la saturación en todos los sistemas de producción en los que se crían animales acuáticos para evitar la imposición de estrés. Se deben realizar las actividades necesarias en los estanques para mantener un nivel de OD de no menos de 5 mg/L en todo momento (Jobling, 2010).

Boyd, 2017, informa de las respuestas de las especies de aguas cálidas (incluidas las tropicales) a diferentes niveles de concentración de oxígeno disuelto (tabla 2).

Algunas especies pueden tolerar concentraciones más bajas de oxígeno disuelto. Las especies de aguas frías tienen un mayor requerimiento de oxígeno disuelto que las especies de aguas cálidas. La concentración letal es mayor para las especies de aguas frías que para las de aguas cálidas (Boyd, 2017).

Tabla 2. Efectos de diferentes niveles de concentración de oxígeno disuelto en peces, tomado de Boyd, 2017

| Oxígeno disuelto (mg/L) | Efectos |
|-------------------------|--|
| 0 - 0.3 | Los peces pequeños sobreviven a exposiciones breves. |
| 0.3 – 1.5 | Letal si la exposición se prolonga durante varias horas. |

| | |
|-----------------------------|---|
| 1.5 – 5.0 | Los peces sobreviven, pero el crecimiento será lento. |
| 5.0 | Más susceptible a las enfermedades. Intervalo deseable |
| Por encima de la saturación | Posible trauma por burbujas de gas si la exposición es prolongada |

La mayoría de los animales acuáticos son más sanos y crecen más rápido cuando las concentraciones de oxígeno disuelto están cerca de la saturación del agua (Collins, 1984). La hemoglobina se satura por completo cuando la concentración de oxígeno disuelto se acerca a la saturación, y una mayor concentración de oxígeno disuelto no proporciona ningún beneficio. Cuando las concentraciones de oxígeno disuelto caen por debajo del 60-70% de la saturación (4.7 a 5.5 mg/L a 28 °C y 6.0 a 7.0 mg/L a 15 °C en agua dulce) los animales tratan de compensarlo cambiando el comportamiento y la fisiología. Las adaptaciones y respuestas permiten que los animales sanos sobrevivan durante muchos períodos incluso cuando los niveles de oxígeno disuelto son tan bajos como 20-30% de saturación, pero comen menos alimento, crecen más lentamente, y puede volverse más susceptible a enfermedades infecciosas (Torrans, 2008).

2.2.3 Dióxido de carbono

El dióxido de carbono (CO₂) tiene importancia en acuicultura debido a que es esencial para la fotosíntesis e influye en el pH del agua. Puede llegar a ser tóxico, aunque los peces pueden tolerar concentraciones altas de este gas, siempre y cuando el nivel de oxígeno disuelto sea alto (Rodríguez y Anzola, 2001).

Un aumento en la concentración de CO₂ ocasionara en los organismos una disminución en la capacidad de la sangre para captar el oxígeno. En una intoxicación por CO₂, primero presentan problemas de equilibrio, seguido de signos de adormecimiento y disminución de la frecuencia respiratoria, además los peces no permanecen en la superficie (Rodríguez y Anzola, 2001).

Específicamente, las altas concentraciones de dióxido de carbono disuelto (más de aproximadamente 60 mg/L) tienen un efecto narcótico en los animales acuáticos. Concentraciones aún más altas (más de 80 mg/L) pueden causar la muerte. La exposición a concentraciones más bajas puede estresar a los peces al interferir con la respiración o al

causar la formación de depósitos calcáreos en el riñón (nefrocalcinosis) (Boyd y Tucker, 1998).

Las altas concentraciones ambientales de dióxido de carbono disuelto (hipercapnia) reducen la excreción de dióxido de carbono en las branquias de los peces, lo que provoca niveles elevados de este elemento en plasma y acidosis respiratoria no compensada. Estas condiciones disminuyen la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno (el conocido efecto Bohr), que reduce la absorción de oxígeno por la sangre en las branquias, incluso si las concentraciones ambientales de oxígeno disuelto son altas. La exposición a altas concentraciones ambientales de dióxido de carbono disuelto reduce la eficiencia respiratoria y disminuye la tolerancia de los animales a bajas concentraciones de oxígeno disuelto (Boyd y Tucker, 1998).

2.2.4 Nitrógeno

Hochachka (1969) indicó que la mayoría de los desechos nitrogenados producidos por el organismo acuícola se encuentran en forma de ion amonio (NH_4^+), que se excreta a través de las branquias, por lo que el amonio es un subproducto del metabolismo (Jobling, 2010).

Los vertebrados también producen amoníaco NH_3^- , provocando un crecimiento deficiente y deformidades branquiales. La suma de las dos especies nitrogenadas da origen a una medida de nitrógeno amoniacal total (NAT). La aparición de NAT está directamente relacionada con la ingesta de proteínas y el tiempo después de la alimentación (Handy y Poxton, 1993; Leung *et al.*, 1999).

La concentración de amoníaco puede elevarse en operaciones de acuicultura intensiva debido a la excreción de heces, la degradación biológica de los alimentos no consumidos y flujo de agua restringido. Por ejemplo, Chen, *et al.*, (1988) informaron que la concentración de amoníaco alcanzó los 46 mg/L en un sistema de acuicultura de cría intensiva de camarón, haciendo que la densidad de cultivo bajara conforme el amoníaco aumentaba.

En los sistemas de cultivo de alta densidad, esto puede causar niveles altos constantes o picos periódicos de NAT según el régimen de alimentación y la velocidad de flujo, lo que resulta en impactos específicos agudos o crónicos. Además, las perturbaciones operativas pueden causar periódicamente irregularidades similares, por ejemplo; debido a la reducción de la eficiencia de los biofiltros en las granjas que utilizan sistemas de recirculación, resulta en un aumento de los niveles de NAT en el sistema (Lyssenko y Wheaton, 2006).

Las respuestas típicas a la exposición a corto plazo a niveles elevados de NAT en los peces incluyen una mayor ventilación de las branquias, movimientos erráticos, pérdida del equilibrio, falta de alimentación e incluso mortalidad (Meade, 1985; Russo y Thurston, 1991).

La exposición crónica típicamente puede resultar en hiperplasia branquial (Thurston *et al.*, 1981), cambios en la producción de mucosa, despolarización muscular (Beaumont *et al.*, 2000), crecimiento reducido y resistencia (Lang *et al.*, 1987), pero también puede actuar directamente sobre el sistema nervioso central, provocando hiperventilación (McKenzie *et al.*, 1993), hiperexcitabilidad, coma, convulsiones y finalmente la muerte (Ip *et al.*, 2001).

La Comisión Asesora Europea de Pesca Continental (EIFAC, por sus siglas en inglés) de la FAO ha establecido 0.025 mg/L como la concentración máxima permitida para el amoníaco no ionizado (NH_3). Una regla general son los valores de 1 mg / L de nitrógeno amoniacal total (NAT) para agua fría y de 2 o 3 mg / L para peces de aguas cálidas (Jobling, 2010).

2.2.5 Fósforo

El fósforo es un nutriente metabólico clave que está disponible en cantidades relativamente pequeñas en la mayoría de las aguas superficiales. Por tanto, el suministro de fósforo regula la productividad primaria. Es el nutriente clave, con nitrógeno, en los fertilizantes para estanques (Tidwell, 2012).

El fósforo también es importante porque el agua de los estanques de acuicultura a menudo está enriquecida con fósforo en relación con los cuerpos de aguas naturales y la descarga de agua de los estanques puede aumentar la concentración de fósforo que reciben estos, lo que puede conducir a la eutrofización.

En los estanques que reciben aplicaciones de alimentos manufacturados, alrededor del 65 al 75% del fósforo ingerido se excreta, principalmente como partículas sólidas fecales. La pérdida continua de fósforo de la columna de agua y la acumulación en el sedimento es la razón principal por la que el fósforo suele ser el primer factor limitante para el crecimiento del fitoplancton, lo que requiere múltiples adiciones continuas para mantener altas tasas de productividad primaria. La acumulación de fósforo en el sedimento también es importante como mecanismo que reduce el impacto potencial del efluente del estanque en las corrientes receptoras. El agua que se libera de los estanques siempre contiene menos

fósforo que la cantidad añadida en los alimentos o fertilizantes porque casi todo el fósforo se retiene en el sedimento (Tidwell, 2012).

2.2.6 pH

El pH puede ser demasiado bajo o alto para una especie acuícola. Las branquias son el objetivo principal de concentración de iones de hidrógeno. Los principales efectos del pH bajo son: (1) cambios en la estructura y función de las branquias que conducen a una capacidad disminuida para mantener el equilibrio iónico interno; (2) inhibición del intercambio de gases como resultado del exceso de mucosidad y (3) cambios en la estructura del epitelio branquial y acidosis sanguínea (McDonald, 1983).

En un ambiente de pH bajo (4 a 5), los animales gastan energía metabólica adicional para el mantenimiento de la función branquial a expensas del crecimiento, la función inmunológica y otros procesos. Si el estrés se vuelve más severo, el animal morirá (Wilkie y Wood, 1994).

El pH ambiental elevado también perjudica los procesos de intercambio iónico en branquias que conducen a una disminución de la capacidad de osmorregulación, un aumento de la alcalosis sanguínea y una disminución del gradiente para la excreción de amoníaco a través de las branquias hacia el agua circundante (Wilkie y Wood, 1994).

La tolerancia a los pH extremos está influenciada por factores ambientales. Los peces y crustáceos toleran mejor el pH bajo cuando la salinidad es casi óptima. La alta concentración de calcio afecta la permeabilidad y estabilidad de las membranas biológicas, haciendo que el epitelio branquial tenga menos "fugas" de electrolitos en la sangre cuando el pH es alto (Boyd y Tucker, 2012).

Por ejemplo, el agua ácida con pH entre 5.0 y 5.5 puede ser nociva, debido al hecho de que la acidez reduce la rapidez de descomposición de la materia orgánica e inhibe la fijación de nitrógeno, con lo que afecta la productividad global. Asimismo, valores elevados del pH (7.4) también pueden ser perjudiciales, sin embargo, debe de hacerse notar que en aguas productivas el pH podría alcanzar valores superiores a 9.6 -10.0 a causa de la captación de dióxido de carbono durante la fotosíntesis, aunque nunca puede olvidarse que un nivel de pH 11.0 podría ser letal (Toscano, 2013).

2.2.7 Sólidos suspendidos

Los sólidos en suspensión son piezas de material particulado de más de 0.45 μm que se encuentran en la columna de agua. Los materiales suspendidos en la columna de agua limitarán penetración de luz. Las floraciones de algas pueden volverse autolimitadas a través del sombreado, a menos que se mantenga una circulación suficiente para colocar cada célula en la luz con la frecuencia suficiente para permitir que la fotosíntesis continúe. Las partículas inorgánicas y detríticas a menudo causan suficiente turbidez para reducir la tasa de fotosíntesis en los estanques (Tidwell, 2012).

Los sólidos en suspensión, y en particular, las partículas inorgánicas en suspensión, tales como arcillas, pueden ser perjudiciales para las especies acuícolas cuando está presente en niveles altos. Las branquias pueden obstruirse, los huevos que se incuban en estanques al aire libre pueden enterrarse y asfixiarse, y la alimentación puede verse afectada debido a la baja visibilidad del alimento. (Tidwell, 2012)

El agua turbia tiende a calentarse más rápidamente que el agua clara, debido a que las partículas suspendidas absorben calor de la luz del sol, haciendo que las aguas turbias se vuelvan más calientes, pero se enfrían más lentamente, por lo que retendrá el calor por más tiempo, lo que puede ser bueno o malo dependiendo de la temperatura máxima que se alcance y cómo esa temperatura podría afectar a las especies en producción (Tidwell, 2012)

2.3 Relación entre la alimentación de peces y la calidad del agua

A pesar de los enormes beneficios potenciales del desarrollo de la acuicultura, siempre existen preocupaciones sobre sus impactos ambientales. Recientemente, las inquietudes sobre la calidad de la alimentación de los peces y los efectos de está en el medio acuático se han elevado a un nuevo nivel, se cree que el efecto ambiental de las granjas es una parte fundamental para la acuicultura sostenible (Fournier *et al.*, 2003).

Esta preocupación por la calidad del agua ha llevado a la imposición de requisitos relacionados con los parámetros físicos y químicos de las aguas de entrada y salida de los estanques.

Actualmente, se ha convertido en una norma en la mayoría de los países el permitir la producción de peces, siempre que no tenga un impacto adverso en la calidad del agua. Algunos científicos incluso opinan que, en algunos casos, la importancia natural de los estanques de peces puede pesar más que su función de producción (Lymbery 1992; Duras y Potuzák 2012).

La calidad del agua del estanque varía a lo largo de la temporada y la escala de producción. Modificaciones en la calidad del agua, depende la cantidad y calidad de fertilizante y alimento para peces utilizados (Milstein 1993; Diana *et al.*, 1997; Hartman, 2012).

Intensificar la producción de peces, aumentando la densidad de población y suministrando grandes cantidades de alimento tiene un impacto en las condiciones ambientales de un estanque (Kolasa-Jaminska 1994; Szumiec 2002; Abdel-Tawwab *et al.*, 2007). De hecho, según algunos investigadores (Das *et al.*, 2005; Sindilariu *et al.*, 2009), el uso de alimentos es la mayor amenaza para la calidad del agua. Varios estudios han destacado los efectos adversos al medio ambiente acuático debido a la adición de grandes cantidades de alimento, especialmente cuando está mal equilibrado o tiene un valor nutricional deficiente (Horner *et al.* 1987; Poxton y Allouse 1987; Poxton y Lloyd 1989).

La calidad del agua se ve afectada por las interacciones entre variables fisicoquímicas, que incluyen la temperatura, el régimen de oxígeno, la transparencia, el contenido de nutrientes, el pH, la alcalinidad y la dureza, junto con el componente biológico (Ponce *et al.*, 1994; Das *et al.*, 2005; Jana y Sarkar 2005).

Durante la temporada de crecimiento, los parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua de entrada cambian al momento en que se descarga debido a una serie de factores, incluida la densidad de población, el alimento balanceado, la composición de especies, los métodos de gestión, las condiciones climáticas, la elevación, la calidad original, la cantidad de afluencia del agua, tiempo de retención hidráulica, volumen del estanque, morfología, área, ubicación de la salida (superficie, fondo) entre otros (Adámek *et al.*, 2010).

En general, el efluente de estanques provistos de agua de buena calidad tiene una mayor carga de nutrientes (principalmente en forma de amoníaco y fosfatos), sustancias disueltas y contenido de sólidos en suspensión (Kanclerz 2005; Kopp *et al.*, 2012; Vseticková *et al.*, 2012) comparada con el influente de los estanques.

Los cambios en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO) dependen principalmente de la calidad del agua de entrada, cuando el influente tiene una alta carga de sustancias orgánicas, la salida tiende a tener una DBO y DQO reducidas (Svoboda y Koubek 1990; Masseret *et al.*, 1998; Vseticková *et al.*, 2012)., debido a la eliminación de estas sustancias por parte de la interacción microorganismos presentes en el agua. Por el contrario, el agua de entrada pobre en contenido orgánico se enriquecerá en el estanque y, en consecuencia, las salidas aumentarán la DBO y la DQO

(Vseticková *et al.*, 2012). Los niveles elevados de DBO y DQO, junto con el aumento de las concentraciones de sólidos en suspensión y fósforo (P), y la disminución del contenido de oxígeno, se asocian típicamente con el drenaje del estanque durante la cosecha (Hlaváč, *et al.*, 2013).

La retención de agua en un estanque afectará el régimen de oxígeno, con una disminución en la concentración, debido principalmente a la respiración de organismos acuáticos y al consumo de oxígeno a través de la descomposición de sustancias orgánicas (incluida el alimento no utilizado) y la oxidación de sustancias inorgánicas. Por otro lado, el agua del estanque se puede saturar con oxígeno de la fotosíntesis fitoplanctónica durante el día (Hlaváč, *et al.*, 2013).

La alimentación de los peces proporciona una gran aportación de materia orgánica y nutrientes al ecosistema; los peces, son particularmente propensos a un bajo OD relacionado con altos niveles de desechos orgánicos y alimentos. El exceso de material orgánico consume oxígeno durante la descomposición y puede llevar las concentraciones de OD en los estanques a niveles peligrosamente bajos en caso de que ocurra una desestratificación repentina. Además, los nutrientes derivados de desechos orgánicos y alimentos no utilizados pueden mejorar el crecimiento de algas, que dan como resultado concentraciones extremadamente altas de OD durante la luz del día y sobresaturación de oxígeno (Hlaváč, *et al.*, 2013).

La influencia del alimento en la calidad del agua vertida dependerá de la composición y características físicas del alimento utilizado, la tecnología utilizada en su producción, su digestibilidad, palatabilidad, calidad de los componentes suministrados y técnica de alimentación (Hlaváč, *et al.*, 2013).

Los residuos producidos se pueden dividir en fase sólida o disuelta. Los residuos sólidos, que consisten en sólidos sedimentables y en suspensión, se originan principalmente en el alimento no consumido o derramado y en las heces excretadas. Parte de los desechos disueltos (es decir, sustancias orgánicas, NAT) proviene de los metabolitos excretados por los peces a través de las branquias y la orina (Hlaváč, *et al.*, 2013).

La cantidad de desechos fecales producidos puede oscilar entre 0.2 y 0.5 kg de materia seca por kg de alimento, dependiendo de la composición del alimento, la especie nitrogenada presente y la temperatura (Chen *et al.*, 1997). Cualquiera que sea el sistema que se utilice, la proporción de alimento no consumido o derramado variará entre el 5 y el

15% (Beveridge *et al.*, 1997; Cho y Bureau 1997). Para mejorar esta situación, se han realizado varios estudios que abordan el manejo de estanques y la estrategia de alimentación, investigando cuestiones tales como nuevas mezclas de alimentos para peces con menor contenido de nutrientes y una mejor utilización del alimento suministrado (Adámek *et al.*, 1997).

Algunos ensayos como el de Ballester-Moltó *et al.*, 2016, 2017 nos muestra el rango de alimento desperdiciado en cuerpos de agua de acuicultura que va entre 8.52% y 52.20%. Edwards (2015) demostró que, en un cultivo de peces, solo se eliminaba aproximadamente 1/3 de los nutrientes del alimento y los peces eliminaban 2/3 de los nutrientes durante el proceso de crecimiento.

La mayor parte del nitrógeno (N) y el fósforo (P) disueltos provienen de productos de desecho metabólicos excretados por los peces. Los niveles de N y P en los alimentos para peces y su eficiencia de uso, influyen en la cantidad excretada (Gondwe *et al.*, 2011). La reducción de la producción de N y P disueltos se considera ahora un elemento clave para la sostenibilidad a largo plazo de la acuicultura en todo el mundo (Cho y Bureau 1997; Phillips *et al.*, 1993; Sugiura *et al.*, 2006).

En general, el 57% del nitrógeno (N) total del alimento y el 76% del fósforo (P) total del alimento para los peces se pierden en el medio ambiente, debido a su descomposición en el agua del cultivo (Hua, y Bureau, 2006).

Para reducir tales residuos, así como la cantidad de nutrientes perdidos con el agua descargada, es esencial que se calculen presupuestos precisos de estos, para evaluar las cantidades introducidas en el sistema del estanque. La estimación de dichos presupuestos permite cuantificar el impacto potencial de la contaminación a partir de estrategias específicas de gestión de estanques (Bosma y Verdegem 2011). A largo plazo, esto reduciría la entrada de alimento, aumentaría la rentabilidad y conduciría a una mejor calidad del agua, tanto en el efluente como en el propio estanque (De Silva 2012).

Idealmente, el alimento debe agregarse a niveles que coincidan con el consumo sin reducir el crecimiento o la supervivencia de los peces (Robinson *et al.*, 2004).

El uso de dietas extruidas ha demostrado ser un avance importante en la nutrición de los peces. Estos poseen mayor estabilidad y digestibilidad, lo que resulta en una reducción significativa en la cantidad de nutrientes excretados en el agua (Johnsen *et al.*, 1993). A medida que mejora la eficiencia de la alimentación, las concentraciones de N y P de los

desechos disminuyen y, por lo tanto, la concentración de NAT, se reduce, favoreciendo el cultivo. El NAT, a menudo se considera el parámetro limitante de la calidad del agua en los sistemas de producción de acuicultura (Thomas y Piedrahita 1998).

Varias investigaciones exponen al alimento como el principal propiciador de desechos; generando un enriquecimiento de nutrientes o eutrofización por los desechos orgánicos e inorgánicos de las granjas (Rabasso, 2006).

En el caso de Ellis, *et al.*, (2002), revisaron la literatura sobre la trucha arcoíris donde incluyeron: el consumo de alimentos, la tasa de conversión alimenticia (FCR), el estado nutricional, la tasa de crecimiento y la variación de tamaño, el perfil de salud y estado, los perfiles sanguíneos, el estado de los órganos y el cortisol plasmático. La conclusión de esta revisión es que la degradación de la calidad del agua fue el factor más importante que afectó negativamente la salud en cultivos de alta densidad.

Los entornos de la acuicultura están contaminados por los aportes de nutrientes, y es una premisa generalizada que el estrés causado por la calidad adversa del agua es el factor principal que predispone a los animales de la acuicultura a las enfermedades (Rottmann *et al.*, 1992; Boyd y Tucker, 1998).

Ćirić, *et al.* (2013) realizaron un estudio para evaluar la adición de diferentes alimentos complementarios como una herramienta de gestión para mejorar la disponibilidad de alimentos naturales y comunes en el crecimiento de la carpa (*Cyprinus carpio*). Se utilizaron tres alimentos suplementarios: alimento comercial extruido y granulado con 25% de proteína y 7% de grasa y cereales (mezcla de granos de maíz, trigo). Concluyendo que el tipo de alimento complementario no influyó en la calidad del agua, excepto en la dureza, pero afectó significativamente la abundancia de cianobacterias, la disponibilidad natural de alimento y el crecimiento de la carpa común.

Los resultados de este estudio indican que los alimentos granulados pueden ayudar a los agricultores no solo como fuente de nutrientes para el crecimiento de la carpa, sino también indirectamente como herramienta de gestión para mantener la estabilidad ecológica y el control de la floración de cianobacterias en estanques

En un estudio realizado por Abdel-Tawwab, *et al.*, (2007) con un policultivo con tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*), carpa común (*Cyprinus carpio*) y carpa plateada, (*Hypophthalmichthys molitrix*). La dieta complementaria de 10.2% de humedad, 25.5% proteína cruda, 6.1% extracto etéreo y 13.1% ceniza se suministró a los estanques a una

tasa diaria de 0.0% (control), 0.5%, 1%, 3% y 5% de la biomasa de peces. Los análisis de la calidad del agua revelaron que la temperatura, el pH, el amoníaco libre y la conductividad del agua no se vieron afectados significativamente por la tasa de alimentación, mientras que el oxígeno disuelto, el ortofosfato, y los niveles de nitrato aumentaron significativamente ($P < 0.05$) con el aumento de los niveles de alimentación.

En general, la nutrición de peces con altos niveles tróficos, como los salmónidos y las especies marinas, todavía depende de la harina de pescado (HP) y el aceite de pescado (AP), porque estos recursos cubren adecuadamente las necesidades nutricionales de los peces. Las dietas basadas en HP y AP tienen la composición nutricional más cercana a la presa natural consumida por los peces silvestres (Guillaume, *et al.*, 2001; National Research Council (US) 2011; Oliva-Teles, *et al.*, 2015).

Sin embargo, el uso reciente de nuevas especies para la acuicultura ha aumentado la demanda de fuentes de proteínas (Hua *et al.*, 2019). El alto costo de la HP y la disminución actual de las fuentes silvestres han hecho que las dietas solo con HP sean inviables, especialmente para las especies en cultivo intensivo, por lo tanto, se ha estimulado una búsqueda de ingredientes proteicos más económicos y sostenibles para reducir o eliminar el uso de harina de pescado en las dietas de la acuicultura (Salze *et al.*, 2010; Tacon *et al.*, 2006).

Otro factor que ha influido en la formulación de nuevas dietas o estrategias de alimentación es que el alimento balanceado es la principal fuente de desechos en la acuicultura. Por lo que, se han introducido dietas de alta digestibilidad como solución para reducir la excreción de desechos sólidos, mediante una selección cuidadosa de los ingredientes del alimento y el procesamiento para mejorar la disponibilidad de nutrientes (Amirkolaie, 2011).

Las técnicas de nutrición alternas que se han desarrollado han sido, el uso de fermentados (Dossou *et al.*, 2018; Pascual *et al.*, 2018; Yu *et al.*, 2019; Davies *et al.*, 2020), predigeridos (Samaddar y Kaviraj, 2015; Ngugi *et al.*, 2017; Mo *et al.*, 2019; Maas *et al.*, 2020;) y el uso de insectos en las dietas de peces (Rapatsa y Moyo, 2017; Weththasinghe *et al.*, 2020).

En los últimos años, los piscicultores han desarrollado nuevos métodos para mejorar la eficacia de la utilización de cereales mediante tratamiento mecánico, como prensado, triturado y / o tratamiento térmico (Másílko *et al.*, 2014; Hlavác *et al.*, 2015). Varios estudios han sugerido que el tratamiento térmico y mecánico de los alimentos balanceados basados en cereales podría disminuir la cantidad de alimento suplementario no digerido o mal

digerido en los estanques al mejorar su digestibilidad (Hlaváč *et al.*, 2014). Claramente, existen oportunidades sustanciales para mejorar las estrategias de alimentación de los estanques.

El efecto de reemplazar el alimento tradicional por alimentos menos convencionales también ha tenido su impacto en la calidad del agua, estudios como el de Yang, *et al.* (2010) nos muestra el resultado de agregar harina de soya (HS) pretratada con fitasa en alimentos de truchas arcoíris, concluyendo que reemplazo de la harina de pescado por HS tratada con fitasa condujo a un aumento en la excreción de nitrógeno, pero condujo a una reducción en la excreción total de fósforo. Actualmente, el fósforo es una de las fuentes de contaminación más importantes en el medio ambiente de agua dulce. Por lo tanto, la reducción de los niveles de harina de pescado en la dieta y, en consecuencia, la reducción de la excreción de fósforo y el aumento de la digestibilidad del fósforo son enfoques críticos para reducir la contaminación ambiental.

Hlaváč, *et al.*, (2015) evaluaron los efectos de la alimentación suplementaria en el crecimiento de la carpa común (*Cyprinus carpio*), la calidad del agua, la disponibilidad natural de alimentos y el equilibrio de nutrientes en diferentes regímenes de tratamiento de estanques. Se utilizaron tres tipos alimento complementario: trigo tratado térmicamente, prensado y sémola. Concluyendo que el tipo de alimento complementario no influyó en la calidad del agua, a excepción del oxígeno disuelto. Sin diferencias significativas entre estanques experimentales. Además, el uso de cereales modificados (especialmente trigo tratado térmicamente y prensado) mejoró el crecimiento de la carpa y resultó en concentraciones más bajas de nutrientes en el agua efluente al mejorar su digestibilidad. Tanto los cereales tratados térmicamente como los tratados térmicamente y prensados mejoraron el equilibrio de fósforo; por lo tanto, estas dietas podrían ser beneficiosas, no solo desde el punto de vista de la producción de peces, sino también como una herramienta para reducir el deterioro de la calidad del agua del estanque.

Sallam, *et al.*, (2021) evaluaron el impacto del uso de harina de colza (HC) como reemplazo parcial de la harina de pescado (HP) en la dieta de *Oreochromis niloticus* y *Sarotherodon galilaeus*. Resultado indicó que la sustitución de la HP en la dieta de *S. galilaeus* (hasta un 20%) y *O. niloticus* (hasta un 10%) resultó en un aumento de los parámetros de rendimiento del crecimiento, incluido el peso final, el aumento de peso, la longitud, la ganancia de longitud, la tasa de aumento de peso, y la tasa de crecimiento específico (SGR), y parámetros de retorno como el retorno total y el retorno relativo en comparación con el

grupo de control. Con respecto a los parámetros del agua, observaron una diferencia significativa en los niveles de amoníaco, turbidez y conductividad con los cambios en el porcentaje de HC en las dietas. En resumen, se puede usar hasta un 10% de HC para reemplazar la HP sin ningún efecto adverso en el rendimiento del crecimiento, las medidas de rentabilidad, el análisis morfométrico intestinal o la calidad del agua.

El efecto de los alimentos suplementarios con diferentes niveles de proteína cruda sobre la calidad del agua del estanque y la eficiencia en la utilización de alimentos por *Piaractus mesopotamicus* fue evaluado en un sistema de cultivo semi-intensivo. Fueron alimentados con dietas isocalóricas que contienen harina de soya, harina de sangre y huesos y maíz amarillo. Los tratamientos dietéticos consistieron en dietas que contenían un 25%, 35% y 45% de proteína cruda. Estanques que reciben los dos los niveles más altos de proteína mostraron significativamente valores más altos de alcalinidad, conductividad y nitritos (Bechara, *et al.*, 2005).

Para probar la influencia de la alimentación complementaria con cereales tratados térmicamente sobre el balance de nutrientes y las variables ambientales y bióticas, Hlaváč, *et al.*, (2016) aplicaron tres tratamientos diferentes en cuatro estanques experimentales: dos con cereales tratados térmicamente, uno con cereal crudo y un control sin alimentación complementaria. Los resultados mostraron que el tipo de alimento complementario no influyó en la calidad del agua. Sin embargo, los estanques con cereales tratados térmicamente añadidos tenían una turbidez y sólidos en suspensión significativamente ($P < 0.05$) más bajos (y una mayor profundidad transparencia medida con disco Secchi) en comparación con el control. Si bien no se observaron diferencias significativas en los conjuntos de zooplancton entre los estanques experimentales y el control, la densidad y la biomasa de macrozoobentos fueron considerablemente menores en el estanque de control. El uso de cereal tratado térmicamente condujo a un mejor crecimiento y nutrientes de la carpa.

Elsaidy *et al.*, (2015) reportan la calidad del agua después de alimentar con estiércol de pollo crudo (EP) y fermentado de estiércol de pollo (FEP) en estanques de producción de tilapia, mediante el recuento bacteriano total (TBC, por sus siglas en inglés) y el recuento total de coliformes (TCC, por sus siglas en inglés), donde revelan que el recuento bacteriano total (\log_{10} ufc / g) no mostró diferencias significativas en ($P \leq 0.05$) entre el estiércol de pollo crudo (EP) y el estiércol de pollo fermentado (FEP), mientras que fueron significativamente diferentes en ($P \leq 0.05$) de la ración comercial de pescado (RC), donde

los valores medios del recuento bacteriano total (TBC) para EP, RC y FEP fueron 4.07, 8.59 y 6.50 \log_{10} ufc / g respectivamente. Por otro lado, el recuento total de coliformes (TCC) mostró una diferencia significativa a ($P \leq 0.05$) entre RC, EP y FEP, donde los valores medios fueron 0.98, 3.39 y 1.4 \log_{10} ufc / g respectivamente.

La alimentación abundante produce compuestos nitrogenados y la materia orgánica permanece como desechos en el agua (Crab *et al.*, 2007; Abdel-Tawwab *et al.*, 2020) puede causar muchos problemas, como la reducción del oxígeno disuelto (Hoang *et al.*, 2020), eutrofización del agua (Yang *et al.*, 2015; Cao *et al.*, 2016; Wu *et al.*, 2020), floración de algas (Gobler *et al.*, 2012; Sin y Lee, 2020) y crecimiento de microbios, incluidas las bacterias patógenas (Liu *et al.*, 2020). Además, las altas concentraciones de amoníaco inducen estrés oxidativo, inmunosupresión e incluso daño tisular en peces (Wang *et al.*, 2020). El nitrito, un producto intermedio en la oxidación incompleta del amoníaco, se puede acumular fácilmente en ambientes acuáticos y ser dañinos para los acuáticos (Zhang *et al.*, 2021). La alta concentración de nitrito también conduce a muchos problemas de los animales acuáticos, como la falta de oxígeno (Li y Boyd, 2016) y los efectos inhibidores sobre el sistema inmunológico (Guo *et al.*, 2020). Tanto el amoníaco como el nitrito podrían estropear la calidad del agua, provocar una reducción de la producción e incluso destruir el equilibrio del sistema cultivado, lo que provocaría una alta mortalidad.

Estudios en granjas acuícolas han demostrado que el impacto en la calidad del agua, se presenta un rango de un kilómetro alrededor de las jaulas de cultivo, principalmente en el bentos. En esta zona se puede ver una mayor demanda de oxígeno y producción de lodos anóxicos que conlleva a la generación de gases tóxicos. Alteraciones significativas en la biodiversidad (Borja, 2011).

Además, en algunos estudios se reporta que la acumulación de alimentos desperdiciados y materia fecal afecta las características de los sedimentos debajo de las jaulas de peces (Hall *et al.*, 1990), de tal manera que las áreas afectadas se caracterizan por potenciales redox bajos (Hargrave *et al.*, 1993), alto contenido de material orgánico (Holmer 1992; Hall *et al.*, 1990) y la acumulación de compuestos nitrogenados y de fósforo (Karakassis *et al.*, 1998; Hall *et al.*, 1992; Holby y Hall 1991).

Haciendo hincapié en la rápida expansión de la acuicultura, los acuicultores se han enfrentado serios desafíos relacionados con esta industria en los últimos años, incluidas las limitaciones de los recursos hídricos y terrestres finitos, el deterioro gradual de los

ecosistemas acuáticos, los frecuentes brotes de enfermedades y las dificultades con los sedimentos y el tratamiento de las aguas residuales (Cao *et al.*, 2007). Para resolver estos problemas de manera adecuada, se debe adoptar un enfoque de desarrollo sostenible. Las estrategias destinadas a reducir el impacto de los desechos de la acuicultura, por lo tanto, deben abordar la composición de los alimentos, la tecnología de alimentación y la estrategia de alimentación (Hua y Bureau 2012; Bureau y Hua 2010; Cho y Bureau 1997). Las mejoras en la estrategia de alimentación se basan generalmente en dos enfoques principales: mejorar la retención de nutrientes (Cho y Bureau 1997, 2001; Dalsgaard *et al.*, 2012) y aumentar la eficiencia de eliminación de desechos (Amirkolaie *et al.*, 2005, Amirkolaie *et al.*, 2005, Amirkolaie *et al.*, 2006; Lefrancois *et al.*, 2010).

2.4 Elasticidad

La elasticidad está definida como: "del griego ελαστικός; en física una de las propiedades de los cuerpos en virtud de la cual recobran más o menos su extensión y figuras primitivas, tan pronto como cesa la acción de la fuerza que las alteraba" en economía se caracteriza como la sensibilidad que expresa una variable dependiente ante una modificación en la variable independiente (Cervantes y Aparicio, 1993).

Es por ello que, la elasticidad se puede entender o definir como la variación porcentual de una variable X en relación con una variable Y.

La elasticidad como instrumento sirve para relacionar variables de cualquier tipo entre ellas y entre los fenómenos económicos. Con base en esta relación es posible aplicar la elasticidad al cálculo de la correlación entre variables y su sensibilidad a cualquier fenómeno fuera de lo económico.

El análisis de los parámetros utilizados en la investigación se ajusta en esta teoría para así determinar la variación que experimenta una variable en este caso los parámetros de la calidad del agua en respuesta a la variación de otra que es el tipo de alimento administrado al cultivo de tilapia.

Por consiguiente, los resultados se interpretan conforme a los postulados de los tipos de elasticidad (Cervantes y Aparicio, 1993):

- a) Elasticidad unitaria: este caso se trata cuando la cantidad de demanda varía de manera proporcional al precio y su coeficiente es igual a uno.

- b) Elasticidad elástica: es cuando la demanda varía en un porcentaje mayor al precio. Por lo tanto, su coeficiente es mayor a uno.
- c) Elasticidad inelástica: el precio presenta una variación porcentual mayor a la demanda, el coeficiente es menor a uno.

3. Justificación contextual y científica

La calidad del agua es un importante factor para supervisar. Su monitoreo permite asegurar un óptimo rendimiento, garantizando de igual forma la sostenibilidad del sector acuícola, la calidad del agua es la que determina la abundancia, composición y diversidad de los organismos, incluyendo su condición fisiológica y productividad. Por lo tanto, utilizar nuevas técnicas de alimentación donde se dejan disponibles los nutrientes, los elementos constituyentes de la alimentación derivada de nuevas técnicas tienen altas probabilidades de diluirse y causar efectos en la composición del agua. Las proteínas constituyentes de las técnicas al ser predigeridas o fermentadas están disponibles para que los peces tengan una mejor digestión de estas (Şanlıer *et al.*, 2019). Sin embargo, también están disponibles para diluirse en el agua causando en un corto plazo aumento de las diferentes variables fisicoquímicas de esta, particularmente en la concentración de nitrógeno amoniacal total (NAT) altamente tóxico para los organismos acuáticos.

La comparación y evaluación de las técnicas de nutrición alternativas (fermentados y predigeridos) con respecto al efecto que estas tienen en la calidad del agua en los estanques acuícolas es una aportación relevante de información aplicada a la acuicultura que permite coadyuvar en la lucha para mitigar el impacto que se tiene en el recurso agua y en la biodiversidad acuática, así como consolidar la seguridad alimentaria desde una perspectiva sustentable, por lo tanto es de importancia evaluar el impacto que los elementos de las diferentes técnicas alternativas de alimentación tienen en el agua para poder contribuir a la generación de protocolos que nos permitan seleccionar la mejor técnica de nutrición en las unidades de producción acuícola, por lo que en este trabajo se pretende evaluar este impacto en la calidad del agua y generar las herramientas necesarias para la toma de decisiones por parte del sector productivo y de esta manera ayudar al cambio hacia un nuevo paradigma donde la nutrición de los organismos acuícolas sea sustentable.

4. Hipótesis

El uso de técnicas alternativas en la alimentación de peces (fermentos, predigeridos), tendrán un menor impacto en la calidad del agua en comparación con la técnica tradicional de nutrición.

5. Objetivo general

Evaluar el impacto en la calidad del agua de las técnicas alternativas de nutrición de peces en sistemas acuícolas para optimizar el uso de los recursos naturales en la producción acuícola.

6. Objetivos específicos

Determinar el aporte de cada elemento nutritivo (proteínas, lípidos, carbohidratos) de los fermentos, predigeridos, y alimento extruido tradicional, mediante un análisis bromatológico de los alimentos.

Determinar el impacto de las técnicas alternativas de nutrición (fermentos, predigeridos, y alimento extruido tradicional) en la calidad del agua, a través de los análisis fisicoquímicos del agua.

Determinar la elasticidad entre la calidad del agua y las técnicas alternativas de nutrición.

7. Metodología

En el anexo 2 se muestra el diagrama de flujo del plan general de este trabajo.

7.1 Unidad experimental

El experimento se realizó en cuatro sistemas de recirculación acuícola (SRA) de tecnología propia (UAEMex-1) que se encuentran bajo techo en el Laboratorio de Ingeniería Acuícola del IITCA (Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua). Cada sistema tiene tres estanques de una configuración geométrica circular de 1,000 L cada uno con dimensiones de 1.40 m de profundidad y 1.10 m de diámetro; el tren de tratamiento, de cada sistema, consta de un biofiltro de lecho flotante y un reservorio de 100 L con bomba sumergible de $\frac{3}{4}$ HP.

Además, el sistema cuenta con tubería de PVC hidráulico para la alimentación de agua al tanque por bombeo, a través de un tren de difusores, con tubería de 32 mm (1 1/2") de diámetro, con boquillas de diferentes diámetros.

Dependiendo de la biomasa se abastecen, los estanques, de aire mediante un sistema de aireación con un soplador regenerativo de 5 HP. Cada estanque cuenta con un calentador eléctrico para mantener la temperatura en un intervalo de 28 a 30 °C (Anexo 3).

Dentro de la construcción del biofiltro se calculó el volumen del medio a utilizar para el desarrollo de la biopelícula necesaria para la eliminación de NAT, con las fórmulas propuestas por Timmons y Ebeling (2010).

$$P_{TAN} = a_{TAN} * R_{feed} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde P_{TAN} :producción de NAT por pez (kg/d), a_{TAN} : producción de NAT (mg/L) R_{feed} : Kilogramos de alimento utilizado por día.

$$V_{media} = \frac{P_{TAN}}{VTR} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde V_{media} : Volumen del medio para eliminar NAT (m^3), P_{TAN} : Carga de NAT del biofiltro ($\frac{kg}{d}$),
 VTR : Tasa de nitrificación volumétrica ($\frac{gNAT}{m^3d}$)

7.2 Velocidad del flujo y tiempo de retención hidráulica

La velocidad de entrada del flujo en un estanque es requerida para optimizar la salud, el tejido muscular, respiración adecuada del pez y para evitar su fatiga.

Webster y Lim (2006) reportan que en cultivo de tilapia en estanques las tasas de cambio de agua generalmente no deben exceder dos intercambios por hora, debido a que las velocidades relativamente altas de las unidades circulares obligan a los peces a trabajar más para mantener la posición, lo que teóricamente desvía la energía del crecimiento.

En consecuencia, para calcular la hidrodinámica de los estanques se medirá el tiempo de retención hidráulica (TRH) que es el tiempo en el el líquido que entra en tu sistema tarda en salir del mismo.

$$TRH = \frac{V (m^3)}{Q (m^3/h)}$$

Ecuación 3

Donde:

TRH=tiempo de retención hidráulica

$V (m^3)$ = Volumen de agua

$Q (m^3/h)$ = Caudal

7.2 Organismos experimentales

Se utilizaron organismos acuícolas de la especie “tilapia” (*Oreochromis niloticus*), en su etapa de cría. Los peces se procuraron de la unidad de producción acuícola “Zidedho” ubicada en el municipio de Ixmiquilpan, Hidalgo. La cantidad de organismos que se adquirieron es de 1500 organismos de un peso promedio de 20 g, con una longitud aproximada de 11 cm. Antes de ingresar los organismos a los estanques, los biofiltros de los SRA se maduraron con el fin de que se colonicen de bacterias autótrofas que son las responsables de la nitrificación del nitrógeno amoniacal total (NAT) por un periodo de 20 días. Una vez maduros los sistemas, los organismos fueron introducidos en los estanques a una densidad de 15 kg/m³. Diariamente se realizarán las siguientes actividades en los SRA para el mantenimiento de los organismos:

- 1) Observación de organismos acuícolas
- 2) Limpieza de estanques (eliminación de peces muertos, limpieza de fondos)
- 3) Toma de parámetros *in situ*: pH y temperatura.
- 4) Alimentación de las tilapias con base en su tratamiento y en los protocolos de alimentación establecidos.

La alimentación de los organismos se realizó mediante 5 raciones al día para asegurar que el desperdicio de alimento sea mínimo.

7.3 Tratamientos

Se empleó un régimen de alimentación del 5% de peso corporal por día durante el ensayo de 2 meses. La cantidad de alimento se calculó y ajustó semanalmente de acuerdo con la biomasa del estanque. Los estanques de peces bajo experimento se dividieron en 4 tratamientos (T) con 3 réplicas cada uno (Tabla 3).

En el primer tratamiento (T_{ex}), la fuente de nutrición es el alimento balanceado tradicional formulado con aceite y harina de pescado. Este tratamiento sirvió de control para ser comparado con los otros.

El segundo tratamiento (T_{fesoya}), contó con una fuente de nutrición de fermentados a base de soya. Este alimento se preparó tres semanas antes de utilizarlo en los estanques. En este tratamiento se mezclaron las fuentes de alimento: 50% fermentado y 50% alimento balanceado.

En el tratamiento ($T_{fesorgo}$) se usó semilla de sorgo. El alimento se preparó un día antes de ser utilizado. En este tratamiento se mezclaron las fuentes de alimento: 50% fermentado de sorgo y 50% alimento balanceado.

Por último, el tratamiento ($T_{pretrigo}$) se utilizó, como fuente de nutrición, alimentos predigeridos cuyo principal ingrediente es el trigo. Este alimento se preparó un día antes de utilizarlo en los estanques. Se mezclaron las fuentes de alimento: 50% predigerido y 50% alimento balanceado.

Tabla 3. Descripción de los grupos experimentales, Grupo control (T_{ex}), fermentado de soya ($T_{fesoyaz}$), fermentado de sorgo ($T_{fesorgo}$) y predigerido de trigo ($T_{pretrigo}$).

| Tratamiento | T% | Número de módulo | Tac % |
|----------------|-----|------------------|-------|
| T_{ex} | 100 | 1 | 100 |
| T_{fesoya} | 50 | 2 | 50 |
| $T_{fesorgo}$ | 50 | 3 | 50 |
| $T_{pretrigo}$ | 50 | 4 | 50 |

T %: porcentaje de tratamiento balanceado.

Tac %: porcentaje de alimento balanceado comercial.

7.4 Dietas experimentales

En el anexo 4 se muestran los protocolos de alimentación elaborados.

Alimentos extruidos (tradicionales). Se usó alimento de la marca “El pedregal”, los cuales se compraron en la fábrica ubicada en la Ciudad de Toluca. La cantidad y tamaño del pellet fue con base a las tablas de alimentación del mismo fabricante.

Fermentados.

Estos se prepararon *in situ* con base en cereales (soya y sorgo), agua, y probiótico que contenía las siguientes bacterias: *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus gasseri*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus reuteri*, *Streptococcus thermophilus*, *Bifidobacterium longum*, *Bifidobacterium lactis*, *Bacillus coagulans*. La mezcla se dejó fermentar por tres semanas para eliminar factores antinutricionales; compuestos que afectan el valor nutricional interfiriendo con la absorción y digestión de nutrientes (Elizalde, *et al.*, 2009) presentes en la soya y sorgo (Yamamoto *et al.*, 2012) aumentando la biodisponibilidad de nutrientes (Zou *et al.*, 2012).

Predigeridos.

Esta fuente de nutrición se produjo *in situ*, se compuso de sémola de trigo, agua, arroz y probiótico que contenía las siguientes bacterias: *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus gasseri*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus reuteri*, *Streptococcus thermophilus*, *Bifidobacterium longum*, *Bifidobacterium lactis*, *Bacillus coagulans*. La mezcla se dejó fermentar por un periodo de 24 horas antes de ser administrada a los estanques para que los peces tengan acceso a este alimento.

Para efectos de consolidar el impacto de las técnicas nutricionales alternativas, se realizó un análisis económico basado en el costo de producción y dos índices reportados por Rapatsa y Moyo (2017).

$$\text{Costo de incidencia} = \frac{\text{Costo del alimento } (\frac{\$}{\text{kg}})}{\text{Cantidad de biomasa producida (kg)}} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$\text{Índice de ganancias} = \frac{\text{Valor local de la tilapia (kg)}}{\text{Costo del alimento (kg)}} \quad \text{Ecuación 6}$$

El supuesto subyacente es que todos los costos operativos son constantes y el costo del ingrediente será el único costo variable.

7.5 Calidad del agua

El agua utilizada tiene un origen subterráneo (pozo del campus, 99°43' O, 19°24' N con una altitud de 2,660 msnm, donde se encuentra ubicado el Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua). En este proyecto se utilizó la necesaria para satisfacer el volumen de los estanques y los trenes de tratamiento (aproximadamente 14 m³). Después, sólo se utilizó agua nueva para cubrir los faltantes por evaporación, por retrolavados a filtros o por extracción para muestreo.

La madurez de los biofiltros se alcanzó cuando las concentraciones de nitrógeno amoniacal total (NAT) fueron constantes, los nitratos se mantuvieron constantes por encima de los valores de NAT, algunos autores mencionan que esto se logra cuando la concentración de NAT en el efluente se estabiliza por debajo de 0.7 mg/L (Timmons *et al.*, 2009; Colt, *et al.*, 2006; Sandu, *et al.*, 2002; Menasveta *et al.*, 2001; Zhu y Chen, 2001).

La madurez de un biofiltro se refiere cuando las bacterias que forman la biopelícula han colonizado todo el empaque y están en posibilidades de consumir los nutrientes disueltos en el agua para aumentar su biomasa (Gallego-Alarcón, *et al.*, 2017).

Para ayudar la madurez de los biofiltros se introdujo alimento balanceado para tilapia de baja proteína disuelto en agua (un kilogramo por m³ de agua). Con esta acción se agregaron nutrientes y materia orgánica al agua, con la finalidad de empezar a generar la biopelícula al filtro percolador hasta alcanzar concentraciones que permitan que el filtro biológico y los otros componentes del tren de tratamiento inicien su etapa de remoción (García-Pulido, 2008), fue entonces cuando se consideró el sistema maduro, dando lugar a la introducción de crías de tilapia.

La determinación de la calidad del agua se realizó, durante la fase experimental, en 2 estaciones de muestreo ubicadas a la entrada del agua a los estanques y en la salida de estos. Los parámetros limitantes de la producción acuícola que se midieron *in situ* diariamente fueron: oxígeno disuelto, temperatura y pH y; aquellos que se determinaron semanalmente en laboratorio fueron: nitrógeno amoniacal total, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), mediante el manual de análisis

de agua de HACH company (2000) además se analizaron, sólidos disueltos y suspendidos totales, calculados mediante la Norma Mexicana NMX-AA-034-SCFI-2015.

El muestreo de los parámetros que se realizó *in situ* fue de tipo sistemático, de manera diaria entre las 8:00 y 9:00 horas para evaluar las condiciones más críticas de los mismos, así como determinar la factibilidad de alimentar a los organismos.

7.7 Elasticidad

Se realizó el análisis de la sensibilidad de los parámetros de la calidad del agua conforme a las técnicas alternativas de nutrición, con ayuda de la teoría de la elasticidad, aplicando su fórmula dada:

$$\varepsilon = \frac{\frac{\Delta x}{x}}{\frac{\Delta y}{y}} \quad \text{Ecuación 13}$$

Dónde: Δx : variación en la variable x, x: valor de variable x, Δy : variación en la variable y, y: valor de variable y.

Los datos a analizados fueron, la relación entre el alimento suministrado y las variables fisicoquímicas medidas de la calidad del agua para obtener la relación existente entre el tipo de alimento y la variación en la calidad del agua.

7.8 Análisis estadístico

Los datos se analizaron mediante el programa estadístico SPSS 25.0 (Chicago, IL, USA), se realizó una prueba de normalidad para cada uno de los parámetros fisicoquímicos. Al ser datos que se comportaban con una distribución no normal, se procedió a realizar una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, para que la prueba identificara las diferencias entre tratamientos. La significancia estadística se determinó estableciendo el error de tipo I agregado en 5% ($P < 0.05$) para cada conjunto de comparaciones.

8. Resultados y discusión

8.1 Velocidad y tiempo de retención hidráulico

De acuerdo con lo recomendado por Losordo y Westers (1994), para que los peces mantengan una buena salud dentro de los estanques, la velocidad del flujo debe ser $\leq 0.05 \text{ cm/s}$.

En la tabla 4, podemos afirmar que las velocidades dentro de los estanques de cada tratamiento se encontraron dentro de lo recomendado.

El flujo del agua dentro de los estanques permitió un TRH de 30 min, es decir dos ciclos de movimiento de agua en una hora (Webster y Lim, 2006). Lo que permitió un buen funcionamiento de los SRA en el experimento.

Tabla 4. Velocidad del agua recomendada vs velocidad del agua en el estanque.

| Tratamiento | Velocidad del agua en el estanque (cm/s) | Caudal (m ³ /d) | TRH (min) |
|----------------------------|--|----------------------------|-----------|
| Fermentado de soya | 0.017 | 34.99 | 32.4 |
| Fermentado de sorgo | 0.018 | 36.72 | 31.2 |
| Extruido tradicional | 0.024 | 47.52 | 24.0 |
| Predigerido de trigo/arroz | 0.019 | 38.88 | 29.4 |

Tabla 5. Valores utilizados para los cálculos de hidrodinámica.

| Concepto | Valor |
|-----------------------|-------------------------|
| Caudal promedio | 39.53 m ³ /d |
| Velocidad recomendada | 0.05 cm/s |
| Área del estanque | 0.56 m ² |
| Volumen del estanque | 0.8 m ³ |

8.2 Análisis bromatológico de los alimentos

Se realizaron los análisis bromatológicos para cada uno de los alimentos elaborados, los resultados se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Análisis bromatológico de los alimentos utilizados en cada tratamiento.

| Alimento | % Materia Seca | % Proteína | % Grasa | % Cenizas |
|----------------------|----------------|------------|---------|-----------|
| Extruido tradicional | * | 45.00 | 16.00 | * |

| | | | | |
|----------------------------|-------|-------|------|------|
| Fermentado de soya | 31.19 | 22.09 | 2.47 | 1.72 |
| Fermentado de sorgo | 54.09 | 6.87 | 1.46 | 0.32 |
| Predigerido de trigo/arroz | 44.17 | 5.06 | 2.14 | 0.14 |

* = no aplica

El aporte nutricional obtenidos en nuestro estudio estuvieron por debajo de lo reportado por los siguientes autores:

La soya es considerada una oleaginosa por su alto contenido de grasa 20%, además contiene un 40% de proteína, 10% de humedad y 5% de cenizas (De Luna Jiménez, 2006).

La soya es la proteína vegetal más utilizada en la alimentación de los organismos acuáticos, por su composición química, perfil de aminoácidos (con excepción de la metionina y en menor grado de la lisina como aminoácidos limitantes, Tacón, *et al.*, 1993), elevado contenido de vitaminas y menor costo que la harina de pescado. Sin embargo, contiene factores antinutricionales que afectan su valor nutricional y reducen la palatabilidad de los alimentos cuando se preparan con niveles elevados de este material. Por lo tanto, se debe utilizar algún tratamiento para inactivar estos antinutrientes, ya que el uso de esta semilla sin tratamiento resulta en bajo crecimiento y pobre utilización de proteína cuando se incluye en alimentos para carpa, bagre, trucha y salmón (Wilson y Poe, 1985; Tacón, *et al.*, 1993)

No obstante, se ha observado que altos niveles de inclusión generalmente han resultado en bajo crecimiento debido a deficiencia de aminoácidos y energía., así como, a la presencia de antinutrientes y baja digestibilidad de los carbohidratos para algunas especies. varias investigaciones han optado por la implementación de soya fortalecida con aminoácidos, aceites y fósforo (Oliva-Teles *et al.*, 1994; Davis *et al.*, 1995; Robaina *et al.*, 1995).

Con respecto al sorgo, este contiene un valor nutricional similar al maíz (Andrade *et al.*, 2015); es grano rico en nutrientes. Constituido, en un 60 a 70% por polisacáridos, 8-12% por proteínas, 2.8 a 3.6%, fibra un 8%, minerales, vitaminas del complejo B y fitoquímicos (antioxidantes) (Salazar *et al.*, 2018).

El sorgo no se usa comúnmente en la alimentación de organismos acuáticos, esto puede ser una razón por la cual existen pocas referencias bibliográficas sobre su utilización en la alimentación de peces., sin embargo, en avicultura, ovinocultura y bovinos, se recomienda que para incrementar su digestibilidad es utilizar la técnica de quebrado y/o molido del grano

que actúa sobre la ruptura del pericarpio y la exposición del endospermo (García, *et al.*,2017). Causando que la testa se desprenda, ventaja fundamental, debido a que esta contiene la mayoría de los taninos condensados del grano (Jaramillo,2008), lo cual está asociado a los efectos antinutricionales de este cultivo. Actividad realizada en este estudio para un mejor aprovechamiento de la tilapia.

Además, otra de las características principales del sorgo es el contener aminoácidos esenciales, ofrece cantidades interesantes de treonina y triptófano. En cuanto, al rendimiento, la media de ganancia diaria varía entre el 98% y el 106% con respecto al valor del maíz (Repetto,2013).

De acuerdo con estudios como el de mencionan que existen diferentes variedades del sorgo que se clasifican en bajo, medio y alto de acuerdo con los contenidos de taninos, cuestión que disminuye la digestibilidad del alimento. Aiura y Carvalho (2007) reportaron que para usarlo en su máxima expresión debe ser sorgo blanco que presenta bajas concentraciones (menor que 0,4 %) de este factor antinutricional; el cual no se pudo determinar en este trabajo por la poca disponibilidad que se tuvo de la materia prima.

Cabe aclarar que en nuestro trabajo se realizó el procesamiento de fermentación para la eliminación de los factores antinutricionales en aquellas proteínas vegetales en que fue requerido.

El trigo, contiene entre 9.9 % y 18.6 % de proteína, 11.6 a 12 % de humedad, 5 a 6.3 % y de cenizas de 5.7 a 6.5 % (Chaquilla-Quilca, *et al.*, 2018)

El trigo ha demostrado tener un excelente valor nutritivo en dietas para carpa y trucha. Los resultados experimentales mostraron que el germen de trigo y la harina de pescado mezclados en las dietas indicaron que existe una buena respuesta en el crecimiento de estos organismos (Kemasamaru, *et al.*, 1972).

Sin embargo, el trigo es el más desfavorecido como ingrediente energético al tener los menores valores de carbohidratos (extracto libre de nitrógeno), almidón y mayor nivel de fibra bruta, que es el principal factor limitante de su inclusión en dietas para peces (20 %) (Toledo *et al.*, 2015). Además, esta última es la fracción insoluble del trigo, responsable del encapsulamiento de los nutrientes, llevando a una menor accesibilidad al almidón y a las proteínas (Chaquilla-Quilca, *et al.*, 2018).

El arroz es pobre en sustancias nitrogenadas, la fracción proteica del arroz en su forma integral ronda el 7-8%, el contenido en materia grasa del arroz es insignificante, con poco más del 1%, además contiene 12.27% de humedad y de cenizas 0.27% (Pincirolí, 2011).

Un problema presente en el arroz es que, al ser consumido por rumiantes, los lípidos presentes en el reducen la digestibilidad de la fibra a nivel ruminal. La fibra entra al rumen y se mezcla con el afrechillo, se “empapa” en ese aceite y es menos atacada por los microorganismos del rumen. Debe darse en niveles de hasta un 20% de la dieta o hasta un 1% del peso vivo, para no afectar demasiado la digestibilidad de la fibra (Gayo,2013)

Una de las características importantes del arroz es el elevado contenido en energía que proporciona, debido a su alto contenido en almidón y a la ausencia de factores antinutricionales. Su valor energético puede incrementarse entre un 3 y un 5% en rumiantes y monogástricos jóvenes mediante tratamiento térmico (FEDNA,2016).

8.3 Normalidad de los datos

De acuerdo con la prueba de normalidad (Kolmogorov-Smirnov) de los datos obtenidos de los parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua analizados en cada tratamiento (fermentado de soya, sorgo, alimento extruido tradicional y predigerido de trigo), muestran una distribución no normal con una $p < 0.05$.

Al obtener una distribución no normal, se optó por la prueba estadística no paramétrica (Kruskal Wallis). Esta prueba nos arrojó que dentro de cada tratamiento existen diferencias significativas en Nitrato, NAT y SDT con una $p < 0.05$ (tabla 7).

Tabla 7. Prueba de Kruskal-Wallis de los parámetros de la calidad del agua (SST, Nitrato, NAT, DBO, DQO, SDT)

| Prueba | Nitrato | NAT | DQO | DBO | SST | SDT |
|---------------------|---------|--------|-------|-------|-------|-------|
| H de Kruskal-Wallis | 18.203 | 13.273 | 5.877 | 3.166 | 7.096 | 9.041 |
| Sig. Asintótica | .000 | .004 | .118 | .367 | .069 | .029 |

Para una mejor visualización se describe a continuación el comportamiento de cada uno de los factores fisicoquímicos dentro de los tratamientos.

8.4 Calidad del agua

Uno de los recursos naturales más importantes para mantener la vida en este planeta es el agua, especialmente para los organismos acuícolas. Es indispensable que en el momento de iniciar un cultivo en acuicultura se avale la sostenibilidad y rentabilidad de la actividad, controlando los factores físicos, químicos y biológicos del agua para asegurar un medio seguro y rentable para la producción.

8.4.1 Especies nitrogenadas

8.4.1.1 Nitrógeno Amoniacal Total (NAT)

El amonio en el agua existe como dos componentes: amonio (NH_4^+) y amoniaco ($\text{NH}_3\text{-N}$), los cuales en conjunto se denominan nitrógeno amoniacal total (NAT). Extremadamente toxico para los peces (Nora'aini *et al.*, 2005).

Körner, *et al.*, (2001), describen la facilidad del amoniaco para atravesar con mayor facilidad las membranas biológicas de los peces, causando mayores daños intracelulares, que el amonio, al cual se les dificulta su ingreso por gradientes de concentración al interior del tejido del pez.

La concentración promedio de nitrógeno amoniacal en cada tratamiento se muestra en la figura 1C, las fluctuaciones en la concentración se atribuyen principalmente por la descomposición de aminoácidos y proteínas provenientes de las heces fecales de los peces y del alimento no consumido (Remen *et al.*, 2008).

El tratamiento de fermentado de soya se encuentra por encima de los valores óptimos para la especie evaluada, que de acuerdo con Crab *et al.* (2007), las concentraciones óptimas para la tilapia van de 0.01- 3.0 mg/L. Cuando se expone a los animales acuáticos a niveles muy altos de amonio, fuera de los valores óptimos, estos pueden afectar al crecimiento, perjudicando la resistencia de los peces y causando la muerte (Burrows, 1969).

Gholamreza *et al.*, (2005), en su estudio con *Oreochromis sp.*, reportaron fluctuaciones en la concentración de NAT a lo largo del periodo de cultivo, con valores entre 4.73 a 14.87 mg/L. Concentraciones de 4.0 mg/L, las tilapias sobrevivían, pero dejaban de consumir alimento, además la exposición crónica a valores más altos hacía que se presentara mortalidad.

De acuerdo con la figura 1B y a las líneas de tendencia que adoptan los valores de nitrógeno amoniacal, se encontró una relación entre la biomasa y la generación de nitrógeno amoniacal por los peces, estos disminuyeron a lo largo de la experimentación. Particularmente si analizamos la concentración de nitrógeno amoniacal

total y la biomasa existente dentro de los estanques (Figura 10C), el tratamiento de fermentado de sorgo y fermentado de soya cumple con la característica analizada por Ingle de la Mora, *et al.* (2003) donde entre más biomasa exista en los estanques menos era la concentración de NAT, conclusión dada en un estudio con cultivo de trucha arcoíris, donde al llegar a una biomasa de 100 kg, el NAT disminuía.

En los tratamientos restantes, aunque si hubo una disminución del nitrógeno amoniacal, también lo fue de la biomasa, por lo tanto, asegurar que la biomasa este directamente relacionada con este fenómeno no es posible.

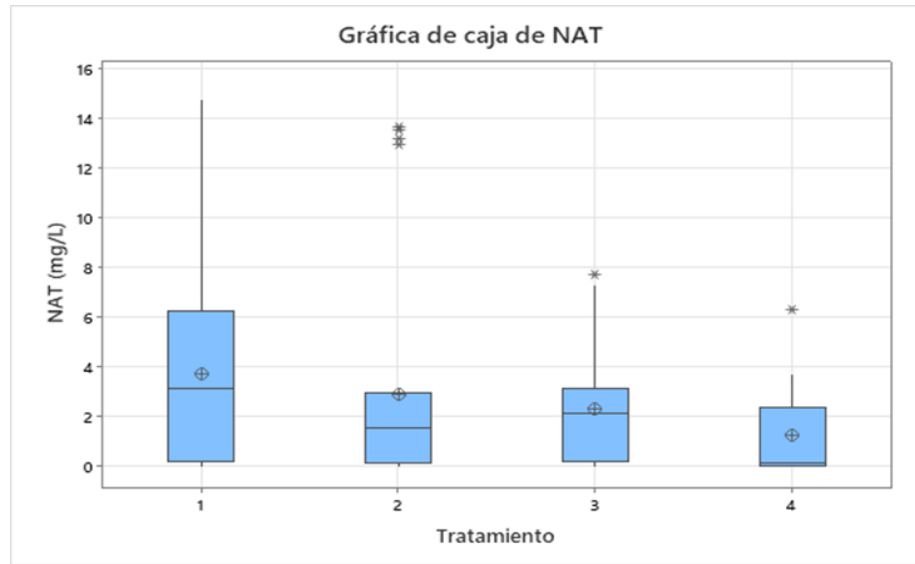
La concentración de las especies NAT está asociada principalmente a los valores de pH y temperatura encontrados al interior de los estanques, siendo favorecida la especie más tóxica $\text{NH}_3\text{-N}$ con el incremento de ambos parámetros (Camargo y Alonso, 2006).

Las concentraciones de NAT determinadas durante este estudio son bajas al compararlas con otros trabajos (López, 2008, Bernuy Chávez, 2016), sin embargo, hay que recordar que las condiciones del pH y de temperatura a las cuales se sometió el cultivo fueron las ideales para mantener concentraciones bajas de la fracción tóxica del NAT.

La tilapia al ser un pez de aguas tropicales presenta una mayor tolerancia a concentraciones altas de amoníaco, que peces de agua templada o fría, y a su vez, los peces de agua dulce son más tolerantes que los peces de ambientes marinos (Zweig *et al.*, 1999), lo que hace a la tilapia ideal para el cultivo.

Los valores de NAT se vieron afectados por el recambio de agua y la saturación de oxígeno disuelto, esto llevó a mantener la concentración a niveles bajos de esta especie nitrogenada (Hernández-Gurrola, 2016). Sin embargo, en el fermentado de soya se observó una tendencia a la acumulación del NAT (Figura 1A). Esta acumulación puede deberse al efecto que tiene el contenido de aminoácidos no digestibles de la soya, como lo demostró Chen *et al.*, (2003) donde debido a que la poca digestibilidad de los aminoácidos (principalmente lisina) en la soya la excreción de NAT a través de las heces fecales es mayor. Aunado a esto, está la acumulación de especies nitrogenadas provenientes del alimento balanceado. Se ha reportado que la causa de especies nitrogenadas disueltas en el agua se debe a las dietas comerciales aportando hasta el 88 % de estas (Ingle de la Mora, *et al.*, 2003).

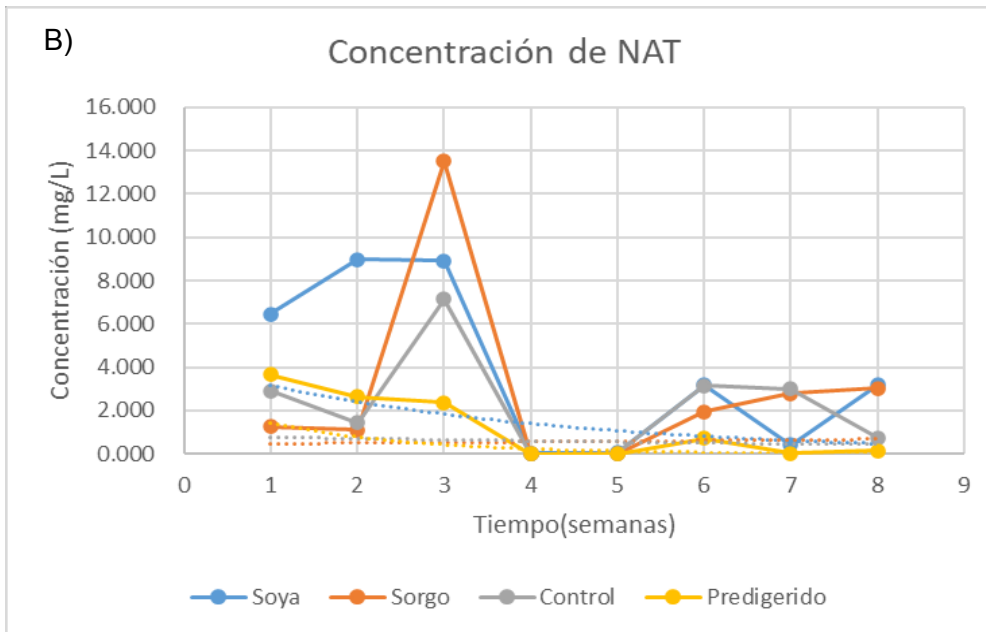
A)



1= Fermentado de soya, 2= Fermentado de sorgo, 3= Extruido tradicional, 4= Predigerido de trigo/arroz

| Intervalos de tolerancia | | |
|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Óptimo (0.01-3.0 mg/L) | Tolerable (3.1-4.0 mg/L) | Dañino (≥ 4.0 mg/L) |

B)



C)

| Tratamiento | N | Media (mg/L) | Agrupación |
|----------------------|----|--------------|------------|
| Fermentado de soya | 32 | 3.733 | A |
| Fermentado de sorgo | 32 | 2.865 | B C |
| Extruido tradicional | 32 | 2.312 | A B |
| Predigerido de Trigo | 32 | 1.236 | C |

Figura 1. Comportamiento den Nitrógeno Amoniacal Total (NAT)

A) Grafica de cajas, B) Concentración de NAT, C) Tabla de similitud.

8.4.1.2 Comportamiento del nitrato

Los nitratos (N-NO_3^-) son considerados la especie nitrogenada con menor toxicidad en los estanques acuícolas. Son originados como producto final de nitrificación. Los nitratos generalmente no son de gran interés para los acuicultores, ya que algunas especies de peces pueden tolerar concentraciones hasta de 1000 mg /L en los sistemas de producción (Timmons y Ebeling, 2010), sin embargo, puede originar eutrofización (Jensen, 2003).

Los niveles tóxicos de esta especie nitrogenada para el cultivo de la tilapia se encuentran por arriba de 80 mg/L y los óptimos entre 0 – 40 mg/L (Bautista-Covarrubias, *et al.*, 2011).

Las concentraciones obtenidas en el presente estudio permanecido dentro de la zona óptima (Figura 2A), no obstante, en la figura 2C podemos observar que el tratamiento de fermentado de sorgo es el único alimento que si bien no rebasa los límites óptimos tolerables para especie, si muestra un aumento en la concentración de nitrato durante las semanas de experimentación, lo que indica que se llevó a cabo el proceso de nitrificación, que consiste en la transformación de nitrógeno amoniacal en nitrato por la acción de bacterias autótrofas, las cuales utilizan además carbono inorgánico (CO_2 o HCO_3^-) como fuente de carbono, y obtienen la energía para su crecimiento a partir de la oxidación de nitrógeno amoniacal (Jiménez-Douglas, 2010)

La disminución del NAT a lo largo del experimento trajo como consecuencia la disminución de la concentración de nitrato (Figura 2B), sin embargo, la alta respuesta de nitrificación por parte del fermentado de sorgo indica mayor presencia de bacterias autótrofas capaz de eliminar alto contenido de nitrógeno amoniacal.

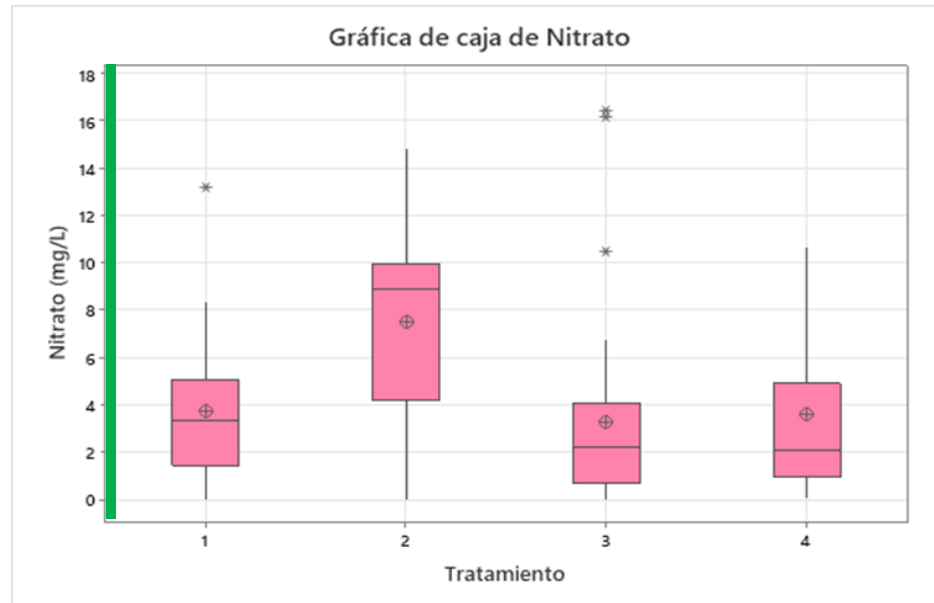
En consecuencia, los tratamientos de fermentado de soya, extruido tradicional y predigerido de trigo/arroz fueron similares en cuanto a la concentración final de nitratos y, a su vez, diferentes ($P < 0.05$) del tratamiento de fermentado de sorgo

Una particularidad en la producción acuícola mediante SRA es la bioacumulación de los nitratos, dado que su acumulación es inevitable al no existir un biofiltro desnitrificante.

Dado que el sistema se diseñó especialmente para nitrificación se esperaba que las concentraciones de NO_3^- tendieran a incrementarse rápidamente, debido a que la única forma para bajar su concentración en el sistema es mediante recambios de agua (Rijn *et al.*, 2006), o mediante la implementación de reactores desnitrificantes (Kuhn *et al.*, 2010).

Sin embargo, se puede constatar que las concentraciones tanto del fermentado de soya, extruido tradicional y predigerido de trigo se mantuvieron con una ligera variación (Figura 2A). Lo anterior puede ser debido a que se esté presentando una desnitrificación pasiva de acuerdo con lo descrito por Rijn *et al.*, (2006). Este autor indica que pueden existir micrositios de la estructura de la biopelícula en condiciones anóxicas, en donde, en presencia de carbono orgánico y compuestos de nitrógeno inorgánico ocurra la desnitrificación.

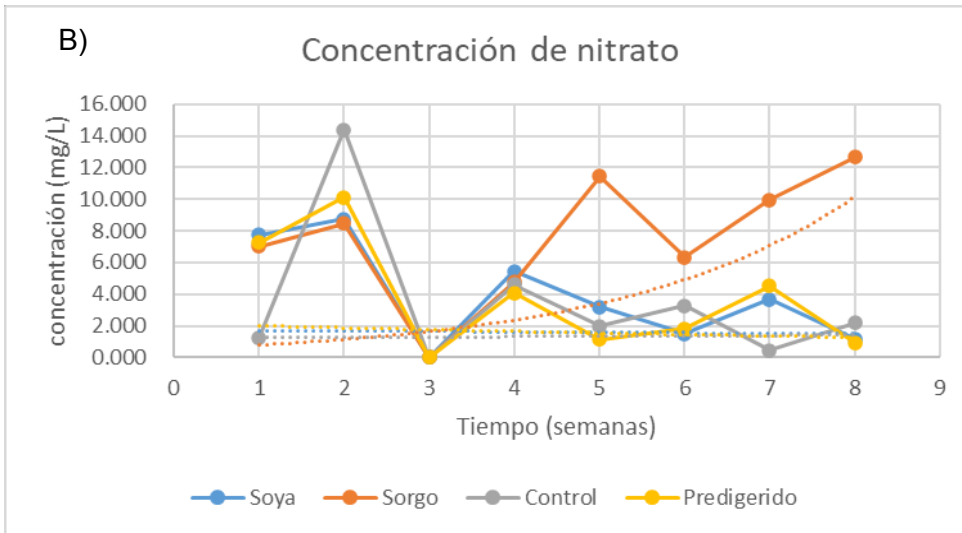
A)



1=Fermentado de soya, 2= Fermentado de sorgo, 3= Extruido tradicional, 4=Predigerido de trigo/arroz

| Intervalos de tolerancia | | |
|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Óptimo (≤ 40 mg/L) | Tolerable (41- 80 mg/L) | Dañino (≥ 81 mg/L) |

B)



C)

| Tratamiento | N | Media (mg/L) | Agrupación |
|----------------------|----|--------------|------------|
| Fermentado de soya | 32 | 3.728 | A |
| Fermentado de sorgo | 32 | 7.482 | B |
| Extruido tradicional | 32 | 3.283 | A |
| Predigerido de Trigo | 32 | 3.575 | A |

Figura 2. Comportamiento del Nitrato.

A) Grafica de cajas, B) Concentración de nitrato, C) Tabla de similitud.

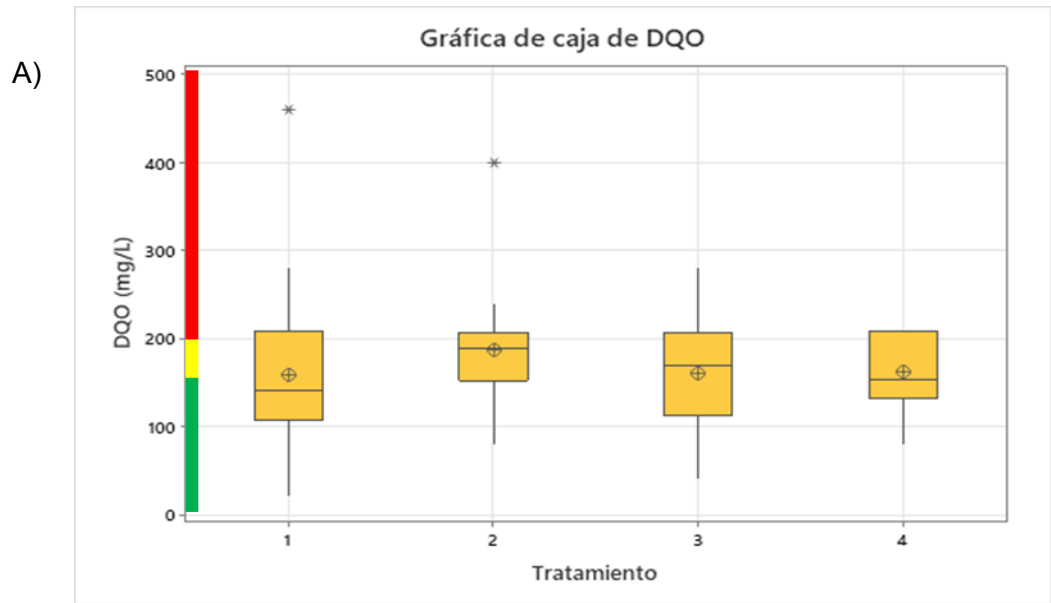
8.4.2 Materia orgánica

La materia orgánica acumulada en un estanque tiene como fuentes principales el alimento no consumido y las heces fecales (*Hoyos-Martínez, 2011*). La cantidad de alimento suministrado depende del peso y tamaño de los peces, por tanto, a mayor talla ingresa más alimento y por ende se acumulan mayores cantidades de materia orgánica en el estanque. Las tasas de asimilación del alimento para los peces alcanzan un rango entre el 70 y 75 %, indicando que entre el 25 y 30 % de los constituyentes del alimento son expulsados en las heces (*Camacho et al., 2000*); para el nitrógeno la tasa de bioasimilación es del 30 al 50 % y para el fósforo es del 80% (*García-Ruiz y Hall, 1996; D`Orbcastel, 2007*); es así como los sólidos sedimentables pueden contener de un 30 a un 80% de nitrógeno y 15-32% de fósforo total (*Stewart, 2006*).

8.4.2.1 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

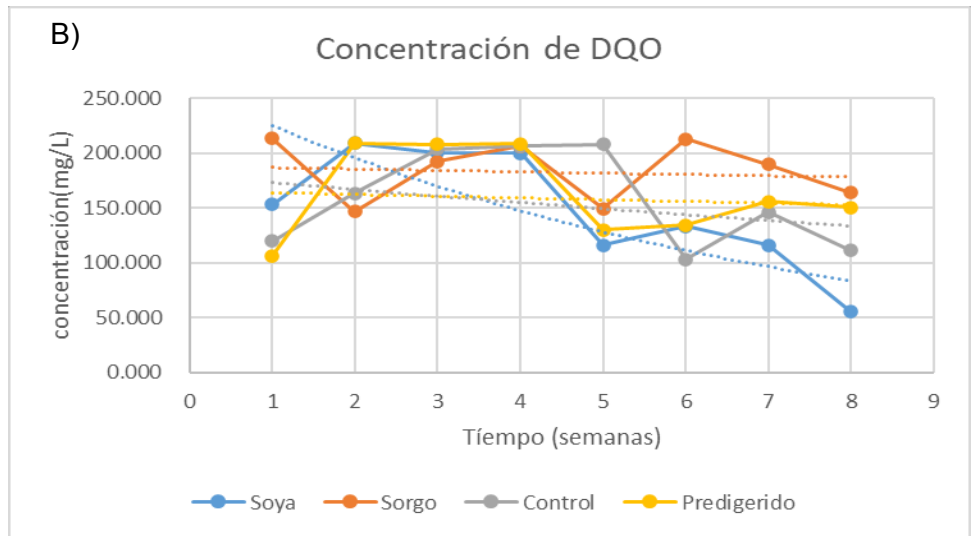
La demanda química de oxígeno (DQO) es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en dióxido de carbono y agua. El valor de la DQO siempre será superior al de la DBO debido a que muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente pero no biológicamente. Los valores que se tomaron para este parámetro fueron los reportados por Gallego-Alarcón, (2010), en su estudio con trucha arcoíris, esto debido a que esta especie es más delicada que la especie estudiada por lo tanto sus valores óptimos son aceptables para la tilapia. La concentración óptima de DQO es 150 mg/L (Figura 3A).

Las concentraciones medias de DQO durante la experimentación se encuentran reportadas en la figura 3C. Los valores observados están dentro de los niveles aceptables por lo tanto podemos decir que el agua contiene sustancias orgánicas que pudieron ser degradadas durante el proceso (*Posada-Uribe y Mosquera-López, 2007*). Los resultados también muestran que el valor de DQO no se mantuvo constante, como se esperaba, ésta fue disminuyendo a lo largo de las corridas experimentales en todos los tratamientos implementados no existieron diferencias significativas entre tratamientos (Figura 3B)



1=Fermentado de soya, 2= Fermentado de sorgo, 3= Extruido tradicional, 4=Predigerido de trigo/arroz

| Intervalos de tolerancia | | |
|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Óptimo (≤ 150 mg/L) | Tolerable (151-190mg/L) | Dañino (≥ 191 mg/L) |



C)

| Tratamiento | N | Media (mg/L) | Agrupación |
|-----------------------------|----|--------------|------------|
| Fermentado de soya | 32 | 158.7 | A |
| Fermentado de sorgo | 32 | 186.13 | A |
| Extruido tradicional | 32 | 160.13 | A |
| Predigerido de Trigo | 32 | 161.16 | A |

Figura 3. Comportamiento de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)
 A) Grafica de cajas, B) Concentración de DQO, C) Tabla de similitud.

8.4.2.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) es la cantidad de oxígeno requerido para oxidación de la materia orgánica biodegradable, presente en el agua, como resultado de la acción de oxidación aerobia (Ramalho, 2003).

Para Boyd (1998), la DBO₅ debe tener valores de 5mg/L a 20mg/L en un cultivo de tilapia.

De acuerdo con los datos encontrados durante la investigación, los valores de DBO están por encima de los óptimos para la especie acuícola utilizada, pero se encuentran dentro de los límites de los tolerables (Gallego Alarcón, 2010), lo que quiere decir que existe una cantidad de materia orgánica considerada, por lo tanto, los microorganismos necesitan mayor cantidad de oxígeno para oxidarla o degradarla.

Aunque no existieron diferencias significativas entre los tratamientos (Figura 4C) y las concentraciones de DBO₅ presentes en el fermentado de soya fueron más estables de acuerdo con la figura 4 A, el alimento de fermentado de sorgo presentó una media menor en comparación con los demás tratamientos.

La Figura 4B nos muestra que la concentración de materia orgánica es proporcional a la biomasa., la DBO₅ aumentó conforme avanzo el experimento. La acumulación de este parámetro indica una baja degradación de la materia orgánica por parte de las bacterias.

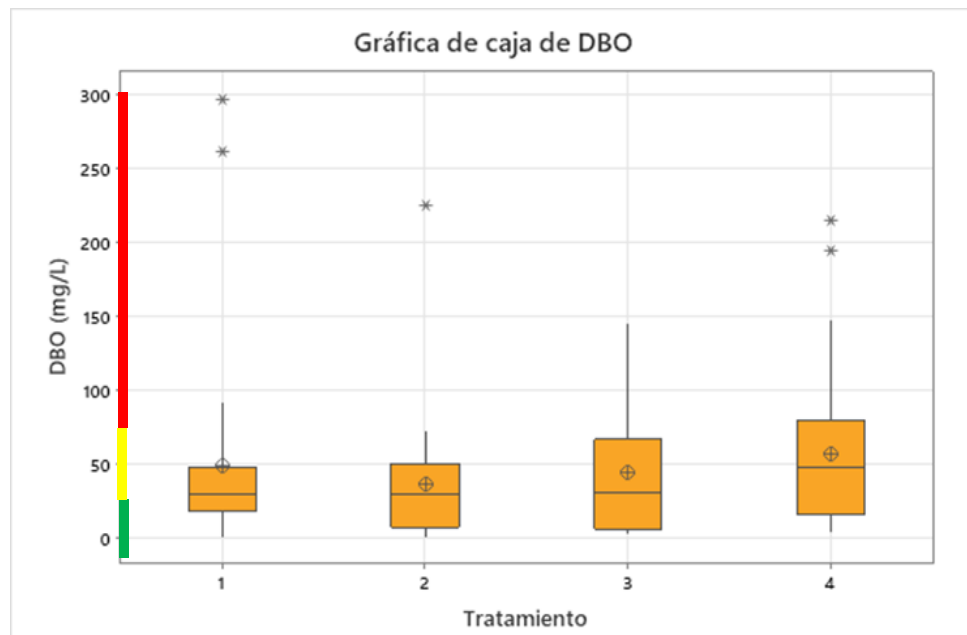
La materia orgánica presente dentro de los estanques puede estar formada por mezclas de compuestos (Seoanez 2000; Metclaf y Eddy, 2003) como: carbono, oxígeno, hidrógeno e incluso nitrógeno, azufre, calcio, magnesio, fósforo, hierro, etc., Aunado a estos compuestos también se pueden encontrar sustancias procedentes de la alimentación, proteínas en un porcentaje de 40-60%, carbohidratos en 25-50% y grasas y aceites en un 10%.

El oxígeno disuelto ayudó a la descomposición de estos compuestos sin embargo el requerimiento de este, estuvo limitado por la cantidad compuestos orgánicos que degradar, para así mantener una estabilidad en la calidad del agua (Lecca y Lizama ,2014).

Por otra parte, la materia orgánica es un indicativo de la tratabilidad biológica del agua residual. Los cuatro tratamientos tienen un índice de tratabilidad (BDO₅/DQO) aproximado a 0.3 lo que indica que es poco tratable biológicamente (Metclaf y Eddy, 2003; Badawi y Ali, 2006). Para mejorar este indicador se debe de incluir en el tren de tratamiento un

sedimentador además de aclimatar mejor las bacterias de los reactores con la finalidad de que llegue el índice hasta 0.6 lo que indicaría una mejor tratabilidad biológica.

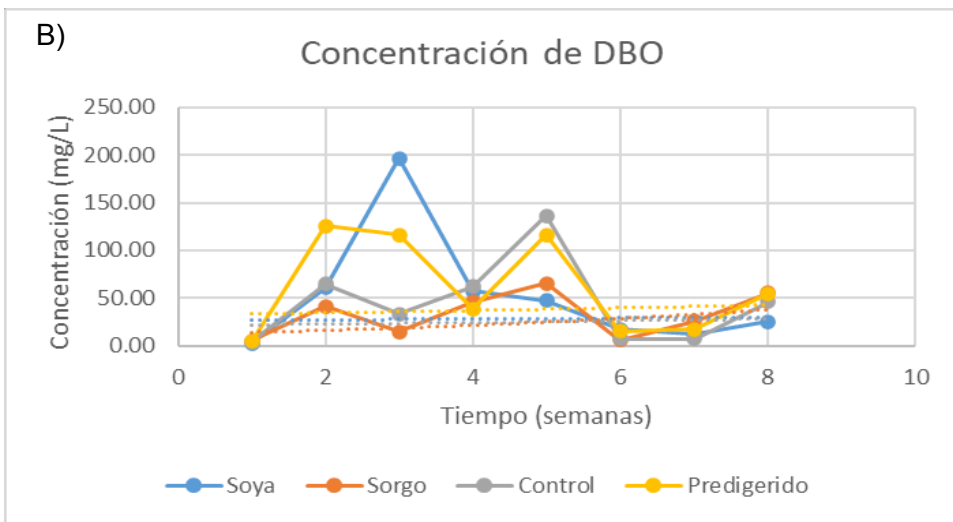
A)



1= Fermentado de soya, 2= Fermentado de sorgo, 3= Extruido tradicional, 4= Predigerido de trigo/arroz

| Intervalos de tolerancia | | |
|--------------------------|------------------------|--------------------------|
| Óptimo (5-20 mg/L) | Tolerable (21- 70mg/L) | Dañino (≥ 71 mg/L) |

B)



C)

| Tratamiento | N | Media (mg/L) | Agrupación |
|-----------------------------|----|--------------|------------------------|
| Fermentado de soya | 32 | 48.3 | A |
| Fermentado de sorgo | 32 | 36.36 | A |
| Extruido tradicional | 32 | 43.58 | A |
| Predigerido de Trigo | 32 | 56.51 | A ₅₁ |

Figura 4. Comportamiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)
 A) Grafica de cajas, B) Concentración de DBO, C) Tabla de similitud.

8.4.2.3 Sólidos Suspendidos Totales (SST)

El valor de la media de SST, en la figura 5 C muestra que los sólidos suspendidos totales para cada uno de los tratamientos realizados evidencian una leve variabilidad en la concentración de estos aproximadamente 0.001mg/L, por lo que no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos experimentales. Las concentraciones de sólidos en los tratamientos son muy pequeñas, Ray, *et al.*, (2010) se recomienda mantener los valores de sólidos suspendidos totales en un promedio cercano a 450 mg/L para obtener los mejores resultados de producción.

Además de las bajas concentraciones, cualitativamente los sólidos formaban flóculos de alta sedimentabilidad ya que se precipitaban al fondo de los estanques y eran eliminados durante el proceso de sifoneo de fondos.

La figura 5B muestra que el tratamiento de fermentado de sorgo y alimento de extruido tradicional (control) tienen una tendencia a disminuir su concentración durante el transcurso del experimento.

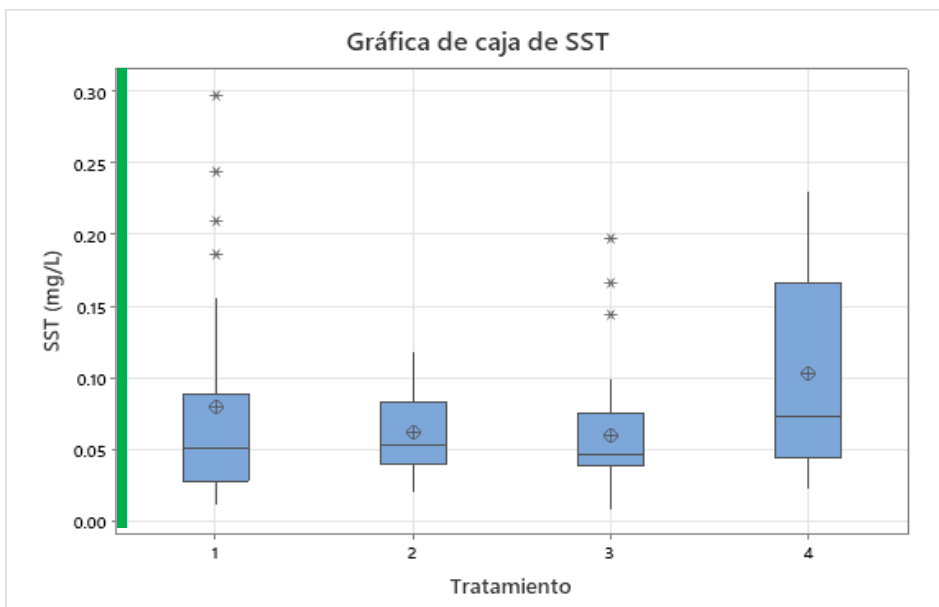
Estudios como el de Moreno-Arias, (2013), donde observó una marcada tendencia de incremento en los sólidos al incluir una menor cantidad de harina de pescado y mayor cantidad de harina vegetal en la dieta de la tilapia. Esto puede ser debido a que la digestibilidad del alimento con harina vegetal es menor, dando origen a una mayor cantidad de material floculado no digerido, lo que concuerda con lo reportado por Soltan *et al.*, (2008), quienes determinaron que al sustituir más de 45% de harina de pescado con mezcla de harinas vegetales (semilla de algodón, girasol, canola, ajonjolí y linaza) disminuía significativamente el coeficiente de digestibilidad aparente del alimento consumido por tilapia desde un 81% hasta 73%.

Deduciendo lo observado cuantitativa y cualitativamente el remplazo de una parte de la harina de pescado promovió una mayor concentración de sólidos suspendidos totales en el agua, incrementando la disponibilidad de los componentes nutritivos como carbohidratos, proteínas y lípidos.

La adición de fuentes de carbono al agua mediante los tratamientos, vía alimento no consumido y heces fecales, induce al crecimiento de bacterias heterótrofas sus poblaciones son capaces de consumir el exceso de carbono y nitrógeno que provienen del alimento no

consumido, así como de los desechos metabólicos, además de formar agregados con alto valor nutricional para los organismos en los estanques (Schneider, *et al.*, 2005).

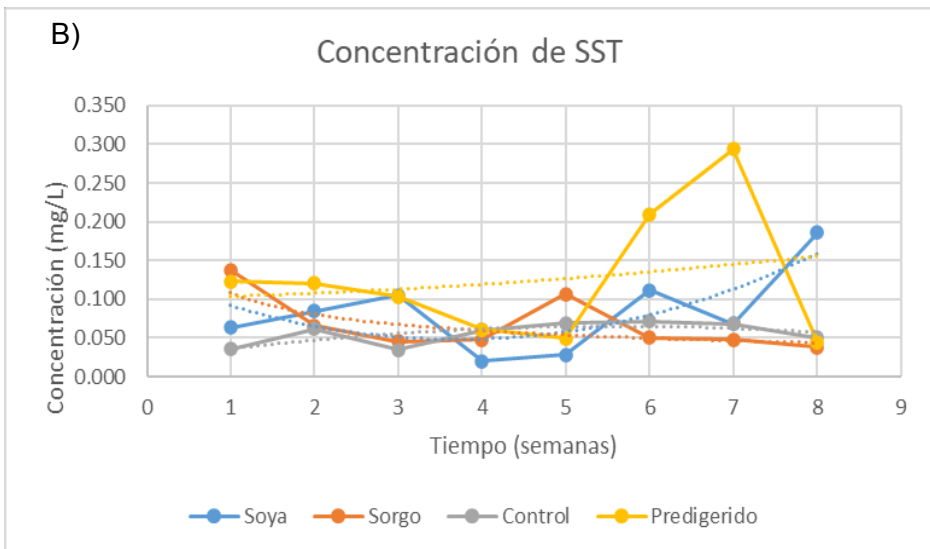
A)



1=Fermentado de soja, 2= Fermentado de sorgo, 3= Extruido tradicional, 4=Predigerido de trigo/arroz

| Intervalos de tolerancia | | |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Óptimo (≤ 450 mg/L) | Tolerable (451- 500 mg/L) | Dañino (≥ 501 mg/L) |

B)



C)

| Tratamiento | N | Media (mg/L) | Agrupación |
|-----------------------------|----|--------------|------------|
| Fermentado de soja | 32 | 0.0845 | A |
| Fermentado de sorgo | 32 | 0.06856 | A |
| Extruido tradicional | 32 | 0.0769 | A |
| Predigerido de Trigo | 32 | 0.1204 | A |

Figura 5. Comportamiento de los Solidos Suspending Totales (SST)

A) Grafica de cajas, C) Concentración de SDT, D) Tabla de similitud.

8.4.2.4 Sólidos Disueltos Totales (SDT)

Según Wetzel y Linkens (1991), la concentración de sólidos disueltos totales se incrementa por la degradación física, química o biológica de los sólidos acumulados al interior de un sistema.

La concentración de SDT en cada uno de los tratamientos fue disminuyendo en el transcurso del tiempo de experimentación. Sin embargo, el tratamiento en el que se pudo observar una estabilidad de los sólidos disueltos a partir de la quinta semana fue el de predigerido de trigo que se mantuvo alrededor de los 1,800 y 2,000 mg/L, concentración que está por los límites de los valores tolerables (Campos-Pulido, *et al.*, 2013) para la especie acuícola utilizada (Figura 6A).

No obstante, la menor concentración de sólidos disueltos totales entre los tratamientos se encontró en el alimento de fermentado de sorgo. Este presentó valores menores desde el inicio de la experimentación y estos no se modificaron drásticamente en el tiempo que duro la investigación (Figura 6B).

La degradación de la materia orgánica está directamente relacionada a la acumulación de esta en los estanques. En combinación con una concentración mayor a 2.0 mg/L de OD (Madigan, 2003) en el agua, la degradación de la materia por microorganismos se ve favorecida. Fenómeno que presenta, la liberación de nutrientes y sólidos disueltos (Álvarez, 2005).

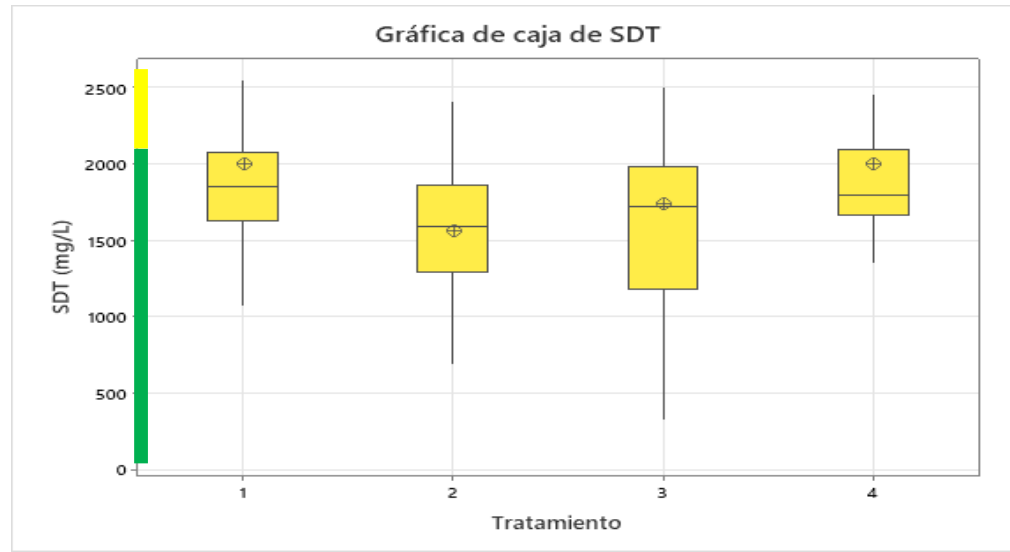
Otro de los fenómenos a considerar en la liberación de sólidos orgánicos es la característica de las heces fecales. Brinker y Friedrich (2012) encontraron que la sustitución del 100 % de la harina de pescado con proteínas vegetales (entre ellas la soya y el gluten de maíz) resultó en materia fecal que se desintegró rápidamente en sólidos finos. Además, investigaciones previas en el Freshwater Institute indicaron que una dieta a base de granos suministrada a la trucha arcoíris producía materia fecal difusa que no se asentaba bien, no era estable y se descomponía fácilmente en partículas finas que tendían a permanecer suspendidas y próximamente a disolverse dentro de la columna de agua (Davidson, *et al.*, 2013).

Cuando los sólidos no son removidos del estanque, pueden degradarse por procesos de lixiviación (Chen *et al.*, 1993; Malone y Beecher, 2000) incrementando de manera significativa la concentración de sólidos disueltos totales causando un detrimento en la calidad del agua. Esto difiere con lo observado en los estanques, la concentración de los

sólidos disueltos totales de la columna de agua disminuyó, mismo comportamiento se observó en el material orgánico logrando con esto reducir el riesgo biológico de la contaminación y la eutrofización (Chávez-Crooker y Obreque-Contreras, 2010).

La estabilidad del alimento influye en el proceso para la remoción de sólidos, debido a que una baja estabilidad, trae consigo el desperdicio del alimento por lixiviación de nutrientes, característica presente en los alimentos fermentados y predigerido suministrados. Calidad que pudo presentarse en el fermentado de soya y predigerido de trigo, tratamientos donde se encontraron la concentración de SDT más altas.

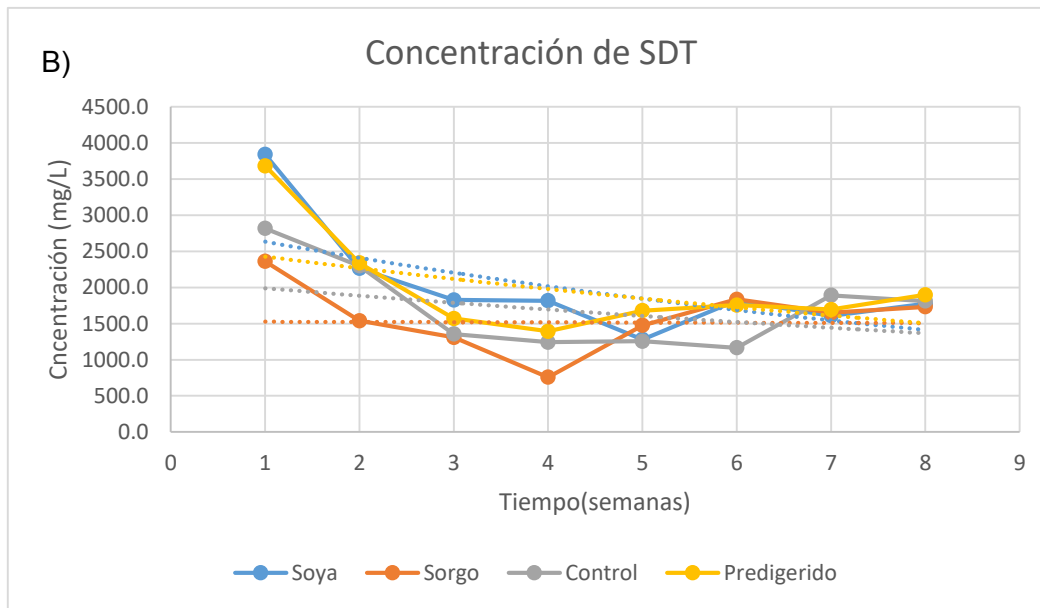
A)



1= Fermentado de soya, 2= Fermentado de sorgo, 3= Extruido tradicional, 4= Predigerido de trigo/arroz

| Intervalos de tolerancia | | |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Óptimo (≤ 2000 mg/L) | Tolerable (2001-2500 mg/L) | Dañino (≥ 2500 mg/L) |

B)



C)

| Tratamiento | N | Media (mg/L) | Agrupación |
|-----------------------------|----|--------------|------------|
| Fermentado de soya | 32 | 2,002.0 | A |
| Fermentado de sorgo | 32 | 1,561.7 | B |
| Extruido tradicional | 32 | 1,741.0 | A B |
| Predigerido de Trigo | 32 | 2,003.0 | A |

Figura 6. Comportamiento de los Solidos Disueltos Totales (SDT)

B) Grafica de cajas, B) Diferencia de concentración de SDT entre la entrada y salida, C) Concentración de SDT, D) Tabla de similitud.

8.4.3 Parámetros descriptivos y limitantes

8.4.3.1 pH, temperatura y oxígeno disuelto

Valores de temperatura, pH y oxígeno disuelto se muestran en las figuras 7, 8 y 9, respectivamente. Estos tres parámetros se consideran limitativos sobre la producción acuícola, es decir, afectan a la capacidad máxima de un estanque (Timmons *et al.*, 2009)

Los valores promedio de pH en este ensayo variaron de 7.74 a 7.95. No hubo diferencia entre tratamientos para la variable pH del agua ($P>0.05$) (Figura 8C). No se observó ninguna fluctuación dañina del pH entre los 4 tratamientos, no obstante, es de importancia señalar que en el tratamiento de extruido tradicional (control) se presentaron valores de pH más altos, que llegaron a más de 8.5 (Figura 8A).

Los valores de pH dentro de la investigación se encontraron dentro de los recomendados para un óptimo crecimiento de la tilapia (Roy *et al.*, 2014) que van desde 6.5 a 9.0, llegando a valores alcalinos de 11 (Teichert-Coddington *et al.*, 1997)

Es de gran importancia conocer los valores de pH en la producción acuícola, debido que un aumento o disminución de este parámetro puede ocasionar graves problemas en los estanques. Entre ellos: elevar la concentración de compuestos tóxicos, como el amoníaco, hidrogeno, cianuros y metales pesados (Arboleda 2006; Abedin *et al.*, 2017), altamente dañinos para los peces. Los niveles bajos de pH producen mortalidad en un periodo de 3 a 5 horas, por fallas respiratorias y cutáneas (Brito y Rodríguez, 2009).

Vigilar la temperatura del agua en un cultivo de tilapia, es hacer un buen manejo en una producción acuícola (Poot-López *et al.*, 2012), debido a que sin un buen control de este factor físico puede enfermar o generar mortalidad al cultivo. El rango adecuado para el desarrollo y crecimiento de la tilapia es desde 22°C a 36°C.

Los valores de temperatura que se observaron durante el ensayo se encontraron dentro de los óptimos para la producción de tilapia, ya que fluctuaron desde 23.06 °C a 24.13 °C (Figura 7A, B). No se reportan modificaciones en la cantidad de alimentación consumido por la tilapia a temperaturas menores a 23° C, sino hasta llegar a temperaturas <20° C, donde generalmente cesa el consumo de alimento (Teichert-Coddington *et al.*, 1997). No hubo diferencia del promedio de la temperatura del agua entre los tratamientos ($P>0.05$) (Figura 7C)

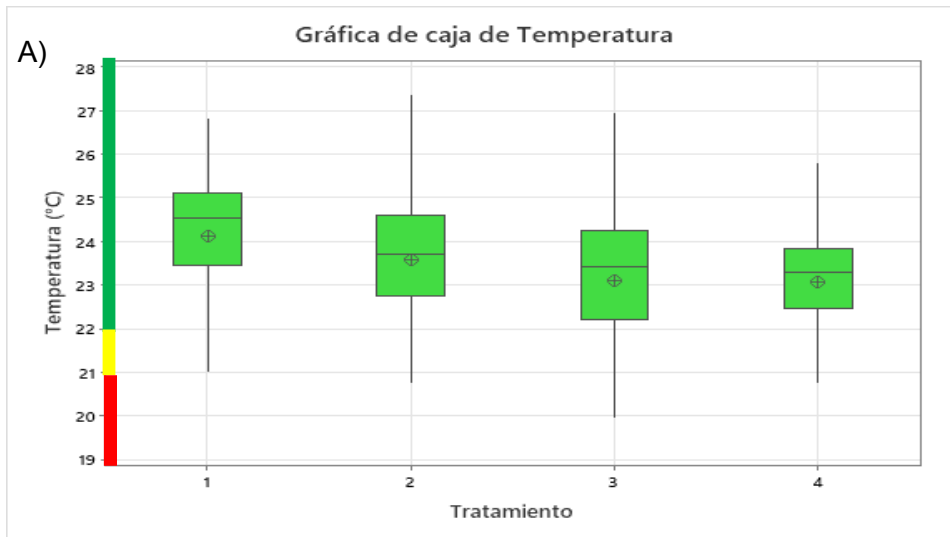
El oxígeno disuelto (OD) es uno de los parámetros más importantes en la producción acuícola y para la supervivencia de los organismos acuáticos, es uno de los primeros factores a considerar dentro de una producción acuícola, debido a que su disponibilidad determinara la sobrevivencia de una especie acuícola (Boyd, *et al.*, 2017).

La tilapia tiene una alta tolerancia a bajas concentraciones de oxígeno disuelto, tiene la habilidad de reducir su consumo si la concentración es inferior a 3.0 mg/L usando un metabolismo semi-anaerobio, soportando niveles de 1.0 mg/L e incluso menor por períodos cortos (Martínez, *et al.*, 2015).

Los niveles de oxígeno en el agua de los estanques observados durante el ensayo siempre estuvieron dentro del rango óptimo para el cultivo de tilapia, varió de 3.00 mg/L a 3.88 mg/L dentro de los tratamientos.

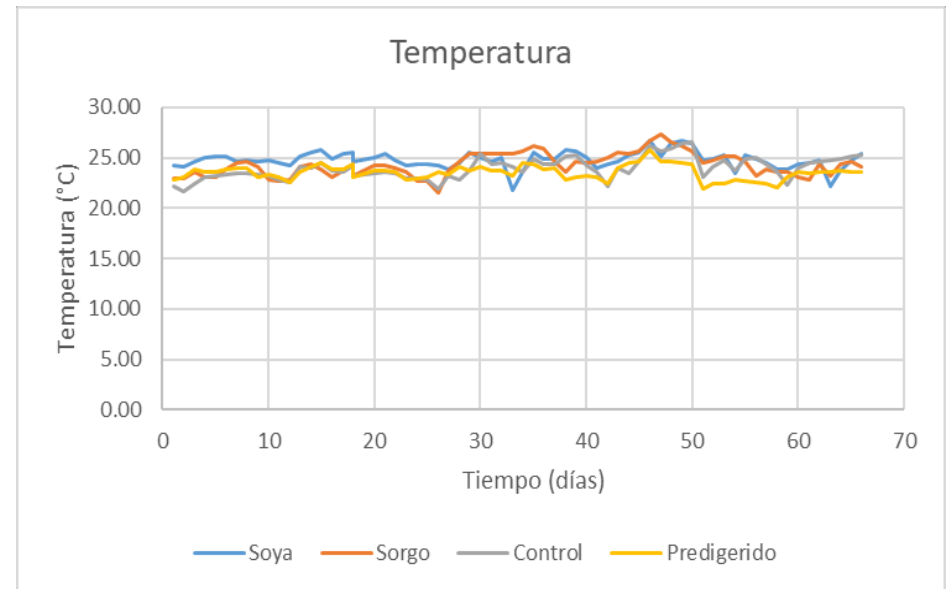
Reportes como el Teichert-Coddington, *et al.*, (1997) señalan que la tilapia puede sobrevivir a concentraciones de oxígeno disuelto menor a 0.5 mg/L e incluso pueden sobrevivir por un periodo de seis horas con una concentración de 0.0 mg/L de oxígeno disuelto (Teichert-Coddington y Green 1993). No hubo diferencia en los niveles de oxígeno entre los tratamientos ($P>0.05$) (Figura 9C).

En las figuras 7B y 8B se muestra la variación promedio de la temperatura y pH del agua durante el experimento con los diferentes tratamientos de nutrición suministrados. Obsérvese que las variaciones tanto de pH y temperatura entre uno y otro tratamiento no hay una diferencia notable; las cuatro se muestran muy similares. Los valores aumentaron conforme avanzó el cultivo, específicamente en el día 53 y 46 de la experimentación alcanzando pH de 8.9 y temperaturas de 25 °C aproximadamente, de la misma manera los valores promedios semanales de oxígeno disuelto se muestran relativamente muy similares entre uno y otro tratamiento; variando entre 4.0 mg/L a 6.0 mg/L, aproximadamente (Figura 9B)



1= Fermentado de soya, 2= Fermentado de sorgo, 3= Extruido tradicional, 4= Predigerido de trigo/arroz

| Intervalos de tolerancia | | |
|--------------------------|----------------------|------------------------|
| Óptimo (22-36 °C) | Tolerable (20-18 °C) | Dañino (≥ 18 °C) |

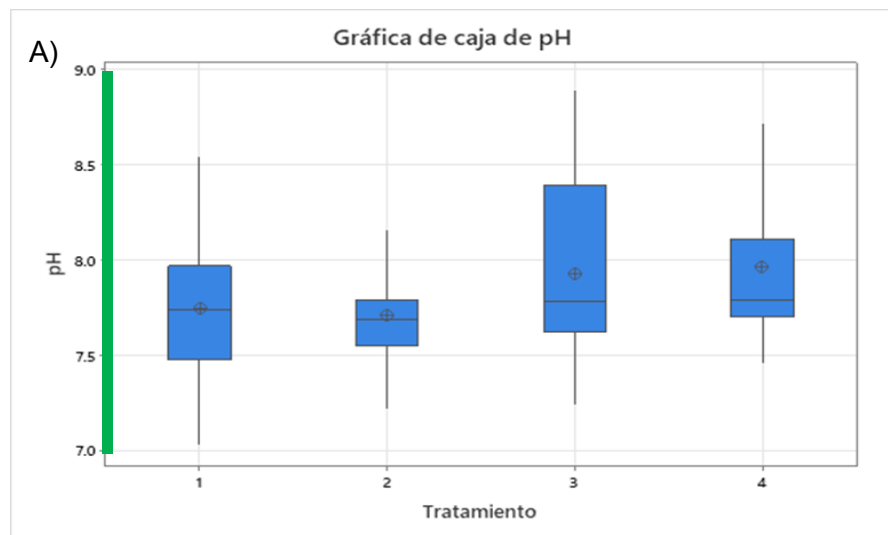


C)

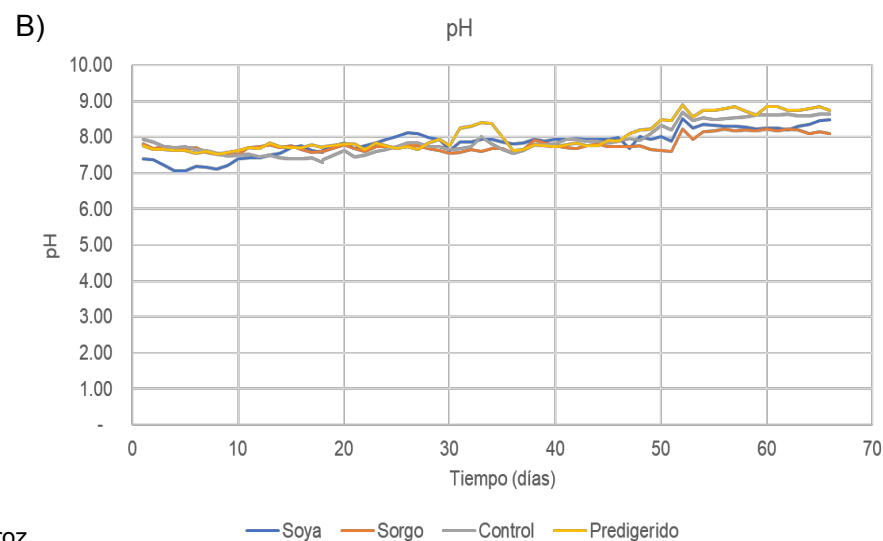
| Tratamiento | N | Media (°C) | Agrupación |
|----------------------|-----|------------|------------|
| Fermentado de soya | 306 | 24.1338 | A |
| Fermentado de sorgo | 306 | 23.5691 | B |
| Extruido tradicional | 306 | 23.111 | C |
| Predigerido de trigo | 306 | 23.0686 | C |

Figura 7. Comportamiento de la temperatura (°C)

A) Gráfica de cajas, B) Concentración de temperatura, D) Tabla de similitud.



1=Fermentado de soya, 2= Fermentado de sorgo, 3= Extruido tradicional, 4=Predigerido de trigo/arroz



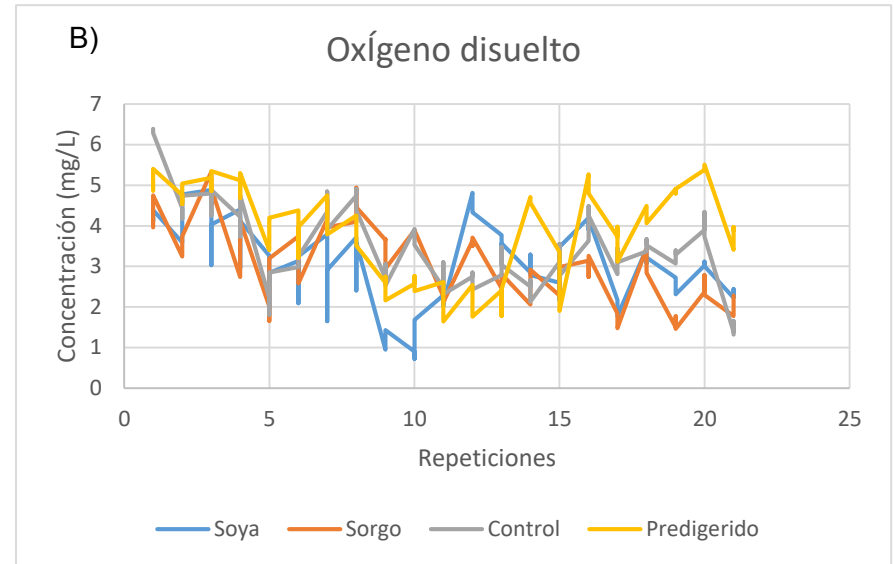
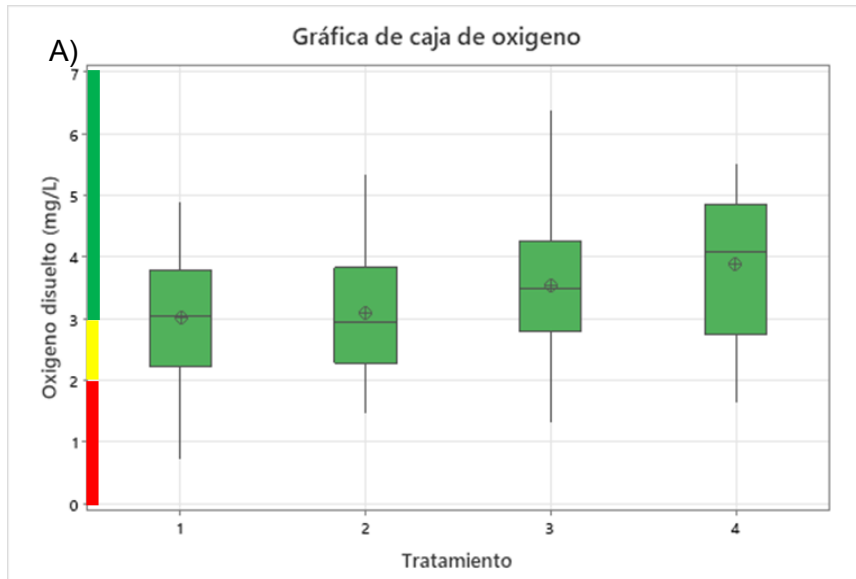
| Intervalos de tolerancia | | |
|--------------------------|--------------------|-----------------------------------|
| Óptimo (7-9) | Tolerable (9.1-11) | Dañino (≤ 6 ó ≥ 11 °C) |

C)

| Tratamiento | N | Media | Agrupación |
|----------------------|-----|--------|------------|
| Fermentado de soya | 306 | 7.7406 | A |
| Fermentado de sorgo | 306 | 7.7063 | A |
| Extruido tradicional | 306 | 7.9246 | B |
| Predigerido de trigo | 306 | 7.9575 | B |

Figura 8. Comportamiento del pH.

A) Grafica de cajas, B) Concentración de pH, D) Tabla de similitud.



1= Fermentado de soya, 2= Fermentado de sorgo, 3= Extruido tradicional, 4= Predigerido de trigo/arroz

| Intervalos de tolerancia | | |
|--------------------------|--------------------|---------------------------|
| Óptimo (3-5 mg/L) | Tolerable (2 mg/L) | Dañino (≤ 1.9 mg/L) |

C)

| Tratamiento | N | Media (mg/L) | Agrupación |
|----------------------|----|--------------|------------|
| Fermentado de soya | 63 | 3.009 | A |
| Fermentado de sorgo | 63 | 3.090 | A B |
| Extruido tradicional | 63 | 3.537 | B C |
| Predigerido de trigo | 63 | 3.881 | C |

Figura 9. Comportamiento del Oxígeno Disuelto (OD)

A) Gráfica de cajas, B) Concentración de Oxígeno Disuelto, D) Tabla de similitud.

8.5 Parámetros zootécnicos

El peso promedio inicial de los organismos fue el mismo para los cuatro tratamientos.

Los peces tuvieron una ganancia de peso similar en dos de los cuatro tratamientos, los cuales fueron: el de fermentado de sorgo y el de alimento extruido tradicional, el peso promedio final fue de 94.54 ± 43.59 y 95.73 ± 36.26 respectivamente (Figura 10 D).

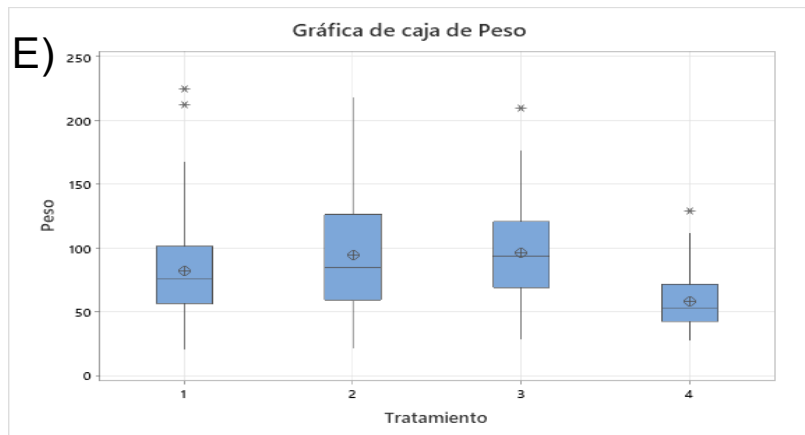
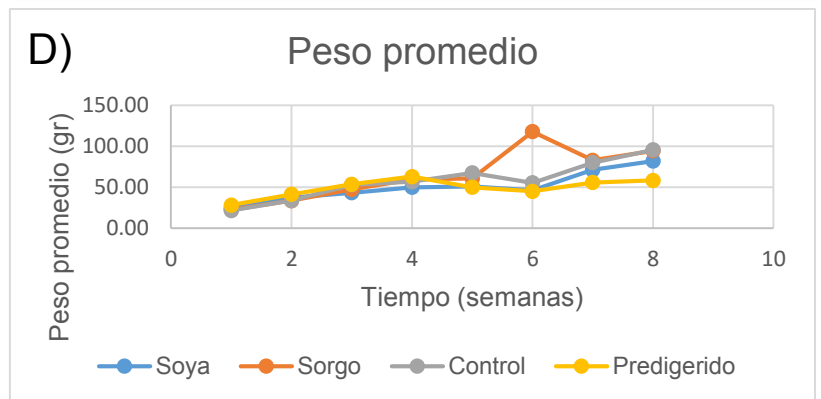
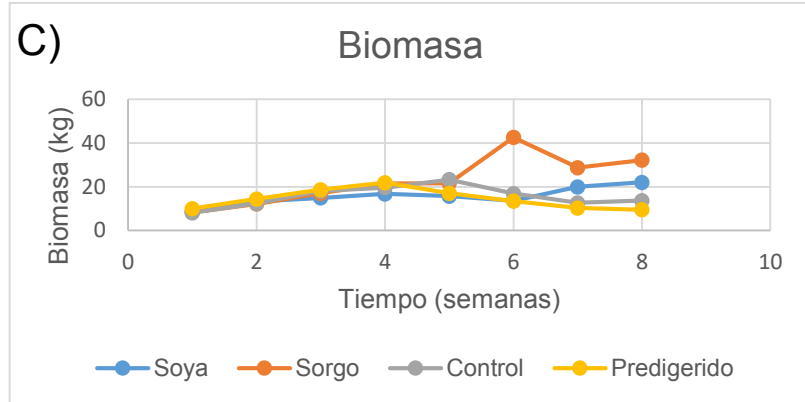
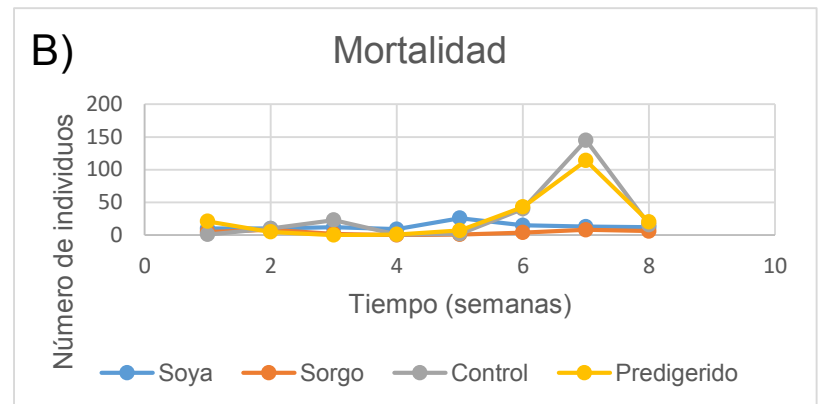
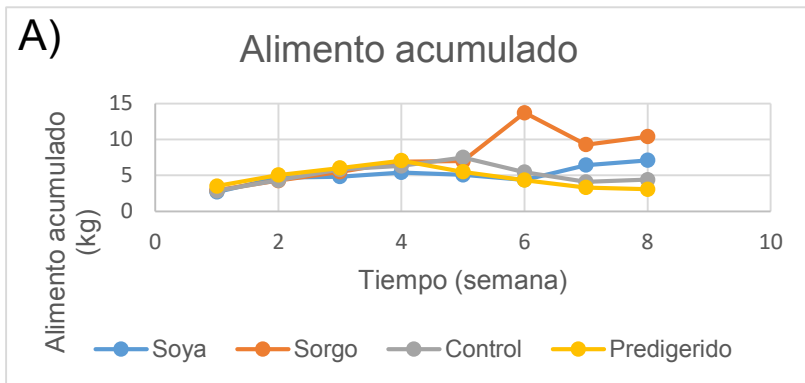
La alta ganancia de peso con el fermentado de sorgo, que aunque observamos contiene un bajo porcentaje de proteína (tabla 7), lo podemos relacionar con el contenido de aminoácidos esenciales, un estudio realizado por el Consejo de Granos de los Estados Unidos (USGC, 2017), en Vietnam demostró que el sorgo es un ingrediente potencial para sustituir a la mandioca (arbusto utilizado para la alimentación de algunas especies de peces), para alimentar a *Pangasius* (pez gato), debido a que el sorgo contiene mayor cantidad de triptófano y treonina, aminoácidos esenciales para los peces .

En la figura 10E podemos observar que los pesos de los organismos tenían una distribución heterogénea, ya que observamos que la disposición de los datos dentro de las cajas es amplia dentro del tratamiento de extruido tradicional y el fermentado de sorgo, lo que significa que teníamos peces de diferente tamaño dentro de los estanques.

El único tratamiento en que no se observa que comparte una similitud con los demás tratamientos es el tratamiento de predigerido de trigo, donde se observa que la ganancia de peso fue lenta, creciendo a un 50 % en comparación con los otros tratamientos.

Con respecto a la mortalidad observada dentro de los tratamientos, el grupo control y predigerido de trigo, tuvieron una mortalidad promedio alta en comparación con los otros dos tratamientos, así mismo podemos afirmar que en el cultivo alimentado con fermentado de sorgo es donde hubo mucho menos mortalidad, aunque en todos los tratamientos hubo un alza en la mortalidad en la semana siete de la experimentación, (figura 10B).

Solamente hubo un incremento en la biomasa de los estanques con los tratamientos de fermentado de soya y sorgo debido a que la mortalidad dentro de estos estanques fue mucho menor a lo largo de la investigación (figura 10C)



F)

| Tratamiento | N | Media (gr) | Agrupación |
|----------------------|----|------------|------------|
| Fermentado de soya | 90 | 81.98 | B |
| Fermentado de sorgo | 90 | 94.54 | A B |
| Extruido tradicional | 90 | 95.73 | A |
| Predigerido de trigo | 90 | 58.32 | C |

1=Fermentado de soya, 2= Fermentado de sorgo, 3=Alimento extruido tradicional, 4= Predigerido de trigo

Figura 10 Parámetros zootécnicos

A) Alimento acumulado, B) Mortalidad en cada tratamiento, C) Biomasa en cada tratamiento, D) Peso promedio de tilapia en cada tratamiento, E) Caja de bigotes del peso de la tilapia en cada tratamiento, F) Tabla de similitud.

8.6 Elasticidad

Conforme al análisis de relación entre la diferencia de concentración de DQO y la biomasa de los estanques, encontramos que solo existe relación entre la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y el tratamiento de fermentado de soya y alimento extruido tradicional, con una R^2 de 0.3822 y 0.3063 respectivamente (Figura 15), lo que nos indica que el modelo de regresión nos representa un 38 y 30 % de nuestros datos.

La baja relación entre los demás tratamientos y parámetros es debido a que no se encontró un efecto negativo sobre la calidad del agua, lo que con lleva a decir que el alimento suministrado no afectó negativamente la calidad del agua de los estanques, consecuencia de la alta digestibilidad de los alimentos, el buen funcionamiento del sistema y la forma de suministración del alimento, sin embargo con respecta a la DQO en los dos tratamientos antes mencionados, resultado del comportamiento de los peces ya que no es el mismo durante todo el cultivo y mucho menos en cada día, los valores de fluctuación en los parámetros fisicoquímicos de su ambiente pueden traer consigo estrés, que se puede relacionar con modificaciones en actividades conductuales como son la reproducción, la capacidad de competencia o el cese de la alimentación (Reynolds, 1980). La relación entre los componentes de la calidad del agua y el tipo de alimentación se verá modificada por este tipo de cambios en los organismos.

En estudios como el de Valbuena Villarreal, *et al.*, 2013, al comparar la relación entre factores dimensionales (fecundidad, peso y densidad del huevo) y de composición (ácidos grasos) para la determinación de la calidad del huevo en tilapia roja, nos muestra que una correlación es significativa cuando la r tiene valores mayores o iguales a 0.30.

Dentro del análisis de correlación podemos observar la similitud en el comportamiento entre la soya y el alimento extruido tradicional (control), puesto que no se observa un cambio significativo en la demanda química de oxígeno entre estos dos tratamientos, ya que se observa una tendencia similar entre estos dos tratamientos, por lo tanto, utilizar uno u otro tratamiento no provocaría un cambio en la concentración de DQO.

Acorde al análisis de elasticidad entre la variación en la concentración de DQO y la variación entre la biomasa observada (Figura 16). El tratamiento con extruido tradicional la DQO se mantuvo estable cuando la biomasa superó los 2000 gr, por el contrario, en el tratamiento

de fermentado de soya podemos observar que al superar los 2000 gr el DQO decayó y volvió a aumentar cuando la biomasa supero los 3000 gr, por lo tanto, podemos asegurar que dentro de este rango de crecimiento es conveniente suministrar fermentado de soya para que la DQO decaiga.

La elasticidad dentro de este parámetro nos da la idea de la sensibilidad que presenta la calidad del agua. En este caso bajo el parámetro de DQO ante la modificación de la biomasa dentro del estanque, la elasticidad negativa que se observa dentro de los tratamientos nos indica que la sensibilidad de la concentración de la DQO es menor en las primeras semanas de aumento de biomasa, una elasticidad cercana a cero nos indica que no existe sensibilidad, como se muestra en el tratamiento suministrado con extruido tradicional, ya que la DQO se mantiene estable un largo periodo aunque la biomasa en los estanques se modifique, en cambio un valor positivo de elasticidad pero menor a 1 nos dice que sensibilidad en la concentración de DQO está relacionada con el aumento de la biomasa.

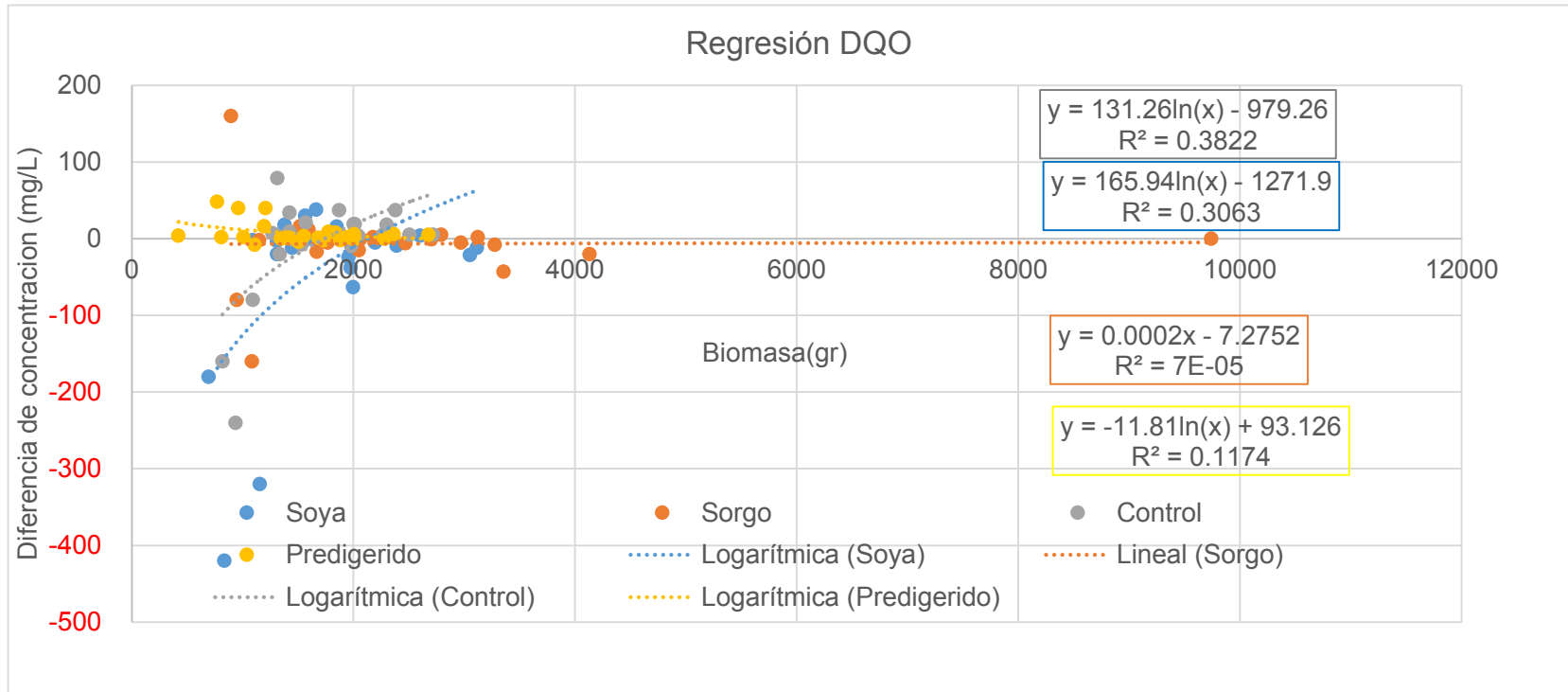


Figura 11. Análisis de regresión entre la diferencia de concentración de DQO con respecto a la biomasa

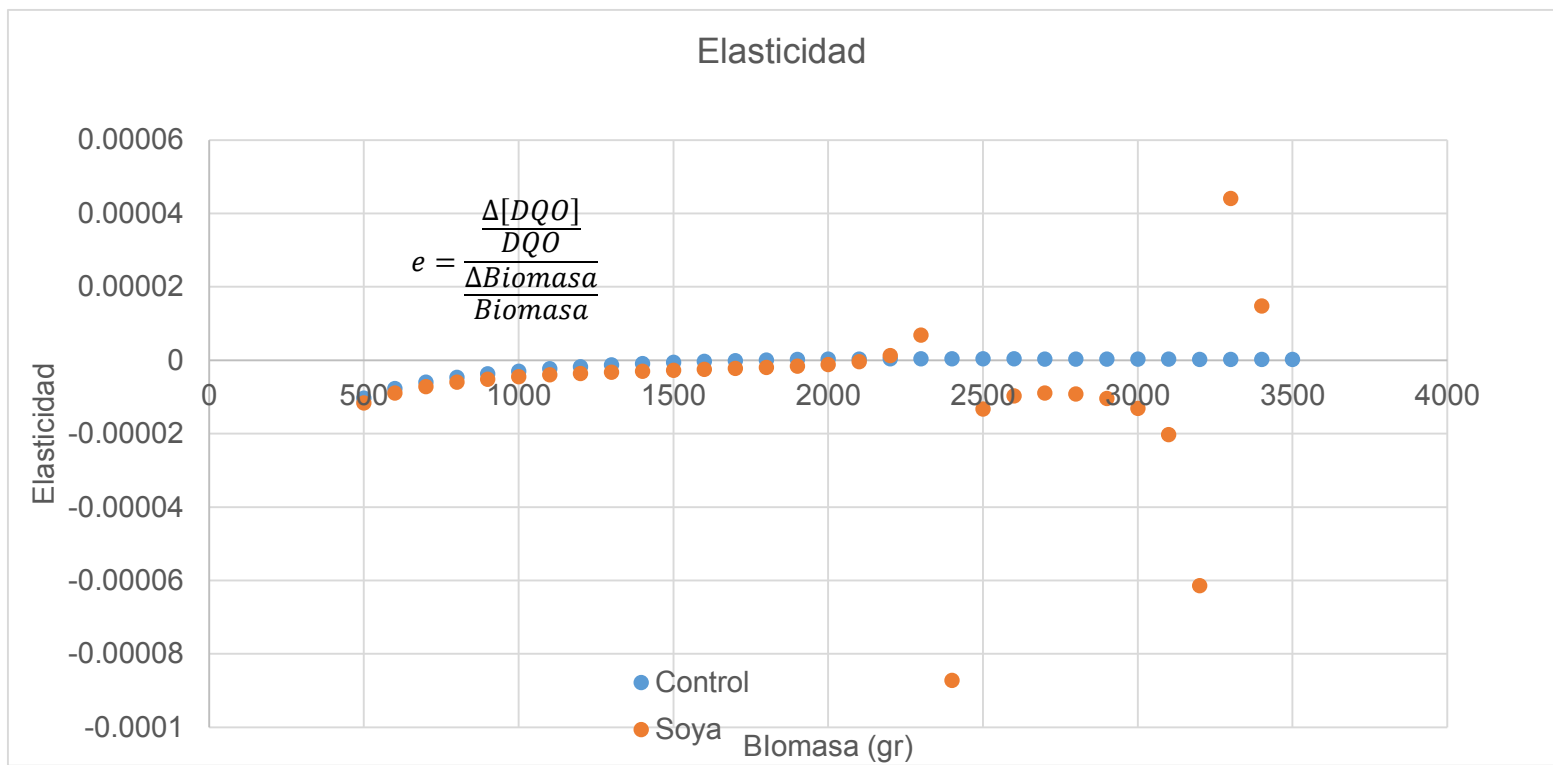


Figura 12. Análisis de elasticidad para DQO de acuerdo con la biomasa.

8.7 Análisis económico

El gasto económico dentro una producción acuícola es un aspecto importante por considerar, la nutrición de los organismos parte de un costo que a la hora de realizar el cálculo de la remuneración impacta significativamente en las utilidades.

Los costos incurridos en el ensayo fueron semejantes, para el tratamiento con fermentado de soya y sorgo. En la tabla 9 podemos observar el precio por kilo de los alimentos alternativos utilizados en la experimentación y el ahorro que se tiene comparado con el alimento extruido tradicional comúnmente utilizado en la acuicultura.

Tabla 7. Precio por kilo de los alimentos utilizados durante la experimentación.

| Tratamiento | Precio por kilo (\$/Kg) | Precio por kilo de mezcla suministrada (Fermentado/Predigerido + Extruido) (\$/Kg) | Ahorro |
|-------------------------------|----------------------------|---|---------|
| Control | \$ 24.64 | \$ 24.64 * | \$ 0 |
| Fermentado de soya | \$ 14.34 | \$ 19.49 | \$ 5.15 |
| Fermentado de sorgo | \$ 14.34 | \$ 19.49 | \$ 5.15 |
| Predigerido de trigo/arroz | \$ 23.89 | \$ 24.27 | \$ 0.37 |

*: Solo se considera alimento comercial (extruido)

Dentro de los cálculos económicos realizados se determinó el costo de incidencia de cada uno de los alimentos utilizados, teniendo que tanto alimentar con fermentado de soya y sorgo cuesta menos obteniendo una biomasa mayor con valores de incidencia de 0.65 y 0.44 respectivamente, comparado con alimento extruido tradicional y predigerido de trigo, ya que sus valores son mayores que 1; 1.80 y 2.51 respectivamente, lo que quiere decir que costó más producir una determinada biomasa.

El índice de ganancia se comporta de manera similar a la incidencia, debido a que al alimentar con fermentado de soya y sorgo, obtenemos un índice de ganancia de 5.5 %. Si alimentamos con extruido tradicional y predigerido obtenemos una ganancia de 3.2% y

3.3% respectivamente, esto si tomamos en cuenta que el kilo de tilapia en promedio tiene un valor en el mercado de 80 pesos (<http://www.economia-sniim.gob.mx/nuevo/>).

8.8 Desempeño general de la calidad del agua vs las alternativas nutrimentales

Las nuevas tendencias de alimentación utilizadas en la acuicultura van en aumento, relacionarlas con el buen manejo de la calidad del agua, facilitará el desarrollo de una acuicultura más sustentable.

Esta actividad es sensible a la degradación, debido a las grandes cantidades de desechos que recibe el agua, como el alimento no consumido por los peces y las heces (Borja, 2002).

La caracterización de la calidad del agua nos ayuda a identificar qué tipo de alternativa nutricional utilizada es la óptima para la reducción de contaminantes y una buena producción de tilapia. Para una mejor visualización del comportamiento de los parámetros fisicoquímico, estos se englobaron gráficamente, donde se identificaron dos zonas: óptima (verde) y tolerable (amarillo) (Tabla 8).

Estos valores deben permanecer preferentemente en la zona verde, lo indica que la calidad del agua es la correcta para la producción de tilapia. En cambio, si algún valor se encuentra en la zona tolerable amarilla es necesario su observación para que no sobrepasen esos límites a concentraciones letales para los organismos.

En general los parámetros analizados en cada uno de los tratamientos se mantuvieron en las zonas óptimas (Temperatura, pH, SST, SDT, NAT, Nitratos), parámetros determinantes para la selección de la alternativa nutrimental favorable, sin embargo, el OD, la DQO y DBO se encontraron en la zona de tolerancia (Figura 13).

Tabla 8. Escala de las zonas de los parámetros fisicoquímicos de cada tratamiento realizado.

| Parámetro | Tratamiento | | | | Intervalo óptimo | Intervalo tolerable | Referencias |
|------------------|--------------------|---------------------|----------------------|----------------------------|------------------|---------------------|--|
| | Fermentado de soya | Fermentado de sorgo | Extruido tradicional | Predigerido de trigo/arroz | | | |
| NAT (mg/L) | 3.73 | 2.86 | 2.31 | 1.23 | 3-5 mg/L | 5.1 mg/L | Crab <i>et al.</i> , 2007 |
| Nitrato (mg/L) | 3.72 | 7.48 | 3.28 | 3.57 | ≤40mg/L | 41-80 mg/L | Bautista-Covarrubias, <i>et al.</i> , 2011 |
| DQO (mg/L) | 158.7 | 186.13 | 160.13 | 161.16 | ≤150 | 151-190 mg/L | Gallego-Alarcón, 2010 |
| DBO (mg/L) | 48.3 | 36.36 | 43.58 | 56.51 | ≤20 mg /l | 21-70 mg/L | Boyd, 1998 |
| SST (mg/L) | 0.08 | 0.06 | 0.07 | 0.12 | ≤450 mg/L | 451-500 mg/L | Ray, <i>et al.</i> , 2010 |
| SDT (mg/L) | 2002 | 1561 | 1741 | 2003 | ≤2000 mg/L | 2001-2500 mg/L | Campos-Pulido, <i>et al.</i> , 2013 |
| Temperatura (°C) | 24.13 | 23.56 | 23.11 | 23.06 | 22-32 °c | ≤20 o ≥36 °C | Poot-López <i>et al.</i> , 2012 |
| pH | 7.74 | 7.7 | 7.92 | 7.95 | 7-9 | ≤6 o ≥11 | Roy <i>et al.</i> , 2014 |
| OD (mg/L) | 3 | 3.09 | 3.53 | 3.88 | 3-5 mg/L | 2- 2.9 mg/L | Martínez, <i>et al.</i> , 2015 |

Observando la figura 13, el tratamiento de fermentado de soya fue el único tratamiento donde las concentraciones de nitrógeno amoniacal total se encontraron fuera de los valores óptimos para la tilapia.

El origen de las especies nitrogenadas tóxicas para los peces, las atribuimos a las excreciones por medio de las branquias, además de la cantidad de proteína que contiene el alimento y por el lixiviado del alimento no consumido y las heces en el transcurso de las horas (López, 2002; Vásquez-Torres, 2007).

Con respecto a las proteínas suplementadas a través de la dieta, en su producto final del catabolismo, liberan nitrógeno inorgánico principalmente en forma de amonio (Ramírez-Rochín *et al.*, 2016).

La concentración de amonio y la generación de nitrógeno residual se verá modificada conforme se eleve el nivel de inclusión de la proteína en la dieta, así como la talla de los organismos (Calderón, 2007), lo cual concuerda con los valores mostrados en nuestro

estudio, cuando se utilizaron las dietas con nivel alto de proteína (extruido tradicional y fermentado de soya) los niveles de NAT fueron mayores.

Hasta un 90% del nitrógeno en el sistema de cultivo, se origina del alimento extruido tradicional. Hargreaves (1998) hace referencia que a una tasa de alimentación de 100 kg/ha/día de un alimento con 32% de proteína, más de 5 kg N/ha/día son añadidos el estanque.

Estudios anteriores con alimentos con diferentes niveles de proteína confirman que al aumentar el nivel de inclusión proteica también lo hará el amonio (Lopez- Vela, *et al.*, 2014, Jannathulla *et al.*, 2017).

Al contrario de lo que paso con el fermentado de soya, el predigerdio de trigo/arroz al contener un porcentaje de proteína menor, en comparación con los demás tratamientos, la cantidad de NAT también lo fue.

Aunado a esto podemos identificar el comportamiento del nitrato en cada tratamiento, teniendo que la eficiencia de la oxidación del amoniaco fue mayor en los estanques alimentados con fermentado de sorgo, compensación sobre la cantidad de nitrógeno amoniacal que se determinó dentro de estos (Robles-Porchas, *et al.*, 2020).

La digestibilidad y la atractabilidad de los alimentos juega un papel determinante en la liberación de los compuestos nitrogenados presentes en el alimento (Torres, 2007; Aurrekoetxea y Perera, 2016), a una mayor digestibilidad las excreciones serán menores, lo mismo sucede con la característica de la atractabilidad entre más atractivo paliativamente sea un alimento, habrá una disminución en el desperdicio de alimento. Disminuyendo la liberación de amonio y amoniaco.

Cualitativamente dentro de los estanques se pudo observar que el alimento de fermentado de sorgo presentaba una mejor atractibilidad para los peces, ya que al momento de ser suministrado en los estanques inmediatamente los animales lo consumían, esta atractibilidad es debida al contenido de azúcares (Cuevas-Reyes, *et al.*, 2020).

Además de que al realizar las actividades de purga y sifoneo de estanques la proporción de alimento no consumido y precipitado eran mucho menores en comparación con el fermentado de soya y extruido tradicional.

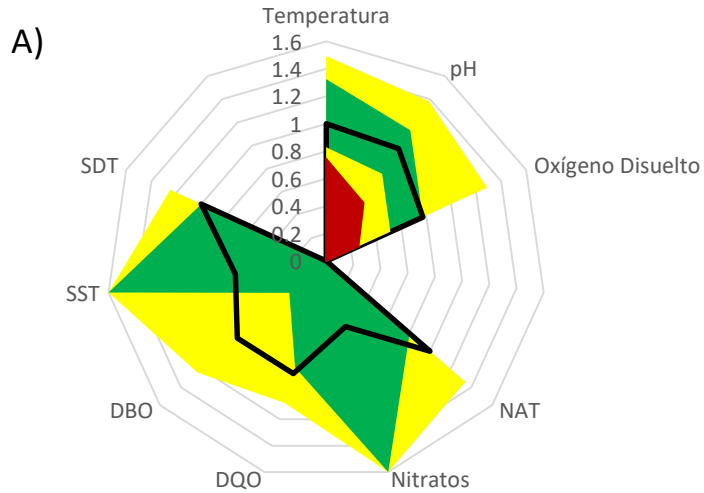
Con respecto a la soya, Fowler (1981) y Lovell (1991), demostraron que algunos peces encuentran a la harina de soya poco palatable, entre ellos el salmón Coho y el salmón

Chinook provocando que las pérdidas del alimento sean mayores, además de esto comparada con el extruido tradicional este es más digestible hasta un 85% para trucha arcoíris y tilapia (Lovell y Smitherm,1993), motivo por el cual probablemente existieron más pérdidas y excreciones de alimento en estos tratamientos ocasionando acumulación de materia orgánica.

Otro factor que ayudo a que el aumento de NAT no se hiciera evidente dentro del demás tratamiento fue el pH, el cual se mantuvo siempre en su zona óptima lo que impidió el desplazamiento del equilibrio amonio-amoniaco hacia su forma tóxica (Soria Leal,2015).

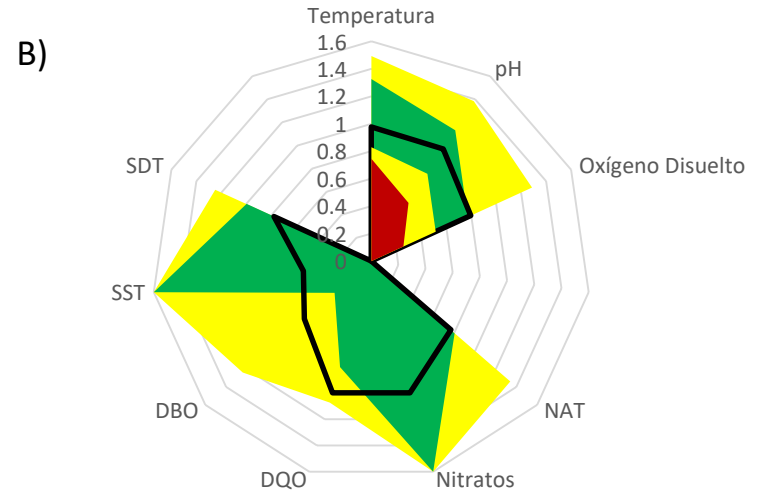
Desempeño general del fermentado de soya con valores estandarizados

■ Tolerancia ■ Óptimo ■ Observado ■ Tolerancia ■ Dañino



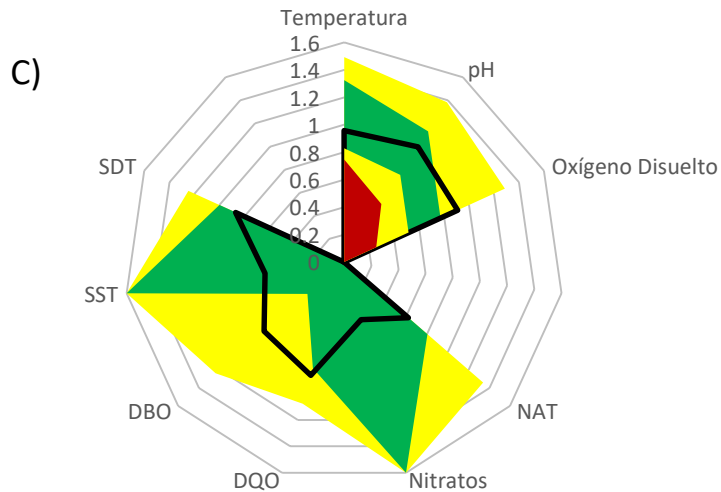
Desempeño general del fermento de sorgo con valores estandarizados

■ Tolerancia ■ Óptimo ■ Observado ■ Tolerancia ■ Dañino



Desempeño general del extruido tradicional con valores estandarizados

■ Tolerancia ■ Óptimo ■ Observado ■ Tolerancia ■ Dañino



Desempeño general de predigerido de trigo/arroz con valores estandarizados

■ Tolerancia ■ Óptimo ■ Observado ■ Tolerancia ■ Dañino

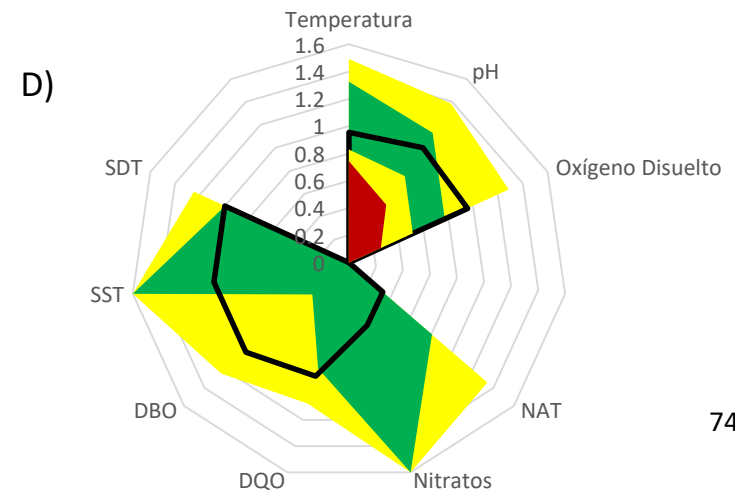


Figura 13. comparación del desempeño general de cada tratamiento suministrado.

Al observar el desempeño general de cada uno de los tratamientos podemos identificar el parecido que tiene el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos analizados en el fermentado de soya y el extruido tradicional, principalmente con respecto a la demanda química y bioquímica de oxígeno.

En comparación con los demás tratamientos el alimento fermentado de sorgo también presentó los valores más bajos para estos parámetros, lo que quiere decir que existe una mejor regularización con respecto a la liberación y degradación de materia orgánica (Vita, *et al.*, 2011).

Comportamiento observable de igual forma con los sólidos disueltos y suspendidos donde sus valores de concentración estuvieron más cerca de 0.

Las altas concentraciones de materia orgánica dentro de los otros tratamientos pudieron ocasionar eutrofización. Este impacto puede deberse a la formulación inadecuada de los alimentos, baja calidad de los ingredientes, sobrealimentación y una pobre estabilidad de los alimentos en el agua (Hoyos-Martínez, 2011).

Referente a la naturaleza del alimento, es esta la que influye principalmente en la liberación de materia orgánica. El alimento de predigerido de trigo/arroz presentó concentraciones más altas de sólidos ocasionando de igual forma mayor demanda química y bioquímica de oxígeno. Alanés Oña (2020) señala que tanto el trigo como el arroz contiene un alto contenido de carbohidratos alcanzando hasta un 80% en su composición, que si bien estos son una excelente fuente de energía disponible, ayudan a la retención de proteínas y reduce la descarga de nitrógeno en los efluentes de las granjas, el máximo nivel de inclusión de carbohidratos recomendado es hasta un 50% para las especies herbívoras y omnívoras (NRC, 2011), de igual forma el contenido de fósforo en estos cereales alcanzan un nivel de 110 mg por 100 gr de producto, estas altas concentraciones hacen que queden libre en el agua causando una alta concentración de sólidos disueltos totales.

En consecuencia, en el proceso de oxidación de los sólidos presentes en un estanque, se pueden liberar compuestos inorgánicos como el CO₂, H₂S y nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, además de otros micronutrientes y de metales pesados (Bilotta y Brazier, 2008) aumentando la necesidad de oxidarla química y bioquímicamente.

La alta concentración de sólidos también recae en la estabilidad del alimento (Hoyos Martínez, 2011), durante el desarrollo de la investigación, pudimos observar que el alimento

de predigerido de trigo/arroz, se disolvía fácilmente en el agua, causa que podemos agregar a la razón de la conducta de los parámetros SDT y SST.

En segundo lugar, en concentración de estos parámetros tenemos al fermentado de soya y el extruido tradicional, alimentos con alta estabilidad en el agua, sin embargo, al paso de la hora de alimentación estos perdían esa estabilidad ocasionando una precipitación del alimento y acumulación en el fondo.

Contrario a lo que sucedió con el sorgo, a pesar de que también contiene un alto porcentaje de carbohidratos entre 70-90% y fósforo (Nava Berumen, *et al.*, 2017), presenta una estabilidad mayor, haciendo que su consumo sea mejor, así como su sedimentación.

Una de las grandes influencias que determina el tipo y el nivel de residuos en el agua, es el procesamiento de los alimentos antes de la ingesta (Castelló-Orvay, 1998).

En los procesos de fermentación, los microorganismos mejoran la disponibilidad de nutrientes transformando los compuestos nutricionales de las plantas, (Ramos *et al.*, 2007). principalmente proteínas a componentes menos complejos enriqueciendo la calidad sensorial, los efectos bioconservantes y mejorando la seguridad alimentaria, de igual forma ayudan a la degradación de compuestos tóxicos y antinutricionales (Ferrari *et al.*, 2020; Jaramillo, 2008)

Asimismo, la aplicación de probióticos en el proceso de fermentación de los alimentos ayudó a la reducción en el impacto negativo de la calidad del agua, debido que contribuye aumentando la concentración de aminoácidos para una alimentación más completa, además de ayudar a convertir los sedimentos sólidos en sustancias más simples y utilizables (Tabbú *et al.*, 2000).

Los beneficios directos al hospedero por parte de los probióticos son: a) exclusión competitiva de microorganismos patógenos en el tracto digestivo; b) mejoramiento del sistema inmune; c) perfeccionamiento de la digestión (Balcazar *et al.*, 2006); d) mejoramiento de la calidad del agua al producir oxígeno, consumir CO₂ y materia orgánica residual, produciendo minerales y biomasa (Kumar, *et al.*, 2008), reduciendo también las concentraciones de amonio, nitratos y nitritos (Kim *et al.*, 2005; Laloo *et al.*, 2007).

Estudios con la especie probiótica *Bacillus* sp., presente en la mezcla de probióticos utilizada en este trabajo (Mujeeb Rahiman *et al.*, 2010) demostraron que al aplicar *Bacillus* sp como aditivos a la dieta y al agua de cultivo de *Macrobrachium rosenbergii* a diferentes

dosis y frecuencias de administración, resultó en la reducción de la concentración de amonio y nitrato del medio, de igual forma ayudaron al incremento significativo de la supervivencia, el crecimiento y la estimulación del sistema inmune.

Recientemente, estudios han conferido que las multiespecies o cepas de probióticos son más eficiente que una sola especie y puede implicar propiedades probióticas sinérgicas (Hauville *et al.*, 2016)

Una mezcla de probióticos (MP) *Rhodopseudomonas palustris*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei* y *Saccharomyces cerevisiae* aplicada a un cultivo de *L. vannamei*, demostró que al agregar estos en la alimentación los valores del pH se mantuvieron constantes, además se redujeron las concentraciones de nitrato y hubo una mayor remoción de materia orgánica (Melgar Valdes, *et al.*, 2013). El tiempo de cosecha se redujo.

De los resultados obtenidos en este estudio, se sugiere que las bajas concentraciones de los parámetros fisicoquímicos en los estanques de cultivo fueron debida a diversos factores, tales como la volatilización del NAT debido a la aireación de los estanques y a la presencia de microorganismos originados por el alimento y por los probióticos suministrados.

No encontrar efectos negativos en la modificación de la calidad del agua en los estanques por las alternativas nutricionales fue corroborado por la ausencia de elasticidad entre los parámetros fisicoquímicos y la biomasa alimentada por estas.

En cuanto a la ganancia de peso de los organismos, al no encontrarse diferencias significativas entre el fermentado de sorgo y soya en comparación con el alimento de extruido tradicional, podemos decir que el uso de estas alternativas de nutrición no afectará el crecimiento de los organismos. Sin embargo, existió diferencias entre el fermento de sorgo y el de soya, esto por la falta de aminoácidos esenciales en la soya para el desarrollo de la tilapia (Tacón, *et al.*, 1993). Así mismo una característica fundamental en el sorgo que lo hace sobresalir es el contenido de taninos que de acuerdo con Viana-Filho, *et al.*, (2022) reduce la mortalidad por patógenos.

Sin embargo, al analizar el Factor de Conversión Alimenticia (FCA) de cada tratamiento (Tabla 9) pudimos identificar que, si bien el tratamiento de extruido tradicional tiene un FCA menor en comparación con los demás tratamientos, la ganancia de peso al finalizar el experimento fue mucho menor en comparación con los fermentados.

Particularmente el alimento de fermentado de sorgo tuvo una ganancia de peso mayor con una cantidad de alimento considerable, teniendo un factor de conversión alimenticia favorable.

Tabla 9. Eficiencia de la utilización de las alternativas de nutrición.

| Tratamiento | Kg/ alimento utilizado | Ganancia de pego (kg) | FCA |
|----------------------------|------------------------|-----------------------|------|
| Fermentado de soya | 1.495 | 4.426 | 0.33 |
| Fermentado de sorgo | 2.504 | 8.021 | 0.31 |
| Extruido tradicional | 0.519 | 1.850 | 0.28 |
| Predigerido de trigo/arroz | 0.146 | 0.180 | 0.80 |

Una de las principales características de nuestro estudio y que lo hace diferente a los demás es el nivel de inclusión que utilizamos, ya que, en investigaciones similares, el porcentaje de sustitución fue menor que en nuestro trabajo, sin embargo, con respecto a la soya, cereal comúnmente utilizado en acuicultura es la única que tiene estudios con un mayor porcentaje de inclusión (Viola *et al.*, 1988, Toledo *et al.*, 2008, Llanes y Toledo, 2011).

Llanes y Toledo (2011) demostraron que con niveles de 50 y 55 % de sustitución de soya el crecimiento y la eficiencia alimentaria en un cultivo de tilapia fue mejor que con la inclusión de 60 % debido a la presencia de factores antinutricionales dentro de los alimentos de origen vegetal. Los más relevantes son los inhibidores de proteasas, que tienen la capacidad de inhibir la actividad proteolítica de los aparatos enzimáticos del tracto digestivo de los peces, por lo tanto, se reduce su valor nutritivo al aumentar su porcentaje de inclusión.

Hay que tomar en cuenta que varios autores adicionan vitaminas, minerales o aminoácidos sintéticos como suplementos en la alimentación de los organismos (ElSaidy y Gabe 2002 y Goda *et al.*, 2007) para obtener mejores resultados. Sin embargo, nuestro estudio se realizó con las condiciones más parecidas a una producción real. En consecuencia, nuestros

resultados de crecimiento reflejan valores favorables de sustitución a un 50% la harina de pescado por fermentado de sorgo.

Por último, es importante señalar el uso apropiado de las proteínas en la dieta con el objetivo de empatar los requerimientos de los organismos cultivados a los costos más bajos posibles, y esta proporción puede variar de acuerdo con diferentes factores, entre ellos el óptimo crecimiento y la carga contaminante que tienen, por lo tanto, es recomendable dietas con bajo contenido proteico, perfil de aminoácidos óptimo y una proporción adecuada proteína/energía, por consiguiente al analizar y comparar las alternativas nutricionales creadas, el tratamiento de fermentado de sorgo incluye las mejores características para ser utilizado como fuente nutricional y no afecta la calidad del agua de los estanques de producción.

9. Conclusiones y recomendaciones

9.1 conclusiones

- El uso de nuevas técnicas de alimentación (fermentado de soya y sorgo y predigerido de trigo) generan el mismo impacto en la calidad del agua en comparación con la técnica tradicional de nutrición.
- La calidad del agua en los cuatro tratamientos se mantuvo en las zonas óptimas y tolerables de los parámetros fisicoquímicos evaluados para la producción de tilapia por lo que no se vio afectada.
- Se estableció el contenido nutricional de cada alimento suministrado, teniendo que el extruido tradicional, contiene mayor porcentaje de proteína y grasa en comparación con los demás tratamientos, con: 45% de proteína y 16% de grasa., el fermentado de soya: 22% de proteína, 2.47% de grasa, 31.19 % de materia seca y 1,72% de cenizas., el fermentado de sorgo contiene 6.87% de proteína, 1.46% de grasa. 54.09% de materia seca y 0.32% de cenizas., y el predigerido de trigo/arroz contiene 5.06% de proteína, 2.14% de grasa, 44.17% de materia seca y 0.14% de cenizas.
- Se determinó que no existen diferencias significativas entre el uso de las técnicas alternativas de alimentación de peces (fermentado de soya, fermentado de sorgo y predigerido de trigo) en comparación con el alimento extruido tradicional sobre el impacto en la calidad del agua en un cultivo de tilapia, por lo tanto, se puede utilizar cualquier alimento alternativo sin obtener un efecto negativo en la composición fisicoquímica del agua para la producción de la tilapia.
- De acuerdo con el análisis de elasticidad, solo existió sensibilidad de variables entre la Demanda Química de Oxígeno y los tratamientos de fermentado de soya y extruido tradicional, teniendo que a una biomasa de 2000- 3000 gr es recomendable alimentar con fermentado de soya debido a una disminución de la concentración de DQO. Corroborando que no existen efectos significativos en la calidad del agua para la producción de tilapia.
- Poder utilizar las alternativas nutricionales evaluadas en la producción de tilapia permite disminuir el uso de recursos naturales como lo es: el agua, harina de pescado, aceite de pescado, entre otros. Esto lleva a un mejor uso de estos recursos en la acuicultura.

9.2. Recomendaciones

Para establecer una acuicultura más sustentable es necesario la aplicación y desarrollo de nuevas técnicas de nutrición. Por ello es fundamental el desarrollo de investigaciones sobre la aplicación de estas alternativas de alimentación en diferentes especies acuícolas de importancia comercial, además de observaciones en las diferentes etapas de desarrollo de los organismos.

Se recomienda probar esta aplicación en un ambiente de producción extensiva y en diferentes características de infraestructura, clima, etc., para conocer mejor el comportamiento de los alimentos sobre la calidad del agua y el crecimiento de los organismos.

Se recomienda, también, ahondar en los protocolos de alimentación, investigando el efecto de la aplicación de nuevas metodologías y fuentes de proteína (hongos, insectos, plantas, etc.), para la generación de productos de mayor calidad, a un menor precio y más agradable para el medio ambiente.

Desarrollar productos más sofisticados para la alimentación de peces, tomando en cuenta contenido proteico, especialmente el tipo de aminoácidos contenidos, aumentando la digestibilidad del alimento, la relación proteína/energía, para ayudar al crecimiento de los organismos, asimismo controlar la contaminación por pérdida de alimento y altas excreciones fecales.

10. Literatura citada

- Abdel-Tawwab, M., Abdelghany, A. E., & Ahmad, M. H. (2007). Effect of Diet Supplementation on Water Quality, Phytoplankton Community Structure, and the Growth of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*(L.), Common Carp, *Cyprinus carpio*(L.), and Silver Carp, *Hypophthalmichthys molitrix*(V.), Polycultured in Fertilized Earthen Ponds. *Journal of Applied Aquaculture*, 19(1), 1–24.
- Abdel-Tawwab, M., Monier, M.N., Abdelrhman, A.M. and Dawood, M.A.O. (2020). Effect of dietary multi-stimulants blend supplementation on performance, digestive enzymes, and antioxidants biomarkers of common carp, *Cyprinus carpio* L. and its resistance to ammonia toxicity. *Aquaculture* 528
- Abedin MJ, Bapary MA, Rasul MG, Majumda, BC Haque MM. 2017. Water quality parameters of some *Pangasius* ponds at Trishal Upazila, Mymensingh, Bangladesh. *European Journal of Biotechnology and Bioscience* 5: 29-35
- Adámek, Z., Helešic, J., Maršálek, B., & Rulík, M. (2010). Aplikovaná hydrobiologie (Applied Hydrobiology). *FFPW USB Vodnany (In Czech)*.
- Adámek, Z., Parova, J., & Stribranyiova, I. (1997). Perspectives of phytase application in feed mixtures for reduction of phosphorus amounts in fish farm effluents. *Krmiva: Časopis o hranidbi životinja, proizvodnji i tehnologiji krme*, 39(3), 115-122.
- Aiura, F. S. & Carvalho, R. R. (2007). Body lipid deposition in Nile tilapia fed on rations containing tannin. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 42 (1),51-56.
- Alanés Oña, L. E. (2020). Alimentación y nutrición en peces de agua dulce. *Revista Estudiantil Agro-Vet*, 4, 604.
- Álvarez S. (2005). La descomposición de materia orgánica en humedales: la importancia del componente microbiano. Dirección General para la Biodiversidad. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid España. *Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente. Ecosistemas*. pp. 17-29.

- Amenyogbe, E., Chen, G., Wang, Z., Huang, J. S., Huang, B., & Li, H. (2020). The exploitation of probiotics, prebiotics and synbiotics in aquaculture: present study, limitations and future directions.: a review. *Aquaculture International*, 28(3), 1017–1041.
- Amirkolaie, A. K. (2011). Reduction in the environmental impact of waste discharged by fish farms through feed and feeding. *Reviews in Aquaculture*, 3(1), 19-26.
- Amirkolaie, A. K., El-Shafai, S. A., Eding, E. H., Schrama, J. W., & Verreth, J. A. (2005). Comparison of faecal collection method with high-and low-quality diets regarding digestibility and faeces characteristics measurements in Nile tilapia. *Aquaculture Research*, 36(6), 578-585.
- Amirkolaie, A. K., Leenhouders, J. I., Verreth, J. A., & Schrama, J. W. (2005). Type of dietary fibre (soluble versus insoluble) influences digestion, faeces characteristics and faecal waste production in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Aquaculture research*, 36(12), 1157-1166.
- Amirkolaie, A. K., Verreth, J. A., & Schrama, J. W. (2006). Effect of gelatinization degree and inclusion level of dietary starch on the characteristics of digesta and faeces in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* (L.)). *Aquaculture*, 260(1-4), 194-205.
- Arboleda OD. (2006). Limnología aplicada a la acuicultura. *Revista Electrónica de Veterinaria REDVET VII* (11).
- Aurrekoetxea, G., & Perera, N. M. (2016). Aprovechamiento de recursos pesqueros infrutilizados para la obtención de alimentos mejorados de peces de acuicultura. *Revista AquaTIC*, (13).
- Azimirad, M., Meshkini, S., Ahmadifard, N., & Hoseinifar, S. H. (2016). The effects of feeding with synbiotic (*Pediococcus acidilactici* and fructooligosaccharide) enriched adult *Artemia* on skin mucus immune responses, stress resistance, intestinal microbiota and performance of angelfish (*Pterophyllum scalare*). *Fish and Shellfish Immunology*, 54, 516–522.
- Badawy, M.I.; Ali, M.E.M. (2006). Fenton's peroxidation and coagulation processes for the treatment of combined industrial and domestic wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, Vol. B136, pp. 961–966, ISSN 0304-3894

- Balcázar, J.L., I. de Blas, I. Ruiz-Zarzuela, D. Cunningham, D. Vendrell & J.L. Múzquiz. (2006). The role of probiotics in aquaculture. *Vet. Microbiol.* 114: 173-186.
- Ballester-Moltó, M., Sanchez-Jerez, P., Cerezo-Valverde, J. & Aguado-Giménez, F. (2017) Particulate waste outflow from fish-farming cages. How much is uneaten feed? *Marine Pollution Bulletin* 119(1), 23–30
- Ballester-Moltó, M., Sanchez-Jerez, P., García-García, J., Cerezo-Valverde, J. & Aguado-Giménez, F. (2016) Controlling feed losses by chewing in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) on growing may improve the fish farming environmental sustainability. *Aquaculture* 464, 111–116
- Bautista Covarrubias, J. C., Ruiz Velazco A., J., & De Jesus, M. (2011). Calidad de agua para el cultivo de Tilapia en tanques de geomembrana. *CONACYT*.
- Beaumont, M.W., Taylor, E.W., & Butler, P.J., (2000). The resting membrane potential of white muscle from brown trout (*Salmo trutta*) exposed to copper in soft, acidic water. *J. Exp. Biol.* 203, 2229–2236.
- Bechara, J. A., Roux, J. P., Ruiz Diaz, F. J., Flores Quintana, C. I., & Longoni de Meabe, C. A. (2005). The effect of dietary protein level on pond water quality and feed utilization efficiency of pacu *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg, 1887). *Aquaculture Research*, 36(6), 546–553.
- Bernuy Chávez, G. M. (2016). Asimilación de nitrógeno amoniacal bajo dos estrategias de adición de carbono en sistemas biofloc para cultivo de tilapias (*Oreochromis niloticus*).
- Beveridge, M. C. M., Phillips, M. J., & Macintosh, D. J. (1997). Aquaculture and the environment: the supply of and demand for environmental goods and services by Asian aquaculture and the implications for sustainability. *Aquaculture research*, 28(10), 797-807.
- Black KD. (2001). Environmental impacts of aquaculture. Sheffield Academic Press and CRC Press, Sheffield
- Bly, J.E., Quiniou, S.M., Clem, L.W., (1997). Environmental effects on fish immune mechanisms. *Developmental Biology Standard* 90, 33–43.

- Bilotta G. & Brazier R. 2008. Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water research* 42. Pp. 2849-2861.
- Brito Suárez, F. G. & Rodríguez L. C. (2009). Efecto de la reutilización del agua en la crianza y producción de tilapia roja: Universidad del Azuay. Tesis
- Borja, A. (2002). Los impactos ambientales de la acuicultura y la sostenibilidad de esta actividad. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr*, 18(1-4), 41-49.
- Borja, Á. (2011). Los impactos ambientales de la acuicultura y la sostenibilidad de esta actividad. *Boletín. Instituto Español de Oceanografía*, 18(1-4), 41-49.
- Bosma, R. H., & Verdegem, M. C. (2011). Sustainable aquaculture in ponds: principles, practices and limits. *Livestock science*, 139(1-2), 58-68.
- Boyd, C. E. (1982). *Water quality management for pond fish culture*. Elsevier Scientific Publishing Co.
- Boyd, C. E. (2017). General relationship between water quality and aquaculture performance in ponds. In *Fish diseases* (pp. 147-166). Academic Press.
- Boyd, C. E. (2019). *Water quality: an introduction*. Springer Nature.
- Boyd, C. E., & Tucker, C. S. (2012). *Pond aquaculture water quality management*. Springer Science & Business Media.
- Boyd, C.E., & Lichtkoppler, F., (1979). Water Quality in Fish Culture. Research and Development Series No. 22. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Auburn, Alabama.
- Boyd, C.E., & Tucker, C.S., (1998). Pond Aquaculture Water Quality Management. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Brinker, A., & Friedrich, C. (2012). Fish meal replacement by plant protein substitution and guar gum addition in trout feed. Part II: Effects on faeces stability and rheology. *Biorheology*, 49(1), 27-48.
- Bureau, D. P., & Hua, K. (2010). Towards effective nutritional management of waste outputs in aquaculture, with particular reference to salmonid aquaculture operations. *Aquaculture Research*, 41(5), 777-792.

- Burrows, R.E. (1969). Effects of accumulated excretory products on hatchery-reared salmonids. U.S. Bureau of Sport Fishing and Wildlife Resource Report 66. pp. 12.
- Camacho B., Moreno R., Rodríguez G., Luna R., & Vásquez M. (2000). Guía para el cultivo de trucha. Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México D.F. PP. 12.44
- Camargo J. & Alonzo A., (2006). Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems a global assessment. *Environment international*. 32. pp. 831 -849.
- Cao, L., Wang, W., Yang, Y., Yang, C., Yuan, Z., Xiong, S., & Diana, J.,(2007). Environmental impact of aquaculture and countermeasures to aquaculture pollution in China. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 14, 452–462.
- Cao, W., Wang, Y., Sun, L., Jiang, J. & Zhang, Y. (2016). Removal of nitrogenous compounds from Journal Pre-proof Journal Pre-proof polluted river water by floating constructed wetlands using rice straw and ceramsite as substrates under low temperature conditions. *Ecological Engineering* 88, 77-81.
- Campos-Pulido, R., Alonso-López, A., Avalos-de la Cruz, D. A., Asiain-Hoyos, A., y Retamendiola, J. L. 2013. Caracterización fisicoquímica de un efluente salobre de tilapia en acuaponia. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (5), 939-950.
- Carlberg, H., Lundh, T., Cheng, K., Pickova, J., Langton, M., Gutiérrez, J. L. V., Kiessling, A., & Brännäs, E. (2018). In search for protein sources: Evaluating an alternative to the traditional fish feed for Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.). In *Aquaculture* (Vol. 486). Elsevier B.V.
- Castelló-Orvay, F. (1998). Alimentos y estrategias de alimentación para reproductores y juveniles de peces marinos. *Avances en Nutrición Acuicola*.
- Cervantes Jiménez, M., & Aparicio Cabrera, A. (1993). Estudio de la Elasticidad y sus Aplicaciones al Campo del Comercio Internacional. *Teoría Microeconómica, Mercados y Precios de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)*, 129.
- Chaquilla-Quilca, G., Balandrán-Quintana, R. R., Mendoza-Wilson, A. M., & Mercado-Ruiz, J. N. (2018). Propiedades y posibles aplicaciones de las proteínas de salvado de trigo. *CienciaUAT*, 12(2), 137-147.

- Chávez-Crooker, P., & Obreque-contreras, J. (2010). Bioremediation of aquaculture wastes. *Current Opinion in Biotechnology*, 21, 313-317.
- Chen, S., Coffin, D.E. Malone, R.F. (1993). Production, characteristics and modeling of aquaculture sludge from a recirculating aquaculture system using a granular media biofilter. En. Wang, J.D.(Editor). *Techniques for modern aquaculture*. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, MI. 16-26.
- Chen S, Coffin DE, & Malone RF (1997) Sludge production and management for recirculating aquaculture system. *J World Aquaculture Society* 28:303–315.
- Chen, J. C., Liu, P. C., Lin, Y. T., & Lee, C. K. (1988). Super intensive culture of red-tailed shrimp *Penaeus penicillatus*. *Journal of the World aquaculture Society*, 19(3), 127-131.
- Cheng, Z. J., Hardy, R. W., & Usry, J. L. (2003). Plant protein ingredients with lysine supplementation reduce dietary protein level in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets, and reduce ammonia nitrogen and soluble phosphorus excretion. *Aquaculture*, 218(1-4), 553-565.
- Cheng, C. H., Yang, F. F., Ling, R. Z., Liao, S. A., Miao, Y. T., Ye, C. X., & Wang, A. L. (2015). Effects of ammonia exposure on apoptosis, oxidative stress and immune response in pufferfish (*Takifugu obscurus*). *Aquatic Toxicology*, 164, 61-71.
- Cho, C. Y., & Bureau, D. P. (1997). Reduction of waste output from salmonid aquaculture through feeds and feeding. *The Progressive Fish-Culturist*, 59(2), 155-160.
- Cho, C. Y., & Bureau, D. P. (2001). A review of diet formulation strategies and feeding systems to reduce excretory and feed wastes in aquaculture. *Aquaculture research*, 32, 349-360.
- Ćirić, M., Subakov-Simić, G., Dulić, Z., Bjelanović, K., Čičovački, S., & Marković, Z. (2013). Effect of supplemental feed type on water quality, plankton and benthos availability and carp (*Cyprinus carpio*L.) growth in semi-intensive monoculture ponds. *Aquaculture Research*, 46(4), 777–788.
- Colt, J., Lamoureux, J., Patterson, R., & Rogers, G. (2006). Reporting standards for biofilter performance studies. *Aquacultural Engineering*, 34(3), 377-388.

- Crab, R., Avnimelech, Y., Defoirdt, T., Bossier, P. and Verstraete, W. (2007). Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture* 270(1-4), 1-14.
- Cuevas-Reyes, V., Sánchez Toledano, B. I., Servín Juárez, R., Reyes Jiménez, J. E., Loaiza Meza, A., & Moreno Gallegos, T. (2020). Factores determinantes del uso de sorgo para alimentación de ganado bovino en el noroeste de México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 11(4), 1113-1125.
- Dalsgaard, J., Verlhac, V., Hjermitsev, N. H., Ekmann, K. S., Fischer, M., Klausen, M., & Pedersen, P. B. (2012). Effects of exogenous enzymes on apparent nutrient digestibility in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed diets with high inclusion of plant-based protein. *Animal feed science and technology*, 171(2-4), 181-191.
- Das, P. C., Ayyappan, S., & Jena, J. (2005). Comparative changes in water quality and role of pond soil after application of different levels of organic and inorganic inputs. *Aquaculture Research*, 36(8), 785-798.
- Davidson, J., Good, C., Barrows, F. T., Welsh, C., Kenney, P. B., & Summerfelt, S. T. (2013). Comparing the effects of feeding a grain-or a fish meal-based diet on water quality, waste production, and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* performance within low exchange water recirculating aquaculture systems. *Aquacultural engineering*, 52, 45-57.
- Davies, S. J., Guroy, D., Hassaan, M. S., El-Ajnaf, S. M., & El-Haroun, E. (2020). Evaluation of co-fermented apple-pomace, molasses and formic acid generated sardine based fish silages as fishmeal substitutes in diets for juvenile European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) production. *Aquaculture*, 521.
- Davis D.A.D, Jirsa and C.R. Arnold. (1995) Evaluation of soybean proteins as replacements for menhamed fish meal in practical diets for the Red Drum *Sciaenops ocellatus* *Journal of the World Aquaculture Society*, 26 (1) 49-59
- De Luna Jiménez, A. (2006). Valor nutritivo de la proteína de soya. *Investigación y Ciencia: de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, (36), 29-34.
- De Pesca, S. (2013). Acuicultura. *Ley n*, 18.
- De Silva S (2012) Carps. In: Lucas JS, Southgate PC (eds) *Aquaculture: farming aquatic animals and plants*. Blackwell Publishing, Oxford

- Diana, J. S., Szyper, J. P., Batterson, T. R., Boyd, C. E., & Piedrahita, R. H. (2017). Water quality in ponds. *Dynamics of pond aquaculture*, 53-71.
- D'Orbcastel E., Blancheton J., Boujard T. (2007). Comparison of two methods for evaluating waste of aflow through trout farm. *Aquaculture* 274 (2008). pp. 72–79.
- DOF, (2013). NMX-AA-004-SCFI-2013: ANÁLISIS DE AGUA – MEDICIÓN DE SÓLIDOS SEDIMENTABLES EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA. DOF, DCCXXII (N°9).
- Dossou, S., Koshio, S., Ishikawa, M., Yokoyama, S., Dawood, M. A. O., El Basuini, M. F., El-Hais, A. M., & Olivier, A. (2018). Effect of partial replacement of fish meal by fermented rapeseed meal on growth, immune response and oxidative condition of red sea bream juvenile, *Pagrus major*. *Aquaculture*, 490, 228–235.
- Duras, J., & Potuzák, J. (2012). First results obtained by monitoring of phosphorus mass balance of several fish ponds. *Vodni hospodárstvi*, 6, 210-216.
- Edwards, P. (2015). Aquaculture environment interactions: Past, present and likely future trends. *Aquaculture* 447, 2–14.
- Elizalde, A. D. D., PISMAG PORTILLA, Y. A. M. I. D., & CHAPARRO, D. C. (2009). Factores antinutricionales en semillas. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 7(1), 45-54.
- Ellis, T., North, B., Scott, A.P., Bromage, N.R., Porter, M., Gadd, D., (2002). The relationship between stocking density and welfare in farmed rainbow trout. *Journal of Fish Biology* 61, 493–531
- ElSaidy, D.M.S.D. & Gaber, M.M.A. (2002). Complete replacement of fish meal by soybean meal with dietary L-lysine supplementation for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) fingerings. *J. World Aquaculture Soc.*33:297.
- Elsaidy, N., Abouelenien, F., & Kirrella, G. A. K. (2015). Impact of using raw or fermented manure as fish feed on microbial quality of water and fish. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 41(1), 93–100.
- El-Sayed, A. F. M. (2019). *Tilapia culture*. Academic Press.
- FAO (1993). Manual de técnicas para laboratorio de nutrición de peces y crustáceos. Programa cooperativo gubernamental FAO – litalia. Proyecto aquila Ilii.

- FAO. (2019). FAO Aquaculture newsletter no.60.
- FAO. (2020). El estado mundial de la Pesca y la Acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción (FAO (ed.).
- FEDNA (2016). Arroz partido. En línea: <https://www.fundacionfedna.org/node/365>. Consultado en: octubre 2022
- Ferrari, A., Vinderola, G., & Weill, R. (2020). Alimentos fermentados: microbiología, nutrición, salud y cultura. fish culture—a review. *Aquaculture* 139: 181–201.
- Focardi S, Corsi I, Franchi E (2005) Safety issues and sustainable development of European aquaculture: new tools for environmentally sound aquaculture. *Aquaculture International* 13:3–1
- Fournier V, Gouillou-Coustans MF, Métailler R, Vachot C, Moriceau J, le Delliou H, Huelvan C, Desbruyeres E, Kaushik SJ (2003) Excess dietary arginine affects urea excretion but does not improve N utilization in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* and turbot *Psetta maxima*. *Aquaculture* 217:559–576.
- Fowler, L. G., (1981). Substitution of soybean and cottonseed products for fish meal in diets fed to chinook and coho salmon. *The Progressive Fish-Culturist*. 42, 87-90.
- Gallego-Alarcón, I. (2010). Evaluación y modelación de un tren de tratamiento de agua residual acuícola con recirculación y del cultivo de trucha arco iris alimentado por cosecha pluvial.
- Gallego-Alarcón, I., & García-Pulido, D. (2017). Remoción de nitrógeno amoniacal total en un biofiltro: percolador-columna de arena. *Tecnología y ciencias del agua*, 8(1), 81-93.
- García, P. D. (2008). *Evaluación de un sistema prototipo integral de cultivo de trucha con tratamiento y reciclado del efluente* (Doctoral dissertation, Tesis de Doctorado. Toluca, México: CIRA, Facultad de Ingeniería, UAEM).
- García, U. G., Goch, L. C., Flores, J. E., Amesquita, D. A., & Ronquillo, M. G. (2017). Digestión ruminal e intestinal del maíz (*Zea mays*) y sorgo (*Sorghum bicolor* L.

- Moench) utilizando diferentes técnicas de digestibilidad (in vivo, in vitro e in sacco). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20(2), 183-194.
- García-Ruiz R., Hall G. (1996). Phosphorus fractionation and mobility in the food and faeces of hatchery reared rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 145 (1996). pp. 183-193
- Gayo, J. (2013). Los subproductos del arroz en la alimentación del ganado. *Plan Agropecuario, Ucayali-Perú*.
- Gholamreza R. y C. R. Saad. (2005). Nutrient cycle and sludge production during different stages of red tilapia (*Oreochromis sp.*) growth in a recirculating aquaculture system. *Aquaculture*. 244: 109-118, p
- Gillibrand PW (2000) An overview of scientific research on environmental effects of the Scottish Aquaculture Industry.
- Gobler, C.J., Burson, A., Koch, F., Tang, Y. and Mulholland, M.R. (2012). The role of nitrogenous nutrients in the occurrence of harmful algal blooms caused by *Cochlodinium polykrikoides* in New York estuaries (USA). *Harmful Algae* 17, 64-74.
- Goda, A.M., Wafa, M.E., El-Haroun, E.R. & Kabir, M.A. (2007). Growth performance and feed utilization of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1758) and tilapia galilae (*Sarotherodon galilaeus*, Linnaeus, 1758) fingerling fed plant protein based diets. *Aquaculture Res.* 38:827.
- Gondwe, M. J., Guildford, S. J., & Hecky, R. E. (2011). Carbon, nitrogen and phosphorus loadings from tilapia fish cages in Lake Malawi and factors influencing their magnitude. *Journal of Great Lakes Research*, 37, 93-101.
- Guillaume, J., Kaushik, S., Bergot, P., & Metailler, R. (2001). *Nutrition and feeding of fish and crustaceans*. Springer Science & Business Media.
- Guo, K., Ruan, G., Fan, W., Fang, L., Wang, Q., Luo, M. and Yi, T. (2020). The effect of nitrite and sulfide on the antioxidant capacity and microbial composition of the intestines of red swamp crayfish, *Procambarus clarkii*. *Fish Shellfish Immunol* 96, 290-296.

- Hall POJ, Anderson LG, Holby O, Kollberg S, Samuelsson M-O (1990) Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. I. Carbon. *Mar Ecol Prog Ser* 61:61–73
- Hall POJ, Holby O, Kollberg S, Samuelsson MO (1992). Effect of Feed and Feeding in the Culture of Salmonids on the Marine Aquatic Environment: A Synthesis for European Aquaculture.
- Handy, R. D., & Poxton, M. G. (1993). Nitrogen pollution in mariculture: toxicity and excretion of nitrogenous compounds by marine fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 3(3), 205-241.
- Hargrave BT, Duplisea DE, Pdeiffer E, Wildish DJ (1993) Seasonal changes in benthic fluxes of dissolved oxygen and ammonium associated with marine cultured Atlantic salmon. *Mar Ecol Prog Ser* 96:249–157
- Hartman P (2012) Pond biocenosis nutrition using organic fertilizers. Edition of Methods No. 127, Vodnány, 35.
- Hernández Gurrola, J. A. (2016). Caracterización de la calidad de agua en un sistema intensivo de cultivo de camarón blanco *Litopenaeus vannamei*, en condiciones de alta salinidad con recambio de agua limitado.
- Hlaváč D, J, Hartman P, Bláha M, Pechar L, Anton-Pardo M, Adámek Z (2015) Effects on water quality and nutrient budget from supplementary feeding of common carp (*Cyprinus carpio* L.) with modified cereals. *J Appl Ichthyol* 31:30–37
- Hlaváč, D., Adámek, Z., Hartman, P., & Másílko, J. (2013). Effects of supplementary feeding in carp ponds on discharge water quality: a review. *Aquaculture International*, 22(1), 299–320.
- Hlaváč, D., Anton-Pardo, M., Másílko, J., Hartman, P., Regenda, J., Vejsada, P., ... & Adámek, Z. (2016). Supplementary feeding with thermally treated cereals in common carp (*Cyprinus carpio* L.) pond farming and its effects on water quality, nutrient budget and zooplankton and zoobenthos assemblages. *Aquaculture international*, 24(6), 1681-1697.
- Hlavác, D., Másílko Adámek, Z., Hartman, P., & Másílko, J. (2014). Effects of supplementary feeding in carp ponds on discharge water quality: a review. *Aquaculture international*, 22(1), 299-320.

- Hlaváč, D., Másilko, J., Hartman, P., Bláha, M., Pechar, L., Anton-Pardo, M., & Adámek, Z. (2015). Effects of common carp (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) supplementary feeding with modified cereals on pond water quality and nutrient budget. *Journal of Applied Ichthyology*, 31, 30–37
- Hoang, M.N., Nguyen, P.N. & Bossier, P. (2020). Water quality, animal performance, nutrient budgets and microbial community in the biofloc-based polyculture system of white shrimp, *Litopenaeus vannamei* and gray mullet, *Mugil cephalus*. *Aquaculture* 515.
- Hochachka, P.W. (1969) Intermediary metabolism in fishes. In: Hoar, W.S. and Randall, D.J. (eds) *Fish Physiology*, Vol. 1. Academic Press, New York, pp. 351–389
- Holby O & Hall POJ (1991) Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. II. Phosphorus. *Mar Ecol Prog Ser* 70:263–272
- Holmer M (1992) Impacts of aquaculture on surrounding sediments: generation of organic-rich sediments. In: De Pauw N, Joyce J (eds) *Aquaculture and the environment*. European Aquaculture Society, Special Publication, nr. 16, Belgium, pp 155–175
- Horner, G. H., Rosenthal, H., & Krüner, G. (1987). Fluctuation of water quality during the experimental rearing of juvenile *Sarotherodon galilaeus*. *J Aquac Trop*, 2, 273-276.
- Hossain, S., Koshio, S., Ishikawa, M., Yokoyama, S., Sony, N. M., Islam, J., Maekawa, M., & Fujieda, T. (2018). Substitution of dietary fishmeal by soybean meal with inosine administration influences growth, digestibility, immunity, stress resistance and gut morphology of juvenile amberjack *Seriola dumerili*. *Aquaculture*, 488, 174–188.
- Hoyos Martínez, D. E. (2011). Evaluación del impacto de la retención de sólidos suspendidos en los estanques de cultivo de trucha sobre la calidad fisicoquímica del agua para la producción de peces (Doctoral dissertation).
- Hua, K. & Bureau, D. P. (2006) Modelling digestible phosphorus content of salmonid fish feeds. *Aquaculture* 254(1-4), 455–465.
- Hua, K., Cobcroft, J.M., Cole, A., Condon, K., Jerry, D.R., Mangott, A., Praeger, C., Vucko, M.J., Zeng, C., Zenger, K., Strugnell, J.M., (2019). The future of aquatic protein: implications for protein sources in aquaculture diets. *One Earth* 1, 316–329.

- Huang, Y. J., Zhang, N. N., Fan, W. J., Cui, Y. Y., Limbu, S. M., Qiao, F., Zhao, Y. L., Chen, L. Q., Du, Z. Y., & Li, D. L. (2018). Soybean and cottonseed meals are good candidates for fishmeal replacement in the diet of juvenile *Macrobrachium nipponense*. *Aquaculture International*, 26(1), 309–324.
- ICES (1995) Report of the ICES workshop on principles and practical measures for the interaction of mariculture and fisheries in coastal area planning and management. ICES CM. 1995F: 56, pp 1–31 (Mariculture Committee)
- ICES (1999) Report of the working group on environmental interactions of mariculture. ICES CM/ F: 5, pp 1–120
- Ip Y, Chew S, Randall D (2001) Ammonia toxicity, tolerance, and excretion. *Fish Physiological* 20:109–148.
- Jannathulla, R., Dayal, J. S., Ambasankar, K., Khan, H. I., Madhubabu, E. P., & Muralidhar, M. (2017). Effect of protein solubility of soybean meal on growth, digestibility and nutrient utilization in *Penaeus vannamei*. *Aquaculture International*, 25(5), 1693–1706.
- Jaramillo, M. (2008). Sorgos granífero genotípicamente pardos: nuevos conceptos en toxicología y respuesta de las aves. In *X Congreso Nacional de Avicultura; Maracaibo–Venezuela. Maracaibo: Federación Nacional Venezolana de Industria Avícola* (p. 14).
- Jensen, F.B. 2003. Nitrite disrupts multiple physiological functions in aquatic animals. *Comp. Biochem. Physiol.* 135A: 9-24.
- Jiménez-Douglas, E. 2010. Modelación matemática del proceso de nitrificación en dos etapas. Desarrollo de metodologías de calibración del modelo para un reactor Sharon y un proceso de fangos activados. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 301 pp.
- Jobling, M. (2010). RR Stickney: *Aquaculture: An introductory text*.
- Johnsen, F.; Hillestad, M., & Austreng, E. (1993) High energy diets for Atlantic salmon. Effects on pollution. In: KAUSHIK, S.J., LUQUET, P. (Eds.), *Fish nutrition in practice. Les Colloques n.61, INRA ed., Versailles Cedex, France, 391-402*

- Kabir, K. A., Verdegem, M. C. J., Verreth, J. A. J., Phillips, M. J., & Schrama, J. W. (2020). Dietary non-starch polysaccharides influenced natural food web and fish production in semi-intensive pond culture of Nile tilapia. *Aquaculture*, 528(December 2019), 735506.
- Kanclerz J (2005) The impact of carp fish ponds on quality of outflow water from the catchment. In: Piecuch T (ed) 7th National polish scientific conference on complex and detailed problems of environmental engineering, Koszalin. Zeszyty naukowe wydziału budownictwa i inżynierii środowiska, vol 22, pp 823–832
- Karakassis I, Tsapakis M, Hatziyanni E (1998) Seasonal variability in sediment profiles beneath fish farm cages in the Mediterranean. *Mar Ecol Prog Ser* 162:243–252
- Kesamaru, K. Mac, M. and Fukuda H.(1972) Studies in the nutritive value of wheat-germ as an ingredient of the diet for culture fish. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 38(7): 677-683.
- Kim, J. K., K. J. Park, K. S. Cho, S. Nam, T. Park y R. Bajpai.(2005). Aerobic nitrification-denitrification by heterotrophic *Bacillus* strains. *Bioresour. Tech.*, 96: 1897-1906.
- Kolasa-Jaminska, B. (1994). Improvement of the biotechnique of carp fingerling culture. Characteristics of the pattern of hydrochemical conditions in the course of intensive carp fingerling culture. *Acta Hydrobiologica*, 2(36), 145-158.
- Kopp, R., Vitek, T., Štastný, J., Sukop, I., Brabec, T., Ziková, A. & Mareš, J. (2012). Water quality and biotic community of a highland stream under the influence of a eutrophic fishpond. *International review of hydrobiology*, 97(1), 26-40.
- Körner S., Das S., Veenstra D. & Vermaat J., (2001). The effect of pH variation at the ammonium/ammonia equilibrium in wastewater and its toxicity to Lemnagibba, *Aquat. Bot.* 71, pp. 71–78
- Kuhn, D. D., Drahos, D. D., Marsh, L., & Flick Jr, G. J. (2010). Evaluation of nitrifying bacteria product to improve nitrification efficacy in recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 43(2), 78-82.

- Kumar, M., N.S. Swarnakumar, K. Sivakumar, T. Thangaradjou & L. Kannan. (2008). Probiotics in aquaculture: importance and future perspectives. *Indian J. Microbiol.* 48: 299-308
- Laloo, R., S. Ramchuran, D. Ramduth, J. Gorgens y N. Gardiner. (2007). Isolation and selection of *Bacillus* spp. as potential biological agents for enhancement of water quality in culture of ornamental fish. *Jour. Appl. Microbiol.*, 103: 1471-1479.
- Lang, T., Peters, G., Hoffmann, R., Meyer, E., (1987). Experimental investigations on the toxicity of ammonia—effects on ventilation frequency, growth, epidermal mucous cells, and gill structure of rainbow-trout *Salmo gairdneri*. *Dis. Aquat. Org.* 3, 159–165
- Lecca, E. R., & Lizama, E. R. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Industrial data*, 17(1), 71-80.
- Lefrancois, P., Puigagut, J., Chazarenc, F., & Comeau, Y. (2010). Minimizing phosphorus discharge from aquaculture earth ponds by a novel sediment retention system. *Aquacultural engineering*, 43(3), 94-100.
- Leung, K. M. Y., Chu, J. C. W., & Wu, R. S. S. (1999). Effects of body weight, water temperature and ration size on ammonia excretion by the areolated grouper (*Epinephelus areolatus*) and mangrove snapper (*Lutjanus argentimaculatus*). *Aquaculture*, 170(3-4), 215-227.
- Li, Y. & Boyd, C.E. (2016). Laboratory tests of bacterial amendments for accelerating oxidation rates of ammonia, nitrite and organic matter in aquaculture pond water. *Aquaculture* 460, 45-58
- Liu, L., Sun, F., Zhao, H., Mi, H., He, S., Chen, Y., Liu, Y., Lan, H., Zhang, M. & Wang, Z. (2020). Compositional changes of sedimentary microbes in the Yangtze River Estuary and their roles in the biochemical cycle. *Sci Total Environ*, 143383.
- Llanes, J., & Toledo, J. (2011). Desempeño productivo de la tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) con la inclusión de altos niveles de harina de soya en la dieta. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 45(2), 183-186.
- Lohr, S. L. (2000). Diseño y analisis. International Thomson.

- López, J. A. S. A. (2008). Caracterización del flujo de masa de un sistema cerrado para el aprovechamiento de sus efluentes en hidroponía.
- López, R. M. (2002). *Efecto de la dieta y otros factores sobre la excreción de amonio y el aprovechamiento del nitrógeno por la Dorada S. aurata y su incidencia en los cultivos de esta especie*. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).
- López-Vela, M., Puente, M. E., Civera-Cerecedo, R., Arredondo-Vega, B. O., Andreatta, E. R., & Magallón-Barajas, F. J. (2014). Characterization of wastewater generated by *Litopenaeus vannamei* after being fed experimental diets based on animal protein, vegetable protein and a commercial diet. *Aquaculture Research*, 45(12), 1921–1931.
- Losordo, T. M., & Westers, H. (1994). System carrying capacity and flow estimation. *Developments in aquaculture and fisheries science*, 27, 9-60.
- Lovell, R.T. (1991). The use of soybean products in diets for aquaculture species: revised. Proceedings of the aquaculture feed processing and Nutrition Workshop. Thailand and Indonesia. September 19-25. Edited by Dean M. Akiyama and Ronnie K.H. Tan. American Soybean Association . 173-787
- Lovell, R.T. y R. Oneal Smitherman. (1993). Status and Potential for the Use of Soy in Aquaculture.1,4.
- Lucas J. & Southgate., P. (2006). *Aquaculture: Farming Aquatic Animals and Plants*. Blackwell. England. 512 pp
- Lymbery, P. (1992). The welfare of farmed fish, Comparison in world farming.
- Lyssenko, C. & Wheaton, F., (2006). Impact of positive ramp short-term operating disturbances on ammonia removal by trickling and submerged-upflow biofilters for intensive recirculating aquaculture. *Aquacult. Eng.* 35, 26–37

- Maas, R., Verdegem, M., Stevens, T., & Schrama, J. (2020). Effect of exogenous enzymes (phytase and xylanase) supplementation on nutrient digestibility and growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed different quality diets. *Aquaculture*, 529(July), 735723.
- Madigan M. 2003. Brock Biología de los Microorganismos 10a Edición. Madrid. ISBN: 9788420536798. pp 35-70.
- Malone, R. F. & Beecher, L. E. (2000). Use of floating bead filters to recondition recirculating waters in warmwater aquaculture production systems. *Aquacultural Engineering*, 22(1-2), 57-73.
- Mamauag, R. E. P., Ragaza, J. A., & Nacionales, T. (2019). Fish performance, nutrient digestibilities, and hepatic and intestinal morphologies in grouper *Epinephelus fuscoguttatus* fed fermented copra meal. *Aquaculture Reports*, 14(June), 100202.
- Martínez Suarez, J. L., Pérez Delgado, A., Sánchez Armas, S. E., & Diaz Orejan, E. T. (2015). Propuesta de un medidor de oxígeno disuelto en cultivos de Tilapia. Puebla-México: Universidad Tecnológica de Tehuacán.
- Maruyama, N., Sato, R., Wada, Y., Matsumura, Y., Goto, H., Okuda, E., & Utsumi, S. (1999). Structure–physicochemical function relationships of soybean β -conglycinin constituent subunits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47, 5278–5284.
- Másílko, J., Hartvich, P., Rost, M., Urbánek, M., Hlaváč, D., & Dvořák, P. (2014). Potential for improvement of common carp production efficiency by mechanical processing of cereal diet. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 14(1), 143-153.
- Masseret, E., Amblard, C., & Bourdier, G. (1998). Changes in the structure and metabolic activities of periphytic communities in a stream receiving treated sewage from a waste stabilization pond. *Water Research*, 32(8), 2299-2314.
- McDonald, D. G. (1983). The interaction of environmental calcium and low pH on the physiology of the rainbow trout, *Salmo gairdneri*: I. Branchial and renal net ion and H⁺ fluxes. *Journal of Experimental Biology*, 102(1), 123-140.
- McKenzie, D.J., Randall, D.J., Lin, H., & Aota, S., (1993). Effects of changes in plasma pH, CO₂ and ammonia on ventilation in trout. *Fish Physiol. Biochem.* 10, 507–515.

- McLean, E., Barrows, F. T., Craig, S. R., Alfrey, K., & Tran, L. (2020). Complete replacement of fishmeal by soybean and poultry meals in Pacific whiteleg shrimp feeds: Growth and tolerance to EMS/AHPND and WSSV challenge. *Aquaculture*, 527(March).
- Meade, J.W., (1985). Allowable ammonia for fish culture. *Prog. Fish Cult.* 3, 135–145.
- Melgar Valdes, C. E., Barba Macías, E., Álvarez-González, C. A., Tovilla Hernández, C., & Sánchez, A. J. (2013). Efecto de microorganismos con potencial probiótico en la calidad del agua y el crecimiento de camarón *Litopenaeus vannamei* (Decapoda: Penaeidae) en cultivo intensivo. *Revista de Biología Tropical*, 61(3), 1215-1228.
- Menasveta, P., Panritdam, T., Sihanonth, P., Powtongsook, S., Chuntape, B., & Lee, P. (2001). Design and function of a closed, recirculating seawater system with denitrification for the culture of black tiger shrimp broodstock. *Aquacultural Engineering*, 25(1), 35-49.
- Metcalf & Eddy (2003). *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*, 4th edition, McGraw-Hill, New York
- Milstein, A. (1993). Water quality and freshwater fish culture intensification: the Israeli example. *Aquaculture Research*, 24(6), 715-724.
- Mo, W. Y., Man, Y. B., & Wong, M. H. (2020). Soybean dreg pre-digested by enzymes can effectively replace part of the fishmeal included in feed pellets for rearing gold-lined seabream. *Science of the Total Environment*, 704, 135266.
- Mo, W. Y., Man, Y. B., Zhang, F., & Wong, M. H. (2019). Fermented food waste for culturing jade perch and Nile tilapia: Growth performance and health risk assessment based on metal/loids. *Journal of Environmental Management*, 236(January 2019), 236–244.
- Mokrani, A., Ren, M., Liang, H., Yang, Q., Ji, K., Kasiya, H. C., & Ge, X. (2020). Effect of the total replacement of fishmeal with plant proteins and supplemental essential amino acids in the extruded diet on antioxidants genes, enzyme activities, and immune response in juvenile blunt snout bream. *Aquaculture International*, 28(2), 555–568.
- Moreno Arias, A. (2013). *Composición proximal de los bioflóculos desarrollados en un cultivo de tilapia (Oreochromis niloticus x O. mossambicus) alimentado con diferente*

nivel de sustitución de harina de pescado por harina vegetal en su dieta (Master's thesis, MORENO ARIAS, ANGELICA).

- Mujeeb Rahiman, K. M., Jesmi, Y., Thomas, A. P., & Mohamed Hatha, A. A. (2010). Probiotic effect of Bacillus NL110 and Vibrio NE17 on the survival, growth performance and immune response of *Macrobrachium rosenbergii* (de Man). *Aquaculture Research*, 41(9).
- National Research Council (U.S.) (2011) *Nutrient Requirements of Fish and Shrimp*. National Academies Press, Washington D.C
- Nava Berumen, C. A., Rosales Serna, R., Jiménez Ocampo, R., Carrete Carreón, F. Ó., Domínguez Martínez, P. A., & Murillo Ortiz, M. (2017). Rendimiento y valor nutricional de tres variedades de sorgo dulce cultivadas en cuatro ambientes de Durango. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 8(2), 147-155.
- Ngugi, C. C., Oyoo-Okoth, E., Manyala, J. O., Fitzsimmons, K., & Kimotho, A. (2017). Characterization of the nutritional quality of amaranth leaf protein concentrates and suitability of fish meal replacement in Nile tilapia feeds. *Aquaculture Reports*, 5, 62–69.
- Nora'aini, A., Wahab M., Jusoh, A., Hasan, M.R., Ghazali, N., Kamaruzaman, K., (2005). Treatment of aquaculture wastewater using ultra-low pressure asymmetric polyethersulfone (PES) membrane. *Desalination*. 185 (1-3); 317–326
- Olude, O., George, F., & Alegbeleye, W. (2016). Utilization of autoclaved and fermented sesame (*Sesamum indicum* L.) seed meal in diets for Til-aqua natural male tilapia. *Animal Nutrition*, 2(4), 339–344.
- Oliva-Teles A., A.J.Gouveia, E. Gomes & P. Rema. (1994). The effect of different processing treatments on soybean meal utilization by rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, 124:343:349.6 H. Fernandez-Palacio (1995). Soybean and lupin seed meals as protein sources in diets for gilthead seabream (*Spaurus aurata*): nutritional and histological implications. *Aquaculture*, 130:219-233.
- Pascual, M. M., Hualde, J. P., Bianchi, V. A., Moreno, P., Castro, J. M., & Luquet, C. M. (2018). Wheat grains fermented by fungal mycelia (*Pleurotus ostreatus* or *Lentinus*

- edodes*) as alternative feed ingredients for juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture International*, 26(6), 1339–1352.
- Phillips, M. J., Clarke, R., & Mowat, A. (1993). Phosphorus leaching from Atlantic salmon diets. *Aquacultural engineering*, 12(1), 47-54.
- Pillay, T. V. R., & Kutty, M. N. (2005). *Aquaculture: principles and practices* (No. Ed. 2). Blackwell publishing.
- Pincirolì, M. (2011). *Proteínas de arroz: propiedades estructurales y funcionales* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).
- Ponce, J. T., Arredondo, J. L., & De La Lanza, G. (1994). Effects of polyculture and fertilization on water quality in carp ponds. 1. Physico-chemical factors. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 25(3), 1315-1317.
- Poot-López GR., Gasca-Leyva E., Olvera-Novoa MA. (2012). Producción de tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus* L.) utilizando hojas de chaya (*Cnidioscolus chayamansa* McVaugh) como sustituto parcial del alimento balanceado. *Latin American Journal of Aquatic Research* 40(4): 835- 846 p.
- Posada Uribe, L. F., & S. (2007). *Biodegradación de la materia orgánica presente en las aguas residuales de una empresa de pinturas* (Bachelor's thesis, Ingeniería de Procesos).
- Posada Uribe, L. F., & Mosquera López, S. (2007). *Biodegradación de la materia orgánica presente en las aguas residuales de una empresa de pinturas* (Bachelor's thesis, Ingeniería de Procesos).
- Poxton, M. G., & Allouse, S. B. (1987). Cyclical fluctuations in ammonia and nitrite-nitrogen resulting from the feeding of turbot, *Scophthalmus maximus* (L.), in recirculating systems. *Aquacultural Engineering*, 6(4), 301-322.
- Poxton, M. G., & Lloyd, N. J. (1989). Fluctuations in ammonia production by eels (*Anguilla anguilla* L.) as a result of feeding strategy.
- Rabasso Krohnert, M. S. (2006). Los impactos ambientales de la acuicultura, causas y efectos. *Vector Plus*.

- Rahman MM, Jo Q, Gong YG, Miller SA, & Hossain MY (2008) A comparative study of common carp (*Cyprinus carpio* L.) and calbasu (*Labeo calbasu* Hamilton) on bottom soil resuspension, water quality, nutrient accumulations, food intake and growth of fish in simulated rohu (*Labeo rohita* Hamilton) ponds. *Aquaculture* 285:78–83
- Ramalho, R. (2003). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Barcelona: España, Editorial Reverté, S.A.
- Ramírez-Rochín, J., Frías-Espericueta, M. G., Fierro-Sañudo, J. F., Alarcón-Silvas, S. G., Fregoso-López, M. G., & Páez-Osuna, F. (2016). Acute toxicity of nitrite on white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) juveniles in low-salinity water. *Aquaculture Research*, 48(5), 2337–234.
- Rapatsa, M. M., & Moyo, N. A. G. (2017). Evaluation of *Imbrasia belina* meal as a fishmeal substitute in *Oreochromis mossambicus* diets: Growth performance, histological analysis and enzyme activity. *Aquaculture Reports*, 5, 18–26.
- Ray, J. A., B. L. Lewis, C. L. Browdy, 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. *Aquaculture*. 299:89-98
- Roy, H. E., Preston, C. D., Harrower, C. A., Rorke, S. L., Noble, D., Sewell, J., Walker, K., Marchant, J., Seeley, B., Bishop, J., Jukes, A., Musgrove, A., Pearman, D. y Booy, O. (2014). Non-native Species Information Portal: documenting the arrival of non-native species in Britain, *Biological Invasions*.
- Remen M, Imsland AK, Stefansson SO, Jonassen TM, Foss A. (2008). Interactive effects of ammonia and oxygen on growth and physiological status of juvenile atlantic cod (*Gadus morhua*). *Aquaculture*;274:292-300
- Repetto, J. L., Curbelo, A., Aguerre, M., & Cajarville, C. (2013). Aumento de la participación del grano de sorgo en las dietas de rumiantes: ¿ oportunidad o condicionamiento para el logro de niveles altos de producción?. *XLI Jornadas Uruguayas de Buiatría*.
- Rijn, J. (2006). The potential for integrated biological treatment systems in recirculating.

- Reynolds WW, Casterlin ME (1980). The role of behavior in biomonitoring of fishes: laboratory studies. In: Hocutt CH, Stauffer JR, editors. Biological monitoring of fish. Lexington (Ma): Lexington Books,
- Robaina L., M.S. Izquierdo, F. J, Moyano, J. Socorro, J.M. Vergara, D. Montero H. Fernandez-Palacio (1995). Soybean and lupin seed meals as protein sources in diets for gilthead seabream (Spaurus aurata): nutritional and histological implications. *Aquaculture*, 130:219-233.
- Robinson EH, Manning BB, & Li MH (2004) Feeds and feeding practices. In: Tucker CS, Hargreaves JA (eds) Biology and culture of channel catfish. Elsevier, Developments in Aquaculture and Fisheries Science, Amsterdam
- Robles-Porchas, G. R., Gollas-Galván, T., Martínez-Porchas, M., Martínez-Cordova, L. R., Miranda-Baeza, A., & Vargas-Albores, F. (2020). The nitrification process for nitrogen removal in biofloc system aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 12(4), 2228-2249.
- Rodríguez Gómez, H., & Anzola Escobar, E. (2001). *La calidad del agua y la productividad de un estanque en acuicultura* (No. Doc. 20684)* CO-BAC, Bogotá).
- Rottmann, R.W., Francis-Floyd, R., Durborow, R., (1992). The Role of Stress in Fish Diseases. Publication 474. Southern Regional Aquaculture Center, Stoneville, Mississippi
- Russo, R. & Thurston, R., (1991). Toxicity of ammonia, nitrite, and nitrate to fishes. In: Brune, D.E., Tomasso, J.R. (Eds.), *Aquaculture and Water Quality*. World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, pp. 58–89
- Saavedra-Martínez, M. (2006). Manejo de Cultivo de Tilapia. Managua, Nicaragua.
- Salazar N.J., González G., Rouzaud O. & Robles M. (2018). Tecnologías aplicadas al sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]: cambios en los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante. *Food Science and Technology*. 38(3): 1-14.
- Sallam, E. A., Matter, A. F., Mohammed, L. S., Azam, A. E., Shehab, A., & Mohamed Soliman, M. (2021). Replacing fish meal with rapeseed meal: potential impact on the growth performance, profitability measures, serum biomarkers, antioxidant status, intestinal morphometric analysis, and water quality of *Oreochromis niloticus* and *Sarotherodon galilaeus* fingerlings. *Veterinary Research Communications*, 1-19.

- Salze G, McLean E, Battle PR, Schwarz MH, Craig SR. (2010). Use of soy protein concentrate and novel ingredients in the total elimination of fish meal and fish oil in diets for juvenile cobia, *Rachycentron canadum*. *Aquaculture*, 298(3):294-299.
- Samaddar, A., & Kaviraj, A. (2015). Replacement of fFishmeal by fFermented aAnimal pProtein bBlend in the fFeed of *Mystus vittatus*: Analysis of Optimality By Programming and Modeling. *Proceedings of the Zoological Society*.
- Samaddar, A., Mondal, K., & Kaviraj, A. (2011). Evaluation of Fermented Mixture Containing Fish oOffal mMeal in Compound Diets for the Freshwater Catfish *Mystus vittatus* (Bloch). *Proceedings of the Zoological Society*, 64(2), 117–123
- Sandu, I. S., Boardman, D. G., Watten, J. B., & Brazil, L. B. (2002). Factors influencing the nitrification efficiency of fluidized bed filter with plastic bead medium. *Aquacultural Engineering*, 26, 41-59.
- Şanlıer, N., Gökçen, B. B., & Sezgin, A. C. (2019). Health benefits of fermented foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(3), 506–527.
- Seoanez C. (2000). *El gran diccionario del medio ambiente y de la contaminación*. Madrid. Ediciones Mundi Prensa
- Schroeder, G. L. (1974). Use of fluid cowshed manure in fish ponds. *Bamidgeh*, 26(3).
- Sin, Y., & Lee, H. (2020). Changes in hydrology, water quality, and algal blooms in a freshwater system impounded with engineered structures in a temperate monsoon river estuary. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 32, 100744.
- Sindilariu, P. D., Reiter, R., & Wedekind, H. (2009). Impact of trout aquaculture on water quality and farm effluent treatment options. *Aquatic Living Resources*, 22(1), 93-103.
- Soltan, M. A., Hanafy, M. A., & Wafa, M. I. A. (2008). Effect of replacing fish meal by a mixture of different plant protein sources in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) diets. *Global Veterinaria*, 2(4), 157-164.
- Soria Leal, L. Y. (2015). Remoción de nitrógeno amoniacal y composición de la biopelícula, de un reactor de lecho móvil, en un sistema acuícola con recirculación.

- Stewart N., Boardman G. & Helfrich L. 2006. Characterization of nutrient leaching rates from settled rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) sludge. *Aquacultural Engineering* 191–198 pp..
- Stickney, R. R. (2016). *Aquaculture: An introductory text*. Cabi
- Sugiura, S. H., Marchant, D. D., Kelsey, K., Wiggins, T., & Ferraris, R. P. (2006). Effluent profile of commercially used low-phosphorus fish feeds. *Environmental pollution*, 140(1), 95-101.
- Summerfelt, R. C. (2000). Water quality considerations for aquaculture. *Department of Animal Ecology*, 2-7.
- Svoboda, M., & Koubek, P. (1990). Stabilization system for waste water treatment and use. Part 2. Biology. *Acta hydrochimica et hydrobiologica*, 18(1), 71-80.
- systems. *Aquacultural Engineering* 43 (2010) 78–82.
- Szumiec, J. (2002). Ecological aspects of pond fish culture intensification. 1. The effects of rearing biotechnology and intensification level. *Archiwum Rybactwa Polskiego*.
- Tabbú, M., R. Gacutan y R. Dal. 2000. Los efectos de un probiótico sobre químicos seleccionados y parámetros de crecimiento en aguas de estanque de *Penaeus monodon*. *Boletín nicovita* 5(11): 3
- Tacon, A.G.J., Hasan, M.R., Subasinghe, R.P., (2006). Use of fishery resources as feed inputs to aquaculture development: trends and policy implications. *FAO Fisheries Circular No. 1018*. FAO, Rome. 99 pp
- Tacón, A.G.J., Haaster, J.V., Featherstone, P.B., Kerr, K, and Jackson, A.J. (1993). Studies on the utilization of full-fat soybean and solvent extracted soybean meal in a complete diet for rainbow trout. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 49(9):1437-1443.
- Teichert-Coddington, D. & Green, B. (1993). Influence of daylight and incubation interval on water column respiration in tropical fish ponds. *Hydrobiology*. 250 p.
- Teichert-Coddington, D.; Popma, T.; Lovshin, L. (1997). Attributes of tropical pond-cultured fish. P. 183-198. en: Eгна H. y Boyd C.E. (editors). *Dynamics of Pond Aquaculture*. CRC Press. New York, USA. 437 p.

- Thomas, S. L., & Piedrahita, R. H. (1998). Apparent ammonia-nitrogen production rates of white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) in commercial aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 17(1), 45-55.
- Tidwell, J. H. (2012). *Aquaculture production systems* (Vol. 434). Oxford, UK:: Wiley-Blackwell.
- Timmons, M. B., Ebeling, M. J., & Piedrahita, H. R. (2009). Acuicultura en sistemas de
- Torrans, E. L. (2008). Production responses of channel catfish to minimum daily dissolved oxygen concentrations in earthen ponds. *North American Journal of Aquaculture*, 70(4), 371-381.
- Torres, W. V. (2007) Las dietas como factor de impacto sobre la calidad del agua en sistemas de cultivo intensivo de peces.
- Toscano, A. C. (2013). Tipología y capacidad productiva en las empresas andaluzas del sector acuícola. *Cuadernos de estudios agroalimentarios*, (5), 35-50.
- Tubin, J. S. B., Paiano, D., de Oliveira Hashimoto, G. S., Furtado, W. E., Martins, M. L., Durigon, E., & Emerenciano, M. G. C. (2020). *Tenebrio molitor* meal in diets for Nile tilapia juveniles reared in biofloc system. *Aquaculture*, 519, 734763.
- Tucker, C.S., & ., Hargreaves, J.A., (2008). Environmental Best Management Practices for Aquaculture. Wiley-Blackwell, Oxford
- Thurston, R.V., C. Chakoumakos, and R.C. Russo. 1981a. Effect of fluctuating exposures on the acute toxicity of ammonia to rainbow trout (*Salmo gairdneri*) and cutthroat trout (*2. clarki*). *Water Res.* 15(7):911.917.
- USGC. (2017). Sorgo: Un nuevo ingrediente para las dietas de los peces. En línea: <https://es.allaboutfeed.net/sorgo-un-nuevo-ingrediente-para-las-dietas-de-los-peces/>. Consultado en: Septiembre 2022.
- Valbuena Villarreal, R. D., Rosado Puccini, R., & David Ruales, C. A. (2013). Relación entre factores dimensionales y de composición en la determinación de la calidad del huevo en tilapia roja (*Oreochromis spp*). *Revista lasallista de investigación*, 10(1), 27-37.

- Vásquez-Torres, W. (2007). Las dietas como factor de impacto sobre la calidad del agua en sistemas de cultivo intensivo de peces. *Revista Electronica de Ingenieria en Producción Acuícola*, 2, 1.
- Vázquez-Soto, D., Silva-Kurumiya, H., Angulo-Corrales, U., & Montañez-Armenta, M. D. L. P. (2011). Diseño y evaluación de un prototipo de sistema piscícola en San Clemente de Térapa, Moctezuma, Sonora. *Ra Ximhai*, 7(2), 173-185.
- Viana Filho, G. B., da SILVA, L. I. P., CHERER FILHO, C., Dairiki, J. K., & BOIJINK, C. D. L. (2022). Sorgo de alto tanino na nutrição e sanidade de tambaquis parasitados por acantocéfalos e monogeneas.
- Vita, R., Marín, A., Madrid, J. A., Jiménez-Brinquis, B., César, A., & Marín-Guirao, L. (2011). Impacto ambiental de la acuicultura en el bentos marino: experimentos de exclusión-inclusión. *Boletín. Instituto Español de Oceanografía*, 18(1-4), 75-86.
- Vseticková, L., Adamek, Z., Rozkosný, M., & Sedlacek, P. (2012). Effects of semi-intensive carp pond farming on discharged water quality. *Acta ichthyologica et piscatoria*, 42(3), 223.
- Wang, C., Jiang, C., Gao, T., Peng, X., Ma, S., Sun, Q., & Zhuang, X. (2020). Improvement of fish production and water quality in a recirculating aquaculture pond enhanced with bacteria-microalgae association. *Aquaculture*, 547, 737420.
- Webster, C. D., & Lim, C. (Eds.). (2006). *Tilapia: biology, culture, and nutrition*. CRC Press.
- Weththasinghe, P., Hansen, J. Ø., Nøkland, D., Lagos, L., Rawski, M., & Øverland, M. (2020). Full-fat black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) meal and paste in extruded diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*): Effect on physical pellet quality , nutrient digestibility , nutrient utilization and growth performances. *Aquaculture*, 530(June 2020), 735785.
- Wetzel, R.G. y Likens, G.E, 1991. *Limnological analysis*. Second Edition. Springer-Verlang. New-York.
- Wilkie, M.P. & Wood, C.M., (1994). The effects of extremely alkaline water (pH 9.5) on rainbow trout gill function and morphology. *Journal of Fish Biology* 45, 87–98.

- Wilson, R.P. and Poe, W.E. (1985). Effects of feeding soybeanmeal with varying trypsin inhibitor activities on growth of fingerling channel catfish. *Aquaculture*, 46:19-25.
- Wu, H., Hao, B., Cai, Y., Liu, G. & Xing, W. (2020). Effects of submerged vegetation on sediment nitrogen-cycling bacterial communities in Honghu Lake (China). *Sci Total Environ* 755(Pt 1), Journal Pre-proof Journal Pre-proof 142541.
- Xu, C., Liu, W., Zhang, D., Liu, J., Zheng, X., Zhang, C., Yao, J., Zhu, C., & Chi, C. (2020). Effects of partial fish meal replacement with two fermented soybean meals on the growth of and protein metabolism in the Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*). *Aquaculture Reports*, 17(April), 100328.
- Yamamoto, T., Matsunari, H., Sugita, T., Furuita, H., Masumoto, T., Iwashita, Y., Amano, S., & Suzuki, N. (2012). Optimization of the supplemental essential amino acids to a fish meal-free diet based on fermented soybean meal for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Fisheries Science*, 78(2), 359–366.
- Yang, L., Ren, Y.X., Liang, X., Zhao, S.Q., Wang, J.P. & Xia, Z.H. (2015). Nitrogen removal characteristics of a heterotrophic nitrifier *Acinetobacter junii* YB and its potential application for the treatment of high-strength nitrogenous wastewater. *Bioresour Technol* 193, 227-233.
- Yang, Y.-H., Wang, Y.-Y., Lu, Y., & Li, Q.-Z. (2010). Effect of replacing fish meal with soybean meal on growth, feed utilization and nitrogen and phosphorus excretion on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture International*, 19(3), 405–419.
- Yu, J., Yu, J., Chen, X., Zhou, X., Cai, Y., Cai, H., & Yan, P. (2019). Effects of fermented protein feed on the growth performance of pond-raised crab. *Aquaculture and Fisheries*, 4(4), 149–155.
- Zweig R. D., J. D. Morton y M. M. Stewart. 1999. Source Water Quality for Aquaculture, a Guide for Assessment. Environmental and Social Sustainable Development, Rural Development. Work in Progress for Public Discussion. 74 p.
- Zhang, Y., Liang, X.-F., He, S. & Li, L. (2021). Effects of long-term low-concentration nitrite exposure and detoxification on growth performance, antioxidant capacities, and immune responses in Chinese perch (*Siniperca chuatsi*). *Aquaculture* 533.

Zhu, S., & Chen, S. (2001). Effects of organic carbon on nitrification rate in fixed film biofilters. *Aquacultural Engineering*, 25(1-11).

Zou, Y., Ai, Q., Mai, K., Zhang, W., Zhang, Y., & Xu, W. (2012). Effects of brown fish meal replacement with fermented soybean meal on growth performance, feed efficiency and enzyme activities of Chinese soft-shelled turtle, *Pelodiscus sinensis*. *Journal of Ocean University of China*, 11(2), 227–235.

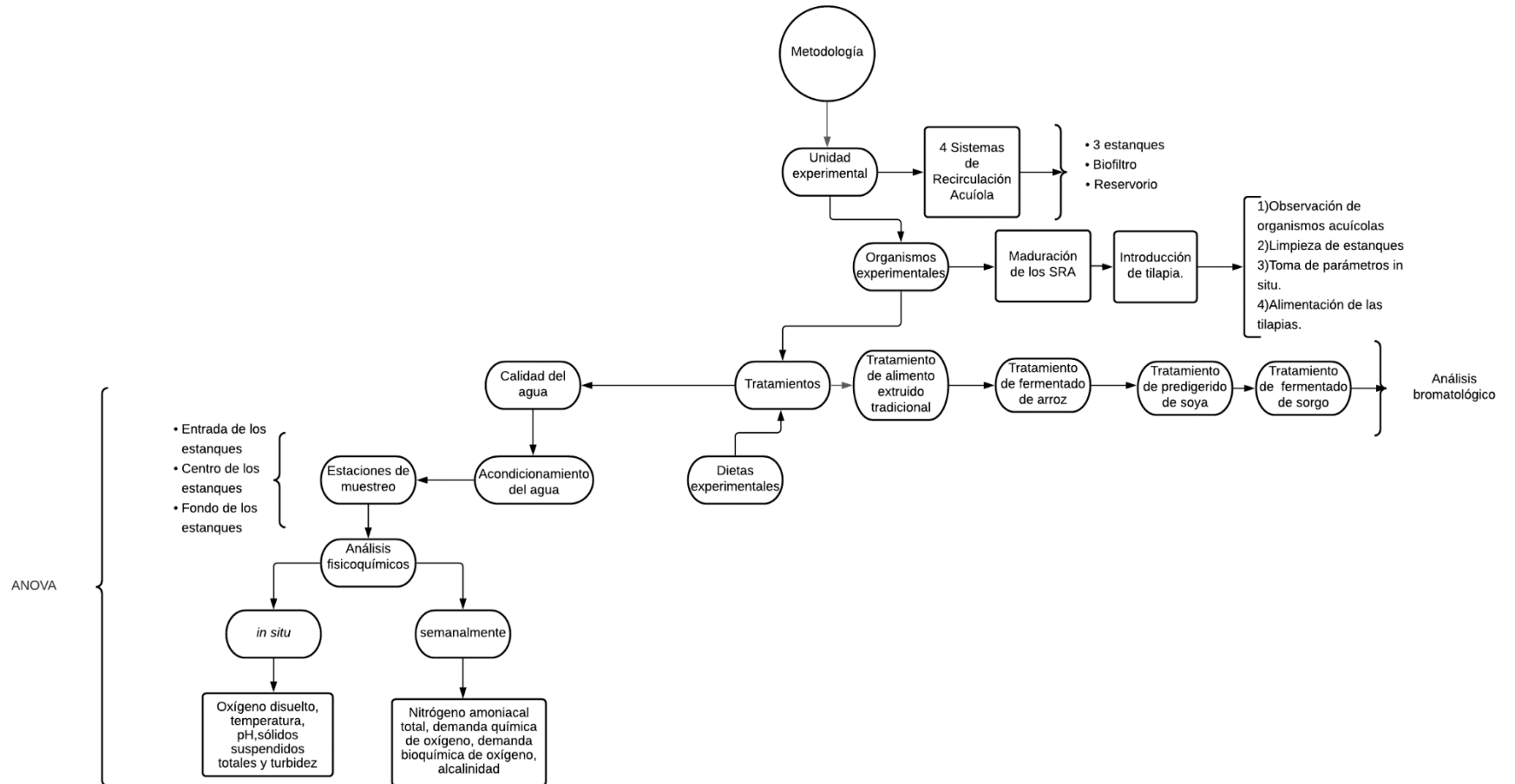
Anexos

Anexo 1 Listado de abreviaturas

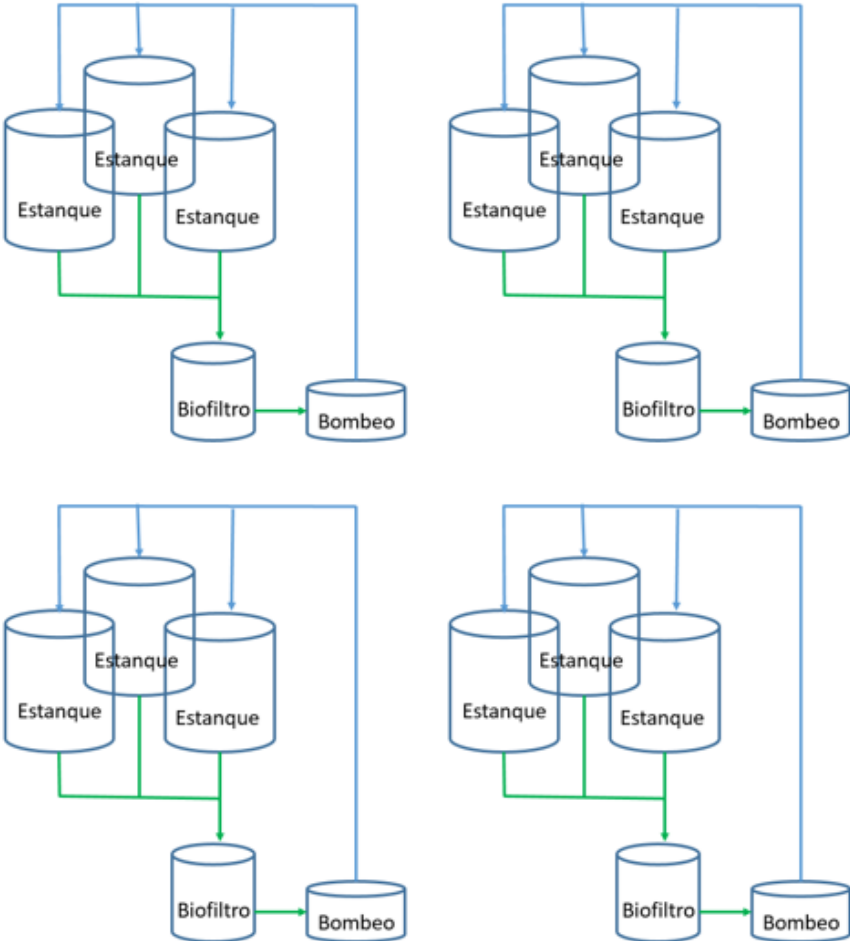
| Abreviatura | Significado |
|------------------|--|
| AA | Aminoácidos |
| CUT | Crecimiento por unidad térmica |
| DBO ₅ | Demanda bioquímica de oxígeno |
| DQO | Demanda química de oxígeno |
| EP | Estiércol de pollo crudo |
| FA | Ácidos grasos |
| FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. |
| FBW | Peso corporal final |
| FCA | Factor de conversión alimenticia |
| FCR | Índice de conversión alimenticia |
| FEP | fermentado de estiércol de pollo |
| HP | Harina de pescado |
| HS | Harina de soya |
| HSF | Harina de soya fermentada |
| HSFL | Harina de soya fermentada con levadura |
| HTM | harina de <i>Tenebrio molitor</i> |
| IITCA | Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua |
| mg/L | Milgramo por litro |
| N | Nitrógeno |

| | |
|----------------------|--|
| NAT | Nitrógeno amoniacal total |
| OD | Oxígeno disuelto |
| P | Fósforo |
| PER | Índice de eficiencia proteica |
| pH | Potencial de hidrogeno |
| PPV | Valor productivo de proteínas |
| RC | Ración comercial de pescado |
| SGR | Tasa de crecimiento específico |
| SRA | Sistemas de recirculación acuícola |
| T | Tratamientos |
| TBC | Recuento bacteriano total |
| TCC | recuento total de coliformes |
| T _{ex} | Tratamiento de alimento extruido tradicional |
| T _{fesoya} | Tratamiento de alimento fermentado |
| T _{fesorgo} | Tratamiento de harina de insecto |
| T _{pr} | Tratamiento de alimento predigerido |

Anexo 2 Diagrama de flujo del plan general del trabajo



Anexo 3 Esquema de los cuatro sistemas de recirculación acuícola (SRA).



Anexo 4. Protocolos de alimentación

Nutrición con alimento balanceado complementada con fermentado de soya en la producción de tilapia

Aylin Trujillo Rogel, Iván Gallego Alarcón, Daury García Pulido, Boris Miguel López Rebolgar, Carlos Roberto Fonseca Ortiz, David García Mondragón, Iván Cervantes Zepeda.

Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua, Universidad Autónoma del Estado de México.

Según las estadísticas mundiales sobre acuicultura más recientes recopiladas por la FAO, la producción acuícola mundial alcanzó un récord histórico de 114.5 millones de toneladas de peso vivo en 2018, con un valor total de venta en la explotación de 263,600 millones de USD (FAO, 2020).

Con este gran desarrollo, también se ha generado un fuerte consumo de recursos naturales. En el 2015, la producción de alimentos balanceados fue de 60 millones de toneladas con un crecimiento constante (Olude *et al.*, 2016; Kabir *et al.*, 2020). Desde entonces ha aumentado su producción. Estos alimentos tienen su fuente de proteínas y grasas en las harinas y aceites de pescado, cuyo origen son peces capturados en los océanos (Maas *et al.*, 2020; Ngugi *et al.*, 2017), lo que ha llevado a la sobreexplotación de las poblaciones de peces utilizados para preparar alimentos balanceados industrializados (Samaddar *et al.*, 2011; Kabir *et al.*, 2020; Xu *et al.*, 2020).

Esta situación ha llevado a los acuicultores a buscar nuevas formas de nutrición que disminuyan el uso de la harina de pescado. La soya ha sobresalido como un alimento que puede sustituir la harina de pescado hasta en un 50%. La harina de soya a menudo se usa como un sustituto debido a su contenido de proteína relativamente alta, precio razonable y suministro estable.

Sin embargo, la presencia de factores antinutricionales en la soya restringe el uso eficiente de las proteínas vegetales al interferir con su disponibilidad nutricional.

Hacer uso de la fermentación por microorganismos es una estrategia para eliminar los antinutrientes, proporcionar metabolitos microbianos beneficiosos y mejorar la calidad nutricional y la biodisponibilidad de fuentes de las proteínas vegetales.

Este protocolo tiene como función presentar al acuicultor una opción para producir y administrar alimento para tilapia derivado de la fermentación de soya combinado con alimento balanceado que este proporcionando a su producción acuícola.

Este protocolo se basa en la producción de seis kilos: tres kilogramos de fermento de soya que se mezclaran con tres kilogramos de alimento balanceado.

Ingredientes

- 3 kg de sémola de soya
- 3 kg de alimento balanceado
- 6 litros de agua
- 1g de probiótico, que al menos contengan las bacterias:

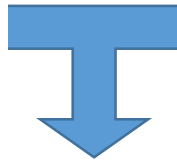
Lactobacillus rhamnosus,
Lactobacillus casei,
Lactobacillus plantarum,
Lactobacillus gasseri,
Lactobacillus acidophilus,
Lactobacillus reuteri
Bifidobacterium longum,
Bifidobacterium lactis,
Bacillus coagulans
Streptococcus thermophilus,

Materiales

- Recipiente plástico oscuro con tapa, con capacidad de 20 L
- Cuchara de madera para mezclar
- Termómetro

Preparación

Paso 1. Mezclar los seis litros de agua del estanque, los tres kilos de sémola de soya en el recipiente hasta obtener una mezcla homogénea.

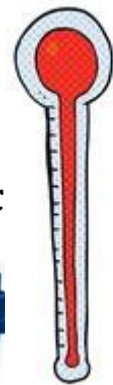


Paso 2. Se vierte a la mezcla previa el probiótico (1g), que contiene las cepas mencionadas (si no se cuenta con este tipo de probióticos se puede utilizar otros con al menos *Lactobasillus spp.* y *Basilus spp.*, en este caso se debe de monitorear la mezcla para verificar si con tres semanas es suficiente para que fermente la soya).

Paso 3. Se deja el recipiente tapado bajo la luz solar directa, con el termómetro se verifica que la temperatura de la mezcla se encuentre entre los 23°C y menor a los 28°C). Se deja fermentar por tres semanas, removiendo un par de veces a la semana. En el transcurso del tiempo, la mezcla comenzará a soltar un olor dulce y aparecer una espuma blanca.



23 a 28 °C



Paso 4. Al finalizar la fermentación se drena el líquido y la mezcla semihúmeda se utiliza para la alimentación de las tilapias.

Alimentación

Paso 1. Se dividirá la ración diaria en dos partes, la primera se compondrá del alimento balanceado que se esté dando en ese momento a los peces (con base en la edad y el peso de los organismos). La segunda parte será la mezcla de soya fermentada. La relación será, entonces, 50% alimento balanceado 50% fermento de soya.

Paso 2. Se mezclarán ambas partes.

Paso 3. Proporcionar la mezcla a los peces en el estanque, dispersándola en todo el estanque para mejor consumo por la tilapia.

Consideraciones

El acuicultor puede hacer uso de probióticos que estén a su disposición, pueden ser exclusivos para la acuicultura, para actividades pecuarias en general o para uso humano en situaciones extremas de escasez de los demás productos. Lo importante es que la mezcla tenga bacterias (*Lactobasillus spp* y *Basilus spp*) para realizar la fermentación.

La temperatura se debe de mantener en el intervalo recomendado para evitar fermentaciones muy largas (por debajo de la temperatura óptima) o la muerte de las bacterias (caso de temperatura muy alta).

Es necesario combinar el fermento con el alimento balanceado para que los peces ingieran la cantidad de DHA necesaria para un crecimiento adecuado para obtener una rentabilidad en la producción.

En caso de que el productor tenga la capacidad de determinar la demanda química de oxígeno (DQO) en el fermento, esta se debe de encontrar en un intervalo entre 30 a 100 mg/L para que se considere saludable.

Literatura Citada

FAO. (2020). El estado mundial de la Pesca y la Acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción (FAO (ed.).

- Olude, O., George, F., & Alegbeleye, W. (2016). Utilization of autoclaved and fermented sesame (*Sesamum indicum* L.) seed meal in diets for Til-aqua natural male tilapia. *Animal Nutrition*, 2(4), 339–344.
- Kabir, K. A., Verdegem, M. C. J., Verreth, J. A. J., Phillips, M. J., & Schrama, J. W. (2020). Dietary non-starch polysaccharides influenced natural food web and fish production in semi-intensive pond culture of Nile tilapia. *Aquaculture*, 528(December 2019), 735506.
- Maas, R., Verdegem, M., Stevens, T., & Schrama, J. (2020). Effect of exogenous enzymes (phytase and xylanase) supplementation on nutrient digestibility and growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed different quality diets. *Aquaculture*, 529(July), 735723
- Ngugi, C. C., Oyoo-Okoth, E., Manyala, J. O., Fitzsimmons, K., & Kimotho, A. (2017). Characterization of the nutritional quality of amaranth leaf protein concentrates and suitability of fish meal replacement in Nile tilapia feeds. *Aquaculture Reports*, 5, 62–69.
- Samaddar, A., Mondal, K., & Kaviraj, A. (2011). Evaluation of Fermented Mixture Containing Fish oOffal mMeal in Compound Diets for the Freshwater Catfish *Mystus vittatus* (Bloch). *Proceedings of the Zoological Society*, 64(2), 117–123
- Xu, C., Liu, W., Zhang, D., Liu, J., Zheng, X., Zhang, C., Yao, J., Zhu, C., & Chi, C. (2020). Effects of partial fish meal replacement with two fermented soybean meals on the growth of and protein metabolism in the Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*). *Aquaculture Reports*, 17(April), 100328.

Nutrición con alimento balanceado complementada con fermentado de sorgo en la producción de tilapia

Aylin Trujillo Rogel, Iván Gallego Alarcón, Daury García Pulido, Boris Miguel López Rebollar, Carlos Roberto Fonseca Ortiz, David García Mondragón, Iván Cervantes Zepeda.

Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua, Universidad Autónoma del Estado de México.

Según las estadísticas mundiales sobre acuicultura más recientes recopiladas por la FAO, la producción acuícola mundial alcanzó un récord histórico de 114.5 millones de toneladas

de peso vivo en 2018, con un valor total de venta en la explotación de 263,600 millones de USD (FAO, 2020).

Con este gran desarrollo, también se ha generado un fuerte consumo de recursos naturales. En el 2015, la producción de alimentos balanceados fue de 60 millones de toneladas con un crecimiento constante (Olude *et al.*, 2016; Kabir *et al.*, 2020). Desde entonces ha aumentado su producción. Estos alimentos tienen su fuente de proteínas y grasas en las harinas y aceites de pescado, cuyo origen son peces capturados en los océanos (Maas *et al.*, 2020; Ngugi *et al.*, 2017), lo que ha llevado a la sobreexplotación de las poblaciones de peces utilizados para preparar alimentos balanceados industrializados (Samaddar *et al.*, 2011; Kabir *et al.*, 2020; Xu *et al.*, 2020).

Esta situación ha llevado a los acuicultores a buscar nuevas formas de nutrición que disminuyan el uso de la harina de pescado. *Sorghum bicolor* es un grano de cereal resistente a la sequía que se cultiva comúnmente en condiciones semiáridas. La fracción de alimento para animales de *S. bicolor* que consiste en salvado, germen y granos. La sémola de sorgo es rica en carbohidratos y minerales, pero debido a sus bajos niveles de proteína, su uso en industrias de alimentos de alto valor, como la acuicultura, es limitado (Rooney y Waniska, 2000).

El uso de fermentado por microorganismos se ha utilizado para elevar el contenido de proteína en el sorgo, por ende, poder sustituir la harina de pescado por este cereal en la nutrición de peces (Zhaller, *et al.*, 2018)

Este protocolo tiene como función presentar al acuicultor una opción para producir y administrar alimento para tilapia derivado de la fermentación del sorgo combinado con alimento balanceado que este proporcionando a su producción acuícola.

Este protocolo se basa en la producción de seis kilos: tres kilogramos de fermento de sorgo que se mezclarán con tres kilogramos de alimento balanceado.

Ingredientes

- 3 kg de sorgo triturado
- 3 kg de alimento balanceado

- 6 litros de agua
- 1g de probiótico, que al menos contengan las bacterias:

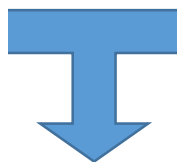
Lactobacillus rhamnosus,
Lactobacillus casei,
Lactobacillus plantarum,
Lactobacillus gasseri,
Lactobacillus acidophilus,
Lactobacillus reuteri
Bifidobacterium longum,
Bifidobacterium lactis,
Bacillus coagulans
Streptococcus thermophilus,

Materiales

- Recipiente plástico oscuro con tapa, con capacidad de 20 L.
- Cuchara de madera para mezclar
- Termómetro

Preparación

Paso 1. Mezclar los seis litros de agua del estanque, los tres kilos de sorgo triturado en el recipiente hasta obtener una mezcla homogénea.



Paso 2. Se vierte a la mezcla previa el probiótico (1g), que contiene las cepas mencionadas (si no se cuenta con este tipo de probióticos se puede utilizar otros con al menos *Lactobasillus spp.* y *Basilus spp.*, en este caso se debe de monitorear la mezcla para verificar si con tres semanas es suficiente para que fermente el sorgo).

Paso 3. Se deja el recipiente tapado bajo la luz solar directa, con el termómetro se verifica que la temperatura de la mezcla sea mayor a los 23°C y menor a los 28°C).

Se deja fermentar por tres semanas, removiendo un par de veces a la semana. Con el transcurso del tiempo, la mezcla comenzará a soltar un olor dulce y a aparecer una espuma blanca.



Paso 4. Al finalizar la fermentación se drena el líquido y la mezcla semihúmeda se utiliza para la alimentación de las tilapias.

Alimentación

Paso 1. Se dividirá la ración diaria en dos partes, la primera se compondrá del alimento balanceado que se esté dando en ese momento a los peces (con base en la edad y el peso de los organismos). La segunda parte será la mezcla de sorgo fermentado. La relación será, entonces, 50% alimento balanceado 50% fermento de sorgo.

Paso 2. Se mezclarán ambas partes.

Paso 3. Proporcionar la mezcla a los peces en el estanque, dispersándola en todo el estanque para mejor consumo por la tilapia.

Consideraciones

El acuicultor puede hacer uso de probióticos que estén a su disposición, pueden ser exclusivos para la acuicultura, para actividades pecuarias en general o para uso humano en situaciones extremas de escasez de los demás productos. Lo importante es que la mezcla tenga bacterias (*Lactobasillus spp.* y *Basilus spp*) para realizar la fermentación.

La temperatura se debe de mantener en el intervalo recomendado para evitar fermentaciones muy largas (por debajo de la temperatura óptima) o la muerte de las bacterias (caso de temperatura muy alta).

Es necesario combinar el fermento con el alimento balanceado para que los peces ingieran la cantidad de DHA necesaria para un crecimiento adecuado para obtener una rentabilidad en la producción.

En caso de que el productor tenga la capacidad de determinar la demanda química de oxígeno (DQO) en el fermento, esta se debe de encontrar en un intervalo entre 30 a 100 mg/L para que se considere saludable.

Literatura Citada

FAO. (2020). El estado mundial de la Pesca y la Acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción (FAO (ed.).

Kabir, K. A., Verdegem, M. C. J., Verreth, J. A. J., Phillips, M. J., & Schrama, J. W. (2020). Dietary non-starch polysaccharides influenced natural food web and fish production in semi-intensive pond culture of Nile tilapia. *Aquaculture*, 528(December 2019), 735506.

Maas, R., Verdegem, M., Stevens, T., & Schrama, J. (2020). Effect of exogenous enzymes (phytase and xylanase) supplementation on nutrient digestibility and growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed different quality diets. *Aquaculture*, 529(July), 735723

- Ngugi, C. C., Oyoo-Okoth, E., Manyala, J. O., Fitzsimmons, K., & Kimotho, A. (2017). Characterization of the nutritional quality of amaranth leaf protein concentrates and suitability of fish meal replacement in Nile tilapia feeds. *Aquaculture Reports*, 5, 62–69.
- Olude, O., George, F., & Alegbeleye, W. (2016). Utilization of autoclaved and fermented sesame (*Sesamum indicum* L.) seed meal in diets for Til-aqua natural male tilapia. *Animal Nutrition*, 2(4), 339–344.
- Rooney, L. W., & Waniska, R. D. (2000) Sorghum food and industrial utilization. *Sorghum: Origin, history, technology, and production* (pp. 649–688). New York, NY: Wiley and Sons, Inc.
- Samaddar, A., Mondal, K., & Kaviraj, A. (2011). Evaluation of Fermented Mixture Containing Fish oOffal mMeal in Compound Diets for the Freshwater Catfish *Mystus vittatus* (Bloch). *Proceedings of the Zoological Society*, 64(2), 117–123
- Xu, C., Liu, W., Zhang, D., Liu, J., Zheng, X., Zhang, C., Yao, J., Zhu, C., & Chi, C. (2020). Effects of partial fish meal replacement with two fermented soybean meals on the growth of and protein metabolism in the Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*). *Aquaculture Reports*, 17(April), 100328.
- Zahler D. J., Karki B. & Gibbons R. W. (2018). Microbial Processing to Increase the Nutritional Value of Sorghum Mill Feed (Milo Hominy). *J Am Oil Chem Soc.* DOI 10.1002/aocs.12136