

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Ambiente y Desarrollo
Ingeniería en Ambiente y Desarrollo



Proyecto Especial de Graduación

**Efecto de la adición de probióticos a la dieta de alevines de tilapia
(*Oreochromis sp.*) en la calidad de agua e indicadores productivos**

Estudiante

Francisco Alfredo Orellana Lone

Asesores:

Erika Tenorio Moncada, M. Sc.

Patricio Paz Castillo, Ph. D.

José Fernando Tercero, M. Sc.

Honduras, agosto 2022

Autoridades

TANYA MÜLLER GARCÍA

Rectora

ANA MARGARITA MAIER

Vicepresidenta y Decana Académico

ERIKA TENORIO MONCADA

Directora Departamento Ambiente y Desarrollo

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Agradecimientos

Al personal de la unidad del módulo de acuicultura, quienes me apoyaron durante la realización del experimento, para la realización de diferentes actividades en campo y la ayuda recibida por los trabajadores en todo momento, a la ingeniera Sheyla Guzmán quien estuvo a cargo del módulo durante la realización del estudio.

A la ingeniera Lourdes Espinal y la señora Xiomara Barrientos por el apoyo recibido en los análisis de laboratorio durante el experimento y el aprendizaje ganado por ambas para la realización de mi PEG.

Contenido

Agradecimientos	3
Índice de Cuadros	6
Índice de Figuras	7
Índice de Anexos	8
Resumen	9
Abstract	10
Introducción.....	11
Materiales y Métodos	15
Descripción del Sitio de Estudio	15
Diseño del Experimento	15
Tratamientos	15
Alimento	16
Probióticos.....	16
Calidad de Agua	16
Variables In Situ	17
Variables Ex Situ.....	18
Muestreos de Peces.....	19
Ganancia de Peso.....	20
Ganancia de Longitud	20
Índice de Conversión Alimenticia.....	20
Mortalidad (%)	21
Estimación de Costos del Alimento por Tratamiento.....	21
Análisis Estadístico	21

Resultados y Discusión.....	23
Parámetros de Calidad de Agua	23
Oxígeno Disuelto y Temperatura	23
Potencial de Hidrógeno (pH).....	25
Sólidos Disueltos Totales (TDS)	26
Transparencia	28
Amoniaco.....	29
Nitratos	31
Color Verdadero	32
Turbidez	34
Parámetros de Desempeño Productivo	35
Ganancia de Peso.....	35
Ganancia de Longitud	36
Índice de Conversión Alimenticia.....	38
Mortalidad	39
Estimación de costos del alimento por tratamiento	40
Conclusiones.....	42
Recomendaciones.....	43
Referencias	44
Anexos	47

Índice de Cuadros

Cuadro 1	Valores de oxígeno disuelto y temperatura durante el experimento	23
Cuadro 2	Medias de pH por tratamiento durante el experimento	26
Cuadro 3	Medias TDS (ppm) durante el experimento.....	27
Cuadro 4	Medias de transparencia (cm) durante el experimento	29
Cuadro 5	Medias de transparencia durante el muestreo 9.....	29
Cuadro 6	Medias de amoníaco (ppm) durante el experimento	30
Cuadro 7	Medias nitratos (ppm) durante el experimento	32
Cuadro 8	Medias de nitratos durante el muestreo 9	32
Cuadro 9	Medias color (mg/L Pt-Co) durante el experimento	33
Cuadro 10	Medias de turbidez (NTU) durante el experimento	34
Cuadro 11	Ganancia de Peso (g/pez) con agregación de probióticos	35
Cuadro 12	Ganancia de longitud (cm) con agregación de probióticos.....	37
Cuadro 13	Índice de conversión alimenticia con agregación de probióticos	38
Cuadro 14	Porcentaje de mortalidad en el desempeño productivo	39
Cuadro 15	Costos de alimentación por kilogramo de biomasa para cada tratamiento expresado en dólares	40

Índice de Figuras

Figura 1	Gráfico de medias en el tiempo de saturación de oxígeno disuelto (%) por la mañana	24
Figura 2	Gráfico de medias en el tiempo de saturación oxígeno disuelto (%) por la tarde	25
Figura 3	Gráfica de medias de sólidos totales disueltos (ppm) por muestreos a través del tiempo ..	27
Figura 4	Gráfica de medias de transparencia (cm) por muestreos a través del tiempo	28
Figura 5	Gráfica de amoniaco (ppm) por muestreos a través del tiempo	30
Figura 6	Gráfica de medias de nitratos (ppm) por muestreo a través del tiempo.....	31
Figura 7	Gráfica de medias de color aparente (Pt-Co) por muestreo a través del tiempo	33
Figura 8	Gráfica de medias de turbidez (NTU) por muestreo a través del tiempo	34
Figura 9	Gráfico de medias de Peso (g) a través del tiempo	36
Figura 10	Gráfico de medias de longitud (cm) a través del tiempo	38

Índice de Anexos

Anexo A Perfil comercial alimenticio para tilapia de la empresa de Alimentos Concentrados Nacionales (ALCON) utilizada para establecer la ración de alimento ofrecida	47
Anexo B Interacción de Temperatura	48
Anexo C Interacción saturación de oxígeno disuelto	49
Anexo D Interacción de pH	50
Anexo E Interacción de Sólidos totales disueltos	51
Anexo F Interacción de transparencia.....	52
Anexo G Interacción de amoniaco	53
Anexo H Interacción de nitratos	54
Anexo I Interacción de color	55
Anexo J Interacción de turbidez.....	56
Anexo K Recambio de agua después del muestreo de agua seis	57
Anexo L Alevín contaminado con Saprolegnia	58
Anexo M Pesaje de alevines para muestreo	59
Anexo N Tallaje de alevines para los muestreos	60
Anexo O Peces pasados por agua con sal para evitar enfermedades	61
Anexo P Ubicación de los tanques utilizados en el experimento	62
Anexo Q Muestras de amoniaco antes y después de titulación.....	63
Anexo R Concentración de bacterias en el producto	64
Anexo S Especificaciones para el uso del producto comercial de probióticos	65
Anexo T Correlación de Pearson y regresión lineal para Sólidos Totales Disueltos y Nitratos	66
Anexo U Correlación de Pearson y regresión lineal para Sólidos Totales Disueltos y Amoniaco	67

Resumen

El aumento poblacional a nivel mundial hace necesario incrementar la producción agropecuaria. La acuicultura busca incrementar su producción y por esto, es necesario buscar alternativas para minimizar sus impactos ambientales. El objetivo del estudio fue evaluar el uso de probióticos en indicadores productivos e indicadores de calidad de agua en la producción de alevín de tilapia. Se evaluaron durante un periodo de 35 días un control (T1) y tres tratamientos: la agregación de probióticos 1% (T2), alimentación *ad libitum* (T3) y alimentación *ad libitum* más el 1% de probióticos (T4). Se midieron parámetros de calidad de agua (temperatura, saturación de oxígeno, pH, sólidos totales disueltos, amoníaco, nitratos, color y turbidez) y de productividad de tilapia (ganancia de peso y longitud, Índice de Conversión Alimenticia (ICA) y mortalidad para el desempeño productivo). Se estimaron los costos de alimentación por cada tratamiento. Se utilizó análisis de varianzas de una vía en los parámetros productivos y de dos vías con interacción en el tiempo para calidad de agua. Se encontraron diferencias significativas en nitratos y transparencia con la adición de probióticos. Los tratamientos con adición de 1% probióticos obtuvieron diferencias significativas favorables con relación a los cuatro parámetros de desempeño productivo evaluados. Se concluye que la adición de probióticos contribuye a la mejora de rendimiento de producción de alevines y favorece la reducción de las concentraciones de los indicadores de calidad de agua evaluados durante la etapa inicial de producción.

Palabras clave: Acuicultura, alimentación *ad libitum*, amoníaco, ganancia de peso, producción

Abstract

The increase in population worldwide makes it necessary to increase agricultural production. Aquaculture seeks to increase its production for human consumption; therefore, it is necessary to look for alternatives to minimize contamination. The objective of the study was to evaluate the use of probiotics on water quality indicators in the production of tilapia fingerlings. The treatments were a control (T1), the addition of 1% probiotics (T2), ad libitum feeding (T3) and ad libitum feeding plus 1% probiotics (T4). Parameters of temperature, oxygen saturation, pH, total dissolved solids, ammonia, nitrate, color and turbidity were evaluated for water quality. weight and length gain, Feed Conversion Index (FCI) and mortality were evaluated for productive performance, as well as feeding costs for each treatment. A one-way analysis of variance was used for productive parameters and a two-way analysis of variance with time interaction for water quality. Significant differences were found in nitrates and transparency, with no significant differences in the other water quality parameters, but a non-significant reduction was observed in the ammonia and turbidity parameters with the addition of probiotics and significant differences in the productive performance parameters, being the treatments with the addition of 1% probiotics in the four parameters evaluated the ones that presented the best results during the experiment. It is concluded that the addition of probiotics contributes to the reduction of dissolved concentrations in the water during the initial stage of production.

Keywords: Ad libitum feeding, aquaculture, ammonia, production, weight gain.

Introducción

El agua es un recurso indispensable para la vida y el sostenimiento de ecosistemas acuáticos en la región. Sin embargo, con frecuencia estos ecosistemas están expuestos a alteraciones y contaminación como resultado de las actividades humanas productivas, por lo que deben promoverse nuevas alternativas productivas que sean eficientes para prevenir o reducir la contaminación a cuerpos de agua.

De forma paralela al aumento de la población mundial se hace necesario el incremento de la producción agropecuaria para la alimentación. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2016) el suministro anual de pescado ha aumentado en un 3.2% anual en la última década, lo cual está relacionado con un consumo per cápita en crecimiento. Este crecimiento se ve reflejado en la producción de animales acuáticos que alcanzó los 178 millones de toneladas, el 51% es representado por la pesca de captura y el otro 49% (88 millones de toneladas) es producido por la acuicultura, del total producido de 157 millones de toneladas que se emplearon para el consumo humano (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2022). Esto hace que sea de gran importancia mantener el ritmo de producción, ya que, poco a poco se iguala la producción acuícola con la pesca. Por ello, se ve la necesidad de crear sistemas más intensivos para producir en un menor espacio y ser más eficientes, sin que esto represente un aumento de los impactos ambientales.

La industria acuícola de igual manera ha ido en crecimiento, lo que conlleva, a las descargas de efluentes de esta actividad en los sistemas acuáticos, los cuales presentan altas cargas de nutrientes, diversos compuestos orgánicos e inorgánicos (García y Sanchez, 2015). A su vez, es de gran importancia mantener la calidad del agua en los sistemas de producción acuícola para tener una mejor calidad en la producción.

Según Zhao et al. (2010) en un mundo industrializado la eutroficación es un problema común en ecosistemas acuáticos. Algunos impactos ambientales están asociados a la producción intensiva en la acuicultura, cuando generan residuos en el agua que afectan directamente la vida natural de los ecosistemas. Estos impactos se asocian particularmente a los residuos sólidos en el agua generados por la alimentación y las excretas de los organismos. La acuicultura es un rubro creciente para el sector alimentario cuyo crecimiento está asociado a un riesgo de contaminación en el agua, debido a la adición de nutrientes no tratados a ecosistemas acuáticos (Zhao et al., 2018). Los impactos asociados a compuestos nitrogenados de origen acuícola en agua han sido ampliamente documentados en países como China (Cao et al., 2007).

Según Velasco et al. (2012) la producción acuícola en Hidalgo, México, genera un impacto en la contaminación de agua por la descarga de desechos sólidos en lagunas de la zona, la cantidad de descarga dependerá del tipo de producción que se realice. En América Latina se ha documentado casos en Perú asociados a la degradación de lagunas por incrementos de materia orgánica en un periodo de 12 años debido al cultivo intensivo de truchas (Mariano et al., 2011). Para Zhao et al. (2010) la producción de acuícola es uno de los principales contaminantes de los ecosistemas acuáticos, por la generación de residuos sólidos en el agua. Merga et al. (2020) también mencionan la contaminación de lagos por la producción intensiva y sus principales contaminantes.

La contaminación del agua es un gran problema a nivel mundial, por las crecientes limitantes de acceso al recurso. La calidad del agua se puede definir como las condiciones que se encuentran en el agua, observando las características físicas, químicas y biológicas, con respecto a su estado natural o luego de la alteración por actividades antropogénicas. En general, se mide por las características fisicoquímicas y bacteriológicas de una muestra de agua, verificando los posibles contaminantes que pueden afectar la salud humana o la biodiversidad, por medio de directrices de calidad de agua o estándares (Baeza, 2016). Según la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2021) en los países

de América Latina, la calidad de agua es un factor limitante para el acceso a un servicio gestión de forma segura del recurso.

Se debe mantener la cantidad de producción, pero disminuyendo la contaminación que conlleva, por ello, es de gran importancia la búsqueda de nuevas alternativas para la producción sin afectar la cantidad producida, pero, protegiendo los recursos naturales. Una de las alternativas para mejorar la calidad de agua en los sistemas de cultivo es el uso de microorganismo probióticos (Espinoza, 2017), la cual resulta en mejoras en los parámetros zootécnicos de los animales con la agregación de los microorganismos probióticos (Guerra, 2011). Los probióticos se pueden definir como bacterias que tienen efectos beneficiosos para los seres humanos y los animales (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y Organización Mundial de la Salud [OMS], 2006). Los probióticos facilitan la digestión animal de los alimentos por lo que pueden ser utilizados para mejorar la salud de los organismos en producción (Dawood et al., 2019)

Las mejoras en la calidad de agua por el uso de los probióticos se han documentado a través de la reducción de parámetros de amonio y nitritos en el agua, dependiendo de la manera de uso de los probióticos. Esto se debe, a las mejoras del tracto digestivo del organismo y a su consecuente, mejora en la asimilación de nutrientes (Gatesoupe, 2000). Una investigación sobre el bioma intestinal en tilapias con la agregación de probióticos, mostraron una mejoría dentro de la flora intestinal con la adición de estos microorganismos (Elsabagh et al., 2018).

En Zamorano, se han realizado diferentes estudios con la agregación de aditivos donde se puede observar que se evaluaron parámetros de crecimiento de tilapia y se miden los parámetros de calidad de agua. Se observan generalmente los parámetros de oxígeno disuelto, temperatura y amonio para verificar el rango ideal para la producción de la tilapia, teniendo en promedio en todos los parámetros dentro de dicho rango. Consecuentemente, se puede encontrar en el estudio de Marcillo, (2017). como los parámetros de amonio se encuentran fuera del rango ideal pero

manteniendo un promedio que no supera el rango ideal, además, de un crecimiento en los parámetros de desempeño productivo, siendo un punto positivo que se puede observar con microorganismos

Debido a las oportunidades tanto productivas como ambientales que representa el uso de probióticos en la industria acuícola, se hace necesario conocer más los resultados de su aplicación en el contexto local y avanzar en el conocimiento y factibilidad del uso de estos microorganismos. Con el presente estudio se busca: “Evaluar el uso de una dieta de probióticos como alternativa para mejorar los indicadores de calidad de agua en sistemas lénticos para producción en alevín de la tilapia (*Oreochromis sp*)” y para cumplir este objetivo se tuvieron como objetivos específicos:

Determinar el efecto de la adición de probióticos en la dieta de la tilapia en la concentración de indicadores de calidad de agua.

Comparar los efectos de dietas convencionales y dietas con incorporación de probióticos en los indicadores productivos de la tilapia.

Comparar los costos asociados al uso de probióticos con respecto a la dieta convencional en la etapa de alevín en la producción de tilapia.

Materiales y Métodos

Descripción del Sitio de Estudio

El experimento se realizó entre los meses de mayo y junio de 2022 en las instalaciones de la unidad de Acuicultura “Daniel E. Meyer” de la Escuela Agrícola Panamericana (EAP), Zamorano, ubicada en el valle del Río Yeguaire, municipio de San Antonio de Oriente, Departamento de Francisco Morazán, Honduras, a 30 km del este de la ciudad de Tegucigalpa. La EAP se encuentra ubicada alrededor de 800 msnm con un rango de temperatura entre 24 y 25° C, y con una precipitación promedio anual de 1100mm, con una mayor distribución entre los meses de junio y octubre. Los análisis de calidad de agua *ex situ* se realizaron en el Laboratorio de Calidad de Agua en el departamento de Ambiente y Desarrollo en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.

Diseño del Experimento

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con muestras repetidas en el tiempo. Para el experimento se utilizaron 12 tanques de 0.2 m³, los cuales estuvieron bajo invernadero con oxigenación suministrada por un blower regenerativo de la marca “Hurricane” con una potencia de tres caballos de fuerza y mangueras con piedras difusoras colocadas en los tanques durante todo el experimento. Cada tanque representó unidad experimental, en la cual se utilizó un total de 150 alevines de tilapia (unidades observacionales) con un peso de promedio de 0.1 gramos y una talla promedio de 1.8 cm.

Tratamientos

Se aplicaron cuatro tratamientos con tres repeticiones cada uno. El primer tratamiento fue un control (T1), que fue alimentado únicamente con concentrado molido con 38% de proteína cruda marca ALCON, Cargill. El tratamiento dos (T2) consistió en el alimento comercial con la adición del 1% de probióticos con melaza como fuente de carbono. Para el tratamiento tres (T3) se alimentó *ad libitum* igualmente con el concentrado mencionado y el tratamiento cuatro (T4) estuvo compuesto

del alimento comercial con la mezcla del 1% de probióticos con el tipo de alimentación *ad libitum*. Los tratamientos *ad libitum* fueron alimentados según lo descrito por Castelló (2013) de manera que para la alimentación en tilapias se va repartiendo el alimento mientras se observa a los peces hasta que no muestren interés por el alimento.

Alimento

La alimentación se estableció a partir de la recomendación del perfil comercial alimenticio para tilapia de la empresa de Alimentos Concentrados Nacionales (ALCON) (Anexo A). El alimento proporcionado fue un balanceado con 38% de proteína cruda, el alimento se molió para obtener un tamaño de partícula adecuado para el consumo del alevín. Para el tamaño de la porción ofrecida, se tomó una dosis general para los tratamientos a partir del peso promedio de los organismos, esta cantidad se ajustó cada 10 días tomando en cuenta los nuevos pesos promedios del muestreo realizado. Se inició con una dosis con base en el 12% realizado a voluntad, después se aumentó a un 13%, siendo los porcentajes adecuados por el peso promedio que se encontraban los alevines. La ración de alimento por día se dividió en cuatro, realizando una rutina de alimentación de dos por la mañana y dos por la tarde. A partir del tercer muestreo se dividió en tres raciones, realizando una rutina de alimentación de dos por la mañana y una por la tarde.

Probióticos

El probiótico utilizado fue un producto comercial llamado "Terminate Bacteria Premix". La cantidad de probióticos utilizada se realizó con un gramo por cada 100 gramos de alimento molido y para la mezcla de probióticos con melaza se utilizó una relación de 1:16. Por cada gramo de probiótico se le agregó 16 de melaza como fuente de carbono (Hernández et al., 2019).

Calidad de Agua

Para evaluar la calidad de agua en el sistema se tomaron muestreos los lunes y viernes de cada semana durante cinco semanas y para los datos de oxígeno disuelto (% de saturación) y

temperatura (°C) se tomaron todos los días por la mañana y tarde. Los parámetros evaluados *in situ* fueron pH, conductividad eléctrica (μS), sólidos disueltos totales (ppm) y transparencia (cm). Las variables de amoníaco (mg/L), nitratos (mg/L), color aparente (Pt-Co) y turbidez (NTU) fueron evaluadas en el laboratorio de calidad de agua de Zamorano. Las muestras de agua para el análisis fueron recolectadas en envases de polietileno de alta densidad de 500 mL y trasladados al laboratorio. Todas las muestras se analizaron en un período menor a una semana posterior a su recolección, manteniéndose en todo momento a una temperatura no mayor 4°C.

Variables In Situ

Las variables evaluadas dentro de la unidad de acuicultura con equipo de campo fueron oxígeno disuelto en porcentaje de saturación, temperatura, pH, sólidos totales disueltos y transparencia. Evaluadas con una muestra de 150 mL tomada con “beaker” para ser medidos con el multiparámetros según sea el parámetro.

Oxígeno y Temperatura.

El oxígeno disuelto expresa la cantidad de oxígeno gaseoso en el agua expresado en mg/L, o en porcentaje de saturación según la temperatura, siendo de suma importancia proporcionar las concentraciones adecuadas para asegurar que se produzcan los procesos biológicos y el buen desarrollo de los organismos (Cox, 2003). La temperatura condiciona la concentración de oxígeno y regula procesos biológicos en los estanques (Rahman et al., 2021). Ambos parámetros se midieron con un sensor de oxígeno de la marca “YSI Pro-20A”. Se tomaron todos los días durante el experimento entre las 7:00 y 9:00 por la mañana, y entre las 2:00 y 3:30 por la tarde.

pH y Sólidos Totales Disueltos.

El pH es la concentración de iones de hidrogeno. Valores por debajo o por encima de su rango óptimo causan cambios en el comportamiento de los peces (Saavedra, 2006). El total sólidos disueltos (ppm) está relacionado con la conductividad eléctrica y expresa la concentración de los sólidos

disueltos en el agua. Estos parámetros fueron recolectados por medio de un multiparámetro de la marca “Oakton” modelo PCTST 50.

Transparencia.

Este parámetro debe ser monitoreado para conocer la claridad u oscuridad en el agua. Bajas transparencias pueden estar asociadas a un exceso de nutrientes en el agua, lo cual genera poca visibilidad de los peces y afecta sus hábitos alimenticios (Rojas, Haws y Cabanillas, 2005). Esta variable se fue tomada con un Disco Secchi con nudos cada 5 cm.

Variables Ex Situ

Las variables de amoníaco, nitratos, color aparente y turbiedad fueron analizadas en el laboratorio de Calidad de Agua del Departamento de Ambiente y Desarrollo de Zamorano. Se realizaron 10 muestreos de agua durante el experimento, los cuales fueron recolectados los lunes y viernes en envases plásticos de alta densidad de 250 mL, para posteriormente ser analizados.

Amoníaco.

Este parámetro fue analizado en una unidad de destilación “BUCHI K-355” utilizando 100 mL de la muestra y 40 mL de indicador de ácido bórico. El límite inferior de detección del método es <0.28 mg/L de N-NH₃. Para convertir los mg/L N-NH₃ a mg/L NH₃ se utilizó el factor de conversión de 1.21429 extraído de la Ecuación 1.

$$\frac{NH_3}{\frac{mg}{L}} = \left(\frac{1mmolN}{14mgN} \right) \left(\frac{1mmolNH_3}{1mmolN} \right) \left(\frac{17.03mgNH_3}{1mmolNH_3} \right) \quad [1]$$

Nitratos.

El análisis de esta variable se realizó por medio de un sistema de espectrofotómetro UV-visible “Agilent Cary 8454”. El cual utiliza la interacción de la luz con las moléculas que absorben la radiación producida. Para la lectura de esta variable se filtró 50 mL de la muestra con filtros de fibra de vidrio

de 0.7 micras. Teniendo como resultado datos de mg/L N-NO₃, el cual para su conversión a mg/L de NO₃ se utilizó la Ecuación 2 teniendo un factor de conversión de 4.42 NO₃ mg/L.

$$\frac{NO_3}{\frac{mg}{L}} = \left(\frac{1mmolN}{14mgN} \right) \left(\frac{1mmolNO_3}{1mmolN} \right) \left(\frac{62mgNH_3}{1mmolNH_3} \right) [2]$$

Color verdadero.

Las muestras se filtraron con filtros de fibra de vidrio de 0.7 micras. Se utilizó un espectrómetro de la marca “Lovibond® SpectroDirect” el cual tiene un rango de 0 a 500 Pt-Co para la lectura del parámetro.

Turbidez.

Para el análisis de turbidez se utilizó un turbidímetro portátil marca HACH modelo 2100Q. La unidad de medida es NTU por sus siglas en ingles “Nephelometric Turbidity Unit” que es la unidad con la que se mide la turbidez de un fluido o la presencia de partículas en suspensión en el agua. Con la presencia de turbidez se puede llegar a limitar la habilidad de los peces para capturar el alimento (Boyd, 2015). Además, la turbidez a simple vista es algo subjetivo que surge por la refacción de las partículas insolubles, siendo un factor que se monitorea por el hecho de ser uno de los indicadores más graves de la contaminación (Kahle et al., 2021).

Muestreos de Peces

Se realizaron cuatro muestreos de peso y talla a lo largo del experimento, esta actividad se realizó con una diferencia de 10 días entre los primeros tres muestreos y de cinco días entre el tercero y el último. El pesaje se realizó con una balanza digital “OHAUS® SCOUT™” modelo “SPX2201” con una lectura mínima de 0.1 g y una precisión de ±1 g, se pesaron 38 alevines por tanque obteniendo el peso total de la muestra, este dato se promedió entre la cantidad de animales pesados. La talla se midió desde la cabeza hasta la aleta caudal con una regla graduada de 30 cm, igualmente se tallaron 38 alevines y se promedió para sacar la talla media del tanque.

Ganancia de Peso

Por medio de este se determinó cuántos gramos de peso ganó en promedio cada animal desde la siembra hasta la finalización del experimento. Para esta variable se restó el peso promedio final menos el peso promedio inicial, expresado en gramos por pez (Ecuación 3).

$$\text{Ganancia de peso} = \text{Peso promedio final} - \text{peso promedio inicial} [3]$$

Ganancia de Longitud

Con esta variable se define el crecimiento en talla promedio que tuvieron los animales desde su siembra hasta el final del experimento, evaluando los centímetros totales que creció el alevín a lo largo del experimento. Se restó la talla promedio final menos la talla promedio inicial para sacar la ganancia promedio en centímetros (cm) (Ecuación 4).

$$\text{Ganancia en Talla} = \text{Talla promedio final} - \text{talla promedio inicial} [4]$$

Índice de Conversión Alimenticia

Fry et al. (2018) define al índice de conversión alimenticia (ICA) como la eficiencia de los animales de convertir el alimento consumido en biomasa. Con esta variable se evalúa la capacidad de los animales de convertir alimento en biomasa. Se obtiene el resultado de biomasa, el cual se obtiene al multiplicar el número de total de alevines por unidad experimental por el peso unitario promedio como lo indica la Ecuación 5. El índice de conversión alimenticia (ICA) es obtenida a través de la biomasa neta, la cual es la resta de la biomasa final menos la biomasa inicial como esta expresado en la Ecuación 6. Finalmente, el ICA se calcula dividiendo la cantidad total de alimento suministrado entre la biomasa neta (Ecuación 7).

$$\text{Biomasa} = \text{número de alevines por tanque} \times \text{peso unitario promedio} [5]$$

$$\text{Biomasa neta} = \text{biomasa final} - \text{biomasa inicial} [6]$$

$$ICA = \frac{\text{cantidad de alimento proporcionado}}{\text{biomasa neta}} [7]$$

Mortalidad (%)

El porcentaje de mortalidad se calculó mediante el conteo de los animales inicialmente sembrados y se llevó un registro de los peces muertos durante todo el experimento. Se calculó la mortalidad mediante la Ecuación 8.

$$\% \text{ mortalidad} = \frac{\text{total peces muertos} * 100}{\text{total de peces sembrados}} [8]$$

Estimación de Costos del Alimento por Tratamiento

Se realizó a través de una determinación de los costos incurridos en los diferentes tratamientos. Los costos variables se definen por unidad de producción, lo que quiere decir que son el costo unitario por la cantidad de unidades a producir (Ross et al., 2010). Para este caso se tomó como unidad a producir 1000 gramos de biomasa, y con el índice de conversión alimenticia encontrado en el estudio se realizó una relación para la cantidad de alimento que se necesita para producir la biomasa estimada. Para esto, se tomaron los costos del alimento y probióticos para estimar el costo por kilogramo producido.

Análisis Estadístico

Se evaluaron 10 variables de calidad de agua y cuatro variables de desempeño productivo. Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) con medidas repetidas en el tiempo, y en caso de encontrar diferencias significativas se procedió a realizar una prueba de media de Tukey para las variables de calidad de agua. Se aplicó un ANDEVA de una vía y una separación de medias Duncan para las variables de desempeño productivo (ganancia de peso, ganancia de longitud, índice de conversión alimenticia y mortalidad). Para reportar como diferencias significativas se consideró un nivel de significancia de

5% ($P \leq 0.05$). Todos los análisis estadísticos se realizaron en el Software estadístico R versión 4.2.0 con su interfase de RStudio y Microsoft Excel versión 2202.

Resultados y Discusión

Parámetros de Calidad de Agua

Oxígeno Disuelto y Temperatura

En el Cuadro 1, se muestran los valores de oxígeno disuelto y temperatura del experimento, encontrando diferencias ($P \leq 0.05$) en la saturación de oxígeno disuelto siendo el tratamiento de Probióticos 1% el que tuvo la mayor saturación de oxígeno por la mañana y por la tarde. En cambio, el tratamiento control tuvo la menor saturación en promedio tanto en la mañana como en la tarde. El oxígeno disuelto es un factor crítico en la producción de tilapia, el porcentaje de saturación varió desde 30.2 y 100.12% por la mañana con un promedio de 67.45%. Por la tarde se encontraron datos similares con un máximo de saturación de 86.21% y un mínimo de 37.59%. La temperatura obtuvo los datos esperados con un promedio de 25.65 °C, un mínimo de 22.9 °C y un máximo de 28.6 °C, en cambio, por la tarde tuvo un mínimo de 28.0 °C y un máximo de 35.8 °C. Encontrando una interacción de los tratamientos por el tiempo la tarde en ambas variables (Anexo B).

Cuadro 1

Valores de oxígeno disuelto y temperatura durante el experimento

Tratamiento	Temperatura	Temperatura	Oxígeno disuelto	Oxígeno disuelto
	AM (°C)	PM (°C)	AM (%)	PM (%)
	Media \pm D.E.	Media \pm D.E.	Media \pm D.E.	Media \pm D.E.
Control	25.8 \pm 0.98	32.33 \pm 1.43	64.14 \pm 12.77 ^b	64.14 \pm 10.92 ^b
Probióticos 1%	25.7 \pm 1.01	32.31 \pm 1.42	70.51 \pm 11.46 ^a	70.51 \pm 10.76 ^a
<i>Ad libitum</i>	25.4 \pm 1.03	31.69 \pm 1.42	65.57 \pm 11.34 ^b	65.57 \pm 10.17 ^{ab}
<i>Ad libitum</i> + Probióticos 1%	25.7 \pm 1.15	32.16 \pm 1.75	69.57 \pm 10.27 ^a	69.56 \pm 9.29 ^{ab}
Promedio	25.65	32.1	67.45	67.45
Máximo	28.6	35.8	100.12	86.21
Mínimo	22.9	28.0	30.20	37.59
C.V. (%)	4.11	4.77	17.40	16.71
Probabilidad	0.411	0.354	0.009	0.045

Nota. Medias con letras iguales no significativamente diferentes; C.V.= Coeficiente de variación; D.E.=Desviación estándar.

En la Figura 1 y 2 se presentan los valores de oxígeno disuelto durante todo el experimento por la mañana y por la tarde, respectivamente. Donde se puede observar una disminución del oxígeno efectuándose una mayor disminución en el tratamiento de probióticos 1% al final del experimento,

esto se puede deberse a la cantidad de sólidos en el agua y por problemas en la oxigenación por las piedras difusoras. Los valores óptimos para la producción de tilapia según Cantor están entre los 3 y 10 mg/L, datos similares a los que recomienda Saavedra (2006) donde menciona que los rangos óptimos están entre 5.0 y 9.0 mg/L, pero soportan bajas concentraciones de aproximadamente 1 mg/L además, menciona que las variaciones de esta variable son por el estado del tiempo y más si está nublado, esto por los proceso de fotosíntesis que realiza el plancton. Estos resultados concuerdan con los que reporta Méndez (2018) donde encontró diferencias significativas siendo los tratamientos con agregación de probióticos los que mostraron mayor cantidad de oxígeno disuelto. En el estudio realizado por Hoyos (2020) no mostró diferencias significativas en ninguno de los tratamientos esto puede variar por las condiciones climáticas que se estudiaron, en ambos estudios se tuvo aireación para el experimento. Los resultados expuestos se pueden deber a la homogeneidad al tener todas las unidades experimentales un sistema de oxigenación.

Figura 1

Gráfico de medias en el tiempo de saturación de oxígeno disuelto (%) por la mañana

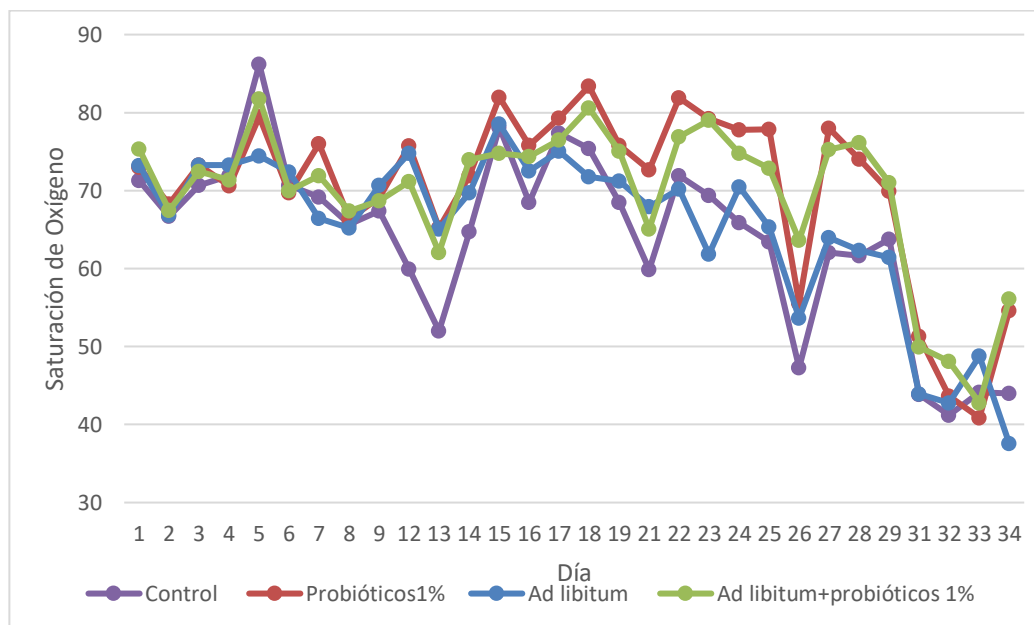
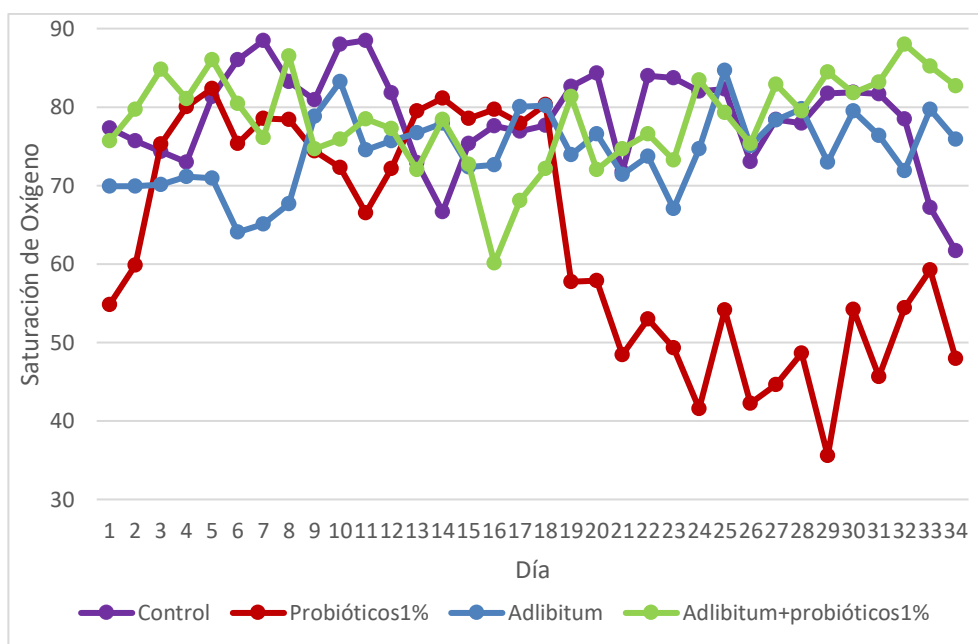


Figura 2

Gráfico de medias en el tiempo de saturación oxígeno disuelto (%) por la tarde



Para Cantor el rango ideal para el cultivo de tilapia es entre 24 a 28°C. En cambio, Saavedra (2006) opina que el rango está entre los 20 a 30° C y con límites superiores de tolerancia entre 37 a 42 °C observando que a temperaturas menores a 15°C los peces dejan de comer y no crecen, y al ser temperaturas mayores a 30°C los peces consumen más oxígeno. La temperatura muestra cambios bruscos entre la mañana y la tarde pudo ser por los factores ambientales para algunos tanques, pero al tener cambios repentinos de 5 °C el pez se estresa y algunas veces muere (Saavedra, 2006). Resultados similares son los expuestos por Méndez (2018) donde no encontró diferencias significativas en ninguno de los tratamientos y el control. Esto concuerda con lo encontrado por Hoyos (2020) que tampoco encontró diferencias significativas. Los valores óptimos de temperatura para la producción acuícola en zonas tropicales es entre 25 a 35 °C. (Boyd, 2015).

Potencial de Hidrógeno (pH)

En el Cuadro 2, se observan las medias del potencial de hidrógeno (pH) donde no se observan diferencias significativas entre los tratamientos, los valores oscilaron entre 7.0 y 8.4, presentando la

cantidad más alta durante el muestreo 9. Sin encontrar una interacción entre los tratamientos en el tiempo (Anexo D). Los datos están dentro de los valores óptimos para la producción de tilapias lo cual según Cantor están entre 6.5 y 9.0 porque los niveles más ácidos a 6.5 puede ser mortal para los animales, pero no pueden tolerar valores menores a 5.0. En cambio, pueden soportar valores alcalinos hasta de 11.

Cuadro 2

Medias de pH por tratamiento durante el experimento

Tratamiento	Media \pm D.E.	C.V%	Probabilidad
Control	7.55 \pm 0.35	5.04	0.162
Probióticos 1%	7.69 \pm 0.42		
<i>Ad libitum</i>	7.71 \pm 0.38		
<i>Ad libitum</i> + Probióticos 1%	7.59 \pm 0.36		

Nota. D.E.=Desviación estándar, CV=Coficiente de variación

Los valores encontrados de pH son los valores esperados al no tener tanta variación durante el experimento. Los valores encontrados no concuerdan con Méndez (2018) donde tuvo diferencias significativas con la agregación del 1% de probióticos, en tilapias en fase juvenil, lo cual puede afectar directamente el pH, por la cantidad de sólidos que pueden existir en el agua. En cambio, Hoyos (2020), no encontró diferencias significativas con la agregación de probióticos, teniendo una media de 7.07 y un mínimo y máximo muy similares a 7.0. Este cambio, puede ser por los recambios de agua, porque durante el experimento solo se realizó un cambio de agua, en los demás experimentos se realizan recambios más seguidos por el tamaño de los animales.

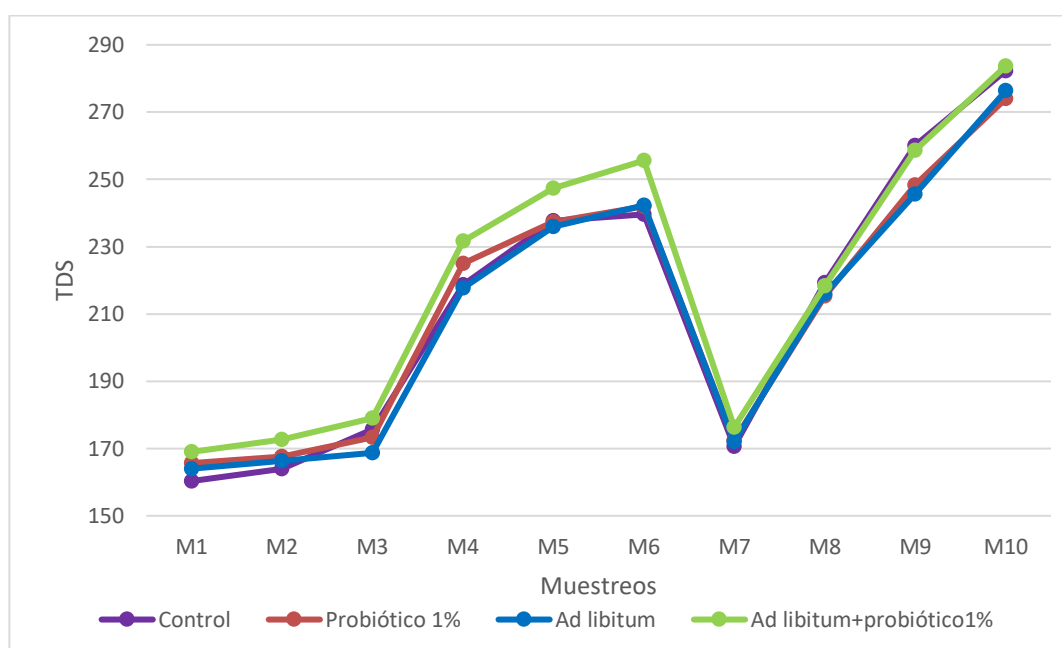
Sólidos Disueltos Totales (TDS)

En la Figura 3, se observan los datos de medias del total de sólidos disueltos (TDS) expresados en partes por millón, se muestran la variabilidad en los TDS donde se observa el crecimiento que tiene a través de los muestreos, además, existe una disminución entre el muestreo 6 y el muestreo 7, donde se realizó un recambio de agua por las cantidades de amoníaco que tenían en los tanques. Los TDS están marcado por la cantidad de partículas disueltas presentes en el agua, siendo estos sólidos

generalmente nutrientes disueltos. En el Cuadro 3, se muestra que no se encontraron diferencias estadísticas durante el experimento con la mayor media con la alimentación *ad libitum* y la agregación de probióticos al 1%, igualmente no se demostró una interacción entre los tratamientos a través de los muestreos (Anexo E).

Figura 3

Gráfica de medias de sólidos totales disueltos (ppm) por muestreos a través del tiempo



Cuadro 3

Medias TDS (ppm) durante el experimento

Tratamiento	Media \pm D.E.	C.V%	Probabilidad
Control	212.10 \pm 42.60	18.96	0.43
Probióticos 1%	212.10 \pm 38.62		
<i>Ad libitum</i>	210.50 \pm 40.35		
<i>Ad libitum</i> + Probióticos 1%	219.23 \pm 41.94		

Nota. D.E.=Desviación estándar, CV=Coficiente de variación

Boyd (2015) menciona el total de sólidos disueltos es la cantidad de sólidos inorgánicos presentes en el agua después de evaporarla manera con este parámetro se demuestra la mineralización del agua, las concentraciones van desde 20 mg/L hasta 1,000 mg/L en agua dulce. Los

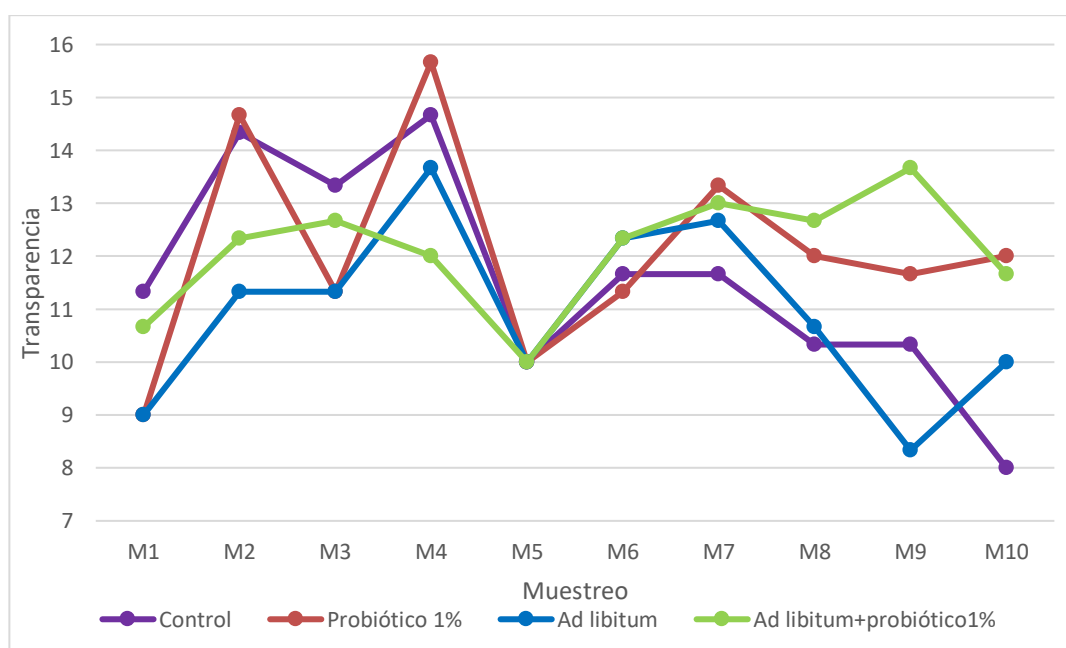
datos encontrados tienen una tendencia al crecimiento por los nutrientes producidos por las excretas de los animales. En el estudio realizado por Hoyos (2020) se encontraron datos más altos en comparación al presente estudio, dado que, utilizó animales en una etapa juvenil lo que genera más nutrientes en el agua, de igual manera no encontró diferencias significativas en este parámetro.

Transparencia

En la Figura 4, se muestran los datos de transparencia a través del tiempo, este parámetro es la reflectancia que tiene la luz en el agua, donde se puede observar una mejor transparencia por los tratamientos con agregación de probióticos durante los últimos muestreos. En los primeros muestreos se observa que el control y Probióticos1% son similares. En el muestreo 5 se observan medias iguales en todos los tratamientos, luego se muestra una mejor transparencia para el tratamiento de *ad libitum*+probióticos1%, donde se encontraron diferencias significativas durante el muestreo 9 (Cuadro 4 y 5). Igualmente, teniendo una interacción entre los muestreos y los tratamientos demostrado en el Anexo F.

Figura 4

Gráfica de medias de transparencia (cm) por muestreos a través del tiempo



Cuadro 4

Medias de transparencia (cm) durante el experimento

Tratamiento	Media \pm D.E.	C.V%	Probabilidad
Control	11.56 \pm 2.45	17.66	0.011
Probióticos 1%	12.10 \pm 2.21		
<i>Ad libitum</i>	10.93 \pm 1.78		
<i>Ad libitum</i> + Probióticos 1%	12.10 \pm 1.53		

Nota. D.E.=Desviación estándar, CV=Coficiente de variación

Cuadro 5

Medias de transparencia durante el muestreo 9

Tratamiento	Media \pm D.E.	C.V%	Probabilidad
Control	10.33 \pm 0.57	17.66	0.011
Probióticos 1%	11.66 \pm 0.57		
<i>Ad libitum</i>	8.33 \pm 0.57		
<i>Ad libitum</i> + Probióticos 1%	13.66 \pm 0.57		

Nota. D.E.=Desviación estándar, CV=Coficiente de variación, se tomaron de CV y probabilidad del parámetro.

La transparencia es un factor importante en la producción acuícola por la necesidad de visión dentro tanques logrando mejorar en gran medida el consumo de alimento y la actividad de los peces. Los datos encontrados por Hoyos (2020) muestra que la agregación de probióticos mejora en la transparencia del agua comparado con los tratamientos sin ellos. Boyd (2015) menciona que la transparencia es definida por la cantidad de sólidos suspendidos y disueltos. Con lo dicho por Boyd y los datos encontrados se puede definir que con la alimentación sin probióticos se generan más sólidos suspendidos.

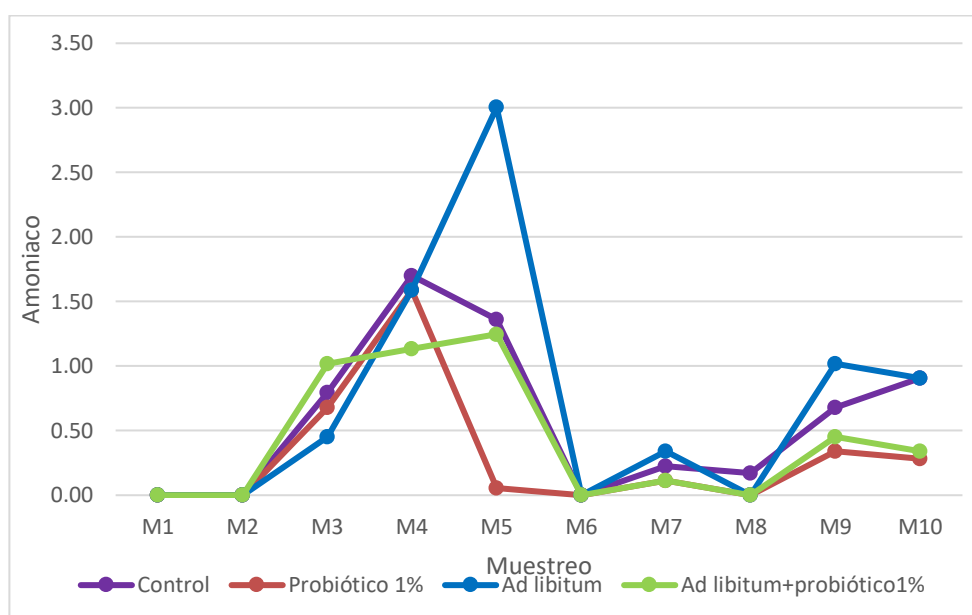
Amoniaco

El amoniaco o amonio no ionizado es un parámetro de gran importancia para la producción acuícola debido a que es la forma en la que los peces excretan el nitrógeno. Como se muestran en los resultados la cantidad de amoniaco en el agua en los tratamientos con agregación de probióticos tuvieron valores inferiores a los tratamientos a los que no se le adicionó los microorganismos, pero sin demostrar diferencias significativas. Además, se puede observar valores de cero en el muestreo 6, después de tener un alza en el muestreo 4 y muestreo 5, esto representa el cumplimiento del ciclo del

nitrógeno al transformarse (Figura 5). En el Cuadro 6, muestra las medias de amoniaco durante el experimento sin demostrar diferencia estadística en ninguno de los muestreos, al igual que la interacción en esta variable no demostró significancia con la relación de muestreo y tratamiento (Anexo G).

Figura 5

Gráfica de amoniaco (ppm) por muestreos a través del tiempo



Cuadro 6

Medias de amoniaco (ppm) durante el experimento

Tratamiento	Media \pm D.E.	C.V%	Probabilidad
Control	0.58 \pm 0.79	163.47	0.17
Probióticos 1%	0.30 \pm 0.53		
<i>Ad libitum</i>	0.43 \pm 1.08		
<i>Ad libitum</i> + Probióticos 1%	0.73 \pm 0.82		

Nota. D.E.=Desviación estándar, CV=Coficiente de variación

El amonio no ionizado es un metabolito tóxico para los peces, el cual genera estrés y menor tasa de crecimiento. Los datos encontrados se asemejan a los encontrados por Hoyos (2020) donde se muestra que con la agregación de probióticos es menor la cantidad de amoniaco encontrado. Esto debido a las condiciones aeróbicas que se encuentran en los tanques, que con la ayuda de los

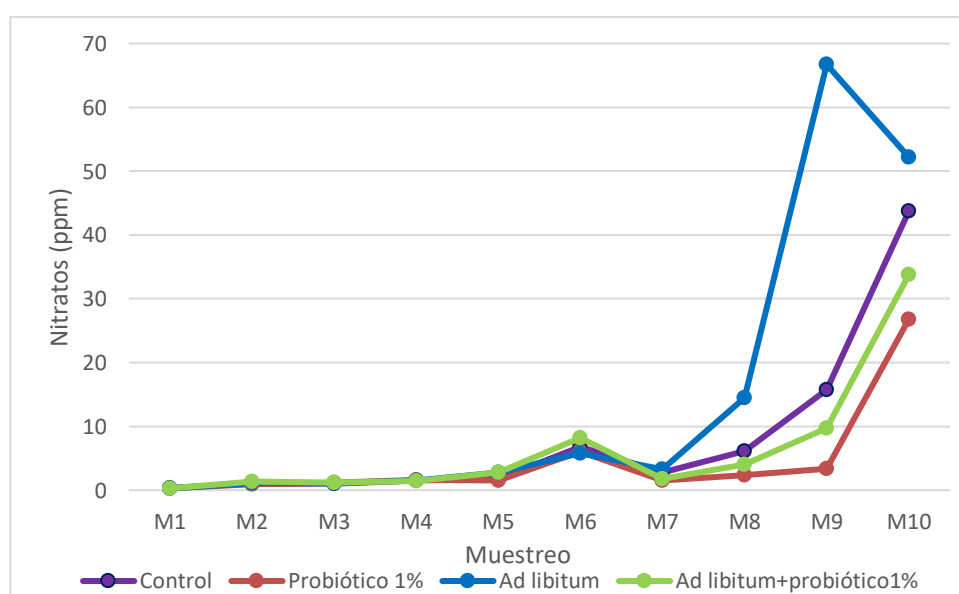
microorganismos probióticos disminuyen los compuestos nitrogenados. Los microorganismos del género *Bacillus* participan en el ciclo del nitrógeno, al tener una baja disponibilidad de oxígeno los microorganismos son receptores de electrones para el proceso de su respiración, donando moléculas de carbono dentro de este proceso (Rodríguez, 2021). El descenso del muestreo 5 al muestreo 6 se puede deber a las excretas acumuladas y la transformación de las moléculas de amoníaco durante la diferencia de días de muestreo.

Nitratos

La Figura 6 muestra los datos de las medias de nitratos a través del tiempo, donde se observa que se mantuvieron constantes durante los primeros cinco muestreos y un crecimiento en el muestreo 6 (antes que se realizara recambio de agua), luego se ve un mayor incremento en los tratamientos sin agregación de probióticos solamente Presentando diferencias significativas (Cuadro 7) durante el muestreo 9 (Cuadro 8) donde la mayor cantidad es representada por el tratamiento *ad libitum*, seguido del control que tiene una tendencia a incrementar, también en el Anexo H se observa la interacción que hubo entre los muestreos y tratamientos.

Figura 6

Gráfica de medias de nitratos (ppm) por muestreo a través del tiempo



Cuadro 7

Medias nitratos (ppm) durante el experimento

Tratamiento	Media \pm D.E.	C.V%	Probabilidad
Control	8.09 \pm 13.81	182.5	<0.000
Probióticos 1%	4.55 \pm 9.05		
<i>Ad libitum</i>	14.91 \pm 23.57		
<i>Ad libitum</i> + Probióticos 1%	6.45 \pm 9.85		

Nota. D.E.=Desviación estándar, CV=Coficiente de variación

Cuadro 8

Medias de nitratos durante el muestreo 9

Tratamiento	Media \pm D.E.	C.V%	Probabilidad
Control	15.70 \pm 16.00	182.5	<0.000
Probióticos 1%	3.39 \pm 1.18		
<i>Ad libitum</i>	66.71 \pm 0.48		
<i>Ad libitum</i> + Probióticos 1%	9.69 \pm 0.43		

Nota. D.E.=Desviación estándar, CV=Coficiente de variación, Se tomaron de CV y probabilidad del parámetro.

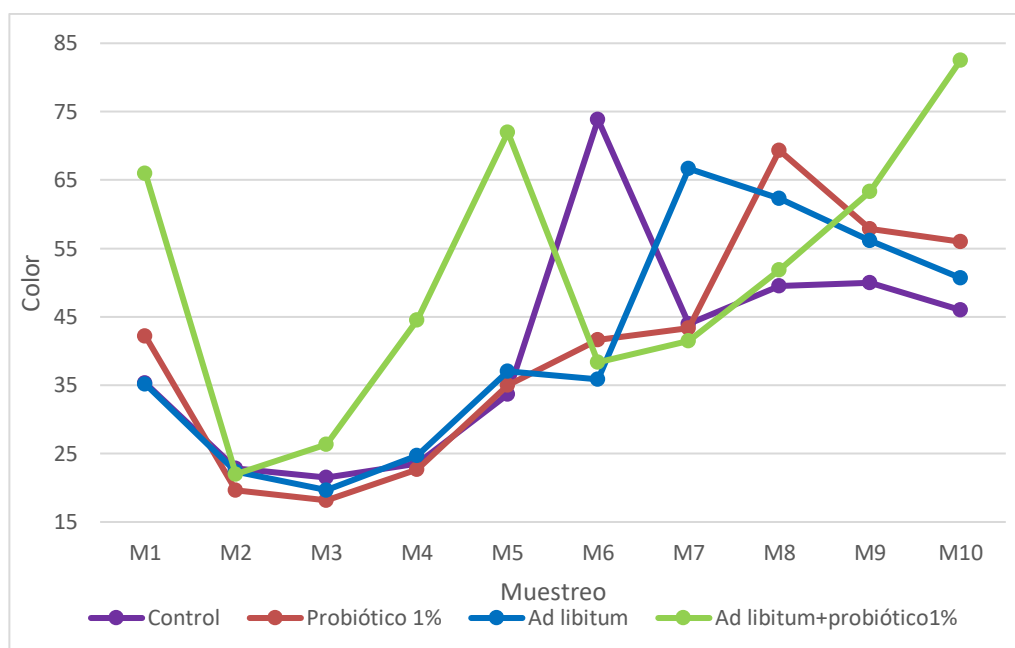
Para Boyd (2015) el nitrato es un compuesto intermediario del proceso de nitrificación, donde el amonio es oxidado por diferentes bacterias para pasar a nitratos. El nitrato es un compuesto tóxico para los peces porque pueden llegar a oxidar la hemoglobina. Los microorganismos de género *Bacillus* se caracterizan por reducir el nitrato a gas nitrógeno (Espinoza, 2017). Los resultados encontrados no concuerdan con los expuestos por Méndez (2018) observan una diferencia significativa en la concentración de nitritos con la agregación de probióticos. De igual forma Hoyos (2020) encontró una reducción en este parámetro representado una diferencia significativa, donde tuvo una media de 0.02 mg/L en el tratamiento con probióticos y un 0.56 mg/L en el tratamiento control.

Color Verdadero

El color es parámetro en el cual se toma solamente las partículas disueltas eliminando la turbiedad, en la Figura 7 se muestran los valores de color expresado en Pt-Co (escala platino cobalto), donde se observa que el tratamiento de *ad libitum* + probióticos 1% tiene la cantidad más alta, durante el experimento, y el menor fue el control, pero sin encontrarse diferencias significativas durante el experimento (Cuadro 9).

Figura 7

Gráfica de medias de color aparente (Pt-Co) por muestreo a través del tiempo



Nota. Pt-Co=Platino-cobalto

Cuadro 9

Medias color (mg/L Pt-Co) durante el experimento

Tratamiento	Media \pm D.E.	C.V%	Probabilidad
Control	40.01 \pm 18.60	52.31	0.154
Probióticos 1%	40.58 \pm 18.03		
Ad libitum	41.05 \pm 21.75		
Ad libitum + Probióticos 1%	50.83 \pm 29.33		

Nota. D.E.=Desviación estándar, CV=Coficiente de variación

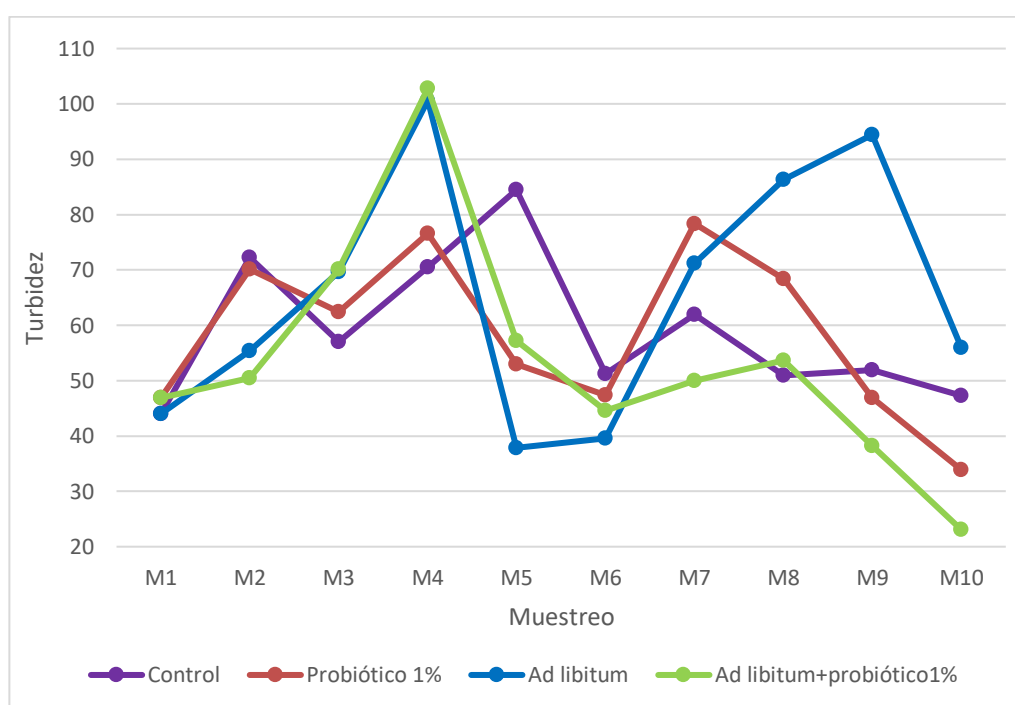
Boyd (2015) dice que las partículas suspendidas pueden impartir en diferentes tonos en el color aparente, por el fitoplancton puede cambiar a colores verde, verde azulado, amarillo, entre otros. Por la cantidad de microorganismos y la melaza aplicada hizo que cambiara el color a tonalidades más oscuras, por ello, los tratamientos con probióticos tienen el color más alto en esta escala.

Turbidez

La Figura 8, se observan los datos de medias de la turbidez a través de los muestreos, donde se observa que los tratamientos con alimentación *ad libitum* tuvieron los valores más altos antes del recambio de agua, en cambio, luego el tratamiento *ad libitum* + probióticos 1% tuvo la menor turbidez y *ad libitum* el mayor seguido del control. Sin encontrar diferencia significativa en ninguno de los muestreos (Cuadro 10).

Figura 8

Gráfica de medias de turbidez (NTU) por muestreo a través del tiempo



Cuadro 10

Medias de turbidez (NTU) durante el experimento

Tratamiento	Media \pm D.E.	C.V%	Probabilidad
Control	59.15 \pm 19.00	43.79	0.423
Probióticos 1%	58.39 \pm 24.73		
<i>Ad libitum</i>	65.49 \pm 30.91		
<i>Ad libitum</i> + Probióticos 1%	53.69 \pm 27.47		

Nota. D.E.=Desviación estándar, CV=Coficiente de variación

La turbiedad representa la cantidad de luz que traspasa en una muestra de agua, lo cual depende de la cantidad de sólidos suspendidos que varía por su naturaleza ya sea, mineral u orgánico (Boyd, 2015). Además, la turbidez limita la habilidad para capturar el alimento, lo que generará más residuos al fondo del tanque incrementando la cantidad de materia orgánica (Rojas y Haws y Cabanillas, 2005). Esto afecta directamente en los demás parámetros de calidad de agua, por el desperdicio de comida lo que genera más nutrientes en el agua. Posiblemente en etapas de producción donde los animales sean más grandes se encuentren diferencias significativas en cuanto a nutrientes.

Parámetros de Desempeño Productivo

Ganancia de Peso

En el Cuadro 11, se muestran los resultados de la ganancia de peso con la adición de probióticos con dos tipos de alimentación. Se observa, que el tratamiento *ad libitum*+Probióticos1% es el que tuvo mejores resultados en la ganancia de peso teniendo diferencias significativas con respecto a los demás tratamientos, *ad libitum*, en cambio, tuvo la menor eficiencia en ganancia de peso durante el experimento. También, se muestran estadísticamente iguales el tratamiento control con respecto al tratamiento *ad libitum* + probióticos 1%.

Cuadro 11

Ganancia de Peso (g/pez) con agregación de probióticos

Tratamiento	N	Media \pm D.E.	C.V%	Probabilidad
Control	3	1.45 \pm 0.16 ^{bc}	20.02	0.003
Probióticos 1%	3	1.66 \pm 0.06 ^b		
<i>Ad libitum</i>	3	1.25 \pm 0.19 ^c		
<i>Ad libitum</i> + Probióticos 1%	3	1.99 \pm 0.20 ^a		

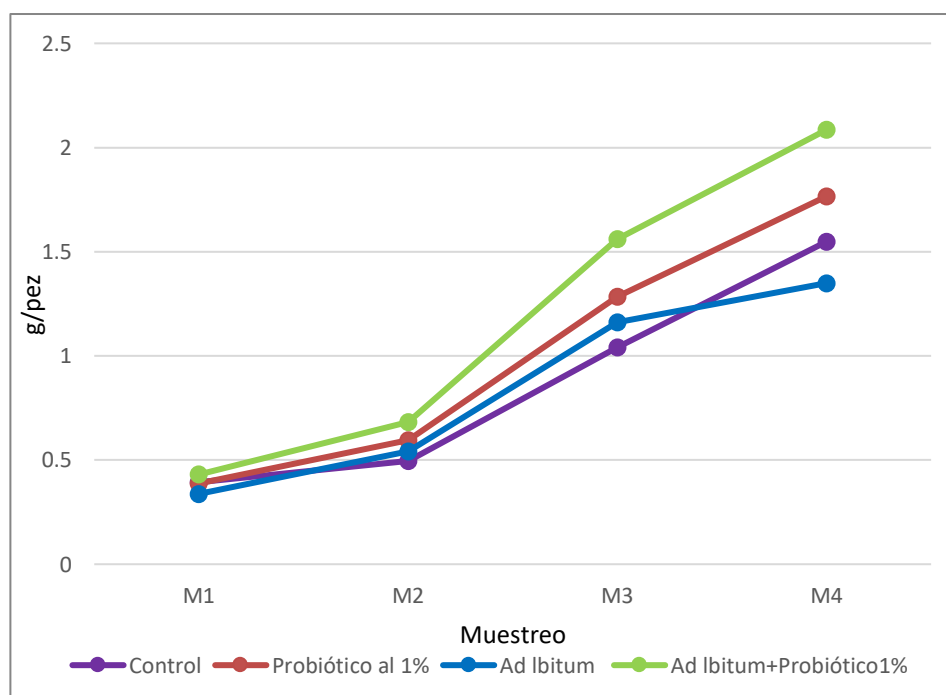
Nota. N=número de observaciones; GP=Ganancia de peso; a-b-c valores con diferencia significativa, valores con letras iguales son estadísticamente iguales, D.E.=desviación estándar; C.V.=Coeficiente de variación

En la Figura 9, se observa las medias de peso con respecto al tiempo, donde se puede visualizar el cambio que hubo entre los diferentes tratamientos y el mayor crecimiento en peso del tratamiento

de *ad libitum* + probióticos 1% se separa de los demás tratamientos, lo que se puede expresar como una mejor asimilación de nutrientes por la mejora de la micro biota intestinal, tal como menciona Elsabagh et al. (2018) que observaron una mejora en la morfología intestinal de la tilapia al agregar microorganismos probióticos a la dieta. Estos datos concuerdan con los observados por Guerra (2011) donde tuvo mejor ganancia de peso con la agregación de probióticos en comparación con el control. Al igual que Galdámez y Sáenz (2018) donde evaluaron dos niveles de probióticos y el mejor resultado lo encontraron con lo indicado por el proveedor. Hoyos (2020) quién no encontró diferencias significativas entre el control y el tratamiento con probióticos.

Figura 9

Gráfico de medias de Peso (g) a través del tiempo



Ganancia de Longitud

Ad libitum + probióticos 1% es el tratamiento que tuvo mejor eficiencia en el crecimiento de largo y seguido por el tratamiento probióticos 1% que son estadísticamente iguales ($P > 0.05$), a su vez, siendo estadísticamente diferentes al control y *ad libitum* donde no presentaron diferencias

significativas entre ellos, siendo el tratamiento *ad libitum* el que tuvo mayor media entre ambos (Cuadro 12).

Cuadro 12

Ganancia de longitud (cm) con agregación de probióticos

Tratamiento	N	Media \pm D.E.	C.V%	Probabilidad
Control	3	2.66 \pm 0.29 ^b	20.40	0.001
Probióticos 1%	3	3.54 \pm 0.31 ^a		
<i>Ad libitum</i>	3	2.72 \pm 0.25 ^b		
<i>Ad libitum</i> + Probióticos 1%	3	4.05 \pm 0.31 ^a		

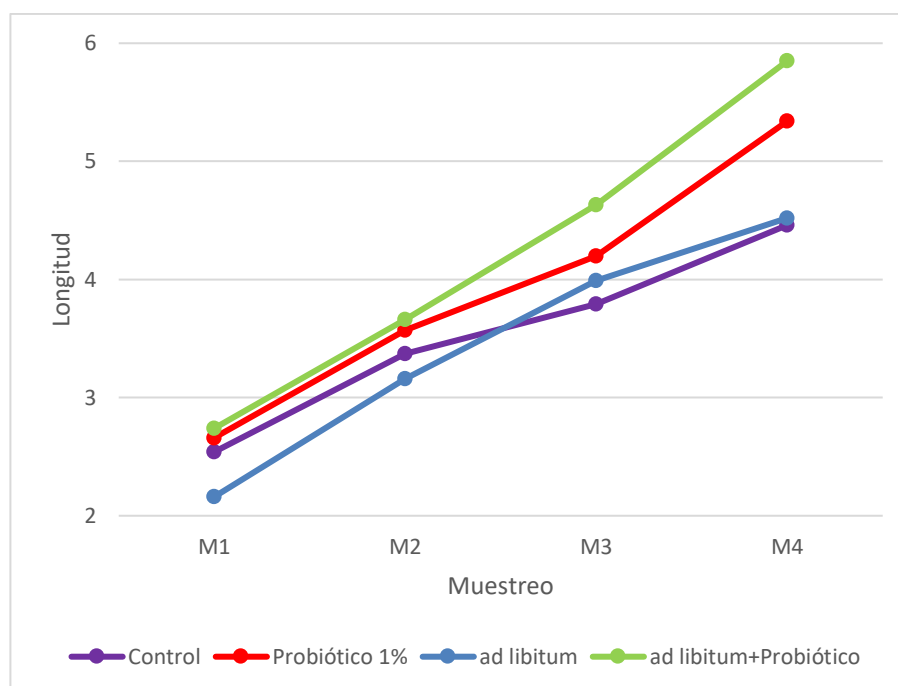
Nota. N=número de observaciones; GL=Ganancia de longitud; a-b-c valores con diferencia significativa, D.E.=desviación estándar;

C.V.=Coeficiente de variación

La Figura 10, muestra las medias de longitud a través del tiempo, concordando con el Cuadro 12, donde se menciona que la agregación de probióticos con el tipo de alimentación *ad libitum* muestra mejores resultados en la longitud. Concordando, con Gutiérrez et al. (2016) donde muestran que con la agregación de probióticos obtuvieron mejores resultados que los controles. A su vez, no concuerdan con los datos que encontraron Galdámez y Sáenz (2018) donde no encontraron diferencias significativas, pero si mostraron una mejoría con la agregación de probióticos. Los datos obtenidos son los esperados por la mejora en la asimilación de nutrientes, lo cual era lo esperado en el experimento.

Figura 10

Gráfico de medias de longitud (cm) a través del tiempo



Índice de Conversión Alimenticia

En el Cuadro 13, se muestran los valores resultantes de ICA para los cuatro tratamientos, donde se puede observar que el tratamiento *ad libitum* tuvo los peores resultados con 1.63, siendo estadísticamente diferente a los otros tres tratamientos, en cambio, el tratamiento probióticos1% muestra los mejores resultados con un ICA de 1.06.

Cuadro 13

Índice de conversión alimenticia con agregación de probióticos

Tratamiento	N	Media \pm D.E.	C.V.%	Probabilidad
Control	3	1.23 \pm 0.14 ^b	22.18	0.010
Probióticos 1%	3	1.06 \pm 0.04 ^b		
<i>Ad libitum</i>	3	1.63 \pm 0.29 ^a		
<i>Ad libitum</i> +Probióticos1%	3	1.08 \pm 0.10 ^b		

Nota. N=número de observaciones; a-b valores con diferencia significativa, D.E.=desviación estándar; C.V.=Coeficiente de variación

Los resultados obtenidos fueron los esperados donde la agregación de probióticos ayudó al crecimiento del pez, concordando con lo encontrado por Galdámez y Sáenz (2018) donde se muestra

una mejor eficiencia con la agregación de probióticos, en comparación al control. Los datos obtenidos son diferentes a los encontrados por Gutiérrez et al. (2016) donde los tratamientos sin inclusión de probióticos tuvieron una mejor conversión alimenticia que los que si tenían. Boyd (2022) menciona que la eficiencia en el la conversión alimenticia es una característica esencial para una producción acuícola. Estos datos se pudieron deber por la diferencia de alimento ofrecida en el tratamiento *ad libitum* donde al ser mayor la cantidad que se ofreció no tuvo el crecimiento esperado.

Mortalidad

En el Cuadro 14 se muestran los datos obtenidos en el conteo de mortalidad donde se encuentran diferencias ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos con adición de probióticos y los tratamientos donde no se añadieron los microorganismos. El tratamiento con menor porcentaje de mortalidad es el tratamiento de *ad libitum*+probióticos1% donde se encontró una media de 3.56 % de mortalidad y el tratamiento *ad libitum* tuvo las mayores tasas de mortalidad durante el experimento.

Cuadro 14

Porcentaje de mortalidad en el desempeño productivo

Tratamiento	N	Media (%) \pm D.E.	C.V%	Probabilidad
Control	3	10.66 \pm 2.40 ^a	61.95	0.001
Probióticos 1%	3	3.77 \pm 2.52 ^b		
<i>Ad libitum</i>	3	13.11 \pm 1.38 ^a		
<i>Ad libitum</i> +Probióticos1%	3	3.56 \pm 2.77 ^b		

Nota. N=número de observaciones; a-b valores con diferencia significativa, D.E.=desviación estándar; C.V.=Coeficiente de variación

Como se puede observar los tratamiento con probióticos son los que tuvieron tasas de mortalidad más bajas, esto puede ocurrir por la mejora de la microbiota y las diferencias en la morfología del intestino de la tilapia al agregar los microorganismo probióticos (Elsabagh et al., 2018). Al mismo tiempo, la mortalidad en los tratamientos sin probióticos pudo ocurrir por los cambios bruscos de temperatura que se observan entre la mañana y la tarde (Saavedra, 2006). Los datos obtenidos concuerdan con lo encontrado por Méndez (2018) donde encontró que las supervivencia era mayor al agregar probióticos a la dieta de la tilapia. En cambio Guerra (2011), no encontró

diferencias significativas entre el control y los tratamientos con probióticos. Al igual, que los valores encontrados por Galdámez y Sáenz (2018), donde tampoco encontraron diferencias significativas entre el tratamiento control y los tratamientos a los que se agregó probióticos. Con esto, se puede observar una mejora significativa con los tratamientos sin la adición de probióticos.

Estimación de costos del alimento por tratamiento

Para determinar los costos de alimentación se tomó como base el ICA encontrado en el presente estudio para conocer la cantidad aproximada de alimento y de probióticos que se utilizaron para el crecimiento de 1000 gramos en biomasa. Se tomaron los valores de costos variables donde se mostraron como costos variables la cantidad de alimento y la cantidad de probióticos proporcionado. Además, los costos fijos se agregó la energía eléctrica que se utiliza para el blower de oxigenación (Cuadro 15).

Cuadro 15

Costos de alimentación por kilogramo de biomasa para cada tratamiento expresado en dólares

Costos	Control	Probióticos 1%	<i>Ad libitum</i>	<i>Ad libitum</i> + probióticos 1%
Biomasa (g)	1,000	1,000	1,000	1,000
Alimento	1.25	1.08	1.66	1.10
Probióticos		0.48		0.49
Energía eléctrica	24.83	24.83	24.83	24.83
Total	26.08	\$6.39	26.49	26.42

Nota. El costo del alimento son precio por kilogramos; el precio es el costo de los gramos utilizados en el experimento.

Como se puede observar el tratamiento control tiene la menor generación de costos, seguido del tratamiento Probióticos 1%. Esto concuerda con Méndez (2018) donde tuvo mayores costos en los tratamientos con la agregación de probióticos, pero teniendo una mayor rentabilidad con la cosecha de los animales. Los tratamientos con alimentación *ad libitum* son los que se generaron mayor costo por la cantidad de alimento suministrada, pero teniendo el tratamiento *ad libitum* + probióticos 1% la mayor ganancia de peso. Por lo que, los costos aumentarán dependiendo de la cantidad de alimento, al igual que los probióticos que dependen de la cantidad de alimento, pero generando

mayor ganancia de peso con la adición de probióticos. Esto coincide con Melón (2021) donde encontró que los tratamientos con mayores costos fueron los que tuvieron más alimento suministrado.

Conclusiones

La adición de probióticos comerciales a la alimentación de tilapia contribuye a la reducción de las concentraciones medias de nutrientes disueltos en agua (nitratos y amoníaco) durante las etapas iniciales de la producción. Los mejores resultados se obtuvieron bajo alimentación *ad libitum* con adición de 1% de probiótico. Sin embargo, las diferencias no fueron estadísticamente significativas.

Los tratamientos con la adición de 1% probióticos obtuvieron los mejores resultados en los parámetros productivos evaluados, por lo que, con la adición de probióticos en el alimento, se obtienen mejores resultados en el desempeño productivo en la etapa de alevín.

Con la adición de probióticos los costos de producción aumentan por el costo adicional del producto, sin embargo, estos tratamientos presentaron mayores ganancias de peso, lo que podría representar una mejor rentabilidad que los tratamientos sin la adición de los microorganismos.

Recomendaciones

Es necesario realizar más ensayos sobre este tema agregando variables como nitrógeno total, nitritos y amonio. Además, evaluar la microbiología del agua para conocer el comportamiento de los probióticos en el agua.

Realizar ensayos con diferentes concentraciones del probiótico comercial para observar y verificar la máxima tasa de crecimiento de los animales y la reducción de nutrientes para eficientizar el uso del producto.

Extender la duración del experimento hasta de pre-engorde o engorde para determinar si durante un ciclo completo se mantiene la misma tendencia en los factores productivos y en los parámetros de calidad de agua, y conocer si se encuentran diferencias significativas en otras etapas.

Llevar el experimento a una etapa de cosecha para contabilizar los ingresos obtenidos y la rentabilidad que se puede tener con la adición de probióticos en la producción de tilapia.

Referencias

- Baeza, E. (2016). *Calidad del Agua*. Chile. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. https://www.bcn.cl/asesoriasparlamentarias/detalle_documento.html?id=70193
- Boyd, C. E. (2015). *Water Quality*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-17446-4>
- Boyd, C. E. (2022). Un bajo índice de conversión alimenticia es el principal indicador de una acuicultura eficiente: El profesor Boyd analiza la tasa de conversión alimenticia y los beneficios de reducirla. *Alliance*. <https://www.globalseafood.org/advocate/un-bajo-indice-de-conversion-alimenticia-es-el-principal-indicador-de-una-acuicultura-eficiente/#:~:text=Los%20FCR%20t%C3%ADpicos%20oscilan%20entre,en%20los%20sistemas%20de%20cultivo.>
- Cantor, F. *Manual de producción de Tilapia*. Puebla, México. Secretaría de Desarrollo Rural del Estado de Puebla.
- Cao, L., Wang, W., Yang, Y., Yang, C., Yuan, Z., Xiong, S. y Diana, J. (2007). Environmental impact of aquaculture and countermeasures to aquaculture pollution in China. *Environmental Science and Pollution Research International*, 14(7), 452–462. <https://doi.org/10.1065/espr2007.05.426>
- Castelló, F. (2013). *Piscicultura marina en Latinoamérica.: Bases científicas y técnicas para su Desarrollo*. Univeritat de Barcelona- Publicacions i Edicions.
- Cox, B. (2003). A review of currently available in-stream water-quality models and their applicability for simulating dissolved oxygen in lowland rivers. *The Science of the Total Environment*, 314-316, 335–377. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(03\)00063-9](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(03)00063-9)
- Dawood, M. A., Koshio, S., Abdel-Daim, M. M. y van Doan, H. (2019). Probiotic application for sustainable aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 11(3), 907–924. <https://doi.org/10.1111/raq.12272>
- Elsabagh, M., Mohamed, R., Moustafa, E., Hamza, A., Farrag, F., Decamp, O., Dawood, M. A., Eltholth, M. y Moustafa, E. M. (2018). Assessing the impact of Bacillus strains mixture probiotic on water quality, growth performance, blood profile and intestinal morphology of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture Nutrition*, 24(6), 1613–1622. <https://doi.org/10.1111/anu.12797>
- Espinoza, I. (2017). *Usos y aplicaciones de probióticos en el cultivo de camarón y sus mecanismos de acción*. Universidad Técnica de Machala, Machala. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/10511>
- Fry, J. P., Mailloux, N. A., Love, D. C., Milli, M. C. y Cao, L. (2018). Feed conversion efficiency in aquaculture: do we measure it correctly? *Environmental Research Letters*, 13(2), 24017. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaa273>
- Galdámez, J. W. y Sáenz-Osorio, R. E. (2018). *Evaluación de dos niveles de próbiotico (Bacillus subtilis) en alimentación de tilapia (Oreochromis niloticus) en fase juvenil*. Universidad de El Salvador. <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/14876/1/13101648.pdf>

- García, R. y Sanchez, I. A. (2015). Evaluación de diferentes drenajes en tanques circulares para cultivo de trucha en sistemas de recirculación. *Biología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial*, 13(2), 30. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(13\)30-39](https://doi.org/10.18684/BSAA(13)30-39)
- Gatesoupe, F. J. (2000). Uso de probióticos en acuicultura. *Avances En Nutrición Acuicola*, 463–472. https://www.uanl.mx/utillerias/nutricion_acuicola/IV/archivos/27gates.pdf
- Guerra, L. (2011). *Efecto de la adición de un probiótico (Bacillus subtilis) en la alimentación de tilapia nilótica (Oreochromis niloticus), durante la fase juvenil en la aldea Madre Vieja, Taxisco, Santa Rosa, Guatemala* [Tesis de pre grado]. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/2884/>
- Gutiérrez, L. A., Ruales, C. A., Montoya, O. I. y Betancur, E. (2016). Efecto de la inclusión en la dieta de probióticos microencapsulados sobre algunos parámetros zootécnicos en alevinos de tilapia roja (*Oreochromis sp.*). *Salud Animal*, 38(2), 112–119.
- Hernández, L. E., Londoño Velez, J. I., Hernández García, K. A. y Torres Hernández, L. C. (2019). Los sistemas biofloc: una estrategia eficiente en la producción acuícola. *CES Medicina Veterinaria Y Zootecnia*, 14(1), 70–99. <https://doi.org/10.21615/cesmvz.14.1.6>
- Hoyos, J. d. J. (2020). *Efecto de un probiótico comercial activado en un sistema de cultivo de tilapia roja (Oreochromis sp.), en el municipio de Momi, Córdoba, Colombia* [Tesis de Maestría]. Universidad de Córdoba, Colombia.
- Kahle, E.-M., Zarnkow, M. y Jacob, F. (2021). Beer Turbidity Part 1: A Review of Factors and Solutions. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 79(2), 99–114. <https://doi.org/10.1080/03610470.2020.1803468>
- Marcillo, T. (2017). *Uso de Bacillus subtilis y Rhodotorula sp. como promotores de crecimiento en alevinos de tilapia gris (Oreochromis niloticus)* [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana-Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6109/1/CPA-2017-064.pdf>
- Mariano, M., Huaman, P., Mayta, E., Montoya, H. y Chanco, M. C. (2011). Contaminación producida por piscicultura intensiva en lagunas andinas de Junín, Perú. *Revista Peruana De Biología*, 17(1). <https://doi.org/10.15381/rpb.v17i1.63>
- Melón, N. (2021). *Rendimiento productivo y económico de la tilapia roja (Oreochromis sp.) en Colombia: comparación de cuatro concentrados comerciales* [Tesis], Colombia. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/55123/Trabajo%20de%20grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Méndez, F. (2018). *Efecto de la adición de probióticos en un cultivo Comercial de Tilapia para el mejoramiento del crecimiento y volúmenes de producción* [Tesis para Maestro en desarrollo Agropecuario Sustentable]. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México. <http://ri.ujat.mx/handle/20.500.12107/3457>
- Merga, L. B., Mengistie, A. A., Faber, J. H. y van den Brink, P. J. (2020). Trends in chemical pollution and ecological status of Lake Ziway, Ethiopia: a review focussing on nutrients, metals and pesticides. *African Journal of Aquatic Science*, 45(4), 386–400. <https://doi.org/10.2989/16085914.2020.1735987>

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2016). *El Estado mundial de la pesca y acuicultura: Contribución a la Seguridad Alimentaria y la Nutrición para todos*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/3/i5555s/i5555s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2022). *Versión resumida de El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022* (FAO). FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0463es>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y Organización Mundial de la Salud. (2006). *Probióticos en los alimentos: Propiedades saludables y nutricionales y directrices para la evaluación* (núm. 85). Roma. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/3/a0512s/a0512s.pdf>
- Organización Panamericana de la Salud. (2021). *Situación del marco para la seguridad del agua de consumo humano en América Latina y el Caribe*. Pan American Health Organization. <https://doi.org/10.37774/9789275324554>
- Rahman, M. L., Shahjahan, M. y Ahmed, N. (2021). Tilapia Farming in Bangladesh: Adaptation to Climate Change. *Sustainability*, 13(14), 7657. <https://doi.org/10.3390/su13147657>
- Rodrigues, P. T. (2021). *Avaliação da aplicação da espécie Bacillus subtilis no tratamento de meio sintético com alta carga nitrogenada* [Tesis de pos grado]. ESCOLA POLITÉCNICA, Porto Alegre. <https://repositorio.pucrs.br/dspace/bitstream/10923/20790/1/000502099-Texto%2Bcompleto-0.pdf>
- Rojas, A. A. y Haws, M.C. y Cabanillas, J.A. ed. (2005). *Buenas Prácticas de Manejo Para el Cultivo de Camarón: Proyecto: Prácticas de Desarrollo Sostenible en Ambientes Costeros de Prioridad de los Ecosistemas del Golfo de California Marinas Recreativas y Maricultura*. https://www.crc.uri.edu/download/PKD_good_mgt_field_manual.pdf
- Ross, S., Westerfield, R. y Jordan, B. (2010). *Fundamentos de finanzas corporativas* (Novena).
- Saavedra, M. A. (2006). *Manejo del cultivo de tilapia*. Nicaragua. <https://www.crc.uri.edu/download/MANEJO-DEL-CULTIVO-DE-TILAPIA-CIDEA.pdf>
- Velasco, P. I., Calvario Martínez, O., PulidoFlores, G., Acevedo Sandoval, O., Castro Rosas, J. y Román-Gutiérrez, A.D. (2012). Problemática Ambiental de la Actividad Piscícola en el Estado de Hidalgo, México., Artículo 11. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46725267007>
- Zhao, J., Ling, Y., Zhang, R., Ke, C. y Hong, G. (2018). Effects of dietary supplementation of probiotics on growth, immune responses, and gut microbiome of the abalone *Haliotis diversicolor*. *Aquaculture*, 493, 289–295. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.05.011>
- Zhao, Y., Yang, Z. y Li, Y. (2010). Investigation of water pollution in Baiyangdian Lake, China. *Procedia Environmental Sciences*, 2, 737–748.

Anexos

Anexo A

Perfil comercial alimenticio para tilapia de la empresa de Alimentos Concentrados Nacionales

(ALCON) utilizada para establecer la ración de alimento ofrecida

PROGRAMA DE ALIMENTACIÓN PARA TILAPIA, PERFIL COMERCIAL

"La Distancia Más Corta al Mercado"

Guía de Alimentación por Etapa de Crecimiento

Programa Alimentación Alimento	Partícula	Etapa de Vida	Peso del Pez gramos	Tasa de Alimentación		Raciones por día	Crecimiento g/día	Conversión Acumulada	Días de Cultivo
				% Peso vivo	Libras/mil peces				
Tilapia 45%	L-0	Reversión	0.01 - 0.8	a voluntad		8			
Tilapia 45%	L-1	Pre-cría	1.0 - 5.0	13.0%	0.86	8	0.5	0.66	8
Tilapia 45%	L-2	Pre-cría	5.0 - 10.0	8.0%	1.32	6	0.5	0.96	19
Tilapia 45%	L-2	Pre-cría	10.0 - 15.0	7.0%	1.93	6	0.6	1.16	28
Tilapia 45%	L-3	Pre-cría	15.0 - 25.0	6.0%	2.64	6	0.7	1.34	41
T-38% Starter	E-0	Inicio	25.0 - 40.0	6.0%	3.58	4	1.1	1.39	55
T-38% Starter	E-0	Inicio	40.0 - 60.0	4.0%	4.41	4	1.4	1.4	69
T-38% Starter	E-0	Inicio	60.0 - 80.0	3.0%	4.63	4	1.6	1.38	82
T-32% Grower	E-2	Desarrollo	80.0 - 100.0	2.8%	5.5	3	1.5	1.44	95
T-32% Grower	E-2	Desarrollo	100.0 - 200.0	2.3%	7.6	3	2.3	1.46	138
T-32% Grower	E-2	Desarrollo	200.0 - 300.0	2.0%	11.01	3	3.4	1.46	167
T-32% Grower	E-2	Desarrollo	300.0 - 400.0	1.8%	13.88	3	3.7	1.53	195
T-28% Finisher	E-2	Engorde	400.0 - 500.0	1.7%	16.85	3	4	1.60	220
T-28% Finisher	E-2	Engorde	500.0 - 600.0	1.6%	19.38	3	4.5	1.67	242
T-28% Finisher	E-2	Engorde	600.0 - 700.0	1.6%	22.19	3	4.8	1.73	263
T-28% Finisher	E-2	Engorde	700.0 - 800.0	1.5%	24.78	3	5.6	1.77	281
T-24% Harvest	E-3	Cosecha o Mantenimiento		1.5%		3	2.5		

Anexo B

Interacción de Temperatura

Factores	Am		Factores	Pm	
	F	Probabilidad		F	Probabilidad
Tratamiento	1.313	0.354	Tratamiento	1.123	0.411
Muestreo	32.478	0.000	Muestreo	13.205	0.000
Tratamiento *Muestreo	1.061	0.365	Tratamiento* Muestreo	1.417	0.020
R ²	0.779		R ²	0.088	
C.V%	4.11		C.V%	4.77	

Anexo C

Interacción saturación de oxígeno disuelto

Factores	Am		Factores	Pm	
	F	Probabilidad		F	Probabilidad
Tratamiento	7.203	0.021	Tratamiento	9.006	0.001
Muestreo	27.904	0.000	Muestreo	27.776	0.000
Tratamiento *Muestreo	1.140	0.230	Tratamiento* Muestreo	1.363	0.003
R ²	0.796		R ²	0.195	
C.V%	17.40		C.V%	16.71	

Anexo D*Interacción de pH*

Factores	F	Probabilidad
Tratamiento	2.223	0.186
Muestreo	87.230	0.000
Tratamiento*Muestreo	0.951	0.545
R ²	0.874	
C.V%	5.04	

Anexo E*Interacción de Sólidos totales disueltos*

Factores	F	Probabilidad
Tratamiento	1.053	0.435
Muestreo	481.097	0.000
Tratamiento*Muestreo	0.376	0.996
R ²	0.952	
C.V%	18.96	

Anexo F*Interacción de transparencia*

Factores	F	Probabilidad
Tratamiento	9.252	0.011
Muestreo	17.701	0.000
Tratamiento*Muestreo	2.279	0.005
R ²	0.710	
C.V%	17.67	

Anexo G*Interacción de amoniaco*

Factores	F	Probabilidad
Tratamiento	2.369	0.170
Muestreo	8.963	0.000
Tratamiento*Muestreo	1.260	0.232
R ²	0.622	
C.V%	163.47	

Anexo H*Interacción de nitratos*

Factores	F	Probabilidad
Tratamiento	24.139	0.0009
Muestreo	86.827	0.0000
Tratamiento*Muestreo	10.788	0.0000
R ²	0.933	
C.V%	182.5	

Anexo I*Interacción de color*

Factores	F	Probabilidad
Tratamiento	2.525	0.154
Muestreo	7.198	0.000
Tratamiento*Muestreo	1.369	0.162
R ²	0.592	
C.V%	52.31	

Anexo J*Interacción de turbidez*

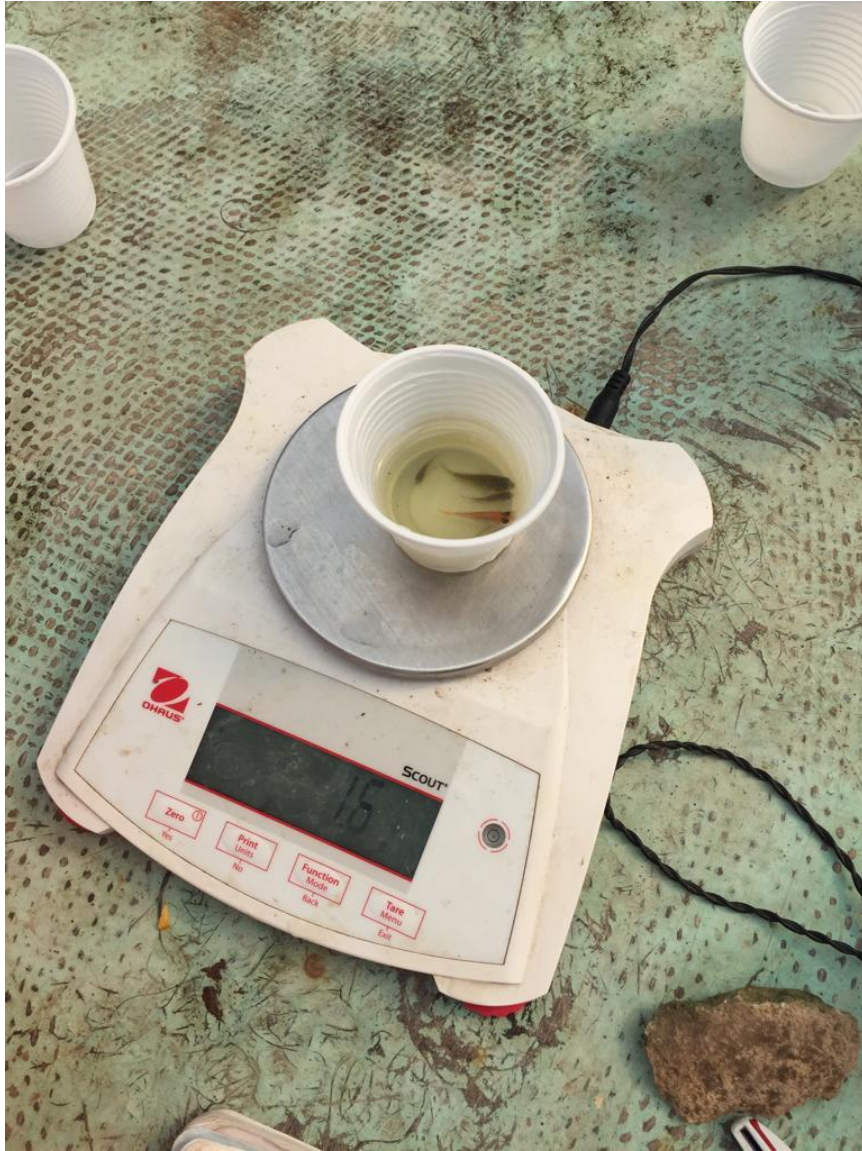
Factores	F	Probabilidad
Tratamiento	1.087	0.423
Muestreo	6.576	0.000
Tratamiento*Muestreo	1.144	0.329
R ²	0.483	
C.V%	43.79	

Anexo K

Recambio de agua después del muestreo de agua seis



Anexo L*Alevín contaminado con Saprolegnia*

Anexo M*Pesaje de alevines para muestreo*

Anexo N

Tallaje de alevines para los muestreos



Anexo O

Peces pasados por agua con sal para evitar enfermedades



Anexo P

Ubicación de los tanques utilizados en el experimento



Anexo Q*Muestras de amoniaco antes y después de titulación*

Anexo R*Concentración de bacterias en el producto*

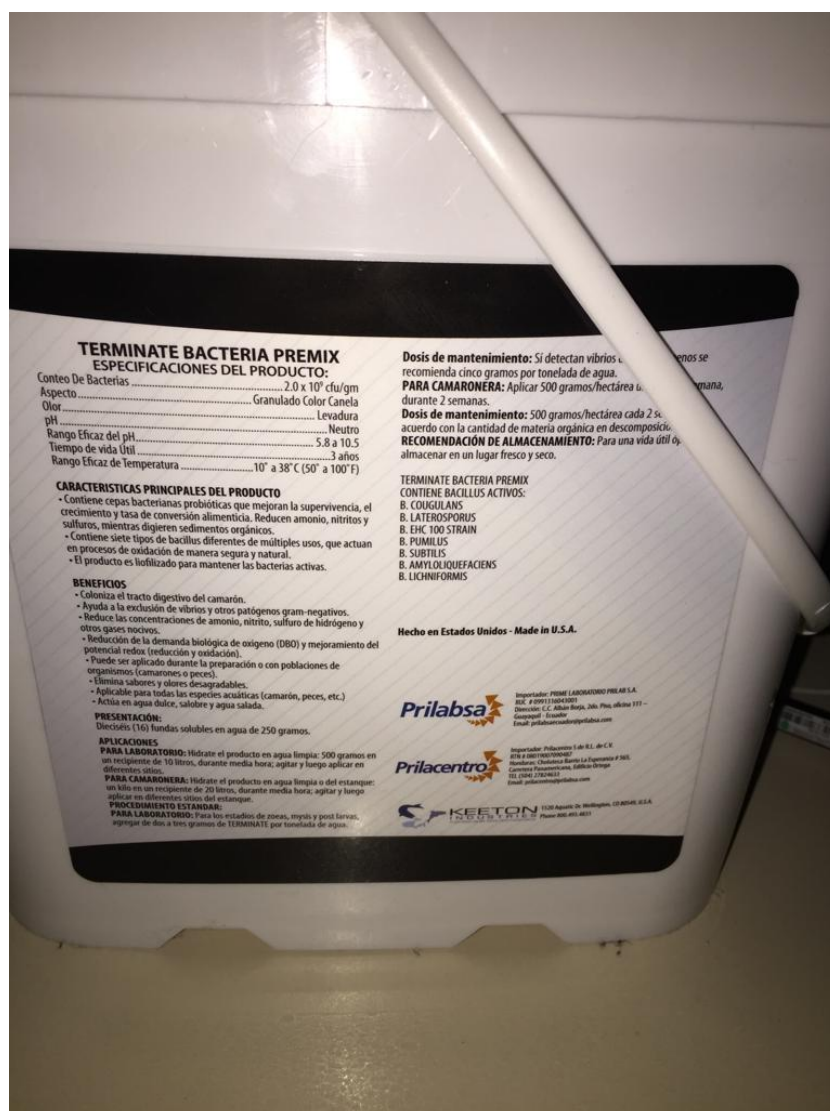
Microorganismos	Concentraciones (ufc/g)
<i>Bacillus subtilis</i>	6.3-7.7 x10 ⁸
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	7.1-7.9 x10 ⁸
<i>Bacillus pumilus</i>	4.6-5.4 x 10 ⁸
<i>Bacillus licheniformes</i>	2.1-2.9 x 10 ⁸

Nota. Datos del proveedor; ufc=unidades formadoras de colonia

Anexo S

Especificaciones para el uso del producto comercial de probióticos

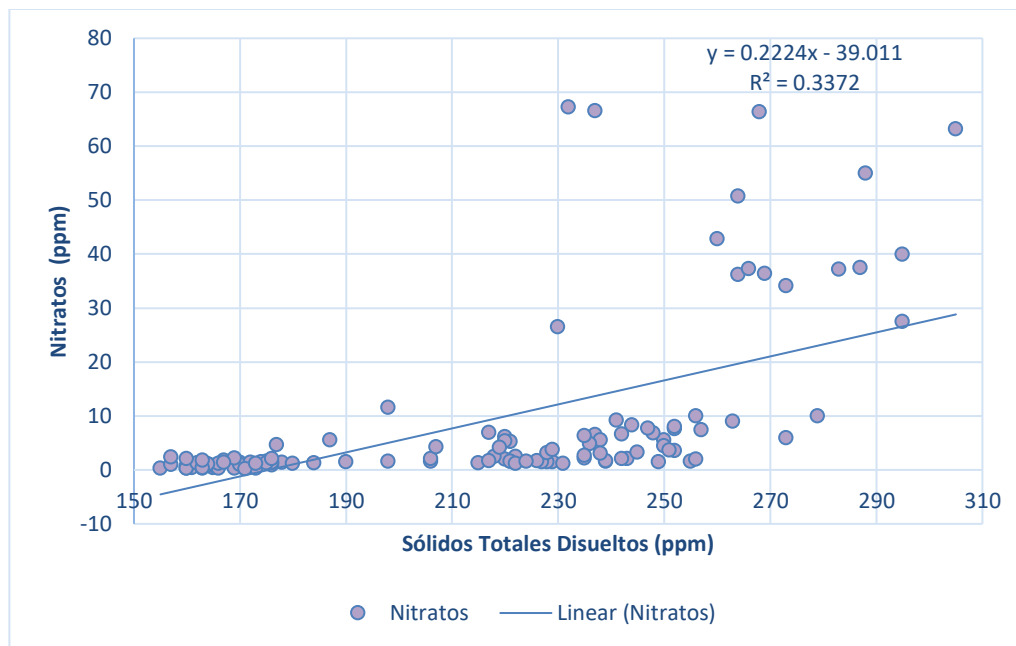
Especificación	Observación
Aspecto	Granulado color café
Olor	Levadura
pH	Neutro
Rango eficaz de pH	5.8 a 10.5
Rango eficaz de temperatura	10° a 38° C



Anexo T

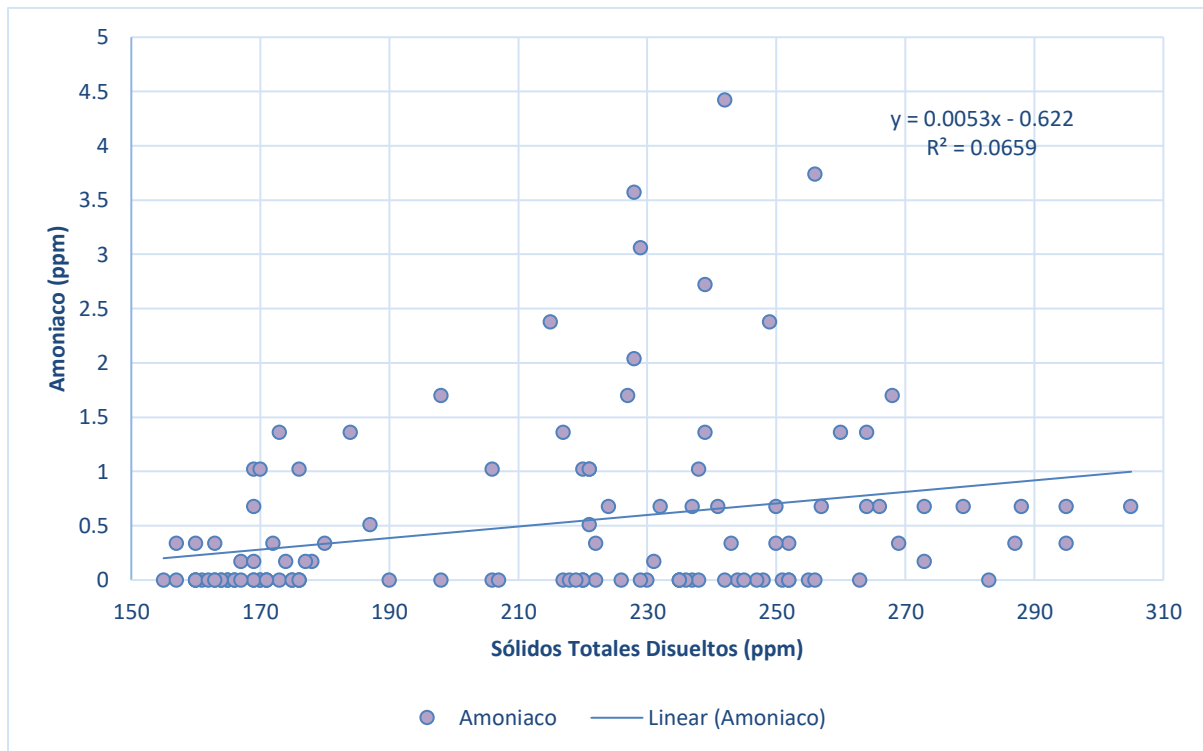
Correlación de Pearson y regresión lineal para Sólidos Totales Disueltos y Nitratos

Parámetros	Probabilidad	Correlación	Confianza mínima	Confianza máxima
TDS (ppm)* Nitratos	0.004	0.26	0.081	0.417



Anexo U

Correlación de Pearson y regresión lineal para Sólidos Totales Disueltos y Amoniaco



Parametros	Probabilidad	Correlación	Confianza mínima	Confianza máxima
TDS (ppm)* Amoniaco	0.000	0.58	0.448	0.688