



**Efecto del biofertilizante a base de espirulina (*Arthrospira platensis*) sobre la
productividad de pepino (*Cucumis sativus*) en un sistema acuapónico con tilapia roja
(*Oreochromis sp.*)**

Vivanco Viteri, Byron Wilfrido

Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario

Ing. Ortiz Tirado, Juan Cristóbal, PhD.

10 de febrero del 2022



Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación, "**Efecto del biofertilizante a base de espirulina (*Arthrospira platensis*) sobre la productividad de pepino (*Cucumis sativus*) en un sistema acuapónico con tilapia roja (*Oreochromis sp.*)**" fue realizado por el señor **Vivanco Viteri, Byron Wilfrido**; el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, 11 de febrero del 2022

Firma:



Firmado electrónicamente por:

**JUAN
CRISTOBAL
ORTIZ TIRADO**

.....
Ing. Ortiz Tirado, Juan Cristóbal, PhD.

C.C. 170999816 – 3



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Vivanco Viteri, Byron Wilfrido**, con cédula de ciudadanía n°: 172612711 – 9, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **"Efecto del biofertilizante a base de espirulina (*Arthrospira platensis*) sobre la productividad de pepino (*Cucumis sativus*) en un sistema acuapónico con tilapia roja (*Oreochromis sp.*)"** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 10 de febrero de 2022

Firma

Vivanco Viteri, Byron Wilfrido

C.C.: 172612711 – 9



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Autorización de Publicación

Yo **Vivanco Viteri, Byron Wilfrido** con cédula de ciudadanía n°: 172612711 – 9 autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **"Efecto del biofertilizante a base de espirulina (*Arthrospira platensis*) sobre la productividad de pepino (*Cucumis sativus*) en un sistema acuapónico con tilapia roja (*Oreochromis sp.*)"** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 10 de febrero del 2022

Firma

Vivanco Viteri, Byron Wilfrido

C.C.: 172612711 – 9

Reporte de verificación de similitud de contenidos



Tesis B. Vivanco. análisis Copyleaks.docx

Scanned on: 23:8 February 14, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words 548

Words with Minor Changes 66

Paraphrased Words 224

Ommited Words 0

Firma:



Firmado electrónicamente por:

**JUAN
CRISTOBAL
ORTIZ TIRADO**

Ing. Ortiz Tirado, Juan Cristóbal, PhD.

C.C. 170999816 – 3

Director

Dedicatoria

A Dios, que ha permitido se logre esta meta,
A mis padres Narcitza y Bairo,
A mis hermanos Jhenson y Leonardo,
A mis tíos Magna y Holger,
A mis primos Maritza y Andrés,
A mis amigos Alex, Alejandro,
En especial a Lizbeth,
Y todas las personas que colaboraron con su granito de arena
Gracias a cada uno por su gran apoyo
en los momentos de adversidad
con mucho cariño y gratitud

Byron Wilfrido Vivanco Viteri

Agradecimientos

A la Carrera de Ingeniería Agropecuaria – IASA 1 de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, a sus docentes quienes compartieron sus experiencias y conocimientos para mi formación académica-profesional.

En especial al Dr. Juan Ortiz por brindarme la oportunidad de formar parte de su proyecto, me guio en la realización de mi trabajo de titulación, orientándome con sus consejos y su apoyo durante el proyecto, hasta la culminación del mismo.

A la ingeniera Daysi Muñoz y al Licencia Marco Taco, personas cálidas que me asesoraron durante los procesos de análisis a nivel de laboratorio.

A la Piscícola “Nanegal” del Consejo Provincial de Pichincha, al Ingeniero Miguel Anasi quienes hicieron posible este proyecto facilitando las instalaciones e insumos necesarios y la asesoría.

Un profundo y afectuoso agradecimiento a mis padres, que con amor, paciencia y sabiduría me han apoyado incondicionalmente a lo largo de este largo camino llamado vida y que aún falta por recorrer, gracias por permitirme compartir este logro con ustedes.

A todos mis familiares, compañeros y amigos que durante el trayecto de este proceso de formación académica-profesional han estado presentes con sus virtudes y sus consejos.

Con cariño

Byron

Índice de contenidos

Carátula	1
Certificación.....	2
Responsabilidad de autoría	3
Autorización de repositorio	4
Reporte de verificación de similitud de contenidos	5
Dedicatoria	6
Agradecimientos.....	7
Índice de contenidos.....	8
Índice de figuras	14
Resumen	15
Abstract	16
CAPÍTULO I	17
INTRODUCCIÓN	17
Antecedentes	17
Justificación e importancia.....	18
Objetivos	19
Objetivo general.....	19
Objetivos específicos	19
Hipótesis.....	20
CAPÍTULO II	21

REVISIÓN DE LITERATURA	21
Cianobacterias	21
Características de espirulina (<i>Arthrospira platensis</i>)	21
<i>Arthrospira platensis</i> en la agricultura	23
<i>Arthrospira platensis</i> en producción pecuaria	24
<i>Arthrospira platensis</i> alimento para el ser humano	25
Sistemas acuapónicos.....	25
Sistemas acuapónicos en balsa flotante	27
Especies acuáticas utilizadas en sistemas acuapónicos	27
Características de tilapia roja (<i>Oreochromis sp.</i>).....	28
Requerimientos nutricionales de la tilapia roja	29
Subsistema de nitrificación y desnitrificación	30
Bacterias autotróficas y heterotróficas	31
Características de pepino (<i>Cucumis sativus</i>)	33
Requerimientos nutricionales de <i>Cucumis sativus</i>	34
Valoración y composición nutricional de <i>Cucumis sativus</i>	34
CAPÍTULO III	36
MATERIALES Y MÉTODOS	36
Ubicación política y geográfica del lugar de investigación	36
Ubicación ecológica.....	36
Instalación del sistema acuapónico	36

	10
Maduración del subsistema de nitrificación.....	38
Manejo de plantas	38
Manejo de tilapia roja.....	38
Cultivo de espirulina (<i>Arthrospira platensis</i>).....	39
Elaboración del biofertilizante foliar.....	39
Diseño experimental.....	39
Variables a medir.....	40
Sistema.....	40
Plantas.....	40
Peces	41
Análisis económico.....	41
Análisis estadístico	42
CAPÍTULO IV	43
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
Resultados	43
Condiciones físico químicas del agua	43
Análisis del desarrollo de las tilapias.....	45
Análisis de los procesos de nitrificación	46
Análisis productivos de las plantas de pepino.....	49
Análisis de la calidad de los frutos	50
Análisis económico de la producción	51

	11
Discusión.....	54
CAPÍTULO V.....	59
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	59
Conclusiones.....	59
Recomendaciones.....	60
Bibliografía	61

Índice de tablas

Tabla 1	Composición bioquímica de biomasa de espirulina (<i>Arthrospira platensis</i>).....	22
Tabla 2	Composiciones proximales de biomasa de espirulina cultivada en los medios LCMA y Zarrouk. Media \pm DE, n = 3.....	23
Tabla 3	Requerimientos nutricionales para el cultivo de tilapia roja.....	30
Tabla 4	Etapas fenológicas y parámetros climáticos del cultivo de pepino.....	34
Tabla 5	Requerimientos nutrimentales para el cultivo de pepino sin suelo.....	34
Tabla 6	Composición nutrimental de los frutos de pepino	35
Tabla 7	Media \pm desviación estándar de los parámetros fisicoquímicos del agua en los diferentes componentes del sistema acuapónico, n = 248, correspondiente al mes de octubre.....	43
Tabla 8	Medias \pm desviación estándar de los parámetros productivos de tilapia en un sistema acuapónico. n=63.....	46
Tabla 9	Medias \pm desviación estándar del flujo de amonio, nitrito, nitrato y fosfato en las balsas flotantes de las plantas de pepino bajo 5 dosis diferentes de espirulina. n=7.....	47
Tabla 10	Medias \pm desviación estándar del contenido de amonio, nitrito, nitrato y fosfato en los diferentes estanques del sistema acuapónico. n=7	48
Tabla 11	Medias \pm DE de las variables de productividad de las plantas de pepino bajo 5 dosis de espirulina en un sistema acuapónico.....	49

Tabla 12 Medias \pm desviación estándar de las variables del peso, largo y ancho de los frutos de pepino bajo 5 dosis de espirulina en un sistema acuapónico.....	50
Tabla 13 Medias \pm DE del análisis bromatológico de la biomasa de frutos de pepino bajo 5 dosis de espirulina en un sistema acuapónico.....	51
Tabla 14 Presupuesto parcial de la producción de fresa fertilizada con diferentes concentraciones de espirulina (<i>Arthrospira platensis</i>).	52

Índice de figuras

Figura 1	Esquema de un sistema acuapónico	26
Figura 2	Esquema genérico de un sistema acuapónico en balsa flotante	27
Figura 3	Esquema de la transformación de nitrógeno	31
Figura 4	Esquema de la nitrificación en acuaponía.....	33
Figura 5	Esquema del sistema acuapónico en Centro Piscícola Nanegal	37
Figura 6	Fluctuación promedio durante el día de los parámetros de calidad del agua	44
Figura 7	Promedio del peso, longitud total y ancho total que describen el crecimiento de las tilapias durante 10 semanas.	45
Figura 8	Medias del contenido de nitrito, nitrato, fosfato y amonio de los distintos estanques que componen el sistema acuapónico.....	48
Figura 9	Tasa de retorno marginal existente entre los tratamientos no dominados.....	53

Resumen

La industria de la acuicultura es un área de producción eficiente de alimentos con alto contenido de proteínas comestibles. Dando una alternativa eficiente a la implementación de sistemas acuapónicos, los cuales usan los efluentes del sistema acuícola convencional para la nutrición y producción de plantas y vegetales comestibles. Por lo tanto, la biofertilización con espirulina mediante la atomización foliar es una alternativa prometedora para satisfacer la demanda de un cultivo y lograr producciones de alto rendimiento. En esta investigación se evaluó el efecto de cinco concentraciones de espirulina en la productividad de pepino, en el flujo de nutrientes del sistema acuapónico y su viabilidad económica. Se implementó un sistema acuapónico para la producción de tilapia roja, con un subsistema de nitrificación y dos subsistemas de balsa flotante rectangulares con 45 plantas cada uno. En el experimento se probaron cinco dosis de espirulina (*Arthrospira platensis*): T0 = 0 g.L⁻¹, T1 = 2 g.L⁻¹, T2 = 4 g.L⁻¹, T3 = 6 g.L⁻¹, T4 = 8 g.L⁻¹ bajo un diseño completamente al azar (DCA).

El tratamiento T4 presentó diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$), con una altura de $147,06 \pm 4,74$ cm; $39,78 \pm 3,62$ hojas por planta; $19,22 \pm 1,70$ pepinos/repetición, con un peso de $493,67 \pm 121,33$ cm y un largo de $22,10 \pm 1,9$ cm. El T4 presentó una mayor absorción de nutrientes ($0,60 \pm 0,19$ de Nitrato y $0,06 \pm 0,02$ de fosfatos). De igual manera el T4 presentó una mayor tasa de retorno marginal (19,22 %) que el resto de tratamientos. Se concluye que la aplicación de biofertilizante foliar a base de espirulina promueve el crecimiento y desarrollo de las plantas de pepino, mejora la calidad morfológica y nutricional de los frutos y puede ser utilizado para la fertilización orgánica de sistemas acuapónicos.

Palabras clave: acuaponía, espirulina, cianobacterias, tilapia, biofertilizante

Abstract

The aquaculture industry is an area of efficient production of food with high edible protein content. Giving an efficient alternative to the implementation of aquaponic systems, which use the effluents from the conventional aquaculture system for the nutrition and production of edible plants and vegetables. Therefore, biofertilization with spirulina by foliar atomization is a promising alternative to meet the demand of a crop and achieve high yield productions. In this research, the effect of five concentrations of spirulina on cucumber productivity, nutrient flow in the aquaponic system and its economic feasibility were evaluated. An aquaponic system was implemented for red tilapia production, with a nitrification subsystem and two rectangular floating raft subsystems with 45 plants each. Five doses of spirulina (*Arthrospira platensis*) were tested in the experiment: T0 = 0 g.L⁻¹, T1 = 2 g.L⁻¹, T2 = 4 g.L⁻¹, T3 = 6 g.L⁻¹, T4 = 8 g.L⁻¹ under a completely randomized design (CRD).

The T4 treatment presented significant statistical differences ($p < 0.05$), with a height of 147.06 ± 4.74 cm; 39.78 ± 3.62 leaves per plant; 19.22 ± 1.70 cucumbers/repeat, with a weight of 493.67 ± 121.33 g and a length of 22.10 ± 1.9 cm. T4 presented a higher nutrient uptake (0.60 ± 0.19 of nitrate and 0.06 ± 0.02 of phosphate). Similarly, T4 presented a higher marginal return rate (19.22 %) than the rest of the treatments. It is concluded that the application of foliar biofertilizer based on spirulina promotes the growth and development of cucumber plants, improves the morphological and nutritional quality of the fruits and can be used for organic fertilization of aquaponic systems.

Keywords: aquaponics, spirulina, cyanobacteria, tilapia, biofertilizer

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

La seguridad alimentaria y nutricional es uno de los problemas globales de mayor importancia en la sociedad actual. La creciente urbanización de una población excesivamente demandante ha provocado un aumento de la oferta de recursos bajo un área de producción limitada (Adhikari, y otros, 2020). La industria de la acuicultura es un área de producción relativamente eficiente de alimentos con alto contenido de proteínas comestibles, por lo que su crecimiento se ha tornado acelerado frente a otros sectores alimentarios. Por lo tanto, requiere enormes cantidades de alimento para peces, camarones, langostinos entre otros. El alimento para peces afecta directamente la calidad del pescado producido, los posibles beneficios para la salud y el costo (Ansari, 2021). Además, su producción genera residuos que en cierto grado pueden ser contaminantes, generando controversias relacionadas al daño de los ecosistemas (Heise, Müller, Probst, & Meckenstock, 2021).

Por otra parte, la producción de alimentos en los países en vías de desarrollo es afectada por el inadecuado uso de productos químicos en los cultivos, debido a la falta de asesoramiento técnico y desconocimiento de los agricultores (Alza, 2016). En el marco técnico cuenta la venta libre de plaguicidas, la baja o inexistente capacitación a los productores y el mal manejo de dosis y residuos de los productos utilizados (Mubushar, 2019). A pesar de la intensificación de actividades agropecuarias los resultados en la seguridad alimentaria aún poseen déficits relacionados con la baja calidad nutricional, productos residuales en los alimentos y menor ingreso económico por área de producción (Kopittke, 2019).

Una alternativa en la producción agropecuaria sostenible podría ser la implementación de sistemas acuapónicos biofertilizados con *Arthrospira plantensis* (espirulina) (Albuja, 2011). La espirulina se desarrolla muy bien en el ambiente subtropical, produce una importante cantidad de proteína con un 95% de digestibilidad, vitaminas, macro y micro-elementos necesarios para el desarrollo de plantas, animales y personas (Grzesik, 2017). Por lo tanto, esta investigación se orienta al uso de espirulina como fertilizante, entonces al tener mayor cantidad de nutrientes a nivel foliar, su fotosíntesis generará mayor absorbanza de nutrientes presentes en la solución nutritiva que viene del sistema de nitrificación de los efluentes que genera la producción acuícola (Anitha, Sai, & Kalpana, 2016).

Justificación e importancia

La utilización de los biofertilizantes en sistemas acuapónicos para la producción sostenible de alimentos se ha convertido en una importante fuente de recursos productivos y económicos de las familias productoras (Plaza & Gómez, 2018). Los nutrientes obtenidos mediante la nitrificación de los efluentes de cultivo piscícola no son suficientes para suplir los requerimientos nutricionales de las plantas. Por lo tanto, la biofertilización mediante la atomización foliar es una alternativa evidentemente prometedora para satisfacer la demanda del cultivo y lograr producciones de alto rendimiento (Shalaby & Ramady, 2014).

Varios estudios han evaluado el efecto de la aplicación de la biomasa de microalgas en cultivos hortícolas con resultados satisfactorios en la absorción de nutrientes (Ronga, Biazzi, & Parati, 2019). Se han evaluado biofertilizantes a base de cianobacterias como espirulina sobre plantas de maíz en hidroponía con rendimientos similares a los producidos con fertilizantes inorgánicos (Ertani & Nardi, 2019). Los resultados encontrados por Abd, Baz, & Baroty (2010) sugieren que la aplicación de

extractos de cianobacterias a plantas de trigo es útil para incrementar los componentes antioxidantes y el contenido de proteínas. Mórgor & Lima (2018) concluyeron que *Arthrospira platensis* es un promotor natural del crecimiento de las plantas, fuente de materia prima para bioestimulantes e incrementa el contenido de espermina en las hojas de lechuga. De igual manera se evaluó la aplicación de biomasa seca de espirulina sobre el rendimiento de ají y se evidenció un 2,1% de incremento en la calidad comercial de los frutos (Jufri, Sudradjat, & Sulistyono, 2016).

La acuaponía se puede complementar con la producción de *Arthrospira platensis* ya que su producción es relativamente fácil y brinda una serie de beneficios tanto a las plantas como a los seres humanos (Ponce, 2013). En general, la acuaponía, trata de incrementar el valor de la producción orgánica, con tendencias a la biofortificación mediante la inclusión de superalimentos como las microalgas (Koru, 2012). Dichos organismos mejoran la calidad de los productos incrementando el valor nutricional de los alimentos como proteínas, ácidos grasos esenciales, vitaminas, minerales y pigmentos que actúan como antioxidantes e inmunoestimuladores en los seres vivos (Tadama, 2017).

Objetivos

Objetivo general

- Estimar la producción del cultivo de pepino biofertilizado foliarmente con espirulina a diferentes dosis en un sistema acuapónico con tilapia roja.

Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de cinco concentraciones de espirulina en la productividad y bromatología de pepino dentro del sistema acuapónico.

- Determinar el efecto de cinco concentraciones de espirulina sobre pepino en el flujo de nutrientes del sistema acuapónico.
- Analizar la viabilidad económica de la adición de espirulina en pepino en un sistema acuapónico.

Hipótesis

- **H0:** Las plantas de pepino biofertilizadas con diferentes dosis de espirulina en un sistema acuapónico de tilapia presenta similar producción que las plantas de pepino sin fertilización.
- **H1:** Las plantas de pepino biofertilizadas con diferentes dosis de espirulina en un sistema acuapónico de tilapia presenta mayor producción que las plantas de pepino sin fertilización.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

Cianobacterias

Andreeva, Melnikov, & Snarskaya, (2020) mencionan que las cianobacterias en su biología cumplen un rol fotosintético, también fijan nitrógeno (N) y producen sustancias biológicamente activas. Son organismos procariontes que se desarrollan principalmente en ambientes con alta salinidad y poseen una relación simbiótica con una amplia cantidad de organismos eucariotas (Shestakov & Karbysheva, 2017). Las cianobacterias contribuyen a la descontaminación de aguas residuales o con altos contenidos de N y P, además, se las puede utilizar como bio-remediadores de microcontaminantes (Shestakov & Karbysheva, 2017). Chittapun, Limbipichai, Amnuaysin, Boonkerd, & Charoensook (2018) sugieren el uso de una dosis con la mitad de fertilizante químico y la otra mitad con cianobacterias para disminuir el costo de producción de arroz de los productores e incrementar la cantidad y calidad del arroz. Además, en la actualidad se han visto grandes oportunidades en beneficio de la agricultura de especies como espirulina (*Arthrospira platensis*) y su producción desde un nivel artesanal como industrial (Garlapati, Chandrasekaran, Devanesan, Mathimani, & Pugazhendhi, 2019).

Características de espirulina (*Arthrospira platensis*)

La espirulina (*Arthrospira platensis*) es una cianobacteria filamentosa de 200 a 250 μm de tamaño, con trascendencia en la alimentación de varios organismos debido a su alto valor nutricional, metabolitos con propiedades terapéuticas, no es tóxica y su cultivo es fácil (Tabla 1) (López, y otros, 2021; Trabelsi, M'sakni, H., Bacha, & Roudesli, 2009). *A. platensis* tiene potencial importante en complementos alimenticios, piensos, productos farmacéuticos y biocombustibles por lo que el cultivo continuo optimiza su

productividad (Khannapho, y otros, 2021). En la actualidad se ha evidenciado el interés del uso de espirulina en la producción agropecuaria tanto como alimento, biofertilizantes y bioestimulantes de crecimiento vegeta (Arahou, Hassikou, Arahou, Rhazi, & Wahby, 2021). En la tabla 2 podemos observar la composición proximal de biomasa de espirulina cultivada en medio rentable y Zarrouk (media \pm DS), Michael, Kyewalyanga, & Lugomela (2019) concluyen que el medio rentable se puede utilizar como medio alternativo y económico para incrementar la biomasa y la producción de compuestos bioquímicos útiles en especies de espirulina.

Tabla 1

Composición bioquímica de biomasa de espirulina (Arthrospira platensis)

Compuesto	Contenido (%)	Compuesto	Contenido (%)
Proteínas	50 - 70*	Minerales	7*
Leucina	5,9 - 6,5	Potasio	1 - 14
Valina	7,5	Sodio	0,45 - 0,5
Isoleucina	6,8	Fósforo	0,3 - 0,7
Tirosina	2,6 - 3,3	Zinc	0,003
Ácido aspártico	5,2 - 6,0	Cromo	0,28mg
Cisteína	0,5 - 0,7	Carbohidratos	15 - 20 *
Vitaminas		Glicerol	7,4
Provitamina A	0,11 - 0,2	Glucosa	7,5
Tiamina B1	3 - 4 mg	Ramnosa	17,1
Riboflavina B2	2,5 - 3,5mg	Fucosa	3,3
Niacina B3	0,014	Ribosa	8,1
Vitamina E	5 - 7mg	Galactosa	8,2
Ácido fólico	4 - 5mg	No identificados	2,6
Ácido pantoténico	0,5 - 0,8mg	Pigmentos	6*
Biotina	5 μ g	Clorofila a	0,8 - 1,5
Ácidos grasos	3 - 6,5*	Carotenoides	0,648
Ácido mirístico	0,23	β -caroteno	15
Ácido palmítico	44,6 - 54,1	Equinenona	11 - 13
Ácido linoleico	11 - 31	Mixoxantofila	13 - 17
Otros	20,88	Ficocianina	16 - 20

Nota: % en base al peso seco de la biomasa. Tomado de Ramírez & Olvera, (2006)

Tabla 2

Composiciones proximales de biomasa de espirulina cultivada en los medios LCMA y Zarrouk. Media \pm DE, n = 3

		Medio Rentable	Zarrouk
Composición (%)	<i>Proteína cruda</i>	52,85 \pm 0,39	65,00 \pm 0,26
	<i>Lípidos crudos</i>	6,61 \pm 0,06	6,84 \pm 0,05
	<i>Carbohidratos</i>	15,29 \pm 0,41	13,62 \pm 0,64
	<i>Fibra cruda</i>	9,79 \pm 0,35	11,37 \pm 0,39
	<i>Ceniza</i>	9,55 \pm 0,24	9,93 \pm 0,44
	<i>Humedad</i>	5,45 \pm 0,17	9,92 \pm 0,08
kJ/100 g	<i>Energía</i>	329,89 \pm 5,32	379,58 \pm 8,68

Nota: Composición de biomasa de espirulina. Tomado de Michael et al. (2019)

***Arthrospira platensis* en la agricultura**

Hoy en día el uso de cianobacterias y microalgas en la agricultura se ha convertido en una de las alternativas más viables por ser orgánicas y de fácil acceso (Arahou, Hassikou, Arahou, Rhazi, & Wahby, 2021). Su uso en diferentes cultivos se ha propagado por todo el mundo tanto como biofertilizante aplicado directamente al suelo como a las plantas (Godlewska, Michalak, Pacyga, Baśladyńska, & Chojnacka, 2019). *Arthrospira platensis* es una importante fuente de macro y micronutrientes para las plantas, así como, vitaminas, aminoácidos, polipéptidos, fitohormonas: giberelinas, auxinas, citoquininas, antioxidantes y compuestos con propiedades antibacterianas y antifúngicas (Bhowmik, Dubey, & Mehra, 2010). Las plantas biofortificadas con macro y micronutrientes de origen cianobacteriano se pueden utilizar como alimento funcional novedoso para prevenir la desnutrición (Mala, Ruby Celsia, Mahalakshmi, & Rajeswari, 2017).

Un estudio en el cultivo de *Amaranthus dubius* aplicando 5 g de *A. platensis* por parcela de 16m² demostró que los niveles de proteína, vitaminas y antioxidantes se

incrementó 6, 4 y 2,5 veces respectivamente (Mala, Ruby Celsia, Mahalakshmi, & Rajeswari, 2017). Tuhy, Samoraj, Witkowska, & Chojnacka (2015) indicaron que la aplicación de espirulina con diferentes minerales en combinación incrementaron el rendimiento de las plantas de maíz en $7,2 \text{ T.ha}^{-1}$, de igual manera ocurrió con el contenido de nutrientes con un 150% respecto del control sin tratar. La aplicación foliar de hidrolizado y liofilizado de *A. platensis* en diferentes verduras incrementan las poliamidas en sus hojas hasta un 64% (Mógor, Ördög, Lima, Molnár, & Mógor, 2018). Por otro parte también se ha usado para promover niveles de micronutrientes como el zinc en semillas de amaranto, fréjol y tomate en donde se evidenció un incremento de dicho elemento estimulante del sistema inmune en los seres humanos (Anitha, Sai, & Kalpana, 2016).

***Arthrospira platensis* en producción pecuaria**

La producción de especies zootécnicas es una importante actividad económica por lo tanto en la actualidad se han estudiado alternativas para mejorar su rendimiento y su calidad nutricional (Branyikova & Lucakova, 2021). La inclusión de *A. platensis* ha sido una alternativa por ser un súper alimento tanto en la acuicultura como en la ganadería y la avicultura (Saadaoui, y otros, 2021). Varios estudios han demostrado que la inclusión de *A. platensis* en las dietas de especies como *Sparus aurata*, *Pelteobagrus fulvidraco*, *Litopenaeus vannamei*, *Neocaridina davidi*, *Mugil liza* incrementa el rendimiento de la canal, reduce el estrés a las labores de acuicultura (Shah, y otros, 2018), aumenta la funcionalidad de las proteínas y pigmentos por lo que debido a esto el crecimiento y la supervivencia mejoran con respecto a sus controles (Mattos, y otros, 2019).

De igual manera se han probado inclusiones de espirulina (350 mg.Kg^{-1}) en las dietas de conejas de 2 a 6 meses de edad antes de la inseminación sus resultaron

fueron un aumento en el peso de los ovarios, en la densidad de los folículos primarios y secundarios en los ovarios de las madres tratadas, además aumentó el peso vivo de las crías nacidas de dichas madres (Abadjieva, Shimkus, Shimkiene, Rashev, & Kistanova, 2018). En otro estudio publicado por (Abadjieva, y otros, 2018) realizado en cerdas primerizas suplementadas con 2 y 3 g de biomasa seca de espirulina diarios durante 120 días concluyeron que dicha ingesta un desarrollo folicular exitoso y una ovulación más temprana. Por otra parte, también se ha utilizado a *A. platensis* como sustituto de polen en abejas melíferas y obtuvieron que la espirulina es un aditivo alimentario prebiótico para mejorar la salud de las abejas (Ricigliano & Simone, 2020).

***Arthrospira platensis* alimento para el ser humano**

La espirulina ha sido utilizada por el ser humano hace mucho tiempo como alimento por sus beneficios en la salud, especialmente la ficocianina que es un colorante alimentario natural azul (Khandual, Sanchez, Andrews, & de la Rosa, 2021). Zeng, Fan, Zheng, Wang, & Zhang (2018) mencionan que el hexapéptido presente en la proteína de la espirulina tiene un efecto antioxidante y estimulante de colágeno en la piel, con lo cual *A. platensis* podría ser usada en la industria alimentaria y farmacéutica. Un trabajo de expresión de proteínas terapéuticas con *A. platensis* y *Agrobacterium* demostró que la combinación de genes es una alternativa para la creación de vacunas comestibles (Dehghani, y otros, 2018). El ser humano en su gran intento de conservar el ambiente ha visto una oportunidad de utilizar a *A. platensis* en la descontaminación de aguas residuales y aguas con metales pesados (Ljubic, Safafar, Holdt, & Jacobsen, 2018).

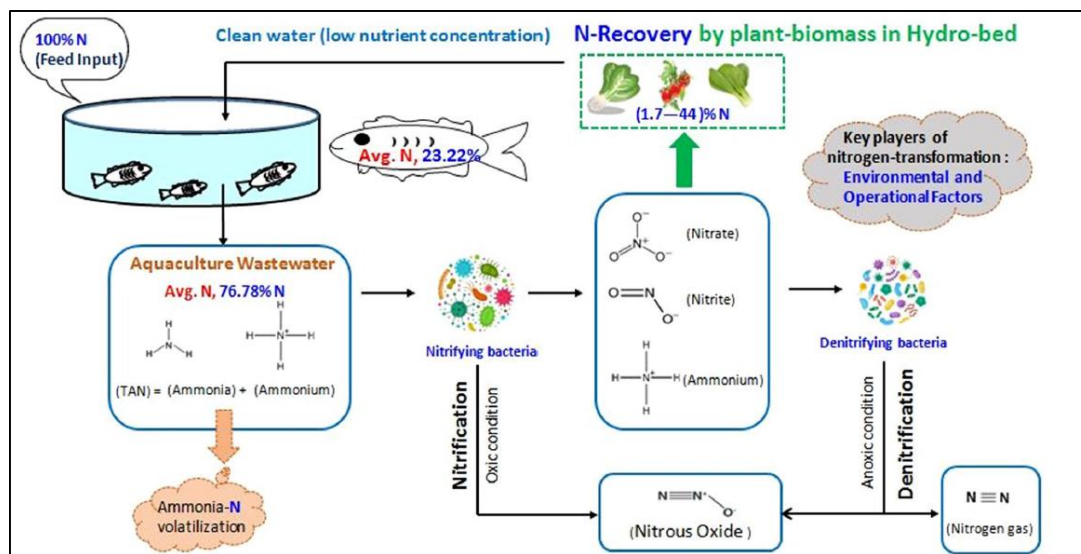
Sistemas acuapónicos

Los sistemas acuapónicos se desarrollan por la necesidad de la producción alimentaria sostenible, es decir, reducir la utilización de las reservas de agua dulce

(Greenfeld, Becker, Bornman, & Angel, 2020). El futuro de la agropecuaria tiene una alta tendencia hacia los sistemas de cero desperdicio como la acuaponía (Palm, y otros, 2018), además de que con el uso de una fertilización foliar se mejora el crecimiento y desarrollo de las plantas, mejorando la viabilidad económica (Ru, y otros, 2017). Los acuapónicos son sistemas que combinan el agua en recirculación del subsistema acuícola y del subsistema hidropónico; a su vez interviene un subsistema de nitrificación (Adhikari, y otros, 2020). El sistema de acuaponía utiliza las aguas efluentes y enriquecidas con macronutrientes NPK de los peces en la acuicultura que sirven como fertilizante para las plantas en hidroponía, previamente tratadas con microorganismos nitrificantes, el agua con mínimas cantidades de elementos recircula a la parte acuícola (Heise, Müller, Probst, & Meckenstock, 2021).

Figura 1

Esquema de un sistema acuapónico



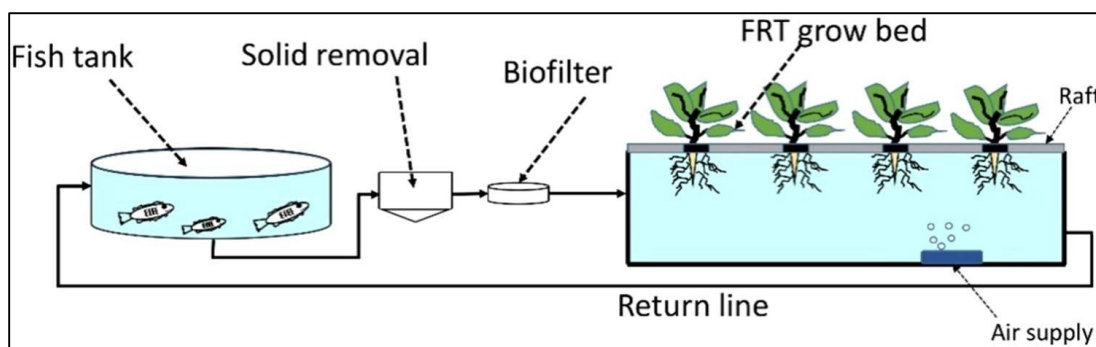
Nota: Proceso de nitrificación en un acuapónico. Tomado de Adhikari, y otros (2020).

Sistemas acuapónicos en balsa flotante

Los sistemas acuapónicos en balsa flotante han demostrado ser más eficientes en la asimilación de nutrientes por parte de las plantas, por lo tanto, su productividad se incrementa, mejorando su calidad nutricional y comercial (Castilloblanco & Hidalgo, 2009).

Figura 2

Esquema genérico de un sistema acuapónico en balsa flotante



Nota: Proceso de recirculación del agua en el sistema acuapónico. Tomado de Adhikari, y otros (2020).

Especies acuáticas utilizadas en sistemas acuapónicos

Mundialmente las especies de peces más comunes para los sistemas de acuaponía son la tilapia (*Oreochromis* sp.) y el bagre; sin embargo, en Latinoamérica existen gran variedad de especies con alto potencial entre las cuales tenemos: bagre plateado (*Rhamdia quelen*), lambari de cola amarilla (*Astyanax lacustris*), pacu (*Piaractus mesopotamicus*), tambaqui (*Colossoma macropomum*) y róbalo (*Centropomus* spp) (Pinho, y otros, 2021). En un estudio del sistema acuapónico con aguas residuales de cultivo de camarón (*Macrobrachium amazonicum*) con lechuga (*Lactuca sativa*) demostró que a mayor densidad de animales se incrementa el contenido de nutrientes es mayor, lo que resulta en mejores rendimientos de las plantas

(Farias, Duarte, Bastos, & Carvalho, 2019). En Brasil se evaluaron dos sistemas de producción de acuaponía el primero constaba del uso de la halófito *Sarcocornia ambigua* mediante un subsistema de NFT (tecnología de película de nutrientes) y el segundo fue con la producción de camarón *Litopenaeus vannamei* mediante la tecnología de biofloc (BFT) y concluyeron que su implementación es factible (Castilho, Almeida, Henriques, & Seiffert, 2018).

Características de tilapia roja (*Oreochromis* sp.)

La tilapia roja es el resultado del apareamiento de tilapias hembras de Mozambique de color mutante con tilapias machos del Nilo, azul o Zanzibar, su cultivo es altamente difundido en Asia, Latinoamérica y el Caribe (Zhu, y otros, 2017). El fenotipo de esta especie, especialmente su coloración de piel, le confiere un alto potencial en la industria alimenticia, sin embargo, algunos individuos presentan manchas que se presentan por su genética, pero esto no influye en la viabilidad económica del cultivo de tilapia (Boerlage, y otros, 2017; Assis, y otros, 2019). La tilapia es uno de las especies más cultivadas y económicamente importante en Ecuador. Gran parte de la producción de tilapia se destina a América, Asia y Europa y para 2019, la producción de tilapia en Ecuador se estimó en 10 774 Tm con un valor aproximado de 26 935 000 de dólares americanos (FAO, 2021).

La tilapia se introdujo intencionalmente en las aguas dulces tropicales y subtropicales de Ecuador para su producción y comercialización (Jácome, Quezada, Sánchez, Pérez, & Nirchio, 2019). Su producción ha ido incrementando a la par del crecimiento demográfico ecuatoriano, aunque no se cubre totalmente la demanda de carne de tilapia a nivel nacional. Es una especie omnívora, comen una amplia variedad de presas bentónicas, además, son criadoras bucales. Aunque se encuentran principalmente en agua dulce, pueden tolerar el agua de mar sin diluir. También son

altamente adaptables a los medios, razón por la que son tan comunes como especie acuícola y pueden tolerar aguas con un amplio rango de pH (pH = 5 - 9), concentraciones muy bajas de oxígeno ($<2 \text{ mg.L}^{-1}$), altas concentraciones de amoníaco (50 mg.L^{-1}) y temperaturas entre 15°C hasta 30°C . Pueden madurar sexualmente en menos de seis meses y las hembras pueden poner de cientos a miles de huevos por lote (Jiménez, y otros, 2015; Revelo & Laaz, 2012).

Requerimientos nutricionales de la tilapia roja

El crecimiento, desarrollo y reproducción de la tilapia se relaciona en función de la calidad del agua y algunos factores climáticos (Yang, y otros, 2017). Las tilapias son omnívoras su ingesta se basa desde algas, zooplancton, vegetales y alimentos balanceados (Saavedra, 2006). En sus diferentes estadios o etapas de desarrollo la tilapia requiere de diferentes cantidades de alimento que contenga los nutrientes necesarios para su óptimo rendimiento (Torres & Hurtado, 2012). Los alevines ($0,01 - 25 \text{ g}$) requieren dietas con mayor cantidad de proteína, lípidos y carbohidratos. Los juveniles o en etapa de crecimiento ($25 - 50 \text{ g}$) requieren más energía lipídica y carbohidratos que proteína. Finalmente, los adultos en etapa de engorde ($50 - 400 \text{ g}$) requieren menos proteína y una elevada cantidad de carbohidratos. Los reproductores requieren de una dieta similar a la de engorde, pero en menor cantidad (Tabla 3). Cabe mencionar que el proceso de reversión sexual en tilapia se realiza durante los primeros 30 días desde que nacen hasta que tienen aproximadamente 5 g , proceso realizado con la hormona sexual $17\text{-}\alpha\text{-metiltestosterona}$ (60 mg.kg^{-1}) (Bhujel, 2002).

Tabla 3*Requerimientos nutricionales para el cultivo de tilapia roja*

Nutrientes	Estadios o etapas de desarrollo				
	Peso (g)	<i>Alevinaje</i>	<i>Crecimiento</i>	<i>Engorde</i>	<i>Reproductores</i>
		0,01 - 25	25 - 50	50 - 400	> 400
Energía (Kcal/ kg)		4000	3000	2900	2900
Proteína bruta (%)		40 - 60	30 - 35	25 - 35	25 - 35
Carbohidratos (%)		< 25	25 - 30	30 - 35	< 35
Lípidos (%)		5 - 8	8 - 10	0,5 - 10	0,5 - 10
Aminoácidos (%)					
Lisina		2,05	1,64	1,43	1,28
Metionina + Cistina		1,07	0,86	0,75	0,67
Treonina		1,50	1,20	1,05	0,94
Arginina		1,68	1,34	1,18	1,05
Histidina		0,70	0,55	0,48	0,43
Isoleucina		1,24	1,00	0,87	0,78
Leucina		1,36	1,08	0,95	0,85
Fenilalanina + Tirosina		2,22	1,77	1,55	1,39
Valina		1,12	0,56	0,78	0,70
Minerales					
Calcio (%)		0,70	0,70	0,70	0,70
Fósforo disponible (%)		1,00	0,91	0,91	0,91

Nota: Tomado de Bhujel (2002)

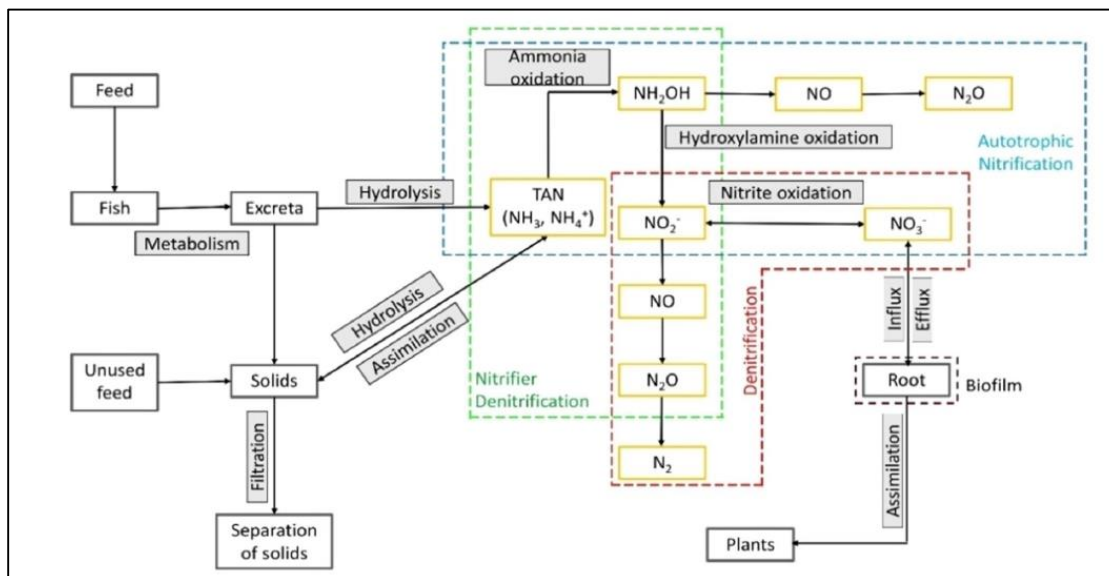
Subsistema de nitrificación y desnitrificación

La nitrificación de un sistema acuapónico surge a partir de la necesidad de una producción eficiente en la acuicultura, sustentándose en el aprovechamiento de los efluentes acumulados mediante microorganismos autótrofos y heterótrofos (Collazos & Arias, 2015). En dichos sistemas se pueden encontrar agregados que forma cúmulos de bacterias, fitoplancton, materia orgánica e inorgánica (Hernández, Londoño, Hernández, & Torres, 2019). Entonces el proceso de control de la calidad del agua, se da naturalmente metabolizando el oxígeno y el nitrógeno, directamente por bacterias, fitoplancton y algunas microalgas (Avnimelech & Kochba, 2009). Estos microorganismos captan e inmovilizan el amoníaco producido en el estanque; y por procesos de

nitrificación producen proteína bacteriana de excelente calidad, fácilmente aprovechable por los peces o por las plantas en sistemas acuapónicos (Gallardo, Pérez, Hernández, & Pérez, 2019).

Figura 3

Esquema de la transformación de nitrógeno



Nota: Procesos de descomposición de alimentos y nitrificación. Tomado de Adhikari y otros. (2020)

Bacterias autótrofas y heterótrofas

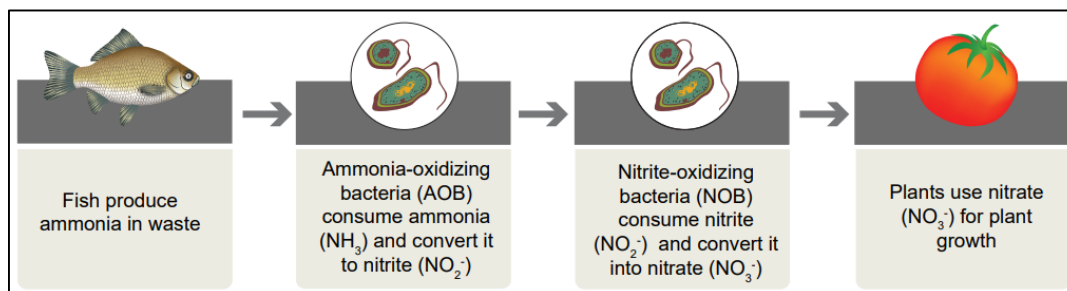
Los biofiltros utilizados en la acuaponía contienen bacterias nitrificantes (autótrofas) para oxidar el amoníaco tóxico producido por el metabolismo de los organismos acuícolas (Robertson & Groffman, 2015). Dentro de las bacterias oxidantes del amoníaco (AOB) están *Nitrosomonas* spp., *Nitrosococcus* spp., *Nitrosospira* spp., *Nitrosolobus* spp. y *Nitrosovibrio* spp. las cuales catabolizan el amoníaco a nitritos. Así mismo se tienen bacterias que oxidan los nitritos (NOB) en las que se mencionan *Nitrobacter* spp., *Nitrococcus* spp., *Nitrospira* spp. y *Nitrospina* spp. las cuales transforman el nitrito en nitratos (Samocha, Prangnell, & Castro, 2019).

Las bacterias heterótrofas pueden utilizar la materia orgánica como carbohidratos, aminoácidos, péptidos y lípidos como fuentes de carbono y energía; estas se concentran especialmente en los desechos sólidos (Silva, y otros, 2018). Todos los metabolitos de las bacterias heterótrofas surgen a partir de los desechos sólidos por lo cual proporcionan nutrientes solubles para las plantas de los sistemas de acuaponía (Goddek, Joyce, Kotzen, & Burnell, 2019). Dentro de las bacterias heterótrofas se pueden encontrar las especies de *Bacillus* que actúan indirectamente en la bioestimulación de las plantas como inmunoestimuladores (Stouvenakers, Dapprich, Massart, & Jijakli, 2019).

La desnitrificación es la reducción del nitrato a los gases N_2O y N_2 (Kasozi, N.; Kaiser, H.; Wilhelmi, B., 2020). Una amplia variedad de bacterias, en su mayoría heterótrofas, pueden desnitrificar, por lo que utilizan oxígeno (O_2) como aceptor de electrones durante la respiración (Khandual, Sanchez, Andrews, & de la Rosa, 2021). Holmes, Dang, & Smith (2019) mencionan que algunas de las bacterias desnitrificantes incluyen *Achromobacter*, *Aerobacter*, *Acinetobacter*, *Bacillus*, *Brevibacterium*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas*, *Proteus* y *Micrococcus* spp.

Figura 4

Esquema de la nitrificación en acuaponía.



Nota: Procesos de flujo de nutrientes. Tomado de Somerville, Cohen, Pantanella, Stankus, & Lovatelli (2015).

Características de pepino (*Cucumis sativus*)

El pepino (*Cucumis sativus*.) pertenece a las hortalizas más importantes de la familia de las cucurbitáceas como las calabazas, melones y calabacines. Se usa ampliamente como medicina en las prácticas médicas tradicionales de la India y es muy apreciado como verdura (Zhang, Zhu, & Zhou, 2021). La fruta del pepino contiene más del noventa por ciento de agua, ofrece una hidratación superior con bajo contenido de calorías como alimento. Su sabor y textura lo han hecho esencial como una adición fresca a ensaladas y en formas procesadas como encurtidos y condimentos (Sharma, Sharma, & Sandhu, 2020). Exhibe varias propiedades medicinales como actividad antimicrobiana, capacidad para reducir la glucemia, capacidad antioxidante, entre otras (Nema, Maity, Sarkar, & Mukherjee, 2011). Se cree que su ingesta o aplicación regular sobre la piel ayuda a reducir el efecto del envejecimiento, estimula el metabolismo y mejora la inmunidad (Debnath, Das, Biswas, Kar, & Mukherjee, 2021; Dey, Behera, Bhatia, & Munshi, 2020). Su producción no difiere significativamente entre los tipos de pepino y en Ecuador su producción se acerca a las 5200 toneladas para el 2019 (Chacón & Monge, 2020).

Tabla 4*Etapas fenológicas y parámetros climáticos del cultivo de pepino*

<i>Etapa Fenológica</i>	DDS	T° Día (°C)	T° Noche (°C)	HR (%)	pH	CE (dS.m ⁻¹)
Germinación/Emergencia	0 - 14	25	25	90		
Crecimiento vegetativo	15 - 28	23	18	90		
Floración	29 - 42	24	19	80	5,5 - 6,5	1,5 - 3
Fructificación	43 - 56	25	20	75		
Llenado de frutos	57 - 69	25	20	75		
Cosecha	70 - 75					

Nota: Tomado de Sánchez, González, & Pineda (2014)

Requerimientos nutricionales de *Cucumis sativus*

Las cantidades de nutrientes que el pepino puede absorber mediante sus raíces para su óptimo desarrollo y producción se detallan en la Tabla 5. En un estudio sobre la eficiencia entre un sistema cerrado de recirculación y un sistema abierto de solución nutritiva, concluyen que a los sistemas cerrados permiten una mayor productividad en pepino (Barraza, 2017).

Tabla 5*Requerimientos nutrimentales para el cultivo de pepino sin suelo*

Rendimiento	Nutrientes (Kg.ha⁻¹)				
T.ha⁻¹	N	P	K	Ca	Mg
250 - 300	383 - 480	210 - 216	790 - 792	611 - 304	112 - 43

Nota: En la tabla se muestran las cantidades para un cultivo hidropónico.

Tomado de Oyervides (2004)

Valoración y composición nutricional de *Cucumis sativus*

El pepino es una hortaliza de bajo contenido calórico debido a su reducido contenido en hidratos de carbono, en comparación con otras hortalizas, y a su elevado contenido de agua. Actualmente se utilizan métodos de fortificación para incrementar su valor nutricional como económico (Cortés, Johan, & Rodríguez, 2011).

Tabla 6*Composición nutrimental de los frutos de pepino*

Nutrientes							
Porción comestible (%)	Agua (g)	Energía (Kcal)	Proteína (g)	Grasa (g)	CHO (g)	Azúcares (g)	Fibra (g)
77	96,7	13	0,7	0,2	2	1,8	0,5
Ca (mg)	Fe (mg)	I (mg)	Mg (mg)	Zn (mg)	Na (mg)	K (mg)	P (mg)
17	0,3	1	9	0,2	3	140	20

Nota: Contenido de macro y micronutrientes del pepino. Tomado de Arroyo, y otros

(2018)

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación política y geográfica del lugar de investigación

El Centro Piscícola Nanegal, se encuentra ubicado en la subregión territorial del noroccidente de la provincia de Pichincha, cantón Quito, parroquia Nanegal, vía Nanegalito - Nanegal, desvío a Marianitas. El proyecto piscícola cuenta con una extensión de 1,5 hectáreas y pertenece al Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Pichincha. Se encuentra a una altitud de 1199 metros. Sus coordenadas UTM 17N 759 883, 0014722. Nanegal limita al norte con la Provincia de Imbabura, al sur con la Parroquia Nono, al este con las parroquias de San José de Minas y Calacalí y al oeste con las parroquias de Gualea y Nanegalito.

Ubicación ecológica

Nanegal se encuentra en el piso altitudinal Montano Bajo y Pre Montano, región latitudinal Bosque Húmedo, en donde se encuentran las siguientes formaciones ecológicas: bosque húmedo montano bajo, bosque muy húmedo montano bajo y bosque muy húmedo pre – montano. El clima es cálido, la temperatura promedio los 28°C y como mínima los 12°C. El promedio de precipitación mensual es de 227,31 mm, el mes más lluvioso es abril con 77 mm de precipitación en 24 horas con humedad relativa del 86%. La zona está compuesta por suelos alofánicos de origen volcánico sedimentarios poco materializados, con gran capacidad de retención de agua, de color negro, profundos y suelos arenosos sin limo.

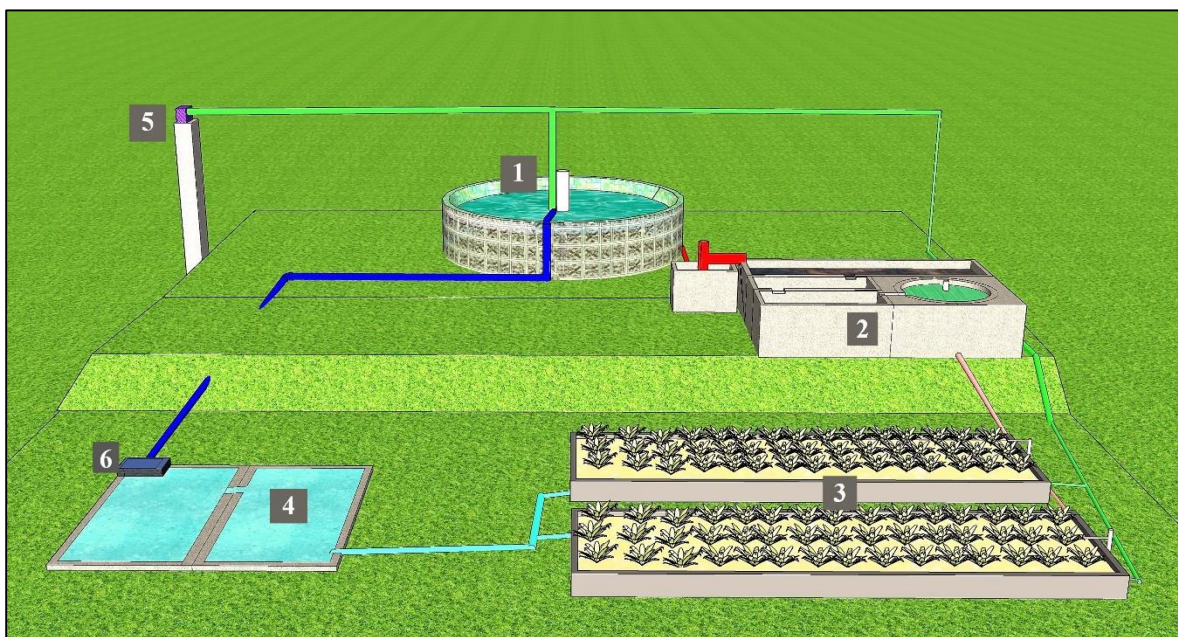
Instalación del sistema acuapónico

La implementación del experimento fue bajo un sistema acuapónico de balsa flotante para la producción de pepino, este constó de un estanque de 28m³ de capacidad, con tilapias en etapa de engorde (82,09 ± 5,35 g) en una densidad de 60

individuos.m⁻³ (1 700 tilapias) El sistema de nitrificación contó con 4 estanques, tres fueron destinados a la sedimentación de los efluentes (2 de 1m³ y 1 de 2m³) el restante fue un estanque cilíndrico 2,5m³ para los procesos de nitrificación y desnitrificación, que se inoculó con bacterias autotróficas (*Nitrobacter* sp. y *Nitrosomonas* sp.) y heterotróficas (*Bacillus subtilis*). Finalmente se tuvo dos sistemas de balsa flotante rectangulares con un aforo de 2 178 L cada uno los cuales tuvieron la capacidad de contener 90 plantas. El sistema de recirculación de agua fue con tubería plástica de ¾ de pulgada y de ½ pulgada para el sistema de oxigenación que estuvo conectado a un blower (Figura 5).

Figura 5

Esquema del sistema acuapónico en Centro Piscícola Nanegal



Nota: 1: estanque de tilapias, 2: sistema de nitrificación, 3: hidropónico en balsas flotantes, 4: estanque de sedimentación, 5: blower, 6: bomba de agua.

Maduración del subsistema de nitrificación

Antes de poner en funcionamiento el sistema acuapónico, se maduró a las bacterias nitrificantes, para lo que se inoculó con 10g de *Bacillus subtilis*, previamente activadas en agua tibia y luego colocadas en el estanque nitrificante. Se tomó mediciones de nitritos, nitratos y amonio cada 10 días, una vez las bacterias estuvieron maduras, fueron incorporadas al sistema de recirculación acuapónico.

Manejo de plantas

Se utilizó 90 plántulas de pepino de aproximadamente 10 días de germinadas. Las plántulas pasaron por un periodo de adaptación de 2 días, en el lugar de investigación. Transcurrido este tiempo, se colocó las mejores plántulas en el sistema y se les aplicó una infusión de ajo, jengibre y agua (10 g, 10 g y 1 L, respectivamente) para prevenir plagas o enfermedades. Posteriormente se realizó una poda quincenal, eliminando hojas viejas y estolones. En la etapa de floración y fructificación se tomó los datos pertinentes de la productividad (número de hojas, número flores, número de frutos y calidad de fruto), de 18 plantas por tratamiento.

Manejo de tilapia roja

Se utilizó 1 500 especímenes de tilapia roja (*Oreochromis* sp.) del Centro Piscícola Nanegal perteneciente al GAD provincial de Pichincha. Las mismas fueron desinfectadas con Nitrodesinfect (amonio cuaternario 20 %). Se realizó un programa de alimentación cada 7 días para el estanque, considerando su biomasa, la misma que se calculó multiplicando el número de peces por su peso promedio. Una vez al mes se colocó a los estanques sal en grano en relación 1Kg/ 1 000L para prevenir enfermedades.

Cultivo de espirulina (*Arthrospira platensis*)

Se cultivó una muestra purificada de *Arthrospira platensis* (AP), en botellones de agua de la marca “Pure Water” de 6 litros de aforo. Se utilizó una solución nutritiva (SN) que contenía en su composición 10 g.L⁻¹ de carbonato de sodio (NaCO₃), 5 g.L⁻¹ de sal sin yodo (NaCl), 1 g.L⁻¹ de fertilizante inorgánico foliar (Kristalon 12 – 12 – 36). Además, se corrigió el pH del medio con la adición de 0,02 g.L⁻¹ de carbonato de calcio (CaCO₃). Se midió la absorbancia del cultivo cada 4 días (0,9 – 1,1), es decir, una densidad de 7,5.10⁵ – 8,0.10⁵ filamentos por mililitro. Posterior a esto se colocó el contenido en recipientes con mayor aforo para masificar la espirulina (3:1 - SN: AP) hasta llegar a 100 L. El recipiente con la SN y AP tuvo aireación y exposición a luz en periodos de 12 horas, con temperaturas entre 15°C a 30 °C.

Elaboración del biofertilizante foliar

Una vez que el cultivo de *Arthrospira platensis* tuvo una densidad de filamentos de entre 7,5.10⁵ – 8,0.10⁵ filamentos por mililitro se retiró la iluminación y la oxigenación, luego se colocó el cultivo en un lugar oscuro por tres días, luego se colectaron los tricomas para la preparación de diferentes soluciones, que luego se cultivaron y se recogieron. Se procedió a secar el contenido de espirulina en una cámara de secado a 40°C por 48 horas. Con la biomasa seca obtenida se preparó el biofertilizante con cuatro dosis de espirulina: 2 g.L⁻¹, 4 g.L⁻¹, 6 g.L⁻¹, 8 g.L⁻¹. Se aplicó 10 ml del biofertilizante por planta y se contrastó con el testigo al cual no se le aplicó ningún tratamiento.

Diseño experimental

El proyecto estuvo dispuesto bajo un diseño completamente al azar (DCA), se colocaron 90 plantas de pepino (*Cucumis sativus*) en un sistema acuapónico que tuvieron las mismas condiciones, los factores a considerar fueron las concentraciones

de *Arthrospira platensis* en cinco concentraciones que son: 0 g.L⁻¹, 2 g.L⁻¹, 4 g.L⁻¹, 6 g.L⁻¹, 8 g.L⁻¹ obteniéndose 5 tratamientos con tres repeticiones cada uno y un testigo con sus tres repeticiones, dando un total de 15 unidades experimentales. El modelo matemático a seguir es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + F + e_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Productividad de pepino

μ = Media general

F = Efecto de la i-ésima biofertilización foliar

e_{ij} = Error experimental

Variables a medir

Sistema

- Se tomaron datos de pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos, salinidad, oxígeno disponible y temperatura cada tres horas, durante 30 días.
- Los datos de fosfatos, nitratos, nitritos y amonio se tomaron cada 10 días durante todo el ciclo del cultivo.

Plantas

- **Número de Hojas:** Se contó el número de hojas de 18 plantas por tratamiento, cada 7 días.
- **Número de flores:** Se contó el número de flores presentes en 18 plantas por tratamiento cada 7 días.
- **Número de fruto:** Se contó el número de frutos presentes en 18 plantas por tratamiento, después del llenado de frutos, semanalmente.
- **Calidad de fruto:** Se evaluó el peso, ancho, largo de 3 frutos por cada tratamiento.

- **Relación fuente/ demanda:** Se determinó la relación entre: hojas/flores y hojas/frutos, cada 7 días.
- **Clorofila:** La medición se realizó de todas las plantas, de cada tratamiento, al finalizar la investigación.
- **Análisis bromatológico del fruto:** Se determinó la cantidad de proteína, lípidos, ceniza, humedad y fibra por método de análisis proximal de los frutos de pepino, al final del experimento para conocer su calidad nutricional.

Peces

- Se tomó semanalmente datos del peso, ancho, largo total y largo parcial de los peces, además se calculó la ganancia de peso, tasa de crecimiento específico, factor de conversión alimenticia, eficiencia alimenticia. Para lo cual se tomó una muestra significativa del estanque de tilapia mediante la siguiente fórmula:

$$n = \frac{(t_{\frac{\alpha}{2}, gl})^2 * (CV\%)^2}{(E\%)^2}$$

Donde:

- n = Muestra
- $t_{\frac{\alpha}{2}, gl}$ = el valor del estadístico "t student"
- CV% = coeficiente de variación
- E% = error de muestreo

Análisis económico

Se aplicó el método del presupuesto parcial propuesto por Perrín et al. (1988), en el cual se plantea obtener los beneficios netos de cada uno de los tratamientos mediante la diferencia entre el beneficio bruto y los costos variables, se calculó con la siguiente fórmula:

- *Beneficio neto = Beneficio bruto - Costos variables*

Adicionalmente se seleccionó el mejor tratamiento. Mediante el cálculo de la tasa de retorno marginal, para lo cual se ordenó los tratamientos de menor a mayor en base la variación de sus costos, y se eliminó aquellos que fueron dominados, es decir aquellos tratamientos que presentaron costos variables altos, y beneficios netos menores, que los tratamientos con similares costos variables. Se aplicó la siguiente fórmula:

$$- \textit{Tasa de retorno marginal} = (\Delta BNA / \Delta CV) * 100$$

En donde:

- **ΔBNA** : cambio de los beneficios netos
- **ΔCV** : cambio de los costos variables

Análisis estadístico

Las variables de estudio se caracterizaron mediante estadística descriptiva (promedio y desviación estándar), se verificaron los supuestos de análisis de varianza tanto, normalidad y homocedasticidad. Para evaluar el efecto del biofertilizante en la productividad del pepino dentro de un sistema acuapónico se realizó un análisis de varianza (ANAVA). Después se utilizó una prueba de comparación de medias de Tukey para las diferentes concentraciones de espirulina para ver la diferencia entre tratamientos.

Además, se obtuvo la dosis óptima de espirulina como biofertilizante mediante análisis de regresión. Todas las pruebas estadísticas se trabajaron con un nivel de significancia del 5%. Todos los análisis fueron realizados en el software estadístico INFOSTAT.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados

Condiciones físico químicas del agua

Durante los 90 días del experimento los resultados acerca de parámetros fisicoquímicos del agua en los componentes del sistema acuapónico fueron idóneos para el desarrollo de los microorganismos, peces y plantas (Tabla 7). Las mediciones de los diferentes estanques del sistema acuapónico presentaron valores estadísticamente diferentes ($p < 0,05$). Se determinó que la temperatura del estanque de los peces es mayor ($23,3 \pm 1,35$ °C) debido a que permanece en el interior de un invernadero con cubierta plástica. El nivel del pH también fue mayor en el agua de los peces ($7,85 \pm 0,27$) tendiendo a ser ligeramente alcalino. La salinidad al igual que el total de sólidos disueltos fueron más elevados también en el estanque de las tilapias ($0,19 \pm 0,06$ uS.cm⁻² y $150,28 \pm 40,45$ ppm, respectivamente). Se observó que la conductividad eléctrica fue similar en el estanque de tilapia ($240,53 \pm 77,96$ PSI) y en el estanque de nitrificación ($243,08 \pm 69,9$ PSI), siendo mayor que los demás estanques. Finalmente, la cantidad de oxígeno disponible no presentó diferencias significativas entre los estanques del sistema acuapónico ($p > 0,05$) ya que se mantuvo un oxigenador encendido durante toda la investigación.

Tabla 7

Media \pm desviación estándar de los parámetros fisicoquímicos del agua en los diferentes componentes del sistema acuapónico, n = 248, correspondiente al mes de octubre.

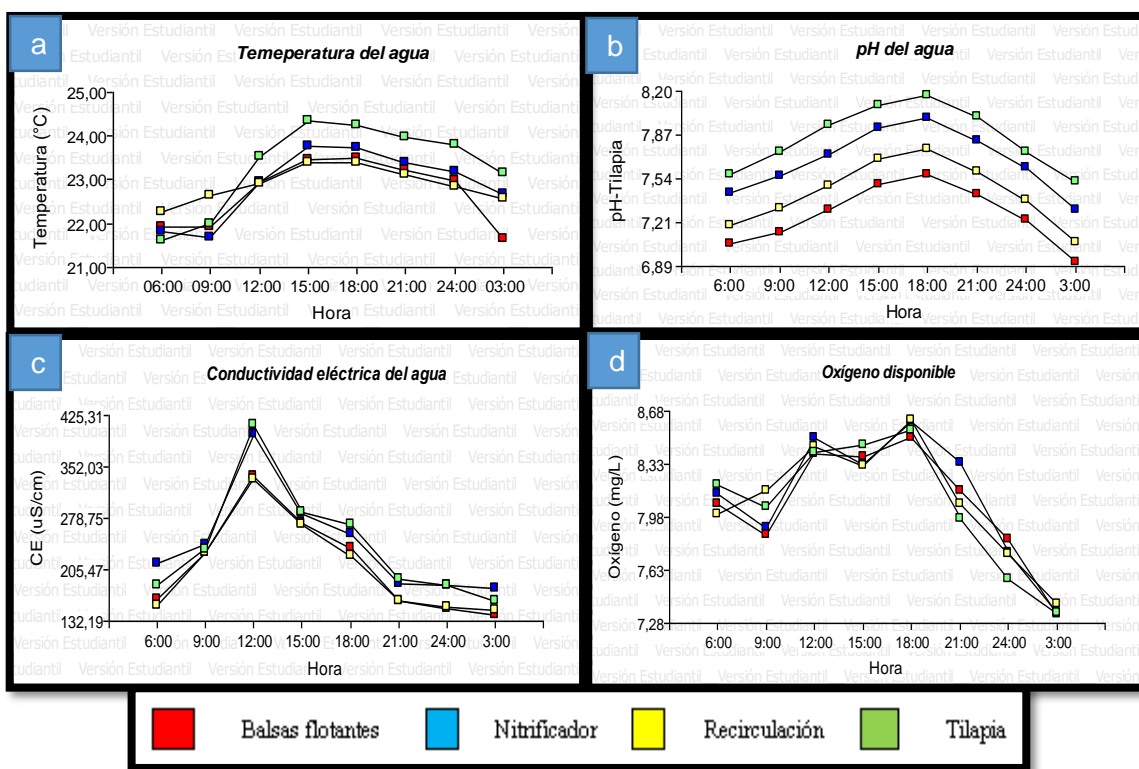
Parámetro	Estanques			
	Balsas flotantes	Nitrificador	Recirculación	Tilapia
Temperatura (°C)	22,7 \pm 1,18 a	22,9 \pm 1,21 a	22,9 \pm 1,02 a	23,3 \pm 1,35 b
pH	7,27 \pm 0,27 a	7,68 \pm 0,25 c	7,44 \pm 0,25 b	7,85 \pm 0,27 d
Salinidad (PSI)	0,14 \pm 0,06 b	0,17 \pm 0,05 c	0,12 \pm 0,05 a	0,19 \pm 0,06 d
CE (uS.cm ⁻²)	211,75 \pm 65,97 a	243,08 \pm 69,9 b	209,6 \pm 64,02 a	240,53 \pm 77,96 b
TDS (ppm)	127,38 \pm 33,72 a	124,83 \pm 37,46 a	125,42 \pm 35,32 a	150,28 \pm 40,45 b
O ₂ disponible (mg.L ⁻¹)	8,07 \pm 0,58 a	8,11 \pm 0,6 a	8,09 \pm 0,59 a	8,06 \pm 0,62 a

Nota: Medias en la misma fila con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Los parámetros de calidad del agua presentaron fluctuaciones diarias dentro de los rangos óptimos para el crecimiento y desarrollo de las especies en cada uno de los subsistemas del acuapónico (Figura 6).

Figura 6

Fluctuación promedio durante el día de los parámetros de calidad del agua



Nota: a) temperatura, b) pH, c) conductividad eléctrica y d) oxígeno disponible de los estanques del sistema acuapónico, los datos se tomaron cada 3 horas, $n = 248$.

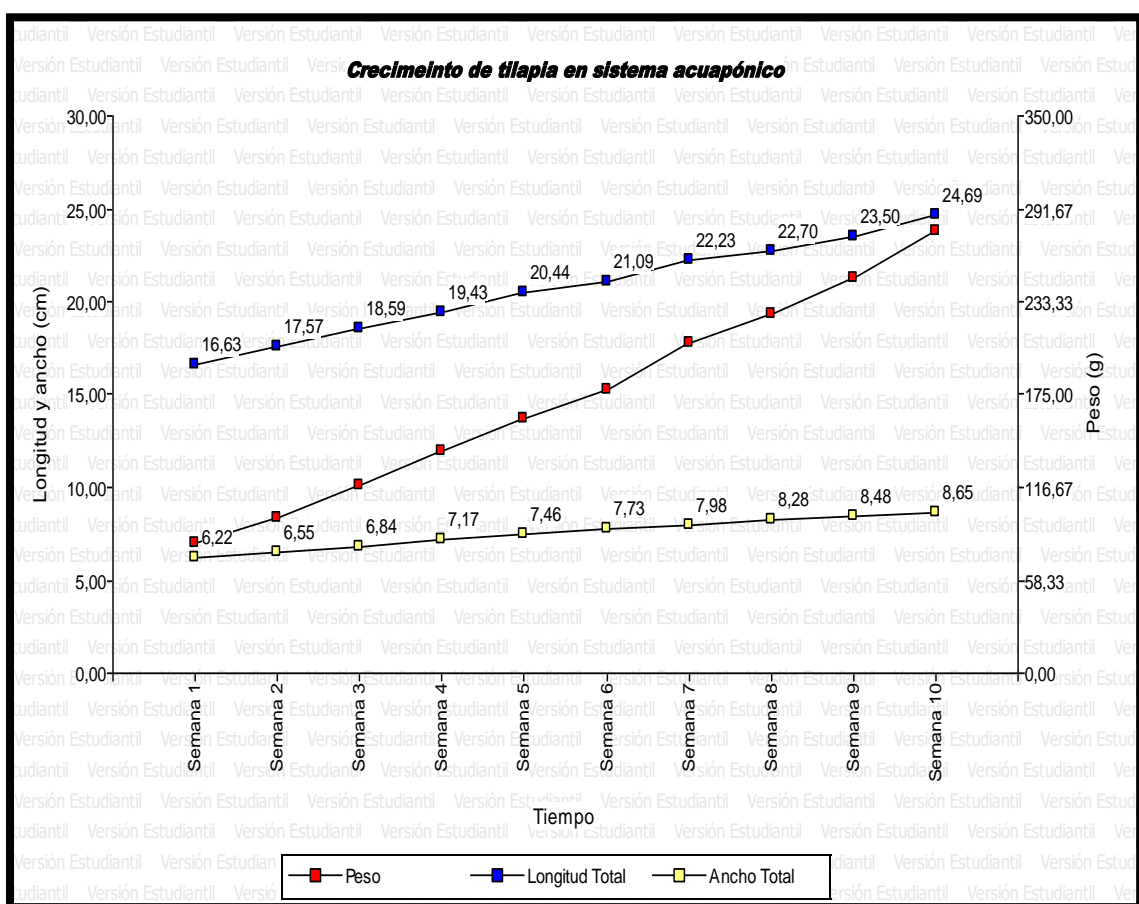
El agua utilizada para el sistema acuapónico tuvo una excelente calidad, posterior a esto se analizó el desarrollo de las tilapias las cuales son las que generan los nutrientes para los demás organismos.

Análisis del desarrollo de las tilapias

El crecimiento y desarrollo de las tilapias se monitoreó semanalmente (Figura 7) y se obtuvo parámetros de productividad dentro de los rangos considerados como normales (Tabla 8).

Figura 7

Promedio del peso, longitud total y ancho total que describen el crecimiento de las tilapias durante 10 semanas.



El desarrollo de los peces evidenció que en la última semana tuvieron una mayor ganancia de peso ($4,12 \pm 2,72$ g); sin embargo, una mayor tasa de crecimiento específica sucedió durante la primera semana ($3,54 \pm 0,92$). Los peces obtuvieron una

mayor biomasa ganada durante las semanas 7 y 10 ($29,22 \pm 10,37$ g; $28,83 \pm 19,03$ respectivamente) (Tabla 8).

Tabla 8

Medias \pm desviación estándar de los parámetros productivos de tilapia en un sistema acuapónico. n=63

Semana	Parámetros productivos					
	Peso (g)	BG (g)	FCA	EA	TCE (%.día ⁻¹)	GP (g.día ⁻¹)
1	82,09 \pm 5,35	17,70 \pm 3,66 c	1,31 \pm 0,25 b	78,60 \pm 13,07 a	3,54 \pm 0,92 a	2,53 \pm 0,52 c
2	97,84 \pm 11,37 ab	15,75 \pm 6,78 c	1,79 \pm 0,72 a	63,06 \pm 19,41 c	2,44 \pm 0,89 b	2,25 \pm 0,97 c
3	118,14 \pm 19,72 b	20,30 \pm 11,67 c	1,40 \pm 0,28 ab	74,13 \pm 13,44 b	2,60 \pm 1,20 b	2,90 \pm 1,67 c
4	139,32 \pm 18,66 ab	21,18 \pm 8,08 c	1,32 \pm 0,24 ab	78,24 \pm 12,51 a	2,42 \pm 0,92 b	3,03 \pm 1,15 c
5	159,14 \pm 18,92 ab	19,83 \pm 7,93 c	1,34 \pm 0,22 ab	76,57 \pm 11,94 a	1,92 \pm 0,80 c	2,83 \pm 1,13 c
6	178,07 \pm 7,37 a	18,92 \pm 12,62 c	1,64 \pm 0,43 a	64,78 \pm 20,46 c	1,70 \pm 1,30 d	2,70 \pm 1,80 c
7	207,33 \pm 18,12 ab	29,22 \pm 10,37 a	1,22 \pm 0,12 b	82,48 \pm 8,28 a	2,14 \pm 0,63 c	4,17 \pm 1,48 a
8	225,33 \pm 18,12 b	18,04 \pm 5,01 c	1,53 \pm 0,43 ab	70,25 \pm 19,81 b	1,19 \pm 0,32 e	2,58 \pm 0,72 c
9	248,35 \pm 12,38 ab	23,02 \pm 8,69 b	1,31 \pm 0,27 b	79,31 \pm 14,20 a	1,42 \pm 0,58 d	3,29 \pm 1,24 b
10	277,18 \pm 29,15 ab	28,83 \pm 19,03 a	1,52 \pm 0,68 ab	72,88 \pm 16,69 b	1,51 \pm 0,88 d	4,12 \pm 2,72 a

Nota: *BG: biomasa ganada (semanalmente); *GP: ganancia de peso; *TCE: Tasa de crecimiento específica; *FCA: factor de conversión alimenticia; *EA: eficiencia alimenticia. Valores con letras diferentes en la misma columna son diferentes estadísticamente con base en la prueba de Tukey ($P < 0,05$) para las variables Peso y FCA. Para el resto de variables se usó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis.

Los nutrientes generados tanto por los sobrantes de balanceado que se precipitaron como por los lixiviados de las tilapias fueron analizados en el laboratorio para cuantificarlos mediante métodos de espectrofotometría.

Análisis de los procesos de nitrificación

Los nutrientes inorgánicos disueltos como el amonio (NH_4), nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-) y fosfatos (PO_4) tuvieron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos

($p < 0,05$) (Tabla 9). Los resultados indicaron que la cantidad de amonio sobrante en el agua luego de la absorción por parte de las plantas de pepino fue menor para el T4. El contenido de nitritos fue mayor en T0 y T2 que en T4, de igual manera se pudo observar que el contenido de nitrato en el agua del T4 fue menor que la del T0 y que la mejor absorción de fosfatos fue para el T4.

Tabla 9

Medias \pm desviación estándar del flujo de amonio, nitrito, nitrato y fosfato en las balsas flotantes de las plantas de pepino bajo 5 dosis diferentes de espirulina. $n=7$

Tratamiento	Nutrientes inorgánicos (mg.L ⁻¹)			
	Amonio	Nitrito	Nitrato	Fosfato
T0	0,27 \pm 0,13 a	0,15 \pm 0,10a	1,20 \pm 0,37 a	0,15 \pm 0,02 a
T1	0,22 \pm 0,12 ab	0,13 \pm 0,08 ab	1,05 \pm 0,34 ab	0,12 \pm 0,03 ab
T2	0,12 \pm 0,03 b	0,19 \pm 0,10 a	0,89 \pm 0,28 ab	0,10 \pm 0,02 b
T3	0,16 \pm 0,08 ab	0,12 \pm 0,06 ab	0,76 \pm 0,24 ab	0,10 \pm 0,02 bc
T4	0,13 \pm 0,07 ab	0,07 \pm 0,05 b	0,60 \pm 0,19b	0,06 \pm 0,02 c

Nota: Valores con letras diferentes en la misma columna son diferentes estadísticamente con base en la prueba de Tukey ($P < 0,05$).

El flujo de estos compuestos inorgánicos presente en los diferentes estanques se estabiliza a lo largo del tiempo (Figura 7). Se evidencia una elevada cantidad de nitratos en las piscinas de tilapias debido a la gran cantidad de fitoplancton y lixiviados de los peces. El estanque de tilapia presentó valores altos de nitrato ($16,35 \pm 5,20$ mg.L⁻¹) ya que las tilapias también se alimentan de microalgas que se genera en el estanque, además se observa una cantidad tolerable de amonio ($3,14 \pm 1,77$ mg.L⁻¹) (Tabla 10).

Tabla 10

Medias \pm desviación estándar del contenido de amonio, nitrito, nitrato y fosfato en los diferentes estanques del sistema acuapónico. $n=7$

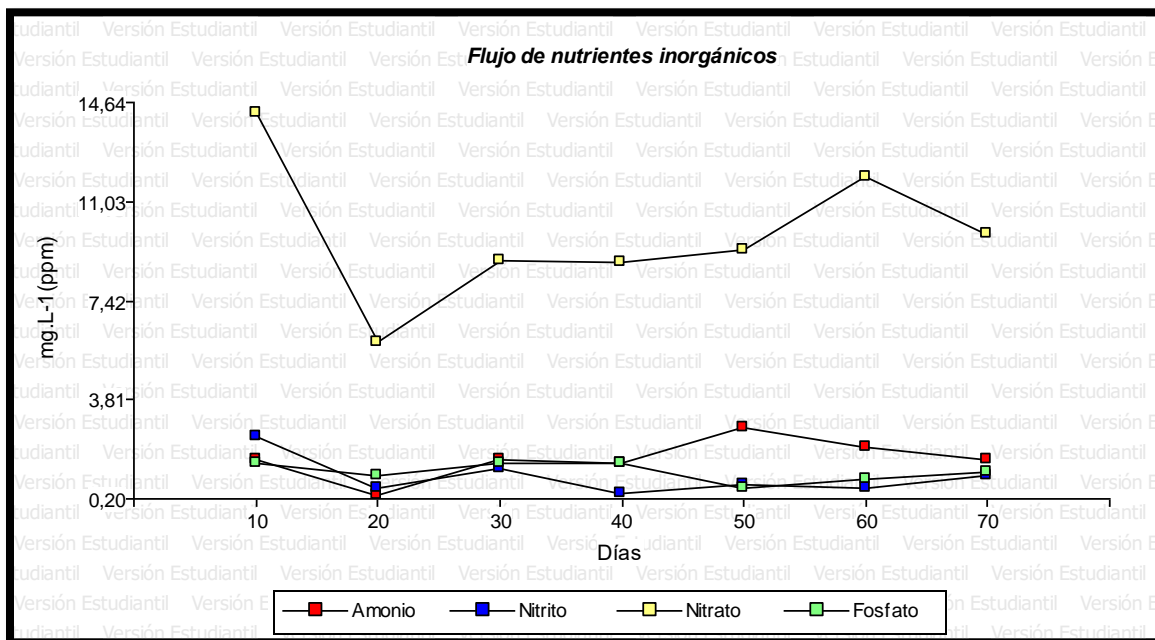
Estanque	Nutrientes inorgánicos (mg.L ⁻¹)			
	Amonio	Nitrito	Nitrato	Fosfato
Tilapia	3,14 \pm 1,77 a	1,73 \pm 1,34a	16,35 \pm 5,20 a	1,55 \pm 0,45 a
Nitrificación	1,29 \pm 0,69 b	0,86 \pm 0,54ab	8,58 \pm 3,92 b	1,17 \pm 0,46 ab
Recirculación	0,51 \pm 0,27 b	0,46 \pm 0,42 b	4,58 \pm 1,65 c	0,75 \pm 0,23 b

Nota: Valores con letras diferentes en la misma columna son diferentes

estadísticamente con base en la prueba de Tukey ($P < 0,05$).

Figura 8

Medias del contenido de nitrito, nitrato, fosfato y amonio de los distintos estanques que componen el sistema acuapónico.



Luego de que se cuantificó la cantidad de nutrientes que el sistema acuapónico contenía en su flujo de agua recirculante; y asegurando que existió una estabilización de N-total. Se procedió a analizar el crecimiento, desarrollo y producción de las plantas de pepino.

Análisis productivos de las plantas de pepino

La productividad de las plantas de pepino estuvo relacionada con la calidad del agua, la cantidad de nutrientes en recirculación y las diferentes dosis de espirulina aplicada foliarmente. A los 70 días los parámetros productivos presentaron diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). El T4 alcanzó los mayores valores para altura ($147,06 \pm 4,74$ cm), número de hojas ($39,78 \pm 3,62$ hojas/planta), número de frutos ($19,22 \pm 1,70$ frutos/repetición), porcentaje de clorofila ($17,11 \pm 4,11$ %). El T3 en cambio presentó el mayor número de flores ($6,06 \pm 1,30$ flores/planta) y el T0 presentó la mayor relación de hojas/frutos ($15,98 \pm 8,03$). Finalmente, la relación hojas/flores no evidenció diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0,05$) (Tabla 11).

Tabla 11

Medias \pm DE de las variables de productividad de las plantas de pepino bajo 5 dosis de espirulina en un sistema acuapónico.

Variable	Tratamientos				
	T0	T1	T2	T3	T4
Altura (cm)	117,82 \pm 7,25 d	122,94 \pm 4,08 c	126,89 \pm 1,84 c	134,56 \pm 1,73 b	147,06 \pm 4,74 a
Hojas (unidades)	33,44 \pm 2,04 c	34,11 \pm 2,70 c	35,22 \pm 2,92 bc	37,22 \pm 3,83 ab	39,78 \pm 3,62 a
Flores (unidades)	4,83 \pm 1,29 b	4,78 \pm 1,06 b	5,89 \pm 1,23 ab	6,06 \pm 1,30 a	5,50 \pm 1,10 ab
Frutos (unidades)	11,89 \pm 2,03 d	15,00 \pm 2,89 c	14,17 \pm 2,62 bc	16,50 \pm 2,50 b	19,22 \pm 1,70 a
Clorofila (%)	11,80 \pm 6,20 b	14,00 \pm 4,05 ab	16,32 \pm 3,80 ab	16,08 \pm 4,31 ab	17,11 \pm 4,11 a
Hoja/Flor	14,88 \pm 10,36 a	16,21 \pm 6,95 a	16,58 \pm 10,33 a	16,04 \pm 10,01 a	17,99 \pm 11,97 a
Hoja/Fruto	15,98 \pm 8,03 a	10,09 \pm 1,57 c	10,32 \pm 2,04 c	11,16 \pm 1,63 bc	13,52 \pm 4,40 ab

Nota: Medias con una letra común en la misma fila no son significativamente diferentes ($p > 0,05$), $n = 18$.

El desarrollo de las plantas de pepino mediante un subsistema hidropónico de balsa flotante tuvo una producción de frutos adecuada. A los cuales se les realizó un

análisis de la calidad para estimar sus parámetros morfológicos y composición nutrimental básica.

Análisis de la calidad de los frutos

La calidad de los frutos tuvo diferencias estadísticamente significativas en las variables peso y largo ($p < 0,05$). Se pudo comprobar que a mayor cantidad de biofertilizante foliar con espirulina las plantas de pepino producían frutos más pesados y con mayor longitud. El T4 produjo los mejores pepinos en cuanto a peso y largo ($493,67 \pm 121,33$ g; $22,10 \pm 1,90$ cm, respectivamente). Mientras que para el ancho de los pepinos no hubo diferencias significativas ($p > 0,05$) (Tabla 12).

Tabla 12

Medias \pm desviación estándar de las variables del peso, largo y ancho de los frutos de pepino bajo 5 dosis de espirulina en un sistema acuapónico.

	Peso	Largo	Ancho
T0	229,00 \pm 35,04 b	16,43 \pm 0,76 b	4,73 \pm 0,42 a
T1	281,33 \pm 67,49 b	15,83 \pm 1,20 b	5,20 \pm 0,89 a
T2	278,67 \pm 28,04 b	18,27 \pm 1,01 b	4,83 \pm 0,21 a
T3	331,33 \pm 11,02 ab	19,03 \pm 0,70 ab	5,37 \pm 0,21 a
T4	493,67 \pm 121,33 a	22,10 \pm 1,90 a	6,10 \pm 0,66 a

Nota: Medias con una letra común en la misma fila no son significativamente diferentes ($p > 0,05$), $n = 3$.

Luego de haber estimado los parámetros morfométricos de los pepinos, se procedió con el análisis bromatológico. Los cuales se realizaron en las instalaciones del laboratorio del IASA 1.

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas para el contenido de proteína, ceniza, grasa y fibra ($p < 0,05$); mientras que para el contenido de grasa no existieron diferencias significativas ($p > 0,05$) (Tabla 13).

Tabla 13

Medias \pm DE del análisis bromatológico de la biomasa de frutos de pepino bajo 5 dosis de espirulina en un sistema acuapónico.

Variable	Tratamientos				
	T0	T1	T2	T3	T4
Proteína (%)	0,25 \pm 0,03 ab	0,15 \pm 0,03 b	0,35 \pm 0,06 a	0,29 \pm 0,06 ab	0,31 \pm 0,07 a
Ceniza (%)	7,74 \pm 1,42 b	9,58 \pm 0,41 ab	10,26 \pm 0,48 ab	11,80 \pm 0,95 a	12,44 \pm 1,58 a
Humedad (%)	8,09 \pm 1,46 a	10,15 \pm 0,90 a	10,64 \pm 0,88 a	11,30 \pm 3,61 a	12,90 \pm 0,73 a
Grasa (%)	3,91 \pm 0,73 d	3,82 \pm 1,21 c	4,79 \pm 0,38 bc	4,95 \pm 0,10 b	5,43 \pm 0,25 a
Fibra (%)	14,85 \pm 1,19 b	15,44 \pm 0,62 b	14,95 \pm 0,72 b	16,37 \pm 1,40 b	19,02 \pm 0,57 a

Nota: Medias con una letra común en la misma fila no son significativamente diferentes ($p > 0,05$), $n = 3$.

El T2 (0,35 \pm 0,06 %) presentó un mayor contenido de proteína que el T1 (0,15 \pm 0,03 %); mientras que para el contenido de ceniza el T4 (12,44 \pm 1,58 %) fue mayor que el T0 (7,74 \pm 1,42). Además, en cuanto al contenido de grasa y el contenido de fibra el mayor valor lo presentó el T4 (5,43 \pm 0,25 %; 19,02 \pm 0,57 %).

Análisis económico de la producción

La producción de pepino bajo un sistema acuapónico consideró como costos variables el costo de producción de espirulina (*Arthrospira platensis*) y la cantidad usada en cada una de las dosis aplicadas a los diferentes tratamientos durante el tiempo de investigación, además de la mano de obra que se necesitó para la producción de cada tratamiento. Realizando el método de presupuesto parcial propuesto por Perrin et al. (1988) se encontraron los tratamientos T1, T2 y T3 como dominados ya que sus costos variables son los más altos y su beneficio neto es menor que los demás tratamientos. Además, se encontró que el T4 presentó un mayor beneficio neto que el resto de tratamientos (Tabla 14).

El rendimiento medio se lo calculó multiplicando el rendimiento por planta (Kg. planta-1) para el total de plantas en una hectárea sembradas a una distancia de (0,3 m. 0,4 m), cabe mencionar que se tomó en cuenta el espacio ocupado para caminos. Además, el rendimiento ajustado se obtuvo mediante una proyección del 25 % de frutos no aprovechados; ya que durante el desarrollo de los frutos como durante la cosecha existe un porcentaje de pérdida.

Tabla 14

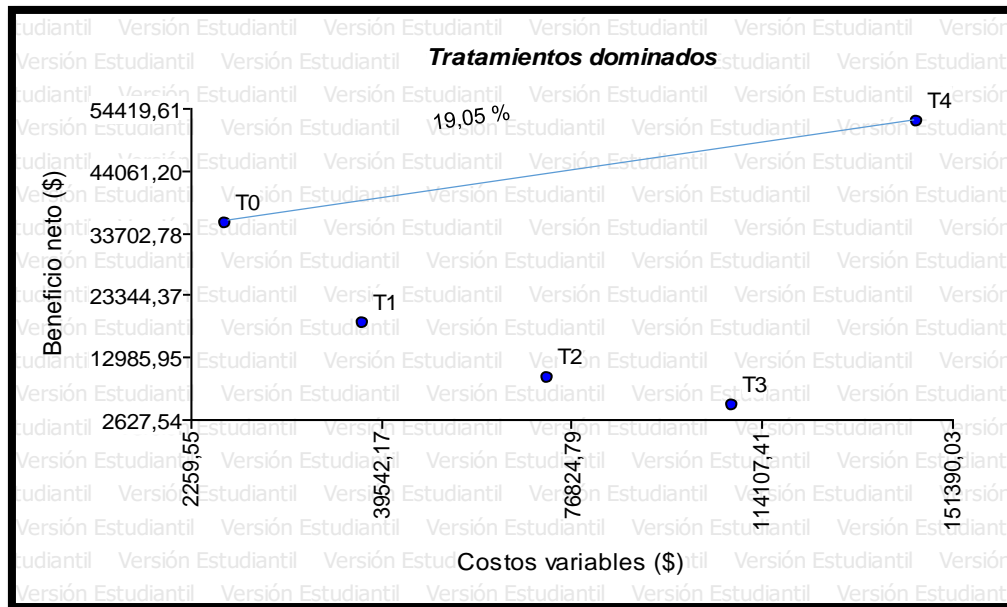
Presupuesto parcial de la producción de fresa fertilizada con diferentes concentraciones de espirulina (Arthrospira platensis).

Descripción	Tratamientos				
	T0	T1	T2	T3	T4
Rendimiento medio (Kg/ha)	37.633,86	58.376,67	54.585,23	75.626,83	131.117,87
Rendimiento ajustado (Kg/ha)	28.225,40	43.782,50	40.938,92	56.720,13	98.338,40
Beneficio bruto (\$/ha)	\$ 35.281,74	\$ 54.728,13	\$ 81.877,84	\$ 113.440,25	\$ 196.676,80
<i>Costo de espirulina (\$/ha)</i>	-	\$ 27.114,63	\$ 54.229,26	\$ 81.343,90	\$ 108.458,53
<i>Costo de mano de obra (\$/ha)</i>	\$ 9.038,21	\$ 9.038,21	\$ 18.076,42	\$ 27.114,63	\$ 36.152,84
Total costos variables (\$/ha)	\$ 9.038,21	\$ 36.152,84	\$ 72.305,69	\$ 108.458,53	\$ 144.611,37
Beneficio neto (\$/ha)	\$ 26.243,53	\$ 18.575,28	\$ 9.572,15	\$ 4.981,72	\$ 52.065,43

Luego de haber obtenido una estimación de los beneficios netos se calculó la tasa de retorno marginal. El T4 tuvo una tasa de retorno marginal del 19,05 % que es la pendiente que existe al conectar con una línea al T0 con el T4 (Figura 8). Esto quiere decir que si se invierten \$ 144.611,37 para pasar del uso del T0 a utilizar el T4 se obtiene un beneficio neto marginal de \$ 25.821,90.

Figura 9

Tasa de retorno marginal existente entre los tratamientos no dominados.



Discusión

La calidad del agua de recirculación para los organismos presentes en los componentes del sistema acuapónico deben mantenerse dentro de los límites que pueden tolerar las tilapias, los microorganismos y las planta, para su óptimo crecimiento y desarrollo (Goddek, Joyce, Kotzen, & Burnell, 2019). Todos los organismos requieren oxígeno para sus procesos metabólicos, así en el proceso de nitrificación se necesitan 5 mg de oxígeno para oxidar 1 mg de amoníaco a nitrato (Gichana, y otros, 2019). En el presente estudio la concentración de oxígeno disuelto fue de $8,07 \pm 0,58 \text{ mg.L}^{-1}$, ya que un aireador trabajó durante todos los días, las 24 horas. Siendo una concentración de oxígeno disuelto mayor a la reportada por Cervantes, Hernández, & Pérez (2016) que fue de $6,76 \pm 0,23 \text{ mg.L}^{-1}$ y a la publicada por Gichana y otros (2019) que fue de $3,81 \pm 0,27 \text{ mg.L}^{-1}$.

La temperatura media del agua fue de $22,70 \pm 1,18 \text{ }^{\circ}\text{C}$ la cual se encontró dentro de los rangos típicos tanto para la producción de tilapia como de las plantas reportados por Rakocy, Shultz, Bailey, & Thoman (2004). El pH es un parámetro muy importante de cualquier sistema de producción ya que afecta el rendimiento de los organismos (Gichana, y otros, 2019). El nivel de pH se encontró en una media de $7,27 \pm 0,27$; lo que indica que se tuvo un pH ligeramente alcalino dentro de los niveles recomendados para el componente acuícola como para las bacterias nitrificantes (Wongkiew, Hu, Chandran, Lee, & Khanal, 2017). Sin embargo, este nivel de pH no se considera óptimo para la producción de vegetales que debería estar entre 5,5 - 6,5 según Zou, y otros (2016) quienes mencionan que en un pH de 6,00 logran una eficiencia mayor al 50% de absorción de nitrato de la solución, mientras que si elevan el nivel de pH a 7,50 y 9,00 la eficiencia desciende por debajo del 50%. Aunque el alto nivel del pH puede afectar el

desarrollo de las plantas (Greenfeld, Becker, Bornman, & Angel, 2020), no se observaron signos de desnutrición en las plantas.

El crecimiento y desarrollo de las tilapias (*Oreochromis* spp.) que al inicio de la investigación tenían un peso promedio de $82,09 \pm 5,35$ g, obtuvieron una ganancia de peso diario de $4,17 \pm 1,48$ g.día⁻¹ a la 7ma semana y una tasa de crecimiento específica de $3,54 \pm 0,92$ %.día⁻¹ en la primera semana. El menor factor de conversión alimenticia fue de $1,22 \pm 0,12$ durante la semana 7. Los parámetros productivos están dentro de los rangos aceptados para la producción de tilapia en sistemas intensivos. Sin embargo Babatunde, Ibrahim, Abdulkarim, Wagini, & Usman (2019) en su investigación obtuvieron una tasa de crecimiento específico menor ($2,92$ %.día⁻¹) y un factor de conversión alimenticia menor ($1,12$) para una densidad de 100 peces/m³. Estos investigadores determinan que mientras se incrementa el flujo de agua y la aireación se pueden tener densidades de peces mucho más altas de las que evaluaron, ya que con una densidad de 250 peces/m³ con un FCA de 1,07 se obtienen resultados similares. Los resultados de la presente investigación difieren con los obtenidos por Gichana y otros (2019) en acuapónicos con cucurbitáceas, mencionan que las tilapias tuvieron una menor tasa de crecimiento específica ($0,49 \pm 0,18$ %.día⁻¹) y un mayor factor de conversión alimenticia ($2,4 \pm 0,3$).

La alta concentración de amonio se atribuye a los metabolitos de desecho que los peces liberan durante la excreción, así como a la descomposición de los alimentos no digeridos (Yavuzcan, y otros, 2017). Durante los procesos de nitrificación se da la oxidación del amonio a nitrato por las bacterias nitrificantes que se encuentran en el sistema y al fitoplancton presente en el agua (Hu, y otros, 2015). Las concentraciones de nitrato presentes en el sistema acuapónico durante el experimento estuvieron en un rango de $4,58 \pm 1,65$ mg.L⁻¹ – $16,35 \pm 5,20$ mg.L⁻¹. La gran producción de nitrato se debe

a la adición de bacterias del género *Bacillus subtilis* quincenalmente (Somerville et al., 2015). Aunque Cervantes y otros (2016) reportaron valores de hasta $110,00 \pm 28,90$ mg.L⁻¹ de nitrato en el sistema acuícola debido al incremento de los sólidos totales en el sistema, por la falta de reemplazo de agua periódicamente, sin embargo esto no afectó la producción de las tilapias y los vegetales en su sistema acuapónico.

El agua de recirculación constante aportaba los nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas de pepino (Somerville, Cohen, Pantanella, Stankus, & Lovatelli, 2015). Además, también se biofertilizó foliarmente con un producto obtenido a partir de la cianobacteria espirulina (*Arthrospira platensis*), que permitió complementar la nutrición de las plantas, incrementando la productividad de los pepinos (Anitha, Sai, & Kalpana, 2016). El biofertilizante a base de espirulina en diferentes dosis aportaba nutrientes en concentraciones bajas pero constantes, lo que optimizó la adsorción de nutrientes para la producción de hojas, flores y frutos. Al menos uno de los tratamientos demuestra diferencias estadísticas entre los demás ($p < 0,05$). Se evidenció un leve amarillamiento en las hojas de las plantas de pepino pertenecientes al T0 debido a la carencia de magnesio (Barraza, 2015), ya que este actuó como testigo. La presencia de fitohormonas en el bioproducto de espirulina generó una acción foliar que se evidenció con el incremento de número de hojas y flores (Godlewska y otros, 2019). La acción de las auxinas presentes en el bioproducto tuvo un efecto directo en la absorción de nutrientes presentes en el agua, división celular y elongación de las células de forma integral (Anitha, Sai, & Kalpana, 2016).

En cuanto a la productividad de las plantas de pepino, los parámetros morfométricos que se obtuvieron como altura ($147,06 \pm 4,74$ cm), tiende a ser menor a la reportada por Marcano, Acevedo, Contreras, Jiménez, & Escalona (2012) quienes tienen alturas a las 7 semanas de 164,5 y 177,95 cm en diferentes localidades. El

número de hojas promedio por planta ($39,78 \pm 3,62$ hojas/planta) fue mayor a la presentada por Marcano y otros (2012) quienes obtuvieron un máximo de 29 hojas por planta. Así mismo Oyervides (2004) también presentó que sus plantas produjeron en promedio 19,7 hojas por planta. Estos autores indican que realizaron una poda constante de las hojas más antiguas, de las hojas con presencia de plagas y de las hojas marchitas, ya que esto incrementa el llenado de los frutos. Sin embargo, el número de frutos ($3,20$ frutos/planta) fue menor a la reportada por Oyervides (2004) quien menciona haber obtenido en promedio de 7 a 8 frutos por planta en cultivos sin suelo bajo invernadero; y Marcano y otros (2012) que a las 7 semanas lograron cosechar hasta 49 pepinos por planta en cultivos extensivos. Ellos mencionan que las diferencias en el número de frutos por planta pueden estar ligado al afecto del pH que las plantas están sometidas.

El porcentaje de clorofila que se obtuvo fue diferente solamente entre el T4 con $17,11 \pm 4,11$ % y el testigo con $14,88 \pm 10,36$ %. La clorofila es la responsable del color verde de las hojas y frutos de pepino, Barraza (2015) menciona que entre más cantidad de nutrientes la planta obtenga de la solución nutritiva las hojas y frutos tendrán un intenso color verde. Lo cual concuerda con la investigación realizada ya que a mayor dosis de biofertilizante a base de espirulina, las plantas de pepino tuvieron una mejor tonalidad de color verde. Godlewska y otros (2019) mencionan que el mayor contenido de clorofila encontrado en las plántulas de su estudio lo obtuvo con el grupo tratado con un $100\mu\text{L}$ de espirulina tanto para el remojo como para el pulverizado de las semillas, esto se debe a que la espirulina presenta en su composición un fitopigmento conocido como ficocianina.

La aplicación de biofertilizante a base de espirulina de manera foliar y semanal mejoró la calidad de los pepinos y su composición. El mayor peso obtenido fue de

493,67 ± 121,33 g obtenido por los pepinos que corresponden al T4 este resultado es mayor al obtenido por Sánchez y otros (2014) quienes reportan un peso medio de hasta 270g para hidropónicos en balsas flotantes. Además, cabe notar que Oyervides, (2004) menciona que en una plantación de pepino hidropónico bajo invernadero se pueden cosechar pepinos con un peso en el rango de 500 a 700 g/fruto. También es mayor al obtenido por Montaña, Gil, & Palmares (2018) en condiciones de campo quienes cosecharon pepinos de hasta 309,20 g.

La composición proximal también se incrementó para los pepinos pertenecientes al T4. Los cuales mostraron que mejoraron respecto del testigo en la cantidad de proteína, grasa y fibra. Lo que concuerda con los resultados obtenidos por Hassan, y otros (2021) y Eslamboly, Abd, & Amin (2019) quienes mostraron que la composición de los frutos de pepino incrementaban sus contenidos nutrimentales con la aplicación de bioproductos, además que la aplicación de biofertilizantes también cumple con una función protectora (Wells, y otros, 2017). Además, Atzori, y otros (2020) mencionan que aplicar foliarmente un biofertilizante a base de espirulina incrementa la absorción de nitrógeno, fósforo y potasio del medio acuoso.

El análisis económico determinó que el T4 fue el mejor tanto en beneficio neto como en tasa de retorno marginal. Calderón, Olivas, Luján, Ríos, & Hernández (2019) concluyen que las ganancias obtenidas son del 50%, es decir que por cada dólar invertido se obtienen 50 centavos a partir del segundo año de operaciones. Además, Ramirez, Jiménez, & Hurtado (2008) mencionan que los sistemas acuapónicos contribuyen a resolver problemas de escasez de alimentos y fuentes de empleo. Sin embargo, Suárez, Fernández, Lobillo, & Pérez (2021) determinan que un sistema acuapónico no ofrece utilidades inmediatas, sino luego de dos años de operación.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- La productividad de pepino se incrementó con la aplicación foliar de biofertilizante obtenido a partir de espirulina (*Arthrospira platensis*) a una dosis de 8 g.L⁻¹ presentando una mayor altura, mayor número de hojas y mayor rendimiento por hectárea.
- La composición bromatológica de los frutos del pepino fue mayor en aquellos frutos del T4, los cuales presentaron mayor cantidad de proteína, fibra y lípidos que el testigo.
- El desecho de los metabolitos y la descomposición del sobrante del alimento suministrado a las tilapias generó nutrientes de manera constante y brindó un soporte fundamental para el desarrollo del pepino.
- La aplicación de diferentes dosis de biofertilizante foliar de espirulina incrementó la absorción de nutrientes del sistema acuapónico, evidenciándose una disminución de los nutrientes inorgánicos en el estanque de recirculación.
- El mayor beneficio neto fue presentado por el T4 con un valor de \$ 52.065,43 y su tasa de retorno marginal fue de 19,05 %, lo que indica que por cada dólar invertido en pasar del T0 al T4 se obtendrán \$ 0,1905 de beneficio neto.
- El sistema acuapónico, mediante la fertilización de bioproductos a base de espirulina fue rentable, indicando una viabilidad económica favorable para la producción de vegetales como el pepino.

Recomendaciones

- Estudiar y analizar la funcionalidad de productos naturales como posibles pesticidas, para proteger las plantas cultivadas.
- Analizar e implementar una forma de control del pH en el solamente en el subsistema hidropónico, para que las plantas se desarrollen con un pH entre 5,5 y 6,5 considerados como óptimos para mejorar la producción.
- Aplicar un biofertilizante orgánico o a su vez fertilizante inorgánico para incrementar las posibilidades de tener plantas fuertes y sanas, que brinden frutos de calidad. Es decir que al momento de complementar la nutrición en los distintos estados fenológicos se garantice una mejora en la productividad de las plantas.
- Producir artesanalmente espirulina (*Arthrospira platensis*) puede ser una fuente de ingresos, siendo un alimento completo; tanto para la elaboración de biofertilizantes como para su uso como un complemento de pienso para animales y peces.
- Construir prototipos de sistemas acuapónicos funcionales para un espacio reducido, con el fin de aprovechar la capacidad de producción de alimentos frescos y sanos; amigablemente con el medio ambiente.
- Estimar un sistema acuapónico de producción orgánica para generar fuentes de trabajo estables.

Bibliografía

- Abadjieva, D., Nedeva, R., Marchev, Y., Jordanova, G., Chervenkov, M., Dineva, J., . . . Kistanova, E. (2018). Arthrospira (Spirulina) platensis supplementation affects folliculogenesis, progesterone and ghrelin levels in fattening pre-pubertal gilts. *Journal of Applied Phycology*, 30(1), 445 - 452.
doi:<https://doi.org/10.1007/s10811-017-1263-7>
- Abadjieva, D., Shimkus, A., Shimkiene, A., Rashev, P., & Kistanova, E. (2018). Transgenerational beneficial effect of Arthrospira (Spirulina) platensis on the rabbit ovaries. *Journal of Applied Phycology*, 30(3), 1691 - 1700.
doi:<https://doi.org/10.1007/s10811-018-1400-y>
- Abd, H., Baz, F., & Baroty, G. (2010). Enhancing antioxidant availability in wheat grains from plants grown under seawater stress in response to microalgae extract treatments: Enhancing antioxidant availability in wheat grains. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(2), 299 - 303.
doi:<https://doi.org/10.1002/jsfa.3815>
- Adhikari, R., Rauniyar, S., Pokhrel, N., Wagle, A., Komai, T., & Paudel, S. (2020). Nitrogen recovery via aquaponics in Nepal: Current status, prospects, and challenges. *SN Applied Sciences*, 1192 - 1210.
doi:<https://doi.org/10.1007/s42452-020-2996-5>
- Albuja, R. (2011). Obtención de un biofertilizante a partir del residuo ultra fino de Spirulina platensis, mediante degradación anaerobia. Sangolquí, Pichincha, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/5015/2/T-ESPE-033046-A.pdf>

- Alza, W. (2016). Estimación del riesgo de contaminación de fuentes hídricas de pesticidas (Mancozeb y Carbofuran) en Ventaquemada, Boyacá—Colombia. *Acta Agronómica*, 65(4), 368 - 374.
doi:<https://doi.org/10.15446/acag.v65n4.50325>
- Andreeva, N., Melnikov, V., & Snarskaya, D. (2020). The role of cyanobacteria in marine ecosystems. 46(3), 154 - 165. doi:<https://doi.org/10.1134/S1063074020030025>
- Anitha, L., Sai, G., & Kalpana, P. (2016). Effect of Supplementation of *Spirulina platensis* to Enhance the Zinc Status in Plants of *Amaranthus gangeticus*, *Phaseolus aureus* and Tomato. 7(6), 289 - 299. doi:<https://doi.org/10.4236/abb.2016.76027>
- Ansari, F. (2021). Improving the feasibility of aquaculture feed by using microalgae. *Environmental Science and Pollution Research*, 197 - 234.
doi:<https://doi.org/10.1007/s11356-021-14989-x>
- Arahou, F., Hassikou, R., Arahou, M., Rhazi, L., & Wahby, I. (2021). Influence of culture conditions on *Arthrospira platensis* growth and valorization of biomass as input for sustainable agriculture. *aquaculture International*, 8(3), 654 - 667.
doi:<https://doi.org/10.1007/s10499-021-00730-5>
- Arroyo, P., Mazquiaran, L., Rodríguez, P., Valero, T., Ruiz, E., Ávila, J., & Varela, G. (2018). Informe de Estado de Situación sobre "Frutas y Hortalizas: Nutrición y Salud en la España del S. XXI". *Fundación Española de la Nutrición*, 20 -27.
Obtenido de
<https://www.fesnad.org/resources/files/Noticias/frutasYHortalizas.pdf>
- Assis, A., Reis, R., Rezende, T., M., d. S., de Freitas, R., & Hilsdorf, A. (2019). Quantitative analysis of black blotching in a crossbred red tilapia and its effects

- on performance traits via a path analysis methodology. *Journal of Applied Genetics*, 60(3), 393 - 400. doi:<https://doi.org/10.1007/s13353-019-00513-y>
- Atzori, G., Nissim, W., Rodolfi, L., Niccolai, A., Biondi, N., Mancuso, S., & Tredici, M. (2020). Algae and Bioguano as promising source of organic fertilizers. *Journal of Applied Phycology*, 32(6), 2971 - 2981. doi:<https://doi.org/10.1007/s10811-020-02261-7>
- Avnimelech, Y., & Kochba, M. (2009). valuation of nitrogen uptake and excretion by tilapia in bio floc tanks, using 15N tracing. *Aquaculture*, 187(1), 163 - 168. doi:<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.10.009>
- Babatunde, T., Ibrahim, K., Abdulkarim, B., Wagini, N., & Usman, S. (2019). Co-production and biomass yield of amaranthus (*Amaranthus hybridus*) and tilapia (*Oreochromis niloticus*) in gravel-based substrate filter aquaponic. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8(S1), 255 - 261. doi:<https://doi.org/10.1007/s40093-019-00297-5>
- Barraza, F. (2015). Calidad morfológica y fisiológica de pepinos cultivados en diferentes concentraciones nutrimentales. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 9(1), 60 - 75. doi:<https://doi.org/10.17584/rcch.2015v9i1.3746>
- Barraza, F. (2017). Absorción de N, P, K, Ca y Mg en cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo sistema hidropónico. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(2), 343 - 350. doi:<https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i2.7346>
- Bhowmik, D., Dubey, J., & Mehra, S. (2010). Evaluating Potential of Spirulina as Inoculant or Pulses. *Journal of Applied Phycology*, 76 - 94.
- Bhujel, R. (2002). Manejo Alimentario para Tilapia. *Panorama acuícola*, 7(4), 65 - 70.

- Boerlage, A., Dung, T., Hoa, T., Davidson, J., Stryhn, H., & Hammell, K. (2017). Production of red tilapia (*Oreochromis* spp.) in floating cages in the Mekong Delta, Vietnam: Mortality and health management. *Diseases of Aquatic Organisms*, 124(2), 131 - 144. doi:<https://doi.org/10.3354/dao03115>
- Branyikova, I., & Lucakova, S. (2021). Technical and physiological aspects of microalgae cultivation and productivity—Spirulina as a promising and feasible choice. *Organic Agriculture*, 11(2), 269 - 276. doi:<https://doi.org/10.1007/s13165-020-00323-1>
- Calderón, D., Olivas, J., Luján, C., Ríos, S., & Hernández, J. (2019). Factibilidad económica y financiera de un sistema de producción acuapónico de tilapia, lechuga y langostino de río en Delicias, Chihuahua, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 77(6), 5 - 11. doi:<https://doi.org/10.33064/iycuaa2019772086>
- Castilho, L., Almeida, F., Henriques, M., & Seiffert, W. (2018). Economic evaluation of the commercial production between Brazilian samphire and whiteleg shrimp in an aquaponics system. *Aquaculture International*, 26(5), 1187 - 1206. doi:<https://doi.org/10.1007/s10499-018-0277-8>
- Castilloblanco, E., & Hidalgo, J. (2009). *Efecto de dos tratamientos de agua en la producción de lechuga (Lactuca sativa) bajo dos sistemas hidropónicos en piscicultura*. Honduras: Zamorano. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/420/1/T2871>
- Cervantes, A., Hernández, M., & Pérez, C. (2016). Aprovechamiento de metabolitos nitrogenados en acuaponía. *Ecosistemas y Recursos Agrope*, 3(7), 63 -73. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/era/v3n7/v3n7a7.pdf>

- Chacón, K., & Monge, J. (2020). Producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo invernadero: Comparación entre tipos de pepino. *Revista Tecnología en Marcha*, 33(1), 17 - 35. doi:<https://doi.org/10.18845/tm.v33i1.5018>
- Chittapun, S., Limbipichai, S., Amnuaysin, N., Boonkerd, R., & Charoensook, M. (2018). Effects of using cyanobacteria and fertilizer on growth and yield of rice, Pathum Thani I: A pot experiment. *Journal of Applied Phycology*, 30(1), 79 - 85. doi:<https://doi.org/10.1007/s10811-017-1138-y>
- Collazos, L., & Arias, J. (2015). Fundamentos de la tecnología biofloc (BFT). Una alternativa para la piscicultura en Colombia. Una revisión. *Orinoquia*, 19(1), 77 - 89. doi:<https://doi.org/10.22579/20112629.341>
- Cortés, M., Johan, Y., & Rodríguez, E. (2011). Valoración de atributos de calidad en pepino (*Cucumis sativus* L.) fortificado con vitamina E. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 9(1), 24 - 34. doi:<http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v9n1/v9n1a04>
- Debnath, P., Das, B., Biswas, S., Kar, A., & Mukherjee, P. (2021). Quality evaluation and quantification of cucurbitacin E in different cultivars of *Cucumis sativus* L. fruit by a validated high-performance thin-layer chromatography method. *Journal of Planar Chromatography*, 34(2), 139 - 146. doi:<https://doi.org/10.1007/s00764-021-00097-6>
- Dehghani, J., Adibkia, K., Movafeghi, A., Barzegari, A., Pourseif, M., Maleki, H., . . . Omid, Y. (2018). Stable transformation of *Spirulina* (*Arthrospira*) *platensis*: A promising microalga for production of edible vaccines. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(21), 9267 - 9278. doi:<https://doi.org/10.1007/s00253-018-9296-7>

- Dey, S., Behera, T., Bhatia, R., & Munshi, A. (2020). Accelerated Breeding in Cucumber Using Genomic Approaches. *Accelerated Plant Breeding*, 2(1), 271 - 299. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-030-47298-6_10
- Ertani, A., & Nardi, S. (2019). Effects of two protein hydrolysates obtained from chickpea (*Cicer arietinum* L.) and *Spirulina platensis* on *Zea mays* (L.) plants. *Frontiers in Plant Science*, 10(5), 954 - 972. doi:<https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00954>
- Eslamboly, A., Abd, M., & Amin, A. (2019). Igal application as a biological control method of root-knot nematode *Meloidogyne incognita* on cucumber under protected culture conditions and its impact on yield and fruit quality. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 29(1), 23 - 41. doi:<https://doi.org/10.1186/s41938-019-0122-z>
- FAO. (2021). FishStatJ - Programa informático para series cronológicas de estadísticas de pesca y acuicultura. División de Pesca. Obtenido de <http://www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/es>
- Farias, J., Duarte, S., Bastos, A., & Carvalho, T. (2019). Performance of an aquaponics system using constructed semi-dry wetland with lettuce (*Lactuca sativa* L.) on treating wastewater of culture of Amazon River shrimp (*Macrobrachium amazonicum*). *Environmental Science and Pollution Research*, 26(13), 13476 - 13488. doi:<https://doi.org/10.1007/s11356-019-04496-5>
- Gallardo, A., Pérez, C., Hernández, M., & Pérez, I. (2019). Microeukaryote community and the nutritional composition of the biofloc during Nile tilapia culture in water-reusing biofloc systems. *Aquaculture International*, 27(2), 381 - 398. doi:<https://doi.org/10.1007/s10499-018-0335-2>

- Garlapati, D., Chandrasekaran, M., Devanesan, A., Mathimani, T., & Pugazhendhi, A. (2019). Role of cyanobacteria in agricultural and industrial sectors: An outlook on economically important byproducts. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *103*(12), 4709 - 4721. doi:<https://doi.org/10.1007/s00253-019-09811-1>
- Gichana, Z., Liti, D., Wakibia, J., Ogello, E., Drexler, S., Meulenbroek, P., . . . Waidbacher, H. (2019). Efficiency of pumpkin (*Cucurbita pepo*), sweet wormwood (*Artemisia annua*) and amaranth (*Amaranthus dubius*) in removing nutrients from a smallscale recirculating aquaponic system. *Aquaculture International*, *27*(6), 1767 -1786. doi:<https://doi.org/10.1007/s10499-019-00442-x>
- Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., & Burnell, G. (2019). Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future. *Springer International Publishing*, 98 -132. doi:<https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6>
- Godlewska, K., Michalak, I., Pacyga, P., Baśladyńska, S., & Chojnacka, K. (2019). Potential applications of cyanobacteria: *Spirulina platensis* filtrates and homogenates in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, *35*(6), 80 - 121. doi:<https://doi.org/10.1007/s11274-019-2653-6>
- Greenfeld, A., Becker, N., Bornman, J., & Angel, D. (2020). Identifying knowledge levels of aquaponics adopters. *Environmental Science and Pollution Research*, *27*(4), 4536 - 4540. doi:<https://doi.org/10.1007/s11356-019-06758-8>
- Grzesik, M. (2017). Effectiveness of cyanobacteria and green algae in enhancing the photosynthetic performance and growth of willow (*Salix viminalis* L.) plants under limited synthetic fertilizers application. *Photosynthetica*, *55*(3), 510 - 521. doi:<https://doi.org/10.1007/s11099-017-0716-1>

- Hassan, S., Ashour, M., Sakai, N., Zhang, L., Hassanien, H., Gaber, A., & Ammar, G. (2021). Impact of Seaweed Liquid Extract Biostimulant on Growth, Yield, and Chemical Composition of Cucumber (*Cucumis sativus*). *Agriculture*, 11(4), 320 - 356. doi:<https://doi.org/10.3390/agriculture11040320>
- Heise, J., Müller, H., Probst, A., & Meckenstock, R. (2021). Ammonium Removal in Aquaponics Indicates Participation of Comammox Nitrospira. *Current Microbiology*, 78(3), 894 - 903. doi:<https://doi.org/10.1007/s00284-021-02358-3>
- Hernández, L., Londoño, J., Hernández, K., & Torres, L. (2019). Los sistemas biofloc: Una estrategia eficiente en la producción acuícola. *Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 14(1), 70 - 99. doi:<https://doi.org/10.21615/cesmvz.14.1.6>
- Holmes, D., Dang, Y., & Smith, J. (2019). Nitrogen cycling during wastewater treatment. *Advances in Applied Microbiology*, 109(5), 113 - 192. doi:<https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2018.10.003>
- Hu, Z., Lee, J., Chandran, K., Kim, S., Brotto, A., & Khanal, S. (2015). Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics. *Bioresource Technology*, 18(8), 92 - 98. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.01.013>
- Jácome, J., Quezada, C., Sánchez, O., Pérez, J., & Nirchio, M. (2019). Tilapia en Ecuador: Paradoja entre la producción acuícola y la protección de la biodiversidad ecuatoriana. *Revista Peruana de Biología*, 26(4), 543 - 550. doi:<https://doi.org/10.15381/rpb.v26i4.16343>
- Jiménez, P., Aguirre, W., Laaz, E., Navarrete, R., Nugra, F., Rebolledo, E., . . . Valdiviezo, J. (2015). *Guía de peces para aguas continentales en la vertiente occidental del Ecuador*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas.

- Jufri, A., Sudradjat, S., & Sulistyono, A. (2016). Effects of Dry *Spirulina platensis* and Antitranspirant on Growth and Yield of Chili Pepper (*Capsicum annum* L.). *Indonesian Journal of Agronomy*, *44*(2), 170 - 198.
doi:<https://doi.org/10.24831/jai.v44i2.13486>
- Kasozi, N., Abraham, B., Kaiser, H., & Wilhelmi, B. (2021). The complex microbiome in aquaponics: Significance of the bacterial ecosystem. *Annals of Microbiology*, *71*(1), 46 - 57. doi:<https://doi.org/10.1186/s13213-020-01613-5>
- Kasozi, N.; Kaiser, H.; Wilhelmi, B. (2020). Metabarcoding Analysis of Bacterial Communities Associated with Media Grow Bed Zones in an Aquaponic System. *International Journal of Microbiology*, 1 - 10.
doi:<https://doi.org/10.1155/2020/8884070>
- Khandual, S., Sanchez, E., Andrews, H., & de la Rosa, J. (2021). Phycocyanin content and nutritional profile of *Arthrospira platensis* from Mexico: Efficient extraction process and stability evaluation of phycocyanin. *BMC Chemistry*, *15*(1), 456 - 476. doi:<https://doi.org/10.1186/s13065-021-00746-1>
- Khannapho, C., Phodee, A., Paithoonrangsarid, K., Hongsthong, A., Meechai, A., Cheevadhanarak, S., & Tanticharoen, M. (2021). Effect of dilution rate in continuous cultures of *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis* C1 on nutrient use efficiency and macromolecular- and elemental compositions. *Journal of Applied Phycology*, *33*(2), 743 - 754. doi:<https://doi.org/10.1007/s10811-020-02339-2>
- Kopittke, P. (2019). Oil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International*, *45*(3), 132 - 147.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105078>

- Koru, E. (2012). Earth Food Spirulina (Arthrospira): Production and Quality Standarts. *Food Additive*, 76(4), 46 - 67. doi:<https://doi.org/10.5772/31848>
- Ljubic, A., Safafar, H., Holdt, S., & Jacobsen, C. (2018). Biomass composition of *Arthrospira platensis* during cultivation on industrial process water and harvesting. *Journal of Applied Phycology*, 30(2), 943 - 954. doi:<https://doi.org/10.1007/s10811-017-1332-y>
- López, A., Mayorga, J., Flaig, D., Fuentes, G., Cotabarren, J., Obregón, W., & Gómez, P. (2021). Comparison of two strains of the edible cyanobacteria *Arthrospira*: Biochemical characterization and antioxidant properties. *Food Bioscience*, 42(2), 101 - 144. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101144>
- Mala, R., Ruby Celsia, A., Mahalakshmi, R., & Rajeswari, S. (2017). Agronomic Biofortification of *Amaranthus dubius* with Macro Nutrients and Vitamin A. *Conference Series: Materials Science and Engineering*, 43(7), 212 - 224. doi:<https://doi.org/10.1088/1757-899X/225/1/012214>
- Marcano, C., Acevedo, I., Contreras, J., Jiménez, O., & Escalona, A. (2012). Crop growth and development of cucumber (*Cucumis sativus* L.) in Humocaro bajo, Lara State, Venezuela. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(8), 56 - 64. doi:http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000800012
- Mattos, B., López, J., Guerra, B., Ruiz, C., García, J., Ángeles, M., . . . Fortes, R. (2019). Coping with exposure to hypoxia: Modifications in stress parameters in gilthead seabream (*Sparus aurata*) fed spirulina (*Arthrospira platensis*) and brewer's yeast (*Saccharomyces cerevisiae*). *Fish Physiology and Biochemistry*, 45(6), 1801 - 1812. doi:<https://doi.org/10.1007/s10695-019-00677-8>

- Michael, A., Kyewalyanga, M., & Lugomela, C. (2019). Biomass and nutritive value of *Spirulina* (*Arthrospira fusiformis*) cultivated in a cost-effective medium. *Annals of Microbiology*, 69(13), 1387 - 1395. doi:<https://doi.org/10.1007/s13213-019-01520-4>
- Mógor, Á., Ördög, V., Lima, G., Molnár, Z., & Mógor, G. (2018). Biostimulant properties of cyanobacterial hydrolysate related to polyamines. *Journal of Applied Phycology*, 30(1), 453 - 460. doi:<https://doi.org/10.1007/s10811-017-1242-z>
- Montaño, N., Gil, J., & Palmares, Y. (2018). Rendimiento de pepino (*Cucumis sativus* L.) en función del tipo de bandeja y la edad de transplante de las plántulas. *Anales Científicos*, 79(2), 377 - 287. doi:<https://doi.org/10.21704/ac.v79i2.1247>
- Mubushar, M. (2019). Assessment of farmers on their knowledge regarding pesticide usage and biosafety. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(7), 1903 - 1910. doi:<https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.03.001>
- Nema, N., Maity, N., Sarkar, B., & Mukherjee, P. (2011). *Cucumis sativus* fruit-potential antioxidant, anti-hyaluronidase, and anti-elastase agent. *Archives of Dermatological Research*, 303(4), 247 - 252. doi:<https://doi.org/10.1007/s00403-010-1103-y>
- Oyervides, M. (2004). Producción de pepino en cultivo sin suelo bajo condiciones de invernadero. *Centro de Investigación en química aplicada*, <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/463/1/Maria%20del%20Sagrario%20Oyervides.pdf>.
- Palm, H., Knaus, U., Appelbaum, S., Goddek, S., Strauch, S., Vermeulen, T., . . . Kotzen, B. (2018). Towards commercial aquaponics: A review of systems,

designs, scales and nomenclature. *Aquaculture International*, 26(3), 813 - 842.

doi:<https://doi.org/10.1007/s10499-018-0249-z>

Perrín, R., Winkelmann, D., & Anderson, J. (1988). La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos. *CIMMYT*, 35 -40. Obtenido de

<https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/1063/9031>

Pinho, S., David, L., Garcia, F., Keesman, K., Portella, M., & Goddek, S. (2021). South American fish species suitable for aquaponics: A review. *Aquaculture International*, 67(6), 756 - 781. doi:<https://doi.org/10.1007/s10499-021-00674-w>

International, 67(6), 756 - 781. doi:<https://doi.org/10.1007/s10499-021-00674-w>

Plaza, B., & Gómez, M. (2018). Effect of microalgae hydrolysate foliar application (Arthrospira platensis and Scenedesmus sp.) on Petunia x hybrida growth.

Journal of Applied Phycology, 2359 - 2365. doi:[https://doi.org/10.1007/s10811-](https://doi.org/10.1007/s10811-018-1427-0)

[018-1427-0](https://doi.org/10.1007/s10811-018-1427-0)

Ponce, E. (2013). Superalimento para un mundo en crisis: Spirulina a bajo costo. *Idesia (Arica)*, 31(1), 135 - 139. doi:<https://doi.org/10.4067/S0718-34292013000100016>

r. (s.f.).

Rakocy, J., Shultz, R., Bailey, D., & Thoman, E. (2004). Aquaponic Production of Tilapia and Basil: Comparing a Batch and Staggered Cropping System. *Acta Horticulturae*, 64(8), 63 - 69. doi:<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.648.8>

Horticulturae, 64(8), 63 - 69. doi:<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.648.8>

Ramirez, D., Jiménez, P., & Hurtado, H. (2008). Aquaponics: An alternative focused on sustainable development. *Biotechnology Advances*, 4(1), 32 - 51.

Ramírez, L., & Olvera, R. (2006). Uso tradicional y actual de spirulina sp. (Arthrospira sp.). *Interciencia*, 31(9), 657 - 663.

doi:<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33912009>

- Revelo, W., & Laaz, E. (2012). *Catálogo de peces de aguas continentales de la provincia de Los Ríos—Ecuador*. Quevedo.
- Ricigliano, V., & Simone, M. (2020). Nutritional and prebiotic efficacy of the microalga *Arthrospira platensis* (spirulina) in honey bees. *Apidologie*, 51(5), 898 - 810.
doi:<https://doi.org/10.1007/s13592-020-00770-5>
- Robertson, G., & Groffman, P. (2015). Nitrogen Transformations. *Ecology and Biochemistry*, 421 - 446. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415955-6.00014-1>
- Ronga, D., Biazzi, E., & Parati, K. (2019). Microalgal biostimulants and biofertilisers in crop productions. *Agronomy*, 9(4), 192 - 221.
doi:<https://doi.org/10.3390/agronomy9040192>
- Ru, D., Liu, J., Hu, Z., Zou, Y., Jiang, L., Cheng, X., & Lv, Z. (2017). Improvement of aquaponic performance through micro- and macro-nutrient addition. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(19), 16328 - 16335.
doi:<https://doi.org/10.1007/s11356-017-9273-1>
- Saadaoui, I., Rasheed, R., Aguilar, A., Cherif, M., Al Jabri, H., Sayadi, S., & Manning, S. (2021). Microalgal-based feed: Promising alternative feedstocks for livestock and poultry production. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 12(1), 98 - 121.
doi:<https://doi.org/10.1186/s40104-021-00593-z>
- Saavedra, M. (2006). *Manejo del cultivo de tilapia*. Coastal Resources Center. Obtenido de <https://www.crc.uri.edu/download/MANEJO-DEL-CULTIVO-DE-TILAPIA-CIDEA.pdf>
- Samocha, T., Prangnell, D., & Castro, L. (2019). Biofloc. *sustainable Biofloc Systems for Marine Shrimp*, 29 - 36. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818040-2.00003-4>

- Sánchez, F., González, L., & Pineda, J. (2014). Nutritional dynamics and yield of cucumber grown in hydroponics with and without recirculation of the nutrient solution. *Fitotecnia*, 37(3), 261 - 269.
doi:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61031767012>
- Shah, M., Lutz, G., Alam, A., Sarker, P., Kabir, M., Parsaeimehr, A., . . . Daroch, M. (2018). Microalgae in aquafeeds for a sustainable aquaculture industry. *Journal of Applied Phycology*, 30(1), 197 - 213. doi:<https://doi.org/10.1007/s10811-017-1234-z>
- Shalaby, T., & Ramady, H. (2014). Effect of foliar application of bio-stimulants on growth, yield, components, and storability of garlic (*Allium sativum* L.). *Australian Journal of Crop*, 8(2), 271 - 276.
- Sharma, V., Sharma, L., & Sandhu, K. (2020). *Cucumber (Cucumis sativus L.) Properties and Health Benefits*: Springer Singapore.
doi:https://doi.org/10.1007/978-981-15-7470-2_17
- Shestakov, S., & Karbysheva, E. (2017). The origin and evolution of cyanobacteria. *Biology Bulletin Reviews*, 7(4), 259 - 272.
doi:<https://doi.org/10.1134/S2079086417040090>
- Silva, L., Lima, H., Sartoratto, A., Sousa, M., Torres, A., Souza, R., . . . Silva, C. (2018). Effect of salinity in heterotrophic nitrification/aerobic denitrification performed by acclimated microbiota from oil-produced water biological treatment system. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 130(5), 1 -7.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2018.03.009>
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., & Lovatelli, A. (2015). *Small-scale aquaponic food production: Integrated fish and plant farming*. Fisheries and

Aquaculture Technical Paper: FAO Books. Obtenido de

<http://www.fao.org/3/i4021e/i4021e.pdf>

- Stouvenakers, G., Dapprich, P., Massart, S., & Jijakli, M. (2019). Plant Pathogens and Control Strategies in Aquaponics. *Aquaponics Food Production Systems*, 353 - 378. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_14
- Suárez, G., Fernández, V., Lobillo, J., & Pérez, L. (2021). Characterisation of aquaponic producers and small-scale facilities in Spain and Latin America. *Aquaculture International*, 9(2), 78 - 92. doi:<https://doi.org/10.1007/s10499-021-00793-4>
- Tadama, S. (2017). Growth of the edible microalga *Arthrospira platensis* in relation to boro supply. *International Journal of GEOMATE*, 12(30), 764 - 785. doi:<https://doi.org/10.21660/2017.30.2580>
- Torres, D., & Hurtado, V. (2012). Requerimientos nutricionales para Tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Orinoquia*, 16(1), 63 - 69.
- Trabelsi, L., M'sakni, N., H., B., Bacha, H., & Roudesli, S. (2009). Partial characterization of extracellular polysaccharides produced by cyanobacterium *Arthrospira platensis*. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 14(1), 27 - 31. doi:<https://doi.org/10.1007/s12257-008-0102-8>
- Tuhy, Ł., Samoraj, M., Witkowska, Z., & Chojnacka, K. (2015). Biofortification of maize with micronutrients by *Spirulina*. *Open Chemistry*, 16(1), 33 - 54. doi:<https://doi.org/10.1515/chem-2015-0126>
- Wells, M., Potin, P., Craigie, J., Raven, J., Merchant, S., Helliwell, K., . . . Brawley, S. (2017). Igae as nutritional and functional food sources: Revisiting our understanding. *Journal of Applied Phycology*, 29(2), 949 - 982. doi:<https://doi.org/10.1007/s10811-016-0974-5>

- Wongkiew, S., Hu, Z., Chandran, K., Lee, J., & Khanal, S. (2017). Nitrogen transformations in aquaponic systems: A review. *Aquacultural Engineering*, 76(4), 9 - 19. doi:<https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2017.01.004>
- Yang, C., Wu, F., Lu, X., Jiang, M., Liu, W., Yu, L., . . . Wen, H. (2017). Growth arrest specific gene 2 in tilapia (*Oreochromis niloticus*): Molecular characterization and functional analysis under low-temperature stress. *BMC Molecular Biology*, 18(1), 546 - 576. doi:<https://doi.org/10.1186/s12867-017-0095-y>
- Yavuzcan, H., Robaina, L., Pirhonen, J., Mente, E., Domínguez, D., & Parisi, G. (2017). Fish Welfare in Aquaponic Systems: Its Relation to Water Quality with an Emphasis on Feed and Faeces - A Review. *Water*, 9(1), 76 - 89. doi:<https://doi.org/10.3390/w9010013>
- Zeng, Q., Fan, X., Zheng, Q., Wang, J., & Zhang, X. (2018). Anti-oxidant, hemolysis inhibition, and collagen-stimulating activities of a new hexapeptide derived from *Arthrospira (Spirulina) platensis*. *Journal of Applied Phycology*, 30(3), 1655 - 1665. doi:<https://doi.org/10.1007/s10811-017-1378-x>
- Zhang, P., Zhu, Y., & Zhou, S. (2021). Comparative analysis of powdery mildew resistant and susceptible cultivated cucumber (*Cucumis sativus* L.) varieties to reveal the metabolic responses to *Sphaerotheca fuliginea* infection. *BMC Plant Biology*, 21(1), 76 - 96. doi:<https://doi.org/10.1186/s12870-020-02797-3>
- Zhu, W., Yang, H., Yuan, X., Dong, Z., Fu, J., Wang, L., . . . Chen, X. (2017). High genetic diversity and differentiation in three red tilapia stocks revealed by microsatellite DNA marker analysis. *Aquaculture International*, 25(6), 1997 - 2006. doi:<https://doi.org/10.1007/s10499-017-0150-1>

Zou, Y., Hu, Z., Zhang, J., Xie, H., Guimbaud, C., & Fang, Y. (2016). Effects of pH on nitrogen transformations in media based aquaponics. *Bioresource Technology*, 2(10), 81 - 87. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.12.079>

Enlace:

<https://drive.google.com/drive/folders/1oair07OQZxoeA72eD1JBhX2qtNO5j01I?usp=sharing>