

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



Proyecto Especial de Graduación
Evaluación del efecto de las bacterias *Azospirillum* spp. y *Pseudomonas* spp.
en la producción acuapónica de lechuga (*Lactuca sativa* L.)

Estudiantes

Roberto Xavier Minuche Salgado

Bryan Francisco Porras Quezada

Asesores

Patricio E. Paz, Ph.D.

Rogelio Trabanino, M.Sc.

Honduras, octubre 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

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros.....	5
Índice de Anexos.....	6
Resumen	7
Abstract.....	8
Introducción.....	9
Materiales y Métodos.....	12
Ubicación	12
Diseño de Sistema Acuapónico de Raíz Flotante.....	12
Biofiltros.....	14
Aireadores y Difusores de Oxígeno.....	14
Mesas para Lechuga.....	14
Metodología Utilizada en Sistema Acuícola.....	15
Tratamientos Evaluados.....	15
Azospirillum spp.....	15
Azospirillum spp. + Pseudomonas fluorescens.....	15
Diseño Experimental y Análisis Estadístico.....	15
Resultados y Discusión.....	16
Variables de Calidad de Agua.....	16
Oxígeno Disuelto.....	16
Temperatura	16
Amonio Total (NH_4^+ y NH_3).....	17
Nitratos (NO_3^-).....	18
Nitritos (NO_2^-).....	18
pH.....	18
Variables Peces	19

Ganancia Diaria de Peso (GDP)	19
Índice de Conversión Alimenticia (ICA)	20
Variables Hortícolas	20
Longitud de Raíz (mm)	20
Altura Foliar (mm)	21
Diámetro Radicular (mm)	21
Peso Raíz (g)	22
Peso Foliar (g)	22
Peso Total (g)	23
Número de Hojas	23
Clorofila (SPAD)	23
Conclusiones	25
Recomendaciones	26
Referencias	27
Anexos	30

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Variables físicas analizadas en calidad de agua en un sistema acuapónico en la producción de lechuga.....	17
Cuadro 2 Parámetros químicos de calidad de agua evaluados durante el experimento (Media \pm Error Estándar).....	19
Cuadro 3 Parámetros productivos del animal (Media \pm Error Estándar) en un sistema de producción acuapónico.....	20
Cuadro 4 Parámetros agronómicos evaluados de lechuga en un sistema acuapónico (Media \pm Error Estándar).....	24

Índice de Anexos

Anexo A Llenado de sistema	30
Anexo B Elaboración de cama flotante	31
Anexo C Limpieza y desinfección de canastillas.....	32
Anexo D Trasplante de lechuga	33
Anexo E Proceso de inoculación de plántulas	34
Anexo F Medidor de oxígeno disuelto y temperatura	35
Anexo G Kit API utilizado para la medición de calidad de agua.....	36
Anexo H Tratamiento de Azospirillum a los siete días de trasplante	37
Anexo I Tratamiento Azospirillum + Pseudomonas a los siete días de trasplante	38
Anexo J Tratamiento de Azospirillum a los 14 días de trasplante	39
Anexo K Tratamiento Azospirillum + Pseudomonas a los 14 días de trasplante.....	40
Anexo L Desarrollo radicular en Azospirillum a los 14 días	41
Anexo M Desarrollo radicular en Azospirillum + Pseudomonas a los 14 días	42
Anexo N Tratamiento de Azospirillum al día de cosecha	43
Anexo O Desarrollo radicular de Azospirillum al día de cosecha.....	44
Anexo P Desarrollo de Azospirillum + Pseudomonas al día de cosecha.....	45
Anexo Q Desarrollo radicular de Azospirillum + Pseudomonas al día de cosecha	46
Anexo R Medición de diámetro radicular usando pie de rey	47
Anexo S Pesado de raíz húmeda haciendo uso de una gramera	48
Anexo T Medición de altura foliar haciendo uso de pie de rey	49
Anexo U Medición de clorofila.....	50
Anexo V Conteo de hojas y pesado de las mismas	51

Resumen

La acuaponía es un sistema integrado que combina acuicultura con hidroponía. Además, el uso de bacterias fijadoras de nutrientes (promotoras del crecimiento vegetal) como *Azospirillum* y *Pseudomonas* contribuyen a que el aprovechamiento de nutrientes por parte de las plantas sea más eficiente. El presente estudio tuvo como objetivo comparar la eficiencia de las bacterias *Azospirillum* spp. y *Pseudomonas* spp. inoculadas en el pilón antes de trasplante en un sistema acuapónico de lechuga que contribuirá a una producción sostenible al utilizar los desechos de los peces presentes en el agua. El tratamiento uno constó de la inoculación de *Azospirillum* al pilón de lechuga en el día de trasplante y, el tratamiento dos constó del asocio de *Azospirillum* y *Pseudomonas* en la inoculación de los pilones de lechuga al día de trasplante. Se evaluaron parámetros de calidad de agua en los tanques de los peces (*Oreochromis* sp.), tales como pH, nitritos, nitratos y amonio. El cultivo del estudio fue lechuga (*Lactuca sativa*) variedad florín; respecto a las variables hortícolas, se realizaron mediciones de altura foliar (mm), peso fresco foliar y radicular (g), peso total (g) y valores de clorofila en base a medición SPAD. Los parámetros de calidad de agua se encontraron dentro de los rangos óptimos para la producción de tilapia, y no presentaron diferencias ($P > 0.05$). Se observaron diferencias ($P \leq 0.05$) en las variables hortícolas de peso de raíz, peso foliar y peso total a favor del tratamiento de asocio *Azospirillum* y *Pseudomonas*.

Palabras clave: Bacterias benéficas, calidad de agua, fósforo, nitrógeno.

Abstract

Aquaponics is an integrated system that combines aquaculture with hydroponics. Additionally, the use of nutrient-fixing bacteria (plant growth promoters) such as *Azospirillum* and *Pseudomonas* contributes to more efficient nutrient uptake by plants. This study aimed to compare the efficiency of *Azospirillum* spp. and *Pseudomonas* spp. bacteria inoculated in the seedling tray before transplanting in a lettuce aquaponic system, which will contribute to sustainable production by utilizing the fish waste present in the water. Treatment one consisted of inoculating *Azospirillum* in the lettuce seedling tray on the transplant day, and treatment two involved the combined inoculation of *Azospirillum* and *Pseudomonas* in the lettuce seedling trays on the transplant day. Water quality parameters were evaluated in the fish tanks (*Oreochromis* sp.), including pH, nitrites, nitrates, and ammonium. The studied crop was lettuce (*Lactuca sativa*) Florín variety; regarding horticultural variables, measurements of leaf height (mm), fresh leaf and root weight (g), total weight (g), and chlorophyll values based on SPAD measurement were taken. Water quality parameters were within optimal ranges for tilapia production and showed no differences ($P > 0.05$). Differences ($P \leq 0.05$) were observed in the horticultural variables of root weight, leaf weight, and total weight in favor of the combined treatment of *Azospirillum* and *Pseudomonas*.

Keywords: Beneficial bacteria, phosphorus, nitrogen, water quality.

Introducción

La acuaponía es un sistema de producción cerrado que integra la técnica de la acuicultura con la hidroponía, es decir, es una combinación de la producción de peces y la producción de hortalizas sin suelo por el medio común agua (Intagri, 2001). En un sistema acuapónico, el agua de los peces circula mediante filtros, camas de crecimiento y regresa a los peces (Somerville et al., 2022). Es un sistema complejo, donde consta de biofiltros en donde las bacterias convierten el amonio (tóxico en peces) en nitratos, que resultan más accesibles a la planta. Los efluentes de la acuicultura se desvían en este sistema hacia las camas de crecimiento, donde serán aprovechados por las plantas gracias al aporte de nutrientes (Somerville et al., 2022). Este sistema nace como una respuesta a las nuevas necesidades de producción y en la mayoría de las ocasiones su rendimiento es mayor al de los sistemas convencionales de cultivo a su vez que es amigable con el ambiente, algunas de las ventajas a mencionar son la producción de cultivos más inocuos, libres de parásitos, bacterias, hongos y contaminación, ahorro de agua, mayor precocidad de cultivos y alto rendimiento por unidad de superficie, como también, un menor costo al momento de trasplante debido a que el uso de un sistema de raíz flotante no requiere el uso de sustrato.

Así mismo, la demanda de productos pesqueros a nivel mundial se ha incrementado en los últimos años, de acuerdo con la FAO, para el año 2030 se prevé un consumo per cápita de 21.5 kg de pescado. La producción acuícola se ha incrementado de forma significativa en los últimos 70 años, pasando de 19 millones a 179 millones de toneladas en 2018 (FAO, 2021).

La lechuga, al ser un cultivo de hoja, se adapta y desarrolla fácilmente en sistemas acuapónicos gracias a la concentración óptima de nutrientes disueltos en agua (Pérez Sánchez, 2016). Así mismo, al ser un cultivo de alta demanda hídrica, el uso de este sistema contribuye a que el cultivo se desarrolle en óptimas condiciones gracias a la constante presencia de agua, cabe recalcar que el cultivo de lechuga posee una demanda hídrica de 52 mm a 125 mm y, una alta composición de agua en su hoja (Cun Gonzales et al., 2015).

Dentro de los sistemas hidropónicos encontramos el sistema de raíz flotante, un sistema que ha sido aplicado en civilizaciones antiguas como la azteca; este sistema consiste en desarrollar cultivos en agua con una solución nutritiva sobre plumavit o materiales similares, sin hacer uso de sustrato. Este tipo de sistemas contribuye a un significativo ahorro en el uso de agua (60-70%) (Pizarro B. et al., 2019).

Las explotaciones acuícolas de tilapia generan un impacto negativo al ambiente que debemos considerar, este impacto es mayor durante la etapa de operación del animal. A lo largo de esta etapa, el animal produce una cantidad importante de materia fecal y alimento no consumido lo cual termina en las aguas residuales que en definitiva no deben ser vertidas en cuerpos receptores naturales no contaminados (SERNA, 2009). A su vez, el Observatorio Español de Acuicultura, propone como vía de solución el uso de estas aguas para abonos y enmiendas de suelo.

Se estima que dentro de estos residuos se encuentre más del 60% de fósforo y hasta un 80% de nitrógeno que quedan disueltos en la columna de agua de los cuerpos receptores. A diferencia de otros efluentes, los sedimentos provenientes de la actividad acuícola poseen una mayor cantidad de niveles de carbono, nitrógeno y fósforo que bajo condiciones anaerobias desequilibradas pueden resultar en metano y ácido sulfhídrico (Rivera y De Gracia, 2022).

En la búsqueda de soluciones a esta problemática surge el uso de bacterias que contribuyan a la biorremediación y aprovechar mejor los nutrientes existentes en estas aguas residuales. El uso de bacterias como *Pseudomonas*, resulta benéfico para la planta pues son adecuados agentes de control biológico y biofertilizante, además de promover el crecimiento gracias a la producción de auxinas y, ayuda a solubilizar fósforo a partir de ácidos orgánicos (Sánchez Carrillo y Guerra Ramírez, 2022). Así mismo, dentro de las bacterias frecuentemente utilizadas en la actualidad, tenemos *Azospirillum*, una bacteria aeróbica de vida libre que contribuye a la fijación de nitrógeno (Cárdenas Caro et al., 2014). Al usar ambas bacterias en un sistema de acuaponía, contribuirán a un mejor aprovechamiento de los nutrientes existentes y esto a su vez resultará en una planta de mayor vigor.

Azospirillum pertenece a la subclase α -proteobacteria, bacterias aeróbicas que alberga un gran número de bacterias simbiotes asociadas a plantas, y ha sido aislada colonizando la rizosfera de gramíneas, particularmente de cultivos desde importancia económica tales como el maíz, el trigo y el arroz, desde climas tropicales hasta templados (Patiquín et al. 1983). El género *Azospirillum* tiene una excelente promoción de crecimiento en las plantas y fijación de nitrógeno lo cual se ve reflejado en el incremento de longitud y número de raíces laterales y en la producción de reguladores de crecimiento vegetal como auxinas, citoquininas y giberelinas (Fernandes Domingues Duarte et al., 2020). Para un óptimo desarrollo ante la presencia de *Azospirillum* spp. se recomienda una concentración de 10⁵-10⁶ unidades formadoras de colonias por mililitro (UFC/mL) (Barbieri et al., 1986)

Una de las bacterias más conocidas por su efecto biocontrolador es *Pseudomonas fluorescens*, posee una alta capacidad de solubilizar fósforo mediante producción de ácidos orgánicos o, mediante fosfatasas, actuando sobre los ésteres e induciendo la liberación de grupos fosfatos existentes en la materia orgánica (Pérez Álvarez et al., 2015). Es una bacteria amigable con las plantas, produce compuestos llamados ciclodipéptidos que estimulan a la planta a producir auxinas, hormona fundamental dentro del crecimiento y desarrollo de las plantas (Sánchez Carrillo y Guerra Ramírez, 2022). Ante este planteamiento, la hidroponía con sistema de raíz flotante surge como una respuesta a la problemática del uso, aprovechamiento y manejo de estas aguas residuales.

El objetivo del presente estudio fue evaluar la producción de lechuga (*Lactuca sativa* var. Florin) y tilapia gris (*Oreochromis niloticus*) dentro de un modelo acuapónico con la inoculación de *Azospirillum* spp. y *Pseudomonas* spp.

Materiales y Métodos

Ubicación

El estudio se realizó en la unidad de acuicultura de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, ubicada en el valle del Yegüare, departamento de Francisco Morazán, a una elevación de 800 msnm. La zona, posee una temperatura media anual que oscila de 24 a 29 °C con una precipitación media anual de 1100 mm al año, humedad promedio de 80% y un índice UV de 5; posee un clima tropical de sabana.

Figura 1

Ubicación del experimento

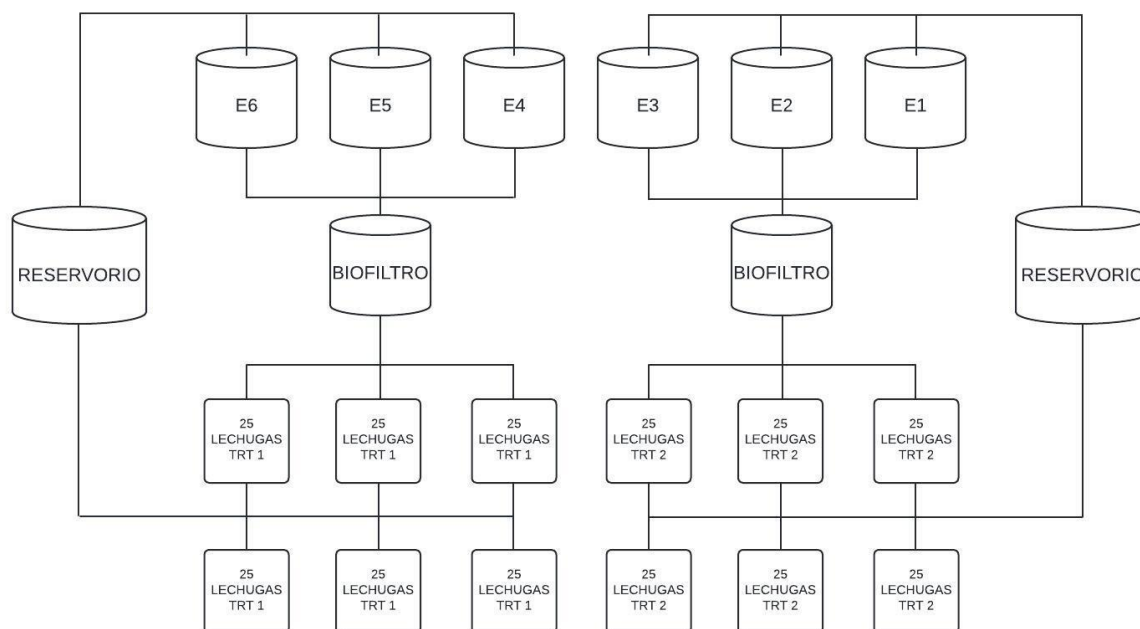


Diseño de Sistema Acuapónico de Raíz Flotante

Se utilizó la aplicación Lucidchart para el diseño del sistema acuapónico en 2D (Figura 2).

Figura 2

Diseño de sistema acuapónico usado en la producción de lechuga (*Lactuca sativa*) con tilapia gris (*Oreochromis niloticus*)



TRT 1= *Azospirillum* spp.

TRT 2= *Azospirillum* spp. + *Pseudomonas* spp.

El sistema constó de dos tratamientos con seis repeticiones; para cada dos repeticiones se utilizó un tanque de fibra de vidrio donde se desarrolló la tilapia (*Oreochromis* sp.) con un volumen de 1.21 m³ por tanque y, una densidad de siembra de 4.78 kg/m³, lo que conlleva a un total de 20 peces por tanque con un promedio de peso de 239.42 g/pez. Los tanques fueron conectados a un biofiltro constituido por teja y grava cuya capacidad total fue de 450 L. La recirculación del sistema se distribuyó mediante tuberías de PVC a seis mesas de cultivo para cada uno de los tratamientos. El cultivo utilizado en el presente estudio fue de lechuga (*Lactuca sativa*) en su variedad Florín. Este fue sembrado en camas flotantes de poliestireno de 1 m de largo × 1 m de ancho × 6 cm de grosor a una densidad de 25 plantas por repetición, en tres bolillos y con un distanciamiento de 15 cm entre plantas.

Biofiltros

Se utilizó dos biofiltros para efectos de esta investigación, cada uno constó de una bomba sumergible marca Little GIANT®, la capacidad de bombeo de las bombas fue de 25.2 L/min y una capacidad de 450 L. Ambos biofiltros fueron llenados de teja y grava para actuar como sustrato para las bacterias nitrificantes *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*. Además, se adicionó 40 g de alimento concentrado peletizado con 32% de proteína cruda para activar el crecimiento de bacterias dentro del biofiltro.

Aireadores y Difusores de Oxígeno

Para el sistema de oxigenación se utilizó un aireador de la marca Hyperspin con una capacidad de 0.9 KW/1.2 HP. La conducción del aire se hizo a través de tubería de PVC y la difusión se realizó con mangueras porosas instaladas en cada uno de los tanques, sumando un total de 12 mangueras difusoras. Estas fueron ajustadas por medio de una válvula de PVC para asegurar un control óptimo en la distribución del oxígeno disuelto.

Mesas para Lechuga

Con respecto al sistema hortícola, se usaron seis tanques para cada uno de los tratamientos dando un total de 12 tanques para el experimento. Estos tanques tenían longitudes de 1.2 m de largo × 1 m de ancho × 0.5 m de profundidad. Para el área de cultivo de lechuga se utilizó una lámina de poliestireno de 1 m de largo × 1 m de ancho × 6 cm de grosor. La densidad de siembra para cada lámina fue de 25 plantas para cada una de las láminas. Los pilones fueron sembrados en sistema tres bolillos con un espaciamiento de 15 cm por lado. Las lechugas, fueron llevadas a trasplante a los 26 días de germinación.

Las plantas fueron cosechadas a los 22 días después de trasplante; para la obtención de los datos se seleccionó 10 plantas aleatoriamente elegidas en cada uno de los tanques donde se encontraban las plantas, las variables medidas fueron: altura foliar (cm), crecimiento radicular (cm), peso fresco foliar (g), peso fresco de raíz (g), peso total (g) y el nivel de clorofila presente.

Metodología Utilizada en Sistema Acuicola

Los parámetros de calidad de agua medidos en los tanques de tilapia fueron: temperatura (°C) y oxígeno disuelto (mg/L) registrados con un medidor multiparámetro YSI® PRO20; pH, amonio (mg/L), nitritos y nitratos (mg/L) fueron medidos con el API® water quality test kit. Para suplir la alimentación del animal se alimentó una jornada en la mañana y otra por la tarde. Se utilizó concentrado para tilapia de grupo ALCON® con un 32% de proteína cruda en base a las tablas de alimentación de la misma empresa, alimentando 120 g por día. Con respecto a la calidad de agua, los datos de oxígeno disuelto y temperatura se midieron dos veces al día en jornada de mañana y tarde; por otro lado, los parámetros de amonio, nitritos y nitratos se midieron una vez por semana.

Tratamientos Evaluados

El experimento se constituyó de dos tratamientos haciendo uso de las bacterias *Azospirillum* sp. y *Pseudomonas fluorescens* en una concentración de 1×10^8 UFC y, ambos tratamientos fueron inoculados en el pilón al trasplante utilizando recipientes separados para el proceso.

Azospirillum spp.

Se inoculó 1.5 mL de bacteria en el sustrato de cada plántula de lechuga (*Lactuca sativa* var. Florín) al día de trasplante a una concentración de 1×10^8 UFC.

Azospirillum spp. + Pseudomonas fluorescens

En este tratamiento, se replicaron las condiciones del primer tratamiento las cuales fueron la inoculación de 1.5 mL de bacteria en el sustrato de cada plántula de lechuga (*Lactuca sativa* var. Florín) al día de trasplante y, se adicionó 1.5 mL de bacteria *Pseudomonas fluorescens* de igual manera al día de trasplante con una concentración de 1×10^8 UFC.

Diseño Experimental y Análisis Estadístico

Se utilizó una prueba T de Student para la comparación de medias entre dos tratamientos, seis repeticiones para cada uno de ellos y, un total de 12 unidades experimentales. Para el análisis de datos, se utilizó el programa JMP® Pro 18.

Resultados y Discusión

Variables de Calidad de Agua

Se midió un total de seis parámetros de calidad de agua en los seis tanques de fibra de vidrio con capacidad de 1.21 m³.

Oxígeno Disuelto

Los valores obtenidos de oxígeno disuelto para T1: *Azospirillum* se situaron en los rangos entre 7.1 mg/L para la jornada AM y de 6.5 mg/L para la jornada PM; por otro lado, para T2: *Azospirillum* + *Pseudomonas*, se presentaron rangos promedios de 7.4 mg/L para la jornada AM y de 7.2 mg/L para la jornada PM y, los valores más altos de este experimento se registraron para T2: *Azospirillum* + *Pseudomonas* (Cuadro 1). Sin embargo, los valores obtenidos en ambos tratamientos se encuentran dentro del rango óptimo para la producción de tilapia el cual debe ser mayor a 3 mg/L y, mayor a 5 mg/L en sistemas intensivos (González Flavio, 2019). El oxígeno disuelto tiene un alto grado de importancia dentro de la salud y el crecimiento de los peces, es uno de los aspectos más complejos de entender y manejar, se ve ligado a la aparición de enfermedades, mal índice de conversión alimenticia y mortalidad del pez (Saavedra Martinez, 2006).

En un estudio realizado por Betancourth Vasquez y Cárcamo Lagos (2023) en su investigación de comparación de dos biofiltros en un modelo acuapónico con lechuga y tilapia, se obtuvo valores similares (6.01 mg/L); este factor, se ve determinado por las condiciones ambientales, principalmente la lluvia, por ende, es un aspecto para considerar al compararlo con otros experimentos.

Temperatura

Los valores de temperatura para T1: *Azospirillum* fueron en promedio de 24.3 °C para la jornada AM y de 29.0 °C para la jornada PM.; de igual manera, los valores obtenidos para T2: *Azospirillum* + *Pseudomonas* tuvieron una media de 24.1 °C para la jornada AM y de 28.9 °C en la jornada PM (Cuadro 1). Ambos tratamientos presentaron valores similares en este parámetro. Los peces son animales poiquiloterms, es decir, su temperatura corporal se ve influenciada por la temperatura del medio; de igual manera, son altamente sensibles a los cambios de temperatura (Brito

Suárez, 2009). La temperatura juega un papel clave en el desempeño del animal, se consideran rangos óptimos de temperatura entre los 22- 30 °C para la etapa juvenil (Kaneshima et al., 2022) y, de igual manera, a temperaturas menores a 25 °C el crecimiento del animal se ve reducido (Calderón Orellana, 2018).

En un estudio realizado por Flores y Madrid (2013) en su investigación de comparación de cultivares acuapónicos de lechuga, se obtuvieron valores similares en los valores de temperatura; cabe recalcar, que este es un factor que no podemos controlar y dependerá de las condiciones climáticas de la época.

Cuadro 1

Variables físicas analizadas en calidad de agua en un sistema acuapónico en la producción de lechuga

Tratamiento	Variable	Jornada	Media	Mínimo	Máximo	Rango
T1: A	O.D. (mg/L)	AM	7.1	5.8	8.8	3
		PM	6.5	4.9	8.4	3.5
	Temperatura (°C)	AM	24.3	23.1	27.1	4
		PM	29.0	25.3	32.1	6.8
T2: A+P	O.D. (mg/L)	AM	7.4	5.8	9.7	3.9
		PM	7.2	4.9	10.9	6
	Temperatura (°C)	AM	24.1	22.8	27.1	4.3
		PM	28.9	25.1	32.3	7.2

Nota. O.D. = Oxígeno disuelto; mg/L; A = *Azospirillum*; P = *Pseudomonas*.

Amonio Total (NH₄⁺ y NH₃)

Para el T1: *Azospirillum* y T2: *Azospirillum* + *Pseudomonas* se obtuvo valores promedio de 0.56 mg/L y 0.31 mg/L, respectivamente (Cuadro 2). La concentración de amonio no presentó diferencias ($P > 0.05$). El amoniaco, se produce como resultado de la descomposición de materia orgánica en el agua, resultando así, tóxico para los peces. El nivel de tolerancia de amonio de las tilapias oscila entre 0.6 a 2.0 mg/L (Brito Suárez, 2009). Por otro lado, para que el amoniaco sea aprovechable en las plantas debe tener lugar en primera instancia el proceso de amonificación, donde pasa a convertirse en ion amonio (NH₄⁺); posterior a esto, las bacterias nitrificantes toman parte en el proceso pasando a nitrato por medio de la nitrificación (González Gallardo, 2014), de esta forma los bajos niveles de amonio en los tanques acuícolas, contribuyen a la salud de la planta.

En un estudio realizado por Betancourth Vasquez y Cárcamo Lagos (2023) en su investigación de comparación de dos biofiltros en un modelo acuapónico con lechuga y tilapia, se obtuvo valores superiores a los presentados en este estudio (0.61 mg/L y 0.73 mg/L) por ende, el incluir bacterias que contribuyan a la fijación de nitrógeno ayudará a la disminución de amonio en el sistema acuícola.

Nitratos (NO_3^-)

Los resultados obtenidos para T1: *Azospirillum* y T2: *Azospirillum* + *Pseudomonas* fueron de 5 y 7.5 mg/L, respectivamente (Cuadro 2). No se encontró diferencia ($P > 0.05$) entre los tratamientos. Los valores obtenidos en este experimento superan los niveles óptimos recomendados para la producción de tilapias, cuyos valores deben oscilar en el rango de (1.5 - 2.0 mg/L) (Saavedra Martinez, 2006). Las plantas, aprovechan la presencia de nitratos absorbiéndolos para su aprovechamiento como suplidores de los requerimientos de la planta (Lizcano Aura, 2021).

En un estudio realizado por Betancourth Vasquez y Cárcamo Lagos (2023) en su investigación de comparación de dos biofiltros en un modelo acuapónico con lechuga y tilapia, se obtuvo valores superiores a los presentados en este estudio (25.09 mg/L y 21.84 mg/L). La inclusión de bacterias en el sistema contribuyó a disminuir los valores de nitratos puesto que, al ser más aprovechados por la planta, se disminuye sus niveles críticos en el sistema.

Nitritos (NO_2^-)

Para los tratamientos T1: *Azospirillum* y T2: *Azospirillum* + *Pseudomonas* se obtuvo valores promedios de 1.38 y 1.38 mg/L, respectivamente (Cuadro 2). No se presentaron diferencias ($P > 0.05$) en la comparación de ambos tratamientos. Los nitritos son compuestos intermedios en el proceso de nitrificación bacteriana de amoníaco a nitrato y, en exceso, puede resultar altamente tóxico para el animal (Rhenals, 2023). Los valores obtenidos en el presente experimento superan los valores óptimos para la producción de tilapia que deben encontrarse ≤ 1 mg/ L (Saavedra Martinez, 2006).

pH

Los valores obtenidos para T1: *Azospirillum* y T2: *Azospirillum* + *Pseudomonas* fueron constantes e iguales a lo largo del experimento reportándose así un valor de 7.6 pH para ambos

tratamientos ($P > 0.05$) (Cuadro 2). El rango óptimo de pH para una producción de tilapias oscila entre 6.0 – 9.0 de pH, dando un mejor crecimiento para el animal (Saavedra Martinez, 2006) es decir, que pese a no encontrar diferencias significativas en ambos tratamientos, los valores presentados se encuentran dentro del rango óptimo para producción. El pH del agua, tiene influencia sobre los procesos de amonio; con valores >9 el amonio pasará a convertirse en amoniaco que es extremadamente tóxico para los peces (Pinzón, 2022). En un experimento similar realizado por Rivera Figueroa y De Gracia Fuentes (2022) se presentó un valor similar de pH de 7.67 en el sistema acuícola ante la inoculación de *Azospirillum* en las plántulas.

Cuadro 2

Parámetros químicos de calidad de agua evaluados durante el experimento (Media \pm Error Estándar)

Variables	pH	Nitrito (NO_2^-) (mg/L)	Nitrato (NO_3^-) (mg/L)	Amonio (NH_4^+ y NH_3) (mg/L)
T1: A	7.60 \pm 0.00	1.38 \pm 0.38	5.00 \pm 2.04	0.56 \pm 0.16
T2: A+P	7.60 \pm 0.00	1.38 \pm 0.38	7.50 \pm 4.33	0.31 \pm 0.06
Valor P	--	1.00	0.63	0.22

Nota. A= *Azospirillum*; P= *Pseudomonas*.

Variables Peces

Para las tilapias, se analizó la ganancia diaria de peso (GDP) y, el índice de conversión alimenticia (ICA); estas variables representan indicadores productivos importantes al momento de tener una producción de tilapias.

Ganancia Diaria de Peso (GDP)

Con respecto a la ganancia diaria de peso, para T1: *Azospirillum* se obtuvo en promedio 1.33 g de GDP y, para T2: *Azospirillum* + *Pseudomonas*, se obtuvo un valor promedio de 2.17 g de GDP (Cuadro 3). No se encontraron diferencias entre los tratamientos ($P > 0.05$); el estrés, es una situación que requiere de un alto consumo de energía aeróbica para mantener el cuerpo estable (Souza dos Reis Goes et al., 2019)

Flores Luis y Madrid Junior (2013) presentaron una ganancia de diaria de peso promedio de 2.7 g/pez en su estudio de comparación de cultivares acuapónicos de lechuga; la disminución de GDP

para el presente estudio, se debió a las condiciones climáticas de lluvia que se presentaron durante el experimento lo cual induce al estrés del animal y por ende la disminución en consumo de alimento.

Índice de Conversión Alimenticia (ICA)

Para los tratamientos T1: *Azospirillum* y T2: *Azospirillum* + *Pseudomonas*, se obtuvo valores medios de 3.91 y 2.57, respectivamente (Cuadro 3). No se encontraron diferencias entre tratamientos ($P > 0.05$). El ICA es el reflejo del aprovechamiento del alimento por el animal durante un periodo de tiempo (Barragán Zambrano, 2006).

Flores Luis y Madrid Junior (2013) presentaron un promedio de 2.8 para el índice de conversión alimenticia (ICA) en su estudio de comparación de cultivares acuapónicos de lechuga; la presencia de altos valores de ICA para el animal se debió a las condiciones de estrés a las cuales se encontraba expuesto y, a que no se reajustó el alimento suministrado semanalmente en base a la mortalidad y biomasa.

Cuadro 3

Parámetros productivos del animal (Media \pm Error Estándar) en un sistema de producción acuapónico

Variables	Peso Individual Inicial (g)	Peso Individual Final (g)	Ganancia de Peso (g)	Ganancia Diaria de Peso (g)	ICA
T1: A	272.16 \pm 28.00	302.71 \pm 17.76	30.55 \pm 3.10	1.33 \pm 0.13	3.91 \pm 0.40
T2: A+P	292.57 \pm 21.09	342.55 \pm 14.27	49.99 \pm 5.93	2.17 \pm 0.26	2.57 \pm 0.25
Valor-P	0.37	0.16	0.06	0.06	0.06

Nota. A= *Azospirillum*; P= *Pseudomonas*; ICA = Índice de Conversión Alimenticia.

Variabes Hortícolas

Respecto a las variables hortícolas, se analizaron ocho parámetros que reflejan la eficiencia de las bacterias inoculadas y su efecto en la planta.

Longitud de Raíz (mm)

Se realizó las mediciones de la longitud de las raíces para T1: *Azospirillum* y T2: *Azospirillum* + *Pseudomonas*. Se encontró que el promedio obtenido fue de 117.30 y 129.43 mm, respectivamente (Cuadro 4). La búsqueda de nutrientes por parte de la raíz en el agua permite el crecimiento de esta. Para esta variable se obtuvo un valor ($P > 0.05$). esto que las rizo bacterias del género *Pseudomonas*

spp. tienen la capacidad de producir ácido indolil-3-acético (AIA) favoreciendo así el desarrollo radicular y la presencia de raíces adventicias (Canchignia Martínez et al., 2015); *Azospirillum* es conocido por ser una bacteria que apoya al crecimiento radicular y desarrollo de raíces secundarias y laterales (Marin Freddy, 2017). Al tener ambas bacterias en asocio, la planta tendrá una mayor elongación de la raíz.

En un experimento similar realizado por Rivera Figueroa y De Gracia Fuentes (2022) se presentó un valor similar de 20.6 cm en cuanto a la elongación de raíces con la inoculación de *Azospirillum* en el sistema acuícola inoculando la bacteria en el pilón.

Altura Foliar (mm)

Respecto a los valores de altura foliar se obtuvo valores en promedio de 128.00 y 128.44 mm para T1: *Azospirillum* y T2: *Azospirillum* + *Pseudomonas*, respectivamente. No se encontró diferencias entre tratamientos ($P > 0.05$). El nitrógeno es esencial para el crecimiento de las plantas puesto que forma parte esencial de la clorofila (Orchardson, 2020); por ello, el uso de bacterias que contribuyan a su fijación contribuirá a un mejor desarrollo foliar.

En investigaciones previas realizadas por Betancourth Vasquez y Cárcamo Lagos (2023) en su investigación de comparación de dos biofiltros en un modelo acuapónico con lechuga y tilapia, se obtuvo valores superiores a los presentados en este estudio (21.6 y 17.63 cm); un aspecto a considerar para esta diferencia entre el presente experimento y el realizado por Betancourth Vasquez y Cárcamo Lagos (2023) es la variedad utilizada puesto que ellos utilizaron variedad Kristine que presenta una hoja más alta y, en el presente se utilizó variedad Florín cuya altura de hoja no es tan desarrollada.

Diámetro Radicular (mm)

Finalizado el experimento, se realizaron mediciones del diámetro radicular para T1: *Azospirillum* y T2: *Azospirillum* + *Pseudomonas*, obteniendo valores de 128.00 y 128.44 mm respectivamente. No se encontró diferencias entre los tratamientos ($P > 0.05$). El diámetro radicular va de la mano de la longitud de raíz y, con el crecimiento de raíces adventicias y secundarias; a mayor número y diámetro de raíces, proporcionan una fuente más duradera para el crecimiento microbiano

(de Oliveira Pessôas Paes et al., 2018). Un suministro adecuado de nutrientes en las concentraciones correctas favorece un crecimiento saludable de las raíces. No obstante, niveles demasiado altos o bajos de nutrientes pueden tener efectos perjudiciales en el desarrollo de las raíces.

Peso Raíz (g)

Los datos de peso radicular para T1: *Azospirillum* y T2: *Azospirillum* + *Pseudomonas* fue en promedio de 13.68 y 14.98 g. Se encontraron diferencias entre los tratamientos ($P \leq 0.05$), esto se debe a que, en el asocio de bacterias, al contribuir ambas en la fijación de nitrógeno, el desarrollo de la raíz será mayor y por ende su peso incrementará puesto que no solo incrementará la longitud de esta sino también el número de raíces secundarias

En estudios previos realizados por Flores Luis y Madrid Junior (2013) presentaron valores promedios de elongación de raíz entre 19 a 50 g dependiendo de la variedad de lechuga. Pese a que los valores del presente se encuentran por debajo de estos valores, es importante considerar que la presencia de algas limita el desarrollo radicular y, por ende, a menor número y elongación de raíces será un menor peso.

Peso Foliar (g)

Los valores promedio para el peso foliar fue de 57.33 g para T1: *Azospirillum* y de 66.00 g para T2: *Azospirillum* + *Pseudomonas*. Para esta variable, se encontró diferencias entre los tratamientos ($P \leq 0.05$). Altas proporciones de nitratos en solución contribuyen al incremento del índice de clorofila y el área foliar (Lara-Herrera et al., 2022). Se considera que, al ser la lechuga al ser un cultivo de hoja, interesa mucho más tener mayor peso foliar y, en este experimento, T2: *Azospirillum* + *Pseudomonas* sería el mejor tratamiento en esta variable.

En un experimento similar realizado por Rivera Figueroa y De Gracia Fuentes (2022) se presentó un valor similar de 67.56 g en cuanto al peso foliar cuando se aplica *Azospirillum* al pilón de lechuga al trasplante.

Peso Total (g)

Para T1: *Azospirillum* y T2: *Azospirillum* + *Pseudomonas*, se obtuvieron valores promedios de 74.90 y 85.07 g. Los tratamientos presentaron diferencias entre sí ($P \leq 0.05$), resultando T2: *Azospirillum* + *Pseudomonas* como el tratamiento con el mayor peso total a la cosecha. Con mejor aprovechamiento de nitrógeno, el cultivo de lechuga tendrá mejores rendimientos tanto en peso como en crecimiento; además, el nitrógeno tiene influencia en el peso fresco de la lechuga puesto que, la acumulación de agua por parte del nitrato tiene un efecto osmótico en el volumen de agua presente en la planta (Flores Macías et al., 2010).

En un experimento similar realizado por Rivera Figueroa y De Gracia Fuentes (2022) se presentó valores promedio de 82.6 y 85.51 g en cuanto al peso total de la planta.

Número de Hojas

Respecto al número de hojas, T1: *Azospirillum*, presentó un valor promedio de 21.07 hojas; por otro lado, T2: *Azospirillum* + *Pseudomonas*, presentó 20.37 hojas por planta. No se encontró diferencias en esta variable ($P > 0.05$). El valor nutritivo de la lechuga se basa de manera esencial en sus hojas puesto que se pueden consumir de forma natural o picadas (Criollo Génesis, 2023).

Clorofila (SPAD)

Al hablar del nivel de clorofila encontramos que para T1: *Azospirillum* se presentó un valor promedio de 13.60 SPAD y, para T2: *Azospirillum* + *Pseudomonas*, se obtuvieron valores promedio de 13.87 SPAD (Cuadro 4). No se encontró diferencias en esta variable ($P > 0.05$). A mayor presencia de nitrógeno, la disponibilidad de radiación fotosintéticamente activa aumenta y con ello el valor SPAD (Soil Plant Analysis Development) (Da Cunha et al., 2015); por ello, se obtuvo un valor ligeramente mayor de este parámetro en T2: *Azospirillum*+ *Pseudomonas* puesto que ambas bacterias fijan una mayor cantidad de nitrógeno.

En un experimento similar realizado por Rivera Figueroa y De Gracia Fuentes (2022) se presentó valores promedio de que oscilan en un rango de 12 SPAD en un sistema acuapónico de lechuga y tilapia con inoculación de *Azospirillum*.

Cuadro 4

Parámetros agronómicos evaluados de lechuga en un sistema acuapónico (Media \pm Error Estándar)

Variab les	Longitud de raíz (mm)	Altura foliar (mm)	Diámetro radicular (mm)	Peso raíz (g)	Peso foliar (g)	Peso cogollo (g)	Peso total (g)	Número de hojas	Análisis de clorofila (SPAD)
A	117.30 \pm 5.54	128.00 \pm 2.81	32.90 \pm 1.86	13.68 \pm 0.51	57.33 \pm 2.17	3.89 \pm 0.18	74.90 \pm 2.67	21.07 \pm 0.54	13.60 \pm 0.45
A+P	129.43 \pm 4.44	128.44 \pm 2.51	32.46 \pm 1.12	14.98 \pm 0.39	66.00 \pm 3.89	4.09 \pm 0.13	85.07 \pm 4.01	20.37 \pm 0.31	13.87 \pm 0.55
Valor- p	0.09	0.91	0.84	0.04	0.05	0.37	0.04	0.26	0.71

Nota. A= Azospirillum; P= Pseudomonas

Conclusiones

Las bacterias inoculadas no tuvieron un efecto directo sobre la productividad y sanidad de las tilapias.

El peso final de la planta se vio afectado positivamente por la presencia de las bacterias *Azospirillum* spp. y *Pseudomonas* spp.

Los valores de amonio se vieron reducidos en la presencia de *Azospirillum* spp. y *Pseudomonas* spp. en conjunto.

Recomendaciones

Elaborar biofiltros con más capas de filtrado para así contribuir al desarrollo de una mejor población de bacterias nitrificantes.

Colocar malla sombra de tal manera que los tanques que contienen las plantas se encuentren cubiertos en su totalidad.

Ajustar la alimentación de los peces en base a la biomasa de estos y la mortalidad que se presente.

Realizar un análisis económico sobre la rentabilidad de este proyecto aplicado a pequeños productores de hortalizas.

Comparar los resultados de una producción acuapónica con los rendimientos de una producción convencional.

Evaluar diferentes dosis de inoculación de las bacterias *Azospirillum* spp. y *Pseudomonas* spp. comparando así su rendimiento.

Asegurar la concentración correcta de bacterias puesto que un exceso de estas inhibirá el desarrollo de la planta.

Realizar análisis de calidad de agua en laboratorio.

Referencias

- Barbieri, P., Zanelli, T., Galli, E. y Zanetti, G. (1986). *Wheat inoculation with Azospirillum brasilense Sp6 and some mutants altered in nitrogen fixation and indole-3-acetic acid production*. FEMS Microbiology Letters.
- Barragán Zambrano, D. I. (2006). *Evaluación de la restricción alimenticia en la producción de tilapia del Nilo (Oreochromis niloticus)* [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/798>
- Betancourth Vasquez, D. A. y Cárcamo Lagos, A. E. (2023). *Diseño y evaluación comparativa de dos biofiltros en un modelo acuapónico para la producción de lechuga (Lactuca sativa) y tilapia (Oreochromis sp.)* [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. <https://hdl.handle.net/11036/7721>
- Brito Suárez, F. G. (2009). *Efecto de la reutilización del agua en la crianza y producción de tilapia roja* [Tesis]. Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/584/1/07524.pdf>
- Calderón Orellana, M. Y. (2018). *Análisis del proceso productivo de tilapia (Oreochromis sp.) en la estación experimental Monterrico del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura (CEMA), USAC* [Tesis]. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. <https://core.ac.uk/reader/154906788>
- Canchignia Martínez, H. F., Belezaca Pinargote, C., Peñafiel Jaramillo, M., Carranza Patiño, M. S., Prieto Benavides, O., Gaibor Fernández, R. y (Sin especificar) (2015). Respuesta de poblaciones microbianas que lideran el crecimiento en raíces y resistencia sistémica inducida. *Ciencia Y Tecnología*, 8(2), 1–11. <https://doi.org/10.18779/cyt.v8i2.150>
- Cárdenas Caro, D. M., Garrido Rubiano, M. F., Roncallo Fandiño, B. A. y Bonilla Buitrago, R. R. (2014). Inoculación con *Azospirillum* spp y *Enterobacter agglomerans* en Pasto Guinea (*Panicum maximum* Jacq.) en el Departamento de Cesar (Colombia). *Revista Facultad Nacional De Agronomía Medellín*, 67(2), 7271–7280. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v67n2.44168>
- Criollo Génesis. (2023). *"Análisis de los cambios morfológicos y nutricionales de las lechugas: Lactuca sativa L. variedades longifolia y capitata, debido a la influencia de la luz led, en un huerto urbano hidropónico en condiciones controladas"* [Tesis]. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador.
- Cun Gonzales, R., Duarte Díaz, C. y Montero San José, L. (2015). Evapotranspiración y coeficiente de cultivo de la lechuga (BSS-13) en condiciones de organopónico. *Revista Ingeniería Agrícola*, 5(2), 10–15. <https://www.redalyc.org/pdf/5862/586261425002.pdf>
- Da Cunha, A. R., Katz, I., Sousa, A. d. P. y Martinez Uribe, R. A. (2015). Índice SPAD en el crecimiento y desarrollo de plantas de lisianthus en función de diferentes dosis de nitrógeno en ambiente protegido. *Idesia (Arica)*, 33(2), 97–105. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292015000200012>
- de Oliveira Pessôas Paes, L. S., de Lima, M. R., Kaschuk, G. y Machado Vezzani, F. (2018). Desarrollo de las raíces como indicador de la sustentabilidad del suelo de los sistemas de cultivo en el bioma de la mata atlántica. *Cultivos Tropicales*, 39(2), 7–14.
- FAO. (2021). *Estrategia 2030 de la CGPM para la pesca y la acuicultura sostenibles en el Mediterráneo y el Mar Negro*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. <https://doi.org/10.4060/cb7562es>

- Fernandes Domingues Duarte, C., Cecato, U., Biserra, T. T., Mamédio, D. y Galbeiro, S. (2020). *Azospirillum* spp. en gramíneas y forrajeras. Revisión. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 11(1), 223–240. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i1.4951>
- Flores Luis y Madrid Junior. (2013). *Comparación de la producción de lechuga de los cultivares Maximus, Locarno, Versai y Kristine en acuaponía con tilapia en Zamorano* [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras.
- Flores Macías, A., Miranda Franco, R. A., Galvis Spinola, A., Hernández Mendoza, M. T. y Ramos Espinoza, G. (2010). Estudio sobre el requerimiento interno de nitrógeno en lechuga (*Lactuca sativa*). *Sociedades Rurales, Producción Y Medio Ambiente*, 10(19), 83–100. <https://biblat.unam.mx/hevila/Sociedadesruralesproduccionymedioambiente/2010/vol10/n019/4.pdf>
- González Flavio. (2019). *Indicadores de Producción - Parámetros Físicos y Químicos del agua para Tilapias*. <https://www.pisciculturaglobal.com/indicadores-de-produccion-parametros-fisicos-y-quimicos-del-agua-para-tilapias/>
- González Gallardo, F. (2014). *Efecto de fertilización nitrogenada en la producción de lechuga (Lactuca sativa L. var. Iceberg) y metabolitos secundarios* [Tesis]. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, México. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/71/T20141%20%20GONZÁLEZ%20GALLARDO%2c%20FRANCISCO%20%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Intagri. (2001). *Acuaponia: Producción de Plantas y Peces*. Horticultura Protegida. <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/acuaponia-produccion-de-plantas-y-peces>
- Kaneshima, K., La Cruz, K. de, Ponciano, M., Toledo, N. y Culquichicón, Z. (2022). Effect of temperature on the growth of Juveniles of *Oreochromis niloticus* tilapia in an aquaculture exchange system (RAS). *Manglar*, 19(1), 39–44. <https://doi.org/10.17268/manglar.2022.005>
- Lara-Herrera, A., La Rosa-Rodríguez, R. de y Trejo-Téllez, L. I. (2022). PRODUCCIÓN DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) CON CINCO PROPORCIONES DE MACRONUTRIENTES EN SOLUCIÓN NUTRITIVA. *Bioagro*, 35(1), 113–122. <https://doi.org/10.51372/bioagro352.4>
- Lizcano Aura. (2021). *Calidad de Agua en Acuaponía*. <https://hannacolombia.com/aqua/blog/item/calidad-de-agua-en-acuaponia#:~:text=Los%20nitratos%20son%20fuente%20de,va%20a%20depende%20la%20producci%C3%B3n.>
- Marin Freddy. (2017). *Evaluación de la fijación de nitrógeno y su influencia en el crecimiento foliar y radicular de rosa spp. mediante la interacción de la bacteria nitrificante azospirillum spp.* Universidad de las Americas. <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/8507>
- Orchardson, E. (2020). *El nitrógeno en la agricultura: El nutriente más esencial en la producción mundial de cultivos es también uno de los más difíciles de manejar*. CIMMYT. <https://www.cimmyt.org/es/noticias/el-nitrogeno-en-la-agricultura/>
- Pérez Álvarez, S., Coto Arbelo, O., Echemendía Pérez, M. y Ávila Quezada, G. (2015). *Pseudomonas fluorescens* Migula, ¿control biológico o patógeno? *Revista De Protección Vegetal*, 30(3), 225–234. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522015000300008
- Pérez Sánchez, F. J. (2016). *Cultivo de lechuga en acuaponía* [Horticultura y Cultivos Ornamentales]. Hidrosostenibles. Horticultura Protegida.

<https://hcoetsia.wordpress.com/2016/01/16/cultivo-de-lechuga-en-acuaponia-fco-jose-perez-sanchez/#:~:text=La%20lechuga%2C%20como%20la%20gran,nutrientes%20disueltos%20en%20el%20agua.>

- Pinzón, S. (2022). *Importancia del pH en acuicultura* (Blog - Aplicaciones). Hanna Instruments. <https://www.hannacolombia.com/aqua/blog/item/importancia-del-ph-en-acuicultura?srsId=AfmBOor28vQ-tv3H142c87BO0CM6pfsTkS7khyCua31CLggfJ70shELG>
- Pizarro B., V., Jana A., C., Ibacache A., G., Contreras S., C., Leris G., L. y Alfaro E., V. (2019). *Módulos Hidropónicos Sistema Raíz Flotante (SRF): diseño, construcción y costos* (Programa de introducción del cultivo hidropónico de hortalizas bajo invernadero núm. 86). Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/4972>
- Rhenals, R. (2023). *Caracterización de nitrito en acuicultura* (Blog - Aplicaciones). Hanna Instruments. https://hannacolombia.com/aqua/blog/item/caracterizacion-de-nitrito-en-acuicultura?srsId=AfmBOoo58dkoLMxmZAzX9MpCf1DyXNLoYRm46c51l_YbEZAUbSoMvCsl
- Rivera Figueroa, A. J. y De Gracia Fuentes, N. N. (2022). *Efecto de la adición de Azospirillum sp. en la productividad de lechuga (Lactuca sativa var. Kristine) dentro de un sistema acuapónico con tilapia gris (Oreochromis niloticus)* [Tesis]. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/7298>
- Saavedra Martínez, M. A. (2006). *Manejo del cultivo de tilapia*. CIDEA - USAID. <https://www.crc.uri.edu/download/MANEJO-DEL-CULTIVO-DE-TILAPIA-CIDEA.pdf>
- Sánchez Carrillo, R. y Guerra Ramírez, P. (2022). *Pseudomonas spp. benéficas en la agricultura*. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 13(4), 715–725. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i4.2799>
- SERNA. (2009). *Guía de buenas prácticas ambientales para el cultivo de tilapia*. Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente. https://cnpml-honduras.org/wp-content/uploads/docu_tecnicos/GBPA/GBPA_Tilapia.pdf
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A. y Lovatelli, A. (2022). *Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala: Cultivo integral de peces y plantas*. FAO. <https://doi.org/10.4060/i4021es>
- Souza dos Reis Goes, E., Goes, M. D., de Castro, P. L., Ferreira de Lara, J. A., Pelaes Vital, A. C. y Pereira Ribeiro, R. (2019). *Efecto del estrés previo al sacrificio en la calidad de los filetes de tilapia*. Global Seafood Alliance. Health & Welfare. <https://www.globalseafood.org/advocate/efecto-del-estres-previo-al-sacrificio-en-la-calidad-de-los-filetes-de-tilapia/>

Anexos

Anexo A

Llenado de sistema

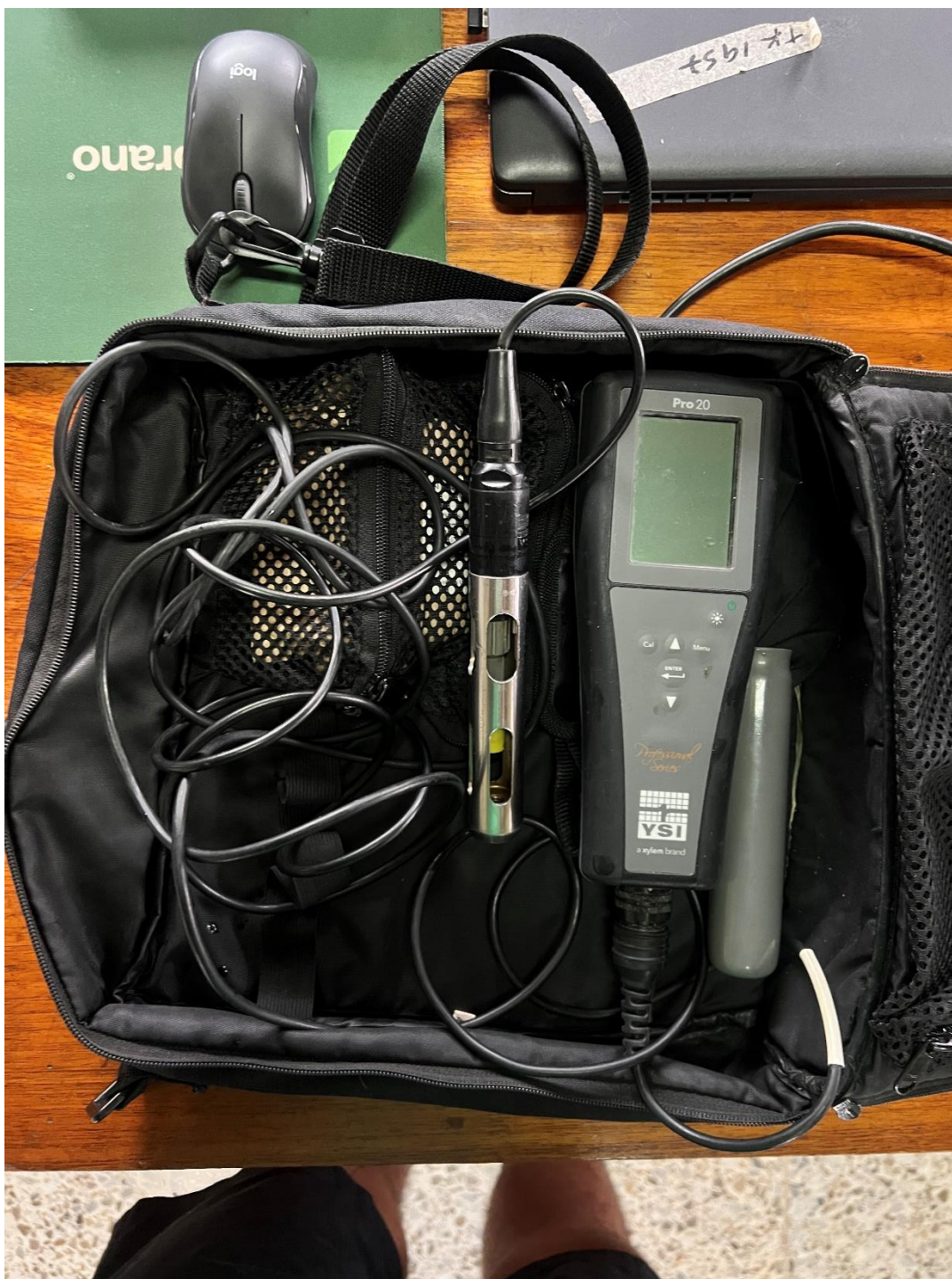


Anexo B*Elaboración de cama flotante*

Anexo C*Limpieza y desinfección de canastillas*

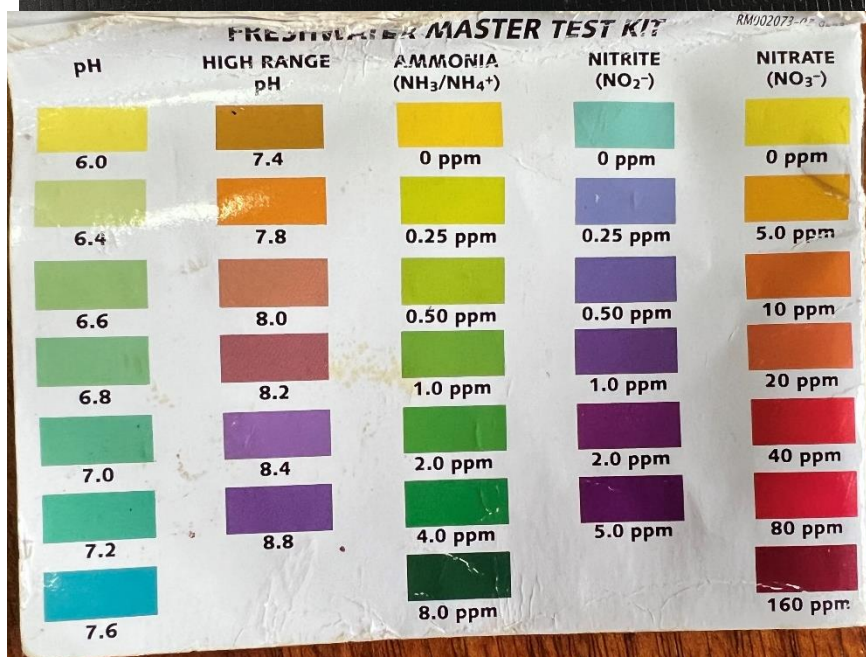
Anexo D*Trasplante de lechuga*

Anexo E*Proceso de inoculación de plántulas*

Anexo F*Medidor de oxígeno disuelto y temperatura*

Anexo G

Kit API utilizado para la medición de calidad de agua



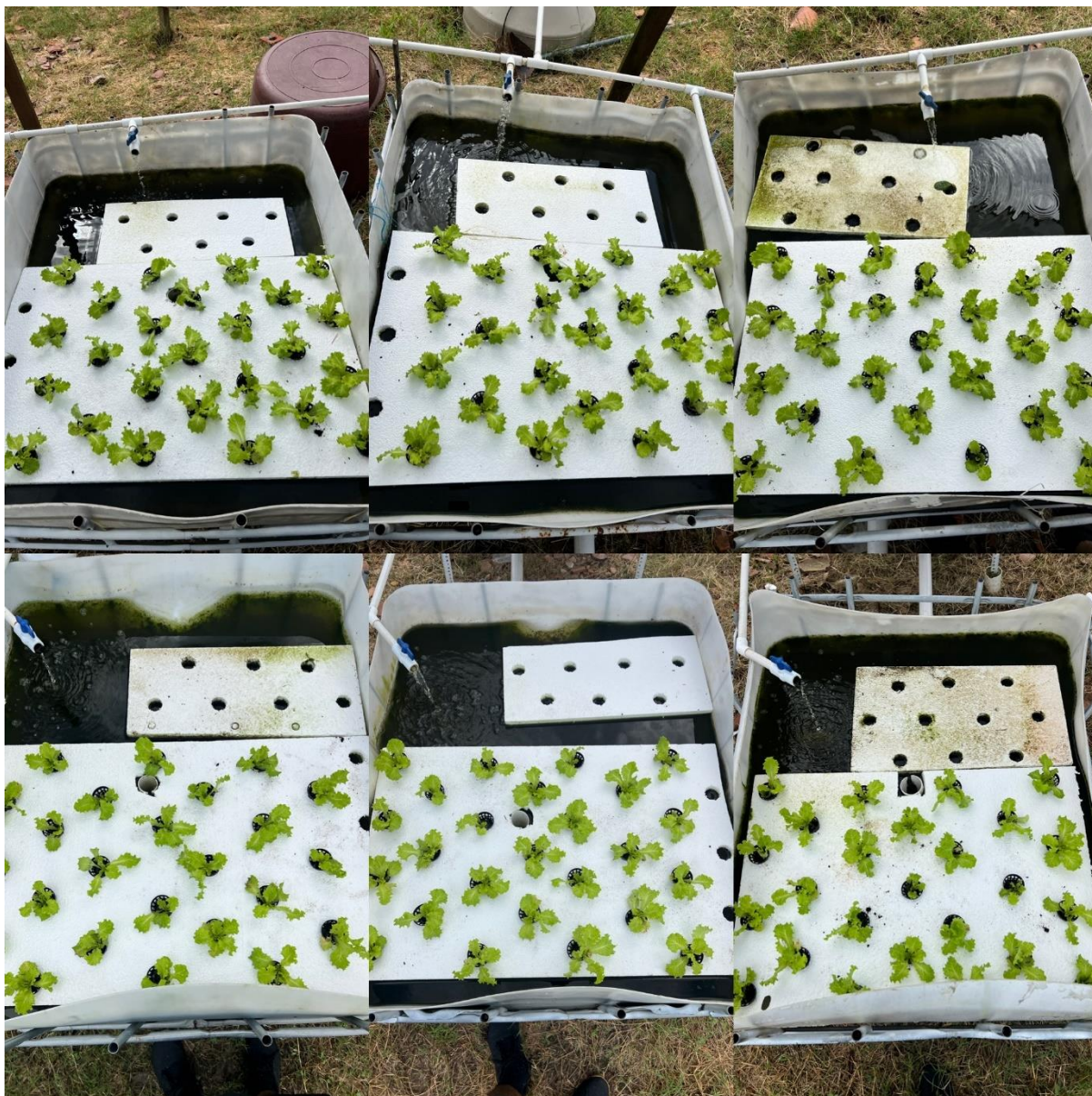
Anexo H

Tratamiento de Azospirillum a los siete días de trasplante.



Anexo I

Tratamiento Azospirillum + Pseudomonas a los siete días de trasplante

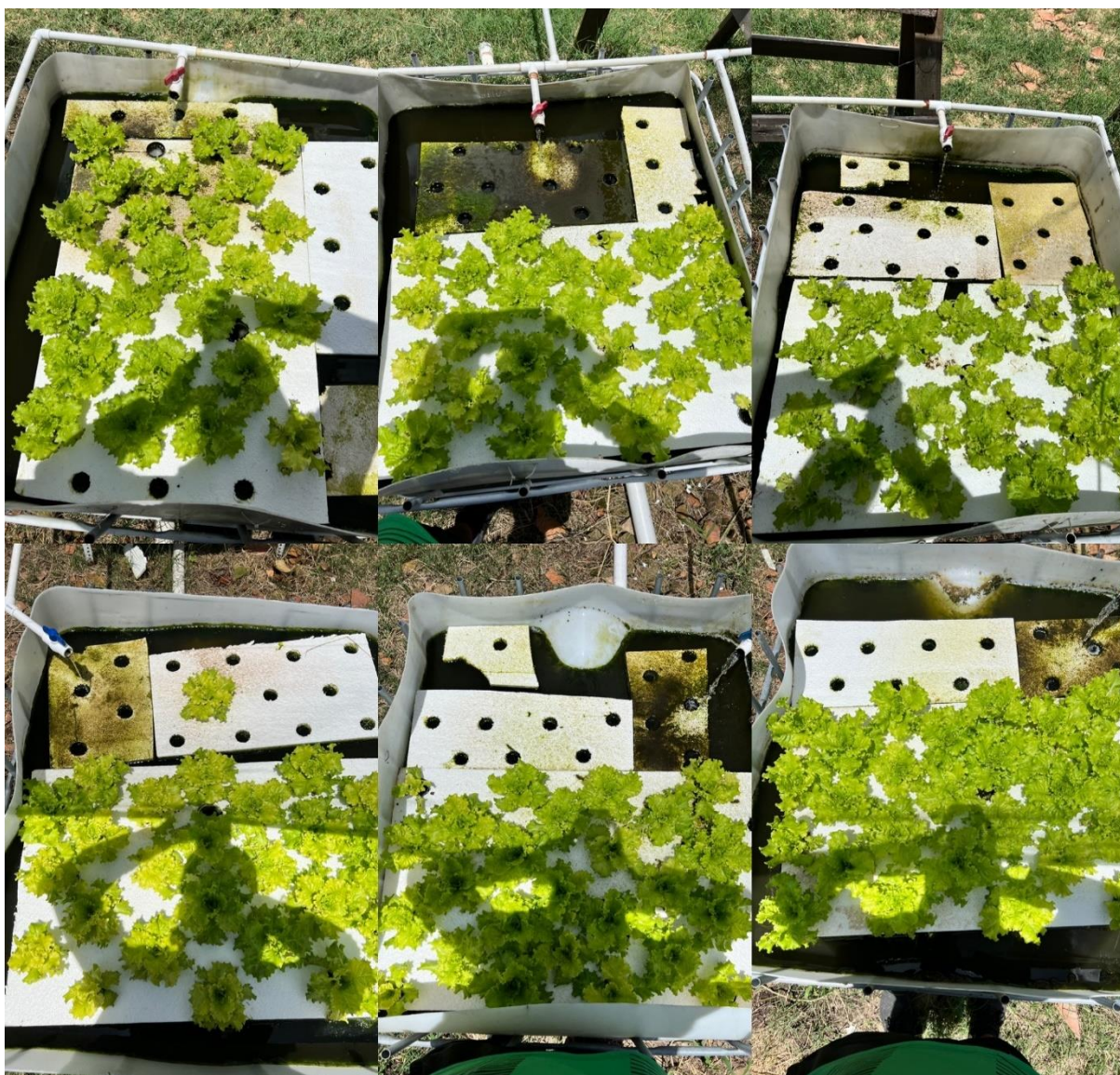


Anexo J

Tratamiento de Azospirillum a los 14 días de trasplante

Anexo K

Tratamiento Azospirillum + Pseudomonas a los 14 días de trasplante



Anexo L*Desarrollo radicular en Azospirillum a los 14 días*

Anexo M

Desarrollo radicular en Azospirillum + Pseudomonas a los 14 días



Anexo N*Tratamiento de Azospirillum al día de cosecha*

Anexo O

Desarrollo radicular de Azospirillum al día de cosecha



Anexo P

Desarrollo de Azospirillum + Pseudomonas al día de cosecha



Anexo Q

Desarrollo radicular de Azospirillum + Pseudomonas al día de cosecha



Anexo R

Medición de diámetro radicular usando pie de rey



Anexo S

Pesado de raíz húmeda haciendo uso de una gramera



Anexo T

Medición de altura foliar haciendo uso de pie de rey



Anexo U

Medición de clorofila



Anexo V

Conteo de hojas y pesado de las mismas

