

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano**  
**Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria**  
**Ingeniería Agronómica**



**Proyecto Especial de Graduación**  
**Biorremediación con Bacterias (*Bacillus sp.*) en el Cultivo de Tilapia Gris**  
**(*Oreochromis niloticus*)**

Estudiantes

Miguel Antonio Mosquera Piedrahita

Emilio José Solís Salas

Asesores

Patricio E. Paz, Ph.D.

Carolina Avellaneda, Ph.D.

Honduras, noviembre 2024

**Autoridades**

**SERGIO ANDRÉS RODRÍGUEZ ROYO**

Rector

**ANA M. MAIER ACOSTA**

Vicepresidenta y Decana Académica

**CELIA O. TREJO RAMOS**

Directora Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria

**JULIO NAVARRO**

Secretaría General

## Contenido

Índice de Cuadros .....	5
Índice de Anexos .....	6
Resumen .....	7
Abstract .....	8
Introducción .....	9
Materiales y Métodos .....	13
Ubicación y Duración del Experimento .....	13
Unidades Experimentales .....	13
Siembra de Alevines .....	13
Alimentación de los Alevines .....	14
Calidad de Agua .....	15
Medición Diaria .....	15
Temperatura .....	15
Oxígeno Disuelto .....	15
Evaluación Semanal .....	16
Amonio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) .....	16
Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) .....	16
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) .....	17
Potencial de Hidrógeno (pH) .....	17
BIO BPBS .....	17
Muestreo y Ganancia de Peso .....	17
Índice de Conversión Alimenticia .....	18
Resultados y Discusión .....	19
Conclusiones .....	28

	4
Recomendaciones.....	29
Referencias.....	30
Anexos.....	34

### Índice de Cuadros

Cuadro 1 Media y rango de las variables de temperatura y oxígeno disuelto en la evaluación de los probióticos para biorremediación en tilapia gris ( <i>Oreochromis niloticus</i> ) en etapa de juvenil. ....	20
Cuadro 2 Calidad de agua en la evaluación en la semana 1 del probiótico para biorremediación en la producción de tilapia gris ( <i>Oreochromis niloticus</i> ) en etapa de juvenil. ....	22
Cuadro 3 Calidad de agua en la evaluación en la semana 2 del probiótico para biorremediación en la producción de tilapia gris ( <i>Oreochromis niloticus</i> ) en etapa de juvenil. ....	24
Cuadro 4 Calidad de agua en la evaluación en la semana 3 del probiótico para biorremediación en la producción de tilapia gris ( <i>Oreochromis niloticus</i> ) en etapa de juvenil. ....	26
Cuadro 5 Datos productivos en la evaluación de probióticos para biorremediación en la producción de tilapia gris ( <i>Oreochromis niloticus</i> ) en etapa de juvenil. ....	27

**Índice de Anexos**

Anexos Anexo A <i>Preparación de suelo de los estanques</i> .....	34
Anexo B Aplicación de producto BIOBPBS® .....	35
Anexo C Estanque 17 se hizo selección y pesaje de los alevines .....	36
Anexo E Pesaje final de alevines .....	37
Anexo F Determinación de calidad de agua .....	38
Anexo G Cuadro de Dietas Unidad de Acuicultura .....	39

## Resumen

El cultivo intensivo de tilapia gris (*Oreochromis niloticus*) plantea desafíos significativos en la gestión de la calidad del agua, particularmente en la acumulación de compuestos tóxicos como amonio y nitritos. Este estudio evaluó la eficacia de un probiótico comercial, BIO BPBS®, compuesto por bacterias del género *Bacillus* (*Bacillus subtilis*, *Bacillus pumilus* y *Bacillus megaterium*), en la mejora de la calidad del agua y el crecimiento de tilapia en un sistema de cultivo intensivo. Se utilizaron doce tanques experimentales de 200 litros divididos en dos tratamientos: con y sin probióticos. Se monitorearon parámetros clave del agua, como temperatura, oxígeno disuelto, pH, amonio, nitritos y nitratos, durante un período de cuatro semanas. Los resultados mostraron que los tanques tratados con probióticos presentaron concentraciones significativamente menores de amonio y nitritos, mejorando la calidad del agua en comparación con los tanques control. Además, los peces en los tanques tratados con probióticos mostraron una mayor ganancia diaria de peso y una mejor eficiencia en la conversión alimenticia. Estos hallazgos sugieren que el uso de probióticos contribuye a mantener un ambiente acuático más saludable, reduciendo la necesidad de cambios de agua y productos químicos. El uso de probióticos representa una estrategia prometedora para mejorar la sostenibilidad y eficiencia en los sistemas de acuicultura intensiva.

*Palabras clave:* Acuicultura, biorremediación, *Bacillus* spp., calidad del agua, sostenibilidad acuícola.

### Abstract

The intensive farming of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) poses significant challenges in water quality management, particularly in the accumulation of toxic compounds such as ammonia and nitrites. This study evaluated the efficacy of a commercial probiotic, BIO BPBS<sup>®</sup>, composed of *Bacillus* bacteria (*Bacillus subtilis*, *Bacillus pumilus*, and *Bacillus megaterium*), in improving water quality and tilapia growth in an intensive farming system. Twelve 200-liter experimental tanks were used, divided into two treatments: with and without probiotics. Key water parameters, such as temperature, dissolved oxygen, pH, ammonia, nitrites, and nitrates, were monitored over a four-week period. The results showed that tanks treated with probiotics had significantly lower concentrations of ammonia and nitrites, improving water quality compared to control tanks. Additionally, fish in tanks treated with probiotics showed higher daily weight gain and better feed conversion efficiency. These findings suggest that the use of probiotics helps maintain a healthier aquatic environment, reducing the need for water changes and chemical treatments. The use of probiotics represents a promising strategy to enhance sustainability and efficiency in intensive aquaculture systems.

*Keywords:* Aquaculture, bioremediation, *Bacillus spp.*, aquaculture sustainability, water quality.



## Introducción

La acuicultura ha emergido como una de las actividades más relevantes a nivel mundial debido a la creciente demanda de productos acuáticos y la presión sobre los recursos pesqueros naturales (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2024). No obstante, uno de los principales desafíos que enfrenta la acuicultura intensiva es el mantenimiento de la calidad del agua en los sistemas de producción, que es crucial para el crecimiento, la salud y la supervivencia de los peces. En este contexto, los probióticos, especialmente las bacterias del género *Bacillus*, han demostrado ser una herramienta eficaz para mejorar la calidad del agua y promover la salud de los organismos acuáticos. Los estudios han demostrado que los probióticos de *Bacillus* pueden inhibir patógenos acuáticos, mejorar la digestión y la absorción de nutrientes, y aumentar la resistencia a enfermedades, lo que se traduce en una mayor tasa de crecimiento y eficiencia alimentaria (Vinderola et al., 2019). La utilización de bacterias benéficas como probióticos no solo contribuye a mejorar la salud de los peces, sino que también reduce la necesidad de productos químicos y antibióticos, promoviendo prácticas acuícolas más sostenibles y ecológicamente responsables. Esto es especialmente importante dado que la reducción en el uso de productos químicos minimiza el riesgo de resistencia microbiana y reduce el impacto ambiental asociado con el uso excesivo de estos compuestos (Balcázar et al., 2006). Dentro de este grupo de bacterias probióticas, *Bacillus subtilis*, *Bacillus pumilus* y *Bacillus megaterium* destacan por su eficacia en la biorremediación de compuestos tóxicos, mejorando la calidad del agua y promoviendo el crecimiento de los peces (Priest et al., 1988). *Bacillus subtilis* es una bacteria grampositiva, formadora de esporas, que se encuentra comúnmente en el suelo y la vegetación. Se ha demostrado que esta bacteria tiene una alta capacidad para degradar compuestos orgánicos, lo que la convierte en una opción ideal para aplicaciones de biorremediación (Cutting, 2011). Además, tiene propiedades probióticas que mejoran la salud y el crecimiento de los peces al inhibir la proliferación de patógenos acuáticos mediante la producción de compuestos antimicrobianos y la competencia por nutrientes y espacio (Zokaeifar et al., 2014). Esta capacidad de

*Bacillus subtilis* también incluye la reducción de los niveles de amoníaco y nitritos en el agua, compuestos tóxicos que pueden afectar negativamente la salud de los peces. Asimismo, esta bacteria estimula el sistema inmunológico de los peces, incrementando su resistencia a enfermedades, lo que refuerza su utilidad en sistemas acuícolas (Nayak, 2010). Por otro lado, *Bacillus pumilus*, otra bacteria grampositiva y formadora de esporas, es conocida por su capacidad para producir enzimas y compuestos antimicrobianos que inhiben patógenos acuáticos. Esta especie es particularmente eficaz en la degradación de materia orgánica y la reducción de compuestos tóxicos en el agua, lo que contribuye a mantener un ambiente acuático saludable (Moriarty, 1998). La incorporación de *Bacillus pumilus* en sistemas acuícolas ha mostrado mejorar el crecimiento y la salud de los peces, ya que promueve una mejor conversión alimenticia y reduce la mortalidad (C.-H. Liu et al., 2012). Finalmente, *Bacillus megaterium*, una bacteria reconocida por su gran tamaño celular, tiene la capacidad de degradar diversos compuestos tóxicos y produce enzimas como amilasas y proteasas, que mejoran la digestión y la absorción de nutrientes en los peces (Oluoch et al., 2018). Su capacidad para prosperar en condiciones adversas y su capacidad de producir enzimas que mejoran la eficiencia digestiva hacen de *Bacillus megaterium* una excelente opción para aplicaciones en acuicultura, particularmente en sistemas intensivos donde las fluctuaciones en los parámetros del agua pueden tener efectos negativos sobre la productividad y la salud de los peces (Vary et al., 2007).

La calidad del agua es un factor crítico para el crecimiento y la salud de los peces en acuicultura. El mantenimiento de parámetros como la temperatura, el pH y los niveles de oxígeno disuelto es fundamental para garantizar un ambiente óptimo para los organismos acuáticos. Estos parámetros deben mantenerse dentro de márgenes de tolerancia aceptables, ya que cualquier desviación puede generar estrés en los peces, afectando su crecimiento, su eficiencia alimentaria y su resistencia a enfermedades (Raiyalakshmi et al., 2019). Durante el presente estudio, se monitorearon cuidadosamente los parámetros clave de la calidad del agua, tales como temperatura, oxígeno disuelto, pH, amoníaco, nitrito y nitrato, para asegurar condiciones óptimas que minimizaran el riesgo

de estrés en los peces y permitieran un análisis preciso de los efectos de las bacterias probióticas en el sistema acuícola. La introducción de probióticos en los sistemas acuícolas contribuye significativamente al mantenimiento del equilibrio biológico del agua, lo cual es esencial para la sostenibilidad de los sistemas intensivos. Las bacterias probióticas, como *Bacillus subtilis*, *Bacillus pumilus* y *Bacillus megaterium*, actúan mediante la biorremediación de compuestos tóxicos como el amonio y los nitritos, transformándolos en formas menos tóxicas como los nitratos, que son más manejables dentro del ecosistema acuático (Mramba y Kahindi, 2023). Esta capacidad de biorremediación no solo mejora la calidad del agua, sino que también estabiliza la microbiota del agua, minimizando la proliferación de bacterias patógenas que podrían causar enfermedades en los peces (Dwiardani et al., 2021). Además, la acumulación de materia orgánica en sistemas acuícolas puede llevar a la degradación de la calidad del agua y a un aumento de compuestos tóxicos como el amonio y los nitritos, lo que resulta del metabolismo anaeróbico en ausencia de oxígeno. Los probióticos, al estimular la actividad bacteriana aeróbica, promueven la descomposición de la materia orgánica en formas menos tóxicas, lo que facilita el reciclaje de nutrientes y contribuye a la mejora de la productividad a largo plazo (Martínez-Córdova et al., 2015).

El impacto de los probióticos no solo se limita a la mejora de la calidad del agua, sino que también tiene efectos directos sobre los indicadores productivos en acuicultura, como el crecimiento, la supervivencia y el índice de conversión alimenticia. Varios estudios han demostrado que la administración de probióticos mejora la absorción de nutrientes en los peces, lo que incrementa la eficiencia alimentaria y promueve un mayor crecimiento (Al-Hisnawi et al., 2019). Además, al reducir los niveles de compuestos tóxicos en el agua y mejorar la calidad del entorno acuático, los probióticos disminuyen el estrés en los peces, aumentando su resistencia a enfermedades y reduciendo las tasas de mortalidad (Lin et al., 2023). Esto se traduce en un aumento de la rentabilidad en los sistemas acuícolas, ya que los peces que crecen más rápido y con mayor eficiencia alimentaria requieren menos alimento para alcanzar los mismos niveles de producción, lo que reduce significativamente los costos

operativos. En términos de sostenibilidad económica, el uso de probióticos también puede disminuir la necesidad de cambios frecuentes de agua en los sistemas de producción, lo que reduce los costos asociados con el mantenimiento de los sistemas acuícolas (Wang et al., 2008). Además, la mejora en la conversión alimenticia implica que se necesita menos alimento para obtener los mismos niveles de producción, lo que tiene un impacto positivo en los costos de alimentación, uno de los principales gastos en la acuicultura intensiva (Lara-Flores et al., 2003). En conjunto, estas ventajas hacen que el uso de probióticos sea una opción viable y sostenible para mejorar la eficiencia y la rentabilidad de los sistemas de cultivo acuícola.

El objetivo del presente estudio es evaluar la eficacia de las bacterias *Bacillus subtilis*, *Bacillus pumilus* y *Bacillus megaterium* en la mejora de la calidad del agua en un sistema de cultivo de tilapia gris en la estación experimental de Zamorano. Durante el experimento, se monitorearon parámetros clave de calidad del agua, como la temperatura, el pH, el oxígeno disuelto, el amonio, el nitrito y el nitrato, con el fin de asegurar condiciones óptimas que permitieran analizar los efectos de estas bacterias sobre el crecimiento y la salud de los peces. Los resultados de este estudio proporcionarán una base científica sólida para la implementación de técnicas de biorremediación en la acuicultura, contribuyendo a la sostenibilidad y eficiencia de la producción de tilapia gris.

## **Materiales y Métodos**

### **Ubicación y Duración del Experimento**

El proyecto se realizó en la unidad de acuicultura “Daniel E. Meyer” de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano dentro de un invernadero que está entre las piscinas de producción. La temperatura promedio donde está ubicada la unidad es de 26 °C y la temperatura promedio dentro del invernadero oscila entre 28-35 °C. La altura promedio en la zona es de 800 msnm.

### **Unidades Experimentales**

En el estudio se seleccionaron 12 tanques circulares de plástico de 0.54 m de profundidad, 0.79 cm de diámetro y 200 L cada uno, con una base de suelo de 10 cm sacada del estanque #3 de la unidad de acuicultura donde se realiza producción de tilapia y llenados a un 80% de su capacidad total con agua de la unidad de acuicultura. En cada tanque se utilizaron 50 alevines de tilapia gris, con un peso promedio de 2,92 gramos por alevín y 146,67 gramos por 50 alevines por tanque. También, cada tanque tiene un sistema de aireación mediante mangueras con piedras difusoras colocadas en medio de cada tanque para evitar el contacto con la base de suelo. Se realizó un recambio de agua una vez por semana para disminuir la concentración de amonio, la acumulación de sedimentos y otros elementos no deseados que pudieran interferir con el experimento. Además, el agua se renovó uno o dos días a la semana para disminuir la temperatura de los tanques, debido al calor elevado dentro del invernadero.

### **Siembra de Alevines**

La recolección y selección de alevines se llevó a cabo en horas de la mañana en el estanque o piscina #17, utilizando una red o malla que permitió recolectar los alevines con el menor estrés posible. Posteriormente, se realizó un conteo y selección para asegurar un tamaño uniforme, seleccionando 50 alevines por bandeja. Luego, se trasladaron a los alevines a las unidades experimentales, donde se procedió a su pesaje usando 50 gramos de agua por bandeja. Para promover

la cicatrización, elevar la presión osmótica y aumentar la mucosa de los alevines, se sumergieron en una solución salina durante 5 minutos. Finalmente, se introdujeron los alevines en cada unidad experimental, aclimatándolos gradualmente a la temperatura del agua.

### **Tratamientos**

Se realizaron un total de dos tratamientos en los doce tanques:

T1: Control tanque sin probióticos

T2: Tanque con probióticos del producto BIO BPBS

El primer tratamiento o T1 fue un grupo control por lo que se alimentó de la forma convencional con la que alimentan a los alevines en etapa juvenil en la fase inicial de acuerdo al cuadro de dietas de la unidad de acuicultura, solamente utilizando el alimento balanceado al 38%, segundo tratamiento o T2 donde se hizo uso de los probióticos del producto BIO BPBS de la marca Agroindustrias Successo, SA, y se alimentó de igual forma de la forma convencional, el protocolo de alimentación fue el mismo para ambos tratamientos exceptuando que el segundo tratamiento contenía una base de suelo con probióticos. La aplicación del producto en el segundo tratamiento o T2 con probióticos se la realizó solo la primera semana hasta concluir con el estudio de tres semanas.

### **Alimentación de los Alevines**

La alimentación se llevó a cabo según los cuadros de dieta del perfil nutricional comercial para tilapia proporcionados y utilizados por la unidad de acuicultura (Anexo G). En todo el estudio, se proporcionó a los alevines un alimento al 38% de proteína cruda, que se molió hasta alcanzar un tamaño para facilitar su alimentación. En cuanto a la ración proporcionada en las tres semanas de estudio, se determinó calculando una dosis general para los tratamientos considerando el peso promedio de los organismos. El estudio comenzó con una dosis calculada del 8 % de la biomasa total de los alevines al momento de la selección para la siembra en los tanques y se mantuvo durante todo el ensayo, la ración dada se dividió en dos etapas, una rutina implementada durante día y tarde.

### **Aplicación de Probióticos**

La aplicación de los probióticos se realizó en tres etapas. En la primera etapa, se aplicó en un medio con 10 cm de suelo, al cual se añadió posteriormente 5 cm de agua para lograr una distribución homogénea de las bacterias. Usando una jeringa de plástico de 3 ml de la marca NIPRO, se introdujeron 0.05 ml del bio estimulante directamente en el medio de suelo en un total de 6 tanques, antes de su llenado y/o sobre una columna de agua de 5 cm. Se permitió la inoculación durante 24 horas. La segunda aplicación se realizó en la mañana, y después de 8 horas se completó la última etapa de la aplicación en la tarde.

### **Calidad de Agua**

Facilita la evaluación de las condiciones del agua a lo largo de todo el ensayo, tomando en cuenta parámetros químicos como físicos en el agua. Se controla la calidad del agua a diario en los periodos de alimentación de los alevines. Los parámetros físicos y químicos considerados para la evaluación fueron oxígeno disuelto (mg/L), temperatura (°C), pH, amonio (ppm), nitrito (ppm) y nitrato (ppm).

### **Medición Diaria**

#### ***Temperatura***

Expresada en grados Celsius y registrada dos veces al día, por la mañana (a.m.) y por la tarde (p.m.), para asegurar que se mantenga dentro del rango óptimo. Este parámetro se obtuvo utilizando el medidor de oxígeno disuelto "YSI PRO2030".

#### ***Oxígeno Disuelto***

Cantidad de oxígeno disuelto en el agua, se necesita mantener en las concentraciones adecuadas. Medido en los mismos horarios que la temperatura para evaluar la disponibilidad de

oxígeno disuelto, esencial para la salud de los alevines. Este parámetro se obtuvo de igual forma utilizando el medidor de oxígeno disuelto "YSI PRO2030".

### **Evaluación Semanal**

#### ***Amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)***

Las cantidades de amonio expresadas en el agua. Se mide utilizando el "API FRESHWATER MASTER TEST KIT", el cual consiste en tomar una muestra de 5 ml de agua en un tubo de ensayo pequeño, luego se agregan ocho gotas de cada una de las dos soluciones, las cuales reaccionan provocando cambios en la tonalidad del agua. Luego, se agita la muestra y se espera cinco minutos para que el color se desarrolle completamente, esto es muy importante para que las soluciones se mezclen de forma homogénea para que el cambio de color sea preciso y poder obtener la concentración real en la muestra. Posteriormente, se compara la tonalidad del color de la muestra con Ammonia color chart, la cual indica las diferentes concentraciones de amonio en mg/L según el color obtenido. Para controlar los niveles de este compuesto tóxico que puede acumularse debido a la descomposición de materia orgánica.

#### ***Nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)***

Evaluado para detectar posibles niveles tóxicos que pueden resultar de la conversión del amonio en nitrato a través del proceso de nitrificación. Se mide utilizando el "API FRESHWATER MASTER TEST KIT", el cual consiste en tomar una muestra de 5 ml de agua en un tubo de ensayo pequeño, luego se agregan 5 gotas de la solución para posteriormente agitar durante treinta segundos para obtener una mezcla homogénea, luego se espera cinco minutos para que el color se desarrolle. Por último, se analiza el resultado comparando el color de la solución comparando con Nitrite Color Chart.



**Nitrato (NO<sub>3</sub>-)**

Medido para asegurar que los niveles se mantengan dentro de un rango seguro, ya que altas concentraciones pueden afectar la calidad del agua y la salud de los peces.

**Potencial de Hidrógeno (pH)**

Evaluado para asegurar que el pH del agua se mantenga en el rango adecuado. Se mide utilizando el "API FRESHWATER MASTER TEST KIT", el cual consiste en tomar una muestra de 5 ml de agua en un tubo de ensayo pequeño, luego se agregan tres gotas de la solución pH Test solución, la cual reacciona provocando cambios en la tonalidad del agua. Luego, se agita la muestra varias veces, para luego ser comparada la tonalidad de la muestra con la carta pH Color Chart, la cual indica el nivel de pH en la muestra. El nivel de pH es muy importante para mantener un ambiente controlado para el crecimiento y bienestar de los peces, el rango óptimo oscila entre 6.5 a 8.5 para tilapias.

**BIO BPBS**

El producto evaluado en todo el ensayo fue BIOBPBS®, que contiene bacterias benéficas. Las bacterias sirven para mejorar el ambiente en los tanques a evaluar por generar antagonismo contra las enfermedades asociadas a producción agropecuaria. Este mecanismo confiere múltiples ventajas para la salud, al combatir diversos patógenos. Además, el uso de estas bacterias puede contribuir a un ambiente más equilibrado y saludable para los organismos acuáticos, mejorando su bienestar general y reduciendo la necesidad de tratamientos químicos.

**Muestreo y Ganancia de Peso**

Para medir estos parámetros se registraron dos pesos, uno al inicio y otro al final del ensayo. El primer pesaje que se realizó el día de la selección y luego siembra de los alevines, y el segundo pesaje se realizó al día 21. En ambos pesajes se seleccionaron 20 peces promedio por tanque para posteriormente pesarlos y calcular un peso promedio de acuerdo con la fórmula 1.

### **Índice de Conversión Alimenticia**

Este factor mide que tan eficiente fueron los alevines en convertir el alimento suministrado en biomasa. Para obtener la biomasa, se multiplica la cantidad total de alevines en cada unidad experimental por su peso promedio, como lo establece la ecuación [1]. Para calcular el índice de conversión alimenticia (ICA), se resta la biomasa inicial de la biomasa final para obtener la biomasa neta, según lo indicado en la ecuación [2], posteriormente, el ICA se calcula al dividir la cantidad total de alimento suministrado entre la biomasa neta, según lo indicado en la ecuación [3].

$$\text{Biomasa} = \text{número de alevines por tanque} \times \text{peso unitario promedio} \quad [1]$$

$$\text{Biomasa neta} = \text{biomasa final} - \text{biomasa inicial} \quad [2]$$

$$\text{ICA} = \text{Cantidad de alimento proporcionado} \div \Delta \text{ biomasa} \quad [3]$$

### **Diseño Experimental y Análisis Estadístico**

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con medidas repetidas con el tiempo, se incluyeron dos tratamientos y seis repeticiones por tratamientos en un total de doce unidades experimentales. Este enfoque permite evaluar el efecto de los tratamientos a lo largo del tiempo de manera controlada y rigurosa. Los datos recopilados fueron sometidos a un análisis de varianza (ANDEVA) y a una prueba múltiple de medias de Duncan, utilizando un nivel de significancia de  $P \leq 0.05$ . Este análisis se realizó con el software estadístico SAS® académico, lo cual permitió determinar si había diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos y evaluar la comparación entre las medias de manera detallada.

## Resultados y Discusión

Durante el desarrollo del experimento se registraron temperaturas promedio en los horarios de la mañana en 27.93 °C y en los horarios de la tarde de 33.79 °C. En el horario matutino, las temperaturas fluctuaron en un rango entre 24.9 °C y 31.2 °C, mientras que en el vespertino se registraron valores entre 29.6 °C y 37.3 °C. Según (Boyd y Tucker, 1998), los rangos óptimos de temperatura para el desarrollo de la tilapia gris oscilan entre 28 °C y 32 °C. No obstante, esta especie puede tolerar variaciones más amplias, manteniéndose en un rango aceptable de 20 °C a 30 °C, con límites superiores de hasta 37 °C a 42 °C y un mínimo de 15 °C, por debajo del cual su crecimiento se ve significativamente afectado. De acuerdo con (Mohamed E. Abd El-Hack et al., 2022), la temperatura óptima para el crecimiento de la tilapia nilótica está entre 29 °C y 31 °C, mientras que temperaturas superiores hasta 37-38 °C aún son tolerables sin efectos significativos sobre el crecimiento. Estos resultados indican que las temperaturas registradas durante el estudio estuvieron dentro de los límites tolerables para el desarrollo adecuado de la tilapia gris, sin que se observaran efectos negativos sobre el crecimiento de los peces, lo que refleja una relación directa con la disponibilidad de oxígeno disuelto en el agua (Cuadro 1).

Las medias de oxígeno disuelto registradas fueron de 6.33 mg/L en la mañana y 6.39 mg/L en la tarde, con rangos de 1.7 mg/L a 8.5 mg/L en la mañana y de 1.7 mg/L a 10.1 mg/L en la tarde. Estos valores son apropiados, ya que (Burbano et al., 2019) afirma que es recomendable que en nuestro medio existan más de 3 mg/L y en sistemas intensivos este valor debe estar por arriba de 5 mg/L para asegurar el bienestar de los peces. (Rajwa y Yadav, 2023) también señalan que un nivel mínimo de 5 mg/L de oxígeno disuelto es fundamental para evitar el estrés y promover el crecimiento óptimo de la tilapia en sistemas acuícolas. Además, Bhatnagar (2013) indican que niveles de oxígeno superiores a 5 mg/L favorecen el crecimiento de peces en estanques de tierra. Los resultados indican que los niveles de oxígeno disuelto observados son suficientes para proporcionar un entorno óptimo para el crecimiento y salud de la tilapia (Cuadro 1).

**Cuadro 1**

*Media y rango de las variables de temperatura y oxígeno disuelto en la evaluación de los probióticos para biorremediación en tilapia gris (*Oreochromis niloticus*) en etapa de juvenil.*

Parámetro	Horario	Media	Rango
Temperatura (°C)	a.m.	27.93	24.9 – 31.2
	p.m.	33.79	29.6 – 37.3
Oxígeno disuelto (mg/L)	a.m.	6.33	1.7 – 8.5
	p.m.	6.39	1.7 – 10.1

La tilapia gris se desarrolla mejor en aguas ligeramente alcalinas, con un rango óptimo de pH entre 6.5 y 9 (Wang et al., 2008). Los niveles de pH registrados en el experimento (7.52 a 8.03) estuvieron dentro de este rango. Su rendimiento suele disminuir en aguas con un pH más ácidas, valores menores a 3 representan alta mortalidad (S. Liu et al., 2008), lo que asegura un ambiente adecuado para el crecimiento y bienestar de los peces. Estos valores no implican riesgo de mortalidad ni indicaron problemas relacionados con la toxicidad del amoníaco, ya que el pH se mantuvo en niveles que evitan la conversión del amonio a amoníaco tóxico.

Los valores de tolerancia de amonio oscilan entre 0.6 y 2.0 mg/L, siendo los valores ideales entre 0.01 y 0.1 mg/L, con niveles críticos cercanos a 2 mg/L (Lin et al., 2023). En el experimento, los niveles de amonio registrados (0.19 a 0.44 mg/L) estuvieron por debajo del umbral crítico, pero por encima de los valores ideales recomendados. Los tanques tratados con probióticos mostraron concentraciones significativamente menores (0.29 mg/L en la mañana y 0.25 mg/L en la tarde), en comparación con los tanques control (0.31 mg/L y 0.37 mg/L, respectivamente). Esto coincide con los hallazgos de (Kuebutornye et al., 2020), quienes demostraron que las bacterias del género *Bacillus spp.* pueden degradar eficazmente los compuestos nitrogenados, mejorando la calidad del agua y reduciendo la toxicidad.

Las tilapias comienzan a experimentar problemas de mortalidad cuando las concentraciones de nitritos (N-NO<sub>2</sub>) superan los 5 mg/L, debido a su sensibilidad a estos niveles elevados (Goodman,

2011). Según (Raaijmakers et al., 2010), es recomendable mantener los niveles de nitrito por debajo de 5 mg/L para evitar efectos negativos en su desarrollo. Un aumento en los nitritos también puede indicar la presencia de zonas anaeróbicas o de nitrificación (Ebeling et al., 2006) (Cuadro 2). En el experimento, los niveles de nitrito registrados (0.09 a 0.38 mg/L) estuvieron muy por debajo del umbral crítico, lo que sugiere que no afectaron negativamente el desarrollo de las tilapias.

El rango aceptado para el nitrato oscila entre 0 y 40 ppm, con valores superiores a 80 ppm siendo tóxicos para las tilapias (Verschuere et al., 2000) (Cuadro 2). Los niveles de nitrato registrados (5.41 a 13.42 ppm en la mañana y 7.64 a 11.25 ppm en la tarde) se mantuvieron dentro de este rango, lo que indica que no representan una amenaza para los peces.

Durante la primera semana de estudio se observó que los niveles de amonio en los grupos tratados con probióticos (BIOBPBS® A.M y P.M.) fueron ligeramente inferiores en comparación con el grupo de control; sin embargo, esta diferencia no resultó estadísticamente significativa por la mañana (valor  $P = 0,633$ ), aunque sí fue más evidente por la tarde (valor de  $P = 0,09$ ). Hay una tendencia hacia la disminución del amonio durante el día que puede atribuirse al trabajo de las bacterias *Bacillus* spp., las cuales favorecen la descomposición de compuestos orgánicos y facilitan la conversión del amonio en nitrito; esto pudo haber sido más notable en horas de la tarde. Aunque no se aprecian diferencias significativas en los niveles de amonio por la mañana (valor  $P = 0,482$ ), se observa una disminución en los niveles de amonio por la tarde en los tratamientos que incluyen probióticos, lo que sugiere que el uso de *Bacillus* spp. mejora la calidad del agua. Aunque la reducción de amonio en este caso no es estadísticamente significativa, está asociada al proceso de nitrificación acelerado gracias a la acción de los probióticos.

**Cuadro 2**

*Calidad de agua en la evaluación en la semana 1 del probiótico para biorremediación en la producción de tilapia gris (Oreochromis niloticus) en etapa de juvenil.*

Tratamientos	Amonio	Nitrito	Nitrato	pH
Control A.M.	0.31	0.18	12.91	7.78
BIOBPBS® AM	0.29	0.04	2.50	7.88
BIOBPBS®PM	0.25	0.02	2.91	8.08
Control P.M.	0.37	0.00	3.33	7.98
Valor P A.M.	0.633	0.127	0.148	0.559
Valor P P.M.	0.09	0.32	0.78	0.43
EE ± A.M.	0.043	0.092	6.961	0.168
EE ± P.M.	0.072	0.020	1.481	0.125

*Nota.* Valor P ≤ 0.05= Probabilidad., EE= Error Estándar.

Durante la segunda semana se notaron diferencias más marcadas entre los tratamientos, en especial en los niveles de nitrito detectados por la tarde. Los tratamientos que contenían probióticos mostraron una disminución significativa en comparación a los tratamientos de control (valor P = 0.043). Esta disminución en los niveles de nitrito podría atribuirse a la actividad de las bacterias probióticas; especialmente aquellas pertenecientes al género Bacillus, las cuales fomentan el proceso de nitrificación. El nitrito es un compuesto que se forma en el ciclo del nitrógeno y que surge de la transformación del amonio gracias a bacterias como Nitrosomonas. Sin embargo, en el agua es importante que no se acumule para evitar su toxicidad para los peces; por ello, surge la necesidad de que se convierta rápidamente en nitrato, facilitado por la intervención de bacterias como Nitrobacter.

Los probióticos contribuyen al mantenimiento de este equilibrio al acelerar el proceso de conversión del nitrito en nitrato y evitar que se acumule en el sistema. Los niveles de nitrito suelen ser más críticos por la tarde, cuando el metabolismo de los peces y la actividad biológica en el agua son más intensas, lo que aumenta la excreción de amonio y la consiguiente formación de nitrito. Sin bacterias probióticas eficientes presentes, este nitrito puede acumularse y causar toxicidad, afectando negativamente la salud de los peces.

(Setiadi et al., 2018), quienes demostraron que al incluir probióticos en sistemas acuícolas donde se crían tilapias grises se reduce significativamente la presencia de nitrito durante las primeras

semanas de tratamiento. Esto resalta la importancia de los probióticos para mantener estables los niveles químicos del agua y crear un entorno más favorable para la salud de los peces. Es fundamental en las etapas tempranas del cultivo que los probióticos son capaces de mejorar el ciclo del nitrógeno y evitar la acumulación de sustancias tóxicas como el nitrito mientras la eficacia del proceso de nitrificación se encuentra en proceso de estabilización.

De acuerdo con (Soto-Zarazúa et al., 2013), se obtuvieron resultados coincidentes al emplear sistemas de recirculación en la cría de tilapia gris. Como resultado se observaron diferencias significativas en los niveles de nitrato entre los tratamientos con probióticos y el tratamiento control, lo que indica que la adición de probióticos puede mejorar el proceso de nitrificación, reduciendo de manera efectiva la concentración de compuestos nitrogenados. Como lo indica el análisis del cuadro 3, el tratamiento con BIOBPBS®PM resultó en niveles significativamente más bajos de nitrato (valor  $P = 0.004$ ), lo que es consistente con estudios previos que demuestran cómo los probióticos, particularmente del género *Bacillus*, facilitan la conversión de amonio a nitrato a través de la actividad de bacterias nitrificantes. (Khalefa et al., 2024) destacan que mantener niveles bajos de nitrato en los sistemas acuícolas es esencial para la salud de los peces juveniles, ya que niveles elevados pueden tener efectos tóxicos en organismos acuáticos sensibles. Este resultado respalda los registros en la segunda semana del presente experimento, además de esto, (Abd El-Hack et al., 2022) resaltan la importancia de mantener niveles adecuados de nitrito para evitar efectos dañinos en los peces jóvenes. Esto sugiere que la actividad de las bacterias probióticas, particularmente del género *Bacillus*, promueve la nitrificación, evitando la toxicidad del amonio, que es crítico para la salud de los peces. Durante la investigación se observó que la incorporación de probióticos se logró disminuir de forma notable los niveles de nitrito en las primeras semanas. Esta observación coincide plenamente los resultados obtenidos en los tratamientos probióticos de esta investigación. Mantener bajos niveles de nitrato resultan ser fundamentales para prevenir la intoxicación y garantizar una alta tasa de supervivencia, lo cual subraya la necesidad de emplear probióticos como medio para mejorar la

calidad del agua en sistemas acuícolas intensivos. Durante la segunda semana, además de las diferencias en nitrito y nitrato, se observaron diferencias significativas en el pH por la mañana (valor  $P = 0.014$ ), sugiriendo que los tratamientos con probióticos también desempeñaron un papel importante en la estabilización del pH. El mantenimiento de un pH estable es crucial para optimizar la nitrificación, ya que las fluctuaciones fuera del rango óptimo pueden interferir con la actividad de las bacterias nitrificantes, ralentizando la conversión de amonio a nitrito y posteriormente a nitrato. Según (Putra et al., 2020), un pH dentro de los rangos adecuados es esencial para asegurar la eficiencia del proceso nitrificante, ya que un pH demasiado bajo o alto puede inhibir la actividad de las bacterias responsables de la conversión de los compuestos nitrogenados. En este experimento, los tratamientos con probióticos demostraron ser efectivos en mantener el pH dentro de rangos favorables, lo que contribuyó a mejorar la calidad del agua y a optimizar la salud general de los peces.

### Cuadro 3

*Calidad de agua en la evaluación en la semana 2 del probiótico para biorremediación en la producción de tilapia gris (Oreochromis niloticus) en etapa de juvenil.*

Tratamientos	Amonio	Nitrito	Nitrato	pH
Control A.M.	0.18	0.25	9.16	7.53
BIOBPBS® AM	0.14	0.08	5.41	7.81
BIOBPBS®PM	0.25	0.00 b	2.50 b	8.01
Control P.M.	0.35	0.18 a	6.25 a	7.76
Valor P A.M	0.482	0.074	0.229	0.014
Valor P P.M.	0.228	0.043	0.004	0.064
EE ± A.M.	0.05	0.08	3.03	0.10
EE ± P.M.	0.08	0.08	1.17	0.12

Nota. Valor  $P \leq 0.05$ = Probabilidad., EE= Error Estándar.

Durante la tercera semana del experimento, se observó una disminución significativa en los niveles de amonio (valor  $P = 0.023$ ) en los tratamientos que incluyeron probióticos. Este resultado sugiere que la actividad de las bacterias nitrificantes, tales como *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*, fue promovida por la presencia de probióticos. Estas bacterias juegan un papel clave en la nitrificación, convirtiendo amonio en nitrito y, posteriormente, nitrito en nitrato, lo que evita la acumulación de nitrito, un compuesto tóxico para los peces. Según (Omitoyin et al., 2017), la inclusión de probióticos



como *Bacillus sp.* mostró una reducción significativa del amonio y otros compuestos nitrogenados en sistemas de acuicultura, lo que respalda la observación de que los probióticos aceleran el proceso de nitrificación. Esta reducción se debe a la aceleración del proceso de nitrificación gracias a las bacterias probióticas, que evitan la acumulación de amonio, protegiendo así la salud de los peces. De acuerdo con (Eissa et al., 2015), un sistema de acuaponía también demostró reducir significativamente los niveles de amonio, nitrito y otros compuestos nitrogenados en peces juveniles, lo que refuerza los resultados de este estudio.

Esto señala que el proceso de nitrificación fue más efectivo en los tratamientos con *Bacillus spp.*, lo que resultó en una menor acumulación de nitrito. (Deswati et al., 2018) también informaron que la integración de bacterias nitrificantes en sistemas de acuaponía con tilapia gris fue efectiva para reducir tanto los niveles de nitrito como de nitrato, apoyando los resultados observados en este estudio. Esto demuestra que los probióticos pueden optimizar la calidad del agua en sistemas acuáticos mediante el control de los compuestos nitrogenados.

Durante las semanas 2 y 3, se observaron diferencias significativas en los niveles de pH en distintos momentos; específicamente en la semana 2 (valor  $P = 0.014$ , en la mañana) y en la semana 3 (valor  $P = 0.0005$ , en la tarde), lo que sugiere que los tratamientos probióticos ayudan a mantener un pH estable que beneficia el proceso de nitrificación y la conversión de amonio a nitrito y luego a nitrato. Un nivel estable de pH es esencial, ya que variaciones fuera del rango óptimo pueden afectar negativamente la actividad de las bacterias nitrificantes. Según (Eissa et al., 2015), un pH controlado en sistemas de acuaponía mejoró el equilibrio entre los compuestos nitrogenados y promovió una mejor salud de los peces. Además, estudios adicionales también han encontrado que los probióticos ayudan a estabilizar el pH en condiciones acuáticas, favoreciendo la eficiencia del proceso nitrificante.

**Cuadro 4**

*Calidad de agua en la evaluación en la semana 3 del probiótico para biorremediación en la producción de tilapia gris (*Oreochromis niloticus*) en etapa de juvenil.*

Tratamientos	Amonio	Nitrito	Nitrato	pH
Control A.M.	0.33	0.68	17.5	7.28
BIOBPBS® AM	0.89	0.47	9.16	7.55
BIOBPBS®PM	0.08 b	0.27	17.5	7.96 a
Control P.M.	0.22 a	0.29	24.1	7.58 b
Valor P A.M.	0.397	0.491	0.120	0.353
Valor P P.M.	0.023	0.932	0.718	0.0005
EE ± A.M.	0.65	0.29	5.16	0.28
EE ± P.M.	0.05	0.24	18.2	0.09

*Nota.* Valor P ≤ 0.05= Probabilidad., EE= Error Estándar.

En los parámetros productivos mostró que los tratamientos probióticos, no presentaron diferencias significativas en comparación con los tratamientos control con un (Valor P = 0.46). Así mismo no presentaron diferencias significativas en el peso promedio con un (Valor P = 0.77) y ganancia de peso diaria (GDP) con un (Valor P = 0.39) según lo mostrado en el (Cuadro 5). Los probióticos no influyen significativamente en el índice de conversión alimenticia de los peces cultivados (El-Saadony et al., 2021). El índice de conversión alimenticia (ICA) en tilapias mide la eficiencia con la que los peces convierten el alimento en peso corporal. (Saavedra, 2006) señala que los mejores ICA se observan en peces jóvenes, y que este índice aumenta gradualmente a medida que los peces envejecen, alcanzando su valor máximo cuando dejan de crecer. Según Burbano et al. (2019), la tilapia es una de las especies cultivadas con mejor conversión alimenticia, siempre que se maneje adecuadamente. Los ICA pueden variar entre 1.2 y 1.5, dependiendo de la calidad de la alimentación y el manejo del sistema.

**Cuadro 5**

*Datos productivos en la evaluación de probióticos para biorremediación en la producción de tilapia gris (*Oreochromis niloticus*) en etapa de juvenil.*

Tratamientos	Peso Promedio (g)	GDP (g)	ICA
Control	93.3	8.2	1.81
BIOBPBS®	98.3	9.24	1.68
EE ±	16.7	1.13	0.17
Valor P	0.77	0.39	0.46

*Nota.* Valor P ≤ 0.05= Probabilidad., EE= Error Estándar. GDP = Ganancia Diaria de Peso; ICA = Índice de Conversión Alimenticia.

### **Conclusiones**

La aplicación de probióticos BIOBPBS® en los tanques de cultivo de tilapia gris contribuyó a la mejora significativa de la calidad del agua.

### **Recomendaciones**

Realizar estudios a largo plazo para evaluar los efectos de los probióticos BIOBPBS® en la salud inmunológica de los peces y en la estabilidad de la microbiota del agua.

Evaluar la inclusión de probióticos en los reproductores para evaluar si existe una influencia en parámetros reproductivos.

Evaluar el uso de estos probióticos BIOBPBS® en otros sistemas de cultivo de acuícolas, así como bajo diferentes condiciones ambientales, para evaluar su efectividad.

### Referencias

- Abd El-Hack, M. E., El-Saadony, M. T., Nader, M. M., Salem, H. M., El-Tahan, A. M., Soliman, S. M. y Khafaga, A. F. (2022). Effect of environmental factors on growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *International Journal of Biometeorology*, 66(11), 2183–2194. <https://doi.org/10.1007/s00484-022-02347-6>
- Al-Hisnawi, A., Rodiles, A., Rawling, M. D., Castex, M., Waines, P., Gioacchini, G., Carnevali, O. y Merrifield, D. L. (2019). Dietary probiotic *Pediococcus acidilactici* MA18/5M modulates the intestinal microbiota and stimulates intestinal immunity in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of the World Aquaculture Society*, 50(6), 1133–1151. <https://doi.org/10.1111/jwas.12642>
- Balcázar, J. L., Blas, I. de, Ruiz-Zarzuela, I., Cunningham, D., Vendrell, D. y Múzquiz, J. L. (2006). The role of probiotics in aquaculture. *Veterinary Microbiology*, 114(3-4), 173–186. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2006.01.009>
- Bhatnagar, A. (2013). Water quality guidelines for the management of pond fish culture. *International Journal of Environmental Sciences*, 3(6). <https://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:ijes&volume=3&issue=6&article=018>
- Boyd, C. E. y Tucker, C. S. (1998). *Pond Aquaculture Water Quality Management*. Springer US. <https://search.worldcat.org/es/title/851823612&ap=citavi>
- Burbano, E., Duque, G. y Imués, M. (2019). Influencia de los cultivos piscícolas en la calidad del agua del lago Guamez, Nariño. *Revista Investigación Pecuaria*, 6(1). <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/revip/article/view/4322>
- Cutting, S. M. (2011). *Bacillus* probiotics. *Food Microbiology*, 28(2), 214–220. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2010.03.007>
- Deswati, D., Febriani, N., Pardi, H., Yusuf, Y. y Suyani, H. (2018). Applications of Aquaponics on Pakcoy (*Brassica Rapa L*) and Nila Fish (*Oreochromis Niloticus*) to the Concentration of Ammonia, Nitrite, and Nitrate. *Oriental Journal of Chemistry*, 34(5), 2447–2455. <https://doi.org/10.13005/ojc/340529>
- Dwiardani, K. H., Prayogo y Rahardja, B. S. (2021). Utilization of *Nitrosomonas* sp and *Nitrobacter* sp probiotic towards total suspended solid and ammonia level in Nile tilapia culturing using aquaponic system. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 679(1), 12067. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/679/1/012067>
- Ebeling, J. M., Timmons, M. B. y Bisogni, J. J. (2006). Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia–nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture*, 257(1-4), 346–358. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.03.019>
- Eissa, I., El-Lamie, M., Hassan, M. y El Sharky, A. (2015). Impact of Aquaponic System on Water Quality and Health Status of Nile Tilapia *Oreochromis niloticus*. *Suez Canal Veterinary Medicine Journal. SCVMJ*, 20(2), 191–206. <https://doi.org/10.21608/scvmj.2015.64627>

- El-Saadony, M. T., Alagawany, M., Patra, A. K., Kar, I., Tiwari, R., Dawood, M. A. O., Dhama, K. y Abdel-Latif, H. M. R. (2021). The functionality of probiotics in aquaculture: An overview. *Fish & Shellfish Immunology*, *117*, 36–52. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.07.007>
- Goodman, E. R. (2011). *Aquaponics : community and economic development* [Tesis de posgrado]. Massachusetts Institute of Technology., United States of America. <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/67227>
- Khalefa, H., AbuBakr, H., Aljuaydi, S. H., Kotp, Y., Al-Mokaddem, A. y Abdel-moneam, D. (2024). Aquatic assessment of the chelating ability of silica-stabilized magnetite nanocomposite to lead nitrate toxicity with emphasis on their impact on hepatorenal, oxidative stress, genotoxicity, histopathological, and bioaccumulation parameters in *Oreochromis niloticus* and *Clarias gariepinus*. *BMC Veterinary Research*, *20*(262). <https://bmcvetres.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12917-024-04094-9>
- Kuebutornye, F. K., Tang, J., Cai, J., Yu, H., Wang, Z., Abarike, E. D., Lu, Y., Li, Y. y Afriyie, G. (2020). In vivo assessment of the probiotic potentials of three host-associated *Bacillus* species on growth performance, health status and disease resistance of *Oreochromis niloticus* against *Streptococcus agalactiae*. *Aquaculture*, *527*, 735440. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735440>
- Lara-Flores, M., Olvera-Novoa, M. A., Guzmán-Méndez, B. E. y López-Madrid, W. (2003). Use of the bacteria *Streptococcus faecium* and *Lactobacillus acidophilus*, and the yeast *Saccharomyces cerevisiae* as growth promoters in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, *216*(1-4), 193–201. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00277-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00277-6)
- Lin, W., Luo, H., Wu, J., Hung, T.-C., Cao, B., Liu, X., Yang, J. y Yang, P. (2023). A Review of the Emerging Risks of Acute Ammonia Nitrogen Toxicity to Aquatic Decapod Crustaceans. *Water*, *15*(1), 27. <https://doi.org/10.3390/w15010027>
- Liu, C.-H., Chiu, C.-H., Wang, S.-W. y Cheng, W. (2012). Dietary administration of the probiotic, *Bacillus subtilis* E20, enhances the growth, innate immune responses, and disease resistance of the grouper, *Epinephelus coioides*. *Fish & Shellfish Immunology*, *33*(4), 699–706. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2012.06.012>
- Liu, S., Zhang, X [Xuecheng], Zang, X., Liu, B., Arunakumara, K., Di Xu y Zhang, X [Xiaoqing] (2008). Growth, feed efficiency, body muscle composition, and histology of flounder (*Paralichthys olivaceus*) fed GH transgenic *Synechocystis*. *Aquaculture*, *277*(1-2), 78–82. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.02.011>
- Martínez-Córdova, L. R., Emerenciano, M., Miranda-Baeza, A. y Martínez-Porchas, M. (2015). Microbial-based systems for aquaculture of fish and shrimp: an updated review. *Reviews in Aquaculture*, *7*(2), 131–148. <https://doi.org/10.1111/raq.12058>
- Mohamed E. Abd El-Hack, Mohamed T. El-Saadony, Maha M. Nader, Heba M. Salem, Amira M. El-Tahan, Soliman M. Soliman y Asmaa F. Khafaga (2022). Effect of environmental factors on growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *International Journal of Biometeorology*, *6*(2183–2194). <https://link.springer.com/article/10.1007/s00484-022-02347-6>
- Moriarty, D. (1998). Control of luminous *Vibrio* species in penaeid aquaculture ponds. *Aquaculture*, *164*(1-4), 351–358. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00199-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00199-9)

- Mramba, R. P. y Kahindi, E. J. (2023). Pond water quality and its relation to fish yield and disease occurrence in small-scale aquaculture in arid areas. *Heliyon*, 9(6), e16753. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16753>
- Nayak, S. K. (2010). Probiotics and immunity: A fish perspective. *Fish & Shellfish Immunology*, 29(1), 2–14. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2010.02.017>
- Oluoch, K. R., Okanya, P. W., Hatti-Kaul, R., Mattiasson, B. y Mulaa, F. J. (2018). Protease-, Pectinase- and Amylase- Producing Bacteria from a Kenyan Soda Lake. *The Open Biotechnology Journal*, 12(1), 33–45. <https://doi.org/10.2174/1874070701812010033>
- Omitoyin, B., Faturoti, E. y Balogun, A. (2017). Biological Treatments of Fish Farm Effluent and its Reuse in the Culture of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Aquaculture Research Y Development*, 8(2). [https://www.researchgate.net/publication/368204128\\_Biological\\_Treatments\\_of\\_Fish\\_Farm\\_Effluent\\_and\\_its\\_Reuse\\_in\\_the\\_Culture\\_of\\_Nile\\_Tilapia\\_Oreochromis\\_niloticus?enrichId=rgreq-136a987c2f0e382923f79b50a526a456-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzM2ODIwNDEyODtBUzoxMTQzMTE4MTEyOTE3NDAYM0AxNjc5NDg3NzNzMDY4&el=1\\_x\\_2&\\_esc=publicationCoverPdf](https://www.researchgate.net/publication/368204128_Biological_Treatments_of_Fish_Farm_Effluent_and_its_Reuse_in_the_Culture_of_Nile_Tilapia_Oreochromis_niloticus?enrichId=rgreq-136a987c2f0e382923f79b50a526a456-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzM2ODIwNDEyODtBUzoxMTQzMTE4MTEyOTE3NDAYM0AxNjc5NDg3NzNzMDY4&el=1_x_2&_esc=publicationCoverPdf)
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2024). *State of world fisheries and aquaculture: Blue transformation in action*. <https://search.worldcat.org/es>
- Priest, F. G., Goodfellow, M. y Todd, C. (1988). A numerical classification of the genus *Bacillus*. *Journal of General Microbiology*, 134(7), 1847–1882. <https://doi.org/10.1099/00221287-134-7-1847>
- Putra, I., Effendi, I., Lukistyowati, I., Tang, U. M., Fauzi, M., Suharman, I. y Muchlisin, Z. A. (2020). Effect of different biofloc starters on ammonia, nitrate, and nitrite concentrations in the cultured tilapia *Oreochromis niloticus* system. *F1000Research*, 9, 293. <https://doi.org/10.12688/f1000research.22977.3>
- Raaijmakers, J. M., Bruijn, I. de, Nybroe, O. y Ongena, M. (2010). Natural functions of lipopeptides from *Bacillus* and *Pseudomonas*: More than surfactants and antibiotics. *FEMS Microbiology Reviews*, 34(6), 1037–1062. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2010.00221.x>
- Raiyalakshmi, K., Suman, J. y Babu, K. (2019). Role of probiotics and their mode of action in aquaculture: A review. *International Journal of Biosciences*, 14(2), 573–586. [https://www.researchgate.net/publication/360034479\\_Role\\_of\\_probiotics\\_and\\_their\\_mode\\_of\\_action\\_in\\_aquaculture\\_A\\_review](https://www.researchgate.net/publication/360034479_Role_of_probiotics_and_their_mode_of_action_in_aquaculture_A_review)
- Rajwa, S. y Yadav, R. (2023). Water physicochemical factors and oxidative stress physiology in fish, a review. *Environment Sciences*, 11. <https://www.frontiersin.org/journals/environmental-science/articles/10.3389/fenvs.2023.1240813/full>
- Saavedra, M. (2006). *Manejo de cultivo de tilapia*. Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). <https://www.crc.uri.edu/download/MANEJO-DEL-CULTIVO-DE-TILAPIA-CIDEA.pdf>
- Setiadi, E., Widyastuti, Y. R. y Heru Prihadi, T. (2018). Water Quality, Survival, and Growth of Red Tilapia, *Oreochromis niloticus* Cultured In Aquaponics System. *E3S Web of Conferences*, 47, 2006. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184702006>



- Soto-Zarazúa, M., Herrera-Ruiz, G., Rico-García, E., Toledano-Ayala, M., Peniche-Vera, R., Ocampo-Velázquez, R. y Guevara-González, R. (2013). Development of efficient recirculation system for Tilapia (*Oreochromis niloticus*) culture using low cost materials. *African Journal of Biotechnology*. <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/92152>
- Vary, P. S., Biedendieck, R., Fuerch, T., Meinhardt, F., Rohde, M., Deckwer, W.-D. y Jahn, D. (2007). *Bacillus megaterium*--from simple soil bacterium to industrial protein production host. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 76(5), 957–967. <https://doi.org/10.1007/s00253-007-1089-3>
- Verschuere, L., Rombaut, G., Sorgeloos, P. y Verstraete, W. (2000). Probiotic bacteria as biological control agents in aquaculture. *Microbiology and Molecular Biology Reviews : MMBR*, 64(4), 655–671. <https://doi.org/10.1128/MMBR.64.4.655-671.2000>
- Vinderola, G., Ouwehand, A. C., Salminen, S. y Wright, A. von. (2019). *Lactic Acid Bacteria*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429057465>
- Wang, Y.-B., Tian, Z.-Q., Yao, J.-T. y Li, W. (2008). Effect of probiotics, *Enterococcus faecium*, on tilapia (*Oreochromis niloticus*) growth performance and immune response. *Aquaculture*, 277(3-4), 203–207. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.03.007>
- Zokaeifar, H., Babaei, N., Saad, C. R., Kamarudin, M. S., Sijam, K. y Balcazar, J. L. (2014). Administration of *Bacillus subtilis* strains in the rearing water enhances the water quality, growth performance, immune response, and resistance against *Vibrio harveyi* infection in juvenile white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Fish & Shellfish Immunology*, 36(1), 68–74. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2013.10.007>

**Anexos**

**Anexo A**

*Preparación de suelo de los estanques*



## Anexo B

## Aplicación de producto BIOBPBS®



**Anexo C**

*Estanque 17 se hizo selección y pesaje de los alevines*



**Anexo D**

*Pesaje final de alevines*



## Anexo E

## Determinación de calidad de agua



## Anexo F

Cuadro de Dietas Unidad de Acuicultura

Tipo de alimento	Proteína (%)	Peso corporal tilapia (gr)	Tamaño partícula (mm. + 0.5)	Rango (días)	Tasa alimenticia (% Biomasa)	Dosis recomend. (día)
Tilapia Juvenil 1	35	5 a 10	2.2	31 a 50	8	6
Tilapia Juvenil 2	32	11 a 60	2.2	51 a 100	6	6
Tilapia Engorde 1	32	61 a 150	2.8	101 a 140	4	4
Tilapia Engorde 2	30	151 a 250	3.5	141 a 180	2.5	3 a 4
Tilapia Engorde 3	28	251 a 350	6	181 a 220	1.5	3
Tilapia Engorde 4 A	24	350 a 550	6	221 a 275	1.5	3
Tilapia Engorde 4 B	24	> 550	9.5	> 275	1.5	2 a 3
Tilapia Reproductor	40	150 a 1000	2.8 / 3.75 y 6	> 100	4	3

Nota: los resultados pueden variar dependiendo de la temperatura, calidad de agua y calidad de comida.