



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



**Producción de *Apium graveolens* mediante la fertilización orgánica de *Arthrospira platensis*,
en un sistema acuapónico tipo balsa flotante con trucha arco iris**

Quisupangui Almache, Jessica Paola

Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniera Agropecuaria

Ing. Ortiz Tirado, Juan Cristóbal, Ph. D.

08 de agosto del 2023



Introducción

El agua es el elemento fundamental para la producción agrícola y consecuentemente para la seguridad alimentaria.



70%



2050

Acuaponía



Hidroponía



Acuicultura



Especies más utilizados en la acuaponía son especies como tilapia del Nilo y trucha arco iris.



Cultivadas simultáneamente con hortalizas de hoja de ciclo corto, como la lechuga, acelga, espinaca, apio o escarola, y plantas aromáticas, como la albahaca, menta y orégano.



El apio es una de las hortalizas más consumidas en el mundo debido a los numerosos beneficios nutricionales y medicinales.

Consumo nacional

400 y 500 Tn/mes



Justificación



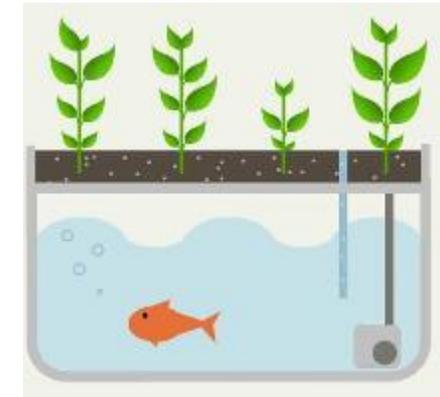
Actualmente los sistemas agropecuarios son considerados como los responsables de la contaminación ambiental.



↑ Población
Demanda de alimentos
Rendimiento de los cultivos
Fertilizantes Químicos



Biofertilizantes (microalgas)
Sistemas de producción más eficientes (acuaponía)



Contaminación del aire, agua y degradación del suelo



Pérdida de biodiversidad

Equilibrio entre los seres vivos y su entorno, combinando tres bio-sistemas “peces, plantas y bacterias.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar la producción orgánica de *Apium graveolens* fertilizado con *Arthrospira platensis*, en un sistema acuapónico tipo balsa flotante con trucha arco iris.

Objetivos Específicos

- Evaluar los procesos de nitrificación del complejo bacteriano en un sistema acuapónico tipo balsa flotante.
- Evaluar parámetros productivos del apio en un sistema acuapónico tipo balsa flotante, bajo la acción biofertilizante de espirulina y excretas provenientes de trucha arco iris.
- Evaluar los parámetros productivos de truchas bajo un sistema acuapónico tipo balsa flotante con apio.

Hipótesis

Hipótesis nula

La producción de apio orgánico (*Apium graveolens*) se mantiene constante y no genera cambios en su productividad con el uso de espirulina (*Arthrospira platensis*) como fertilizante foliar a diferentes concentraciones y frecuencias.

Hipótesis alterna

La producción de apio orgánico (*Apium graveolens*) se incrementa en el tiempo y genera cambios en su productividad con el uso de espirulina (*Arthrospira platensis*) como fertilizante foliar a diferentes concentraciones y frecuencias.

Revisión de la literatura

Sistema de recirculación acuícola (RAS)

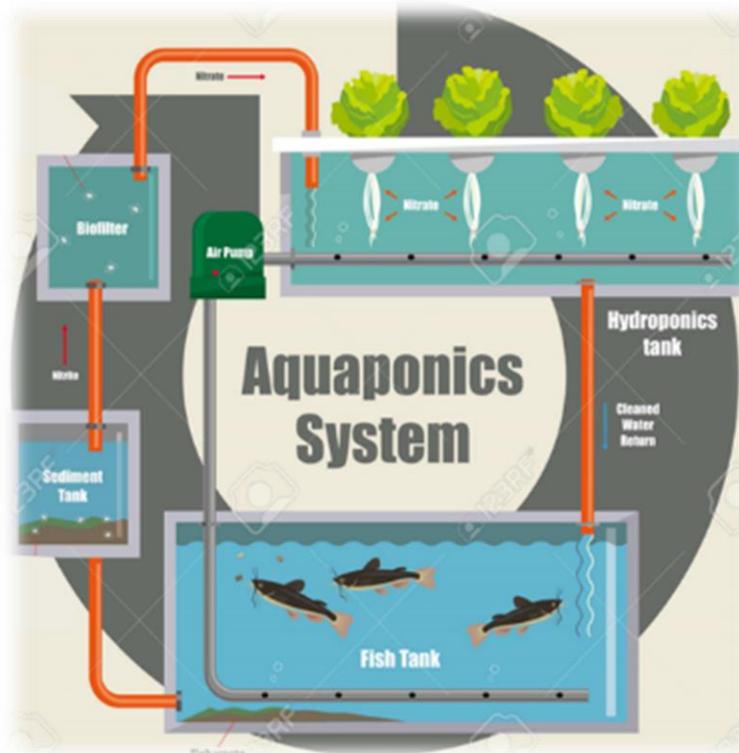
Sistema de nitrificación

Eliminar metabolitos tóxicos

Desechos de los peces provenientes de las excretas, orina y de los residuos del alimento.



3 a 5 semanas



Componentes conectados estratégicamente

Cultivo en aguas profundas o balsas flotantes

Superficie de plantación

-70-80%

Uso de agua

-60-70%

Láminas flotantes: soporte (raíces sumergidas en la solución nutritiva)

Piscinas de peces- trucha arco iris (Oncorhynchus mykiss)

Condiciones ambientales

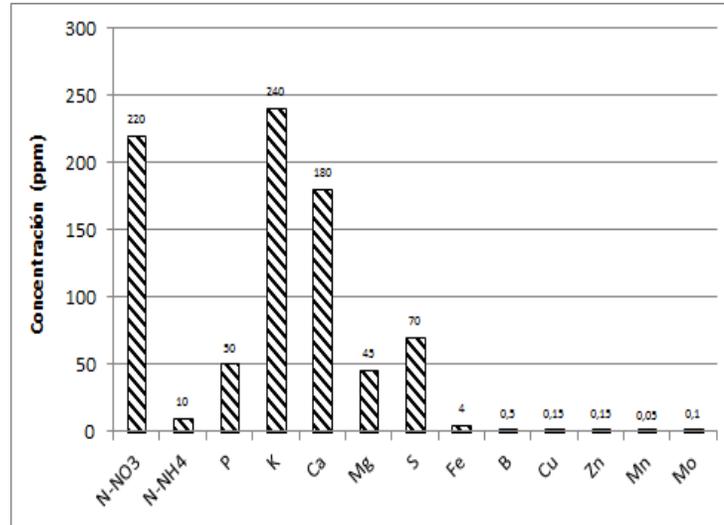
Temperatura	13 a 18 °C
pH	de 6,5 a 8,5
OD	7,5 a 12 ppm
Amonio	<0,5 mg·L ⁻¹
Nitritos	< 0,3 mg·L ⁻¹
Nitratos	< 400 mg·L ⁻¹

Grupo de salmónidos, orden Salmoniformes y clase Actinopteri,ii,



Revisión de la literatura

Apio (*Apium graveolens*)



Apio de hoja y apio de planta

Calibre	Peso de planta o atado (g)
---------	----------------------------

Grande	Mayor a 800
--------	-------------

Mediano	De 500 a 800
---------	--------------

Chico	De 250 a 500
-------	--------------

Zonas productoras: Pichincha, Ambato y Calacalí.

Demanda: 70% de apio verde y 30% de apio blanco.

Propiedades y beneficios a la salud

Minerales, vitaminas y ácidos grasos



Disminución de la hipertensión, eliminación de cálculos renales, digestión, acción diurética, reduce el colesterol en sangre y otros.
Culinaria y agroalimentaria

Premio (verde): Híbrida precoz muy productiva

Pencas grandes de excelente consistencia

Ciclo: 80 a 85 días

Resistente a época lluviosa

Menos controles fitosanitarios

Altas densidades de siembra (0.20 x 0.15 m)

Peso: 1000 a 1900 gr·planta⁻¹.

Bienal

Altura: 30 a 80 cm

Siembra: Cualquier época

Ciclo: clima frío: 130 días,
cálida: 60–75 días

trasplante: 3 a 4 hojas (4 cm)

Cosecha: 700 g sin la raíz

Rendimiento: 115 mil kg·ha⁻¹

Revisión de la literatura

Espirulina

Cianobacteria filamentosa multicelular no diferenciadas, los filamentos se presentan en forma de hélice abierta (100 a 500 μm)

Fuente de aminoácidos para el hombre, animales y plantas, por su alto contenido proteico, aminograma y digestibilidad

Biodisponibilidad de proteínas en su masa seca (60-70 %)



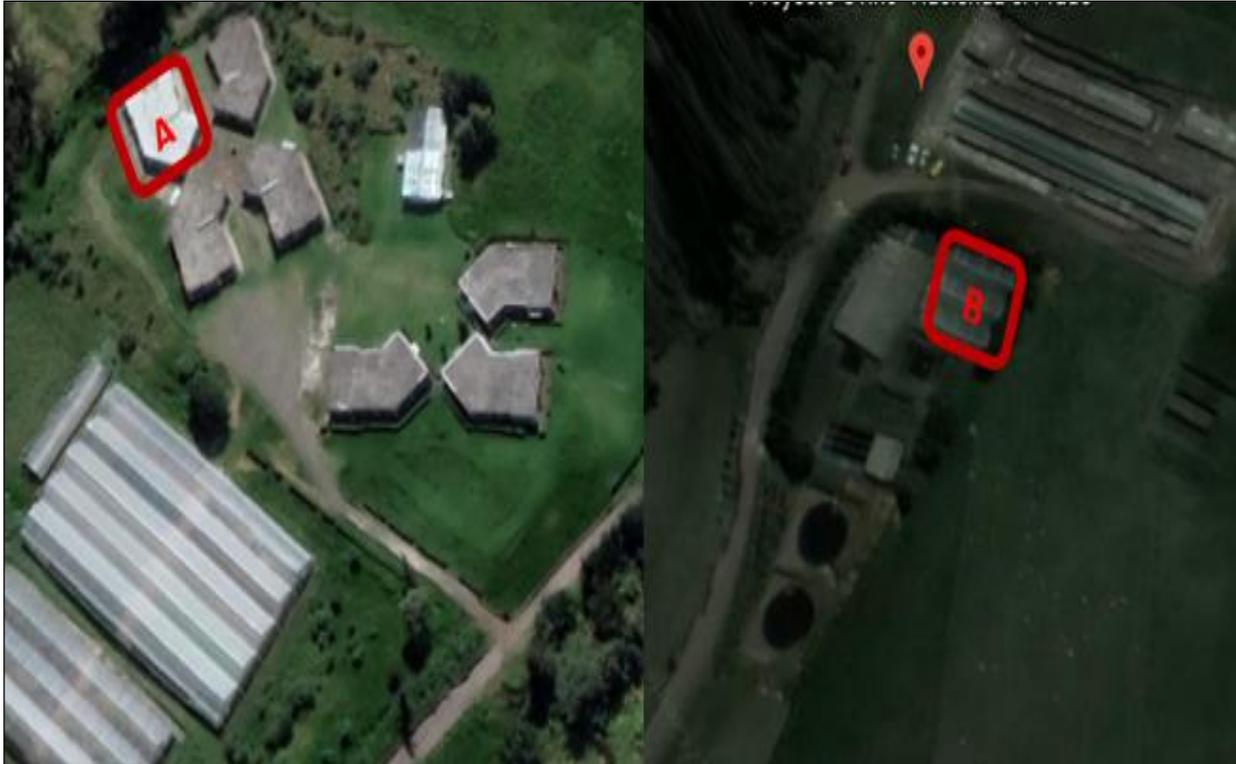
Aumenta la resistencia de los cultivos a enfermedades y al estrés ambiental.

Aumenta el rendimiento del cultivo.
Mejora la calidad del producto final
Mayor producción e ingreso económico .

Nombre	Composición	
	Cantidad	Unidad
Proteína	5,92 (f) – 60-70 (s)	%
Ceniza	0,6	g
Clorofila	3,29	mg ·g-1
Lípidos	0,39	
Carbohidratos	2,42	g
Vitaminas	A, B, D, E, PP(B3)	
Minerales		
Calcio	12	mg
Hierro	2,79	mg
Magnesio	19	mg
Fósforo	11	mg
Potasio	127	mg
Sodio	98	mg
Zinc	0,2	mg
Cobre	0,6	mg
Manganeso	0,19	mg
Ácidos grasos	4,9 – 5,7	%
Ficocianina	16	%

Metodología

Ubicación del área de investigación



A) Laboratorio de acuicultura, B) Proyecto acuícola
Pailones Google (2022)

Hacienda El Prado, barrio San Fernando, parroquia Sangolquí, cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha.

Piso altitudinal: Montano Bajo
Zona de vida: Bosque húmedo,
HR: 67,91%
T° min: 7,95°C,
T° máx: 19,93°C
T° media: 13,96°C
Precipitación anual: 1332,72 mm.

Metodología

Diseño experimental

DEF (diseño experimental factorial) $a \times b = 5 \times 2$

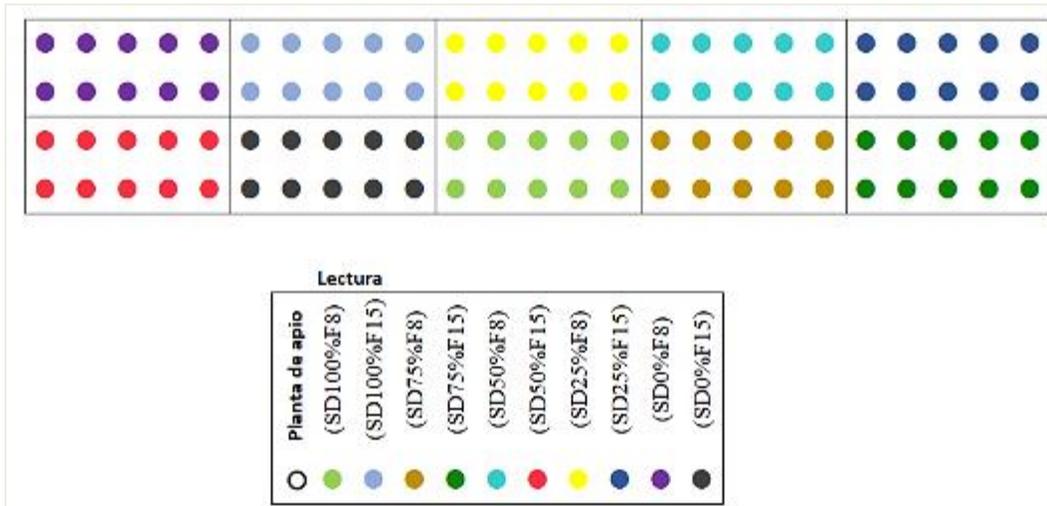
Factor *A*: concentración de espirulina, con $a = 5$ niveles (0%, 25%, 50%, 75% y 100%).

Factor *B*: frecuencia de aplicación de la espirulina, con $b = 2$ niveles (8 días y 15 días).

Unidad experimental: planta de apio

Repeticiones: 10

Croquis experimental



Descripción de tratamientos

Tratamiento	Código	Descripción
1	(SD100%F8)	Espirulina al 100% cada 8 días
2	(SD100%F15)	Espirulina al 100% cada 15 días
3	(SD75%F8)	Espirulina al 75% cada 8 días
4	(SD75%F15)	Espirulina al 75% cada 15 días
5	(SD50%F8)	Espirulina al 50% cada 8 días
6	(SD50%F15)	Espirulina al 50% cada 15 días
7	(SD25%F8)	Espirulina al 25% cada 8 días
8	(SD25%F15)	Espirulina al 25% cada 15 días
9	(SD0%F8)	Aguas residuales de trucha arco iris sin aplicación de Espirulina
10	(SD0%F15)	Aguas residuales de trucha arco iris sin aplicación de Espirulina

Metodología

Obtención de la espirulina



Realimentación y cosecha de espirulina

Bicarbonato ($10 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$), sal en grano ($5\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) y Kristalon rojo ($1\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), aforado a pH 10.

Cosecha de biomasa: Absorbancia (1,4 espectrofotometría a 550 nm) - $6,7 \times 10^5$ filamentos $\cdot\text{mL}^{-1}$.

Elaboración del fertilizante foliar



Dosis de fertilizante foliar	filamentos $\cdot\text{mL}^{-1}$
100%	$2,23 \times 10^5$
75%	$1,67 \times 10^5$
50%	$1,12 \times 10^5$
25%	$5,58 \times 10^4$

Metodología

Sistema acuapónico



Maduración del biofiltro

- Limpieza de tanques
- Sustrato (plástico corrugado, tapas de botellas)
- Siembra de bacterias nitrificantes
- Activación de bacterias (carbamida: 25 g/10 L)
- Realimentación: 15 g / 10 días



Establecimiento de peces

- Limpieza de piscinas
- Clasificación de peces
- Manejo sanitario (prevenir enfermedades bacterianas): sal en grano a una concentración de 2% sumergiendo las truchas por alrededor de 30 segundos.
- Alimentación: En función de la biomasa, fraccionada en 3 partes.



Establecimiento de plantas

- Eliminación de sustrato
- Colocación en vasos de plástico con esponja.
- Siembra 100 plántulas (0,25 x 0,25 m)

Metodología

Variables a medir

Parámetros de calidad de agua	Plantas de apio	Peces (Trucha arco iris)
CE	Altura	Parámetros morfométricos
pH	Diámetro del cuello de la raíz (Calibrador)	Peso, longitud parcial, longitud total, y ancho
Temperatura	Número de pencas	Parámetros productivos
Oxígeno	Rendimiento en materia verde (balanza digital)	Ganancia de peso, Tasa de crecimiento específico, factor de conversión alimenticia, eficiencia alimenticia, índice de condición corporal, mortalidad (Ictiómetro)
Proceso de nitrificación	Índice de área foliar	
Amonio/ Amoníaco	Análisis bromatológico	
Nitritos	%P, %G, %F y %C	
Nitrados		



Área foliar:
ImageJ

Kits YSI

- Amonio
- Nitritos
- Nitratos

Variables tomadas al momento de la cosecha (Altura, diámetro del cuello de la raíz, rendimiento en materia verde, índice de área foliar)



Metodología

Análisis bromatológicos

Preparación de la muestra

Secado (estufa: 24 Horas; T°: 50°C)

Triturado (homogénea)



Porcentaje de proteína (Kjeldahl)

- Digestión
- Destilación
- Valoración



Porcentaje de fibra vegetal (gravimétrico)

- Digestión
- Filtrado
- Secado



Porcentaje de ceniza vegetal (gravimétrico)

- Pesado
- Quemado
- Secado y pesado



Porcentaje de grasa (Soxhlet)

- Pesado
- Procesado
- Secado del balón y pesado

Resultados y discusión

Parámetros físico-químicos del agua en el sistema acuapónico

Componente		Temperatura (°C)	pH	Oxígeno (mg·L ⁻¹)	Conductividad (μS·cm ⁻¹)
Biofiltro	Media	13,94±1,97	8,07±0,25	8,76±0,86	-
	Mín.	11,51	7,40	7,86	-
	Max.	17,85	8,65	10,56	-
Piscina peces	Media	14,83±2,13	8,20±0,16	8,95±1,55	-
	Mín.	11,70	7,90	7,13	-
	Max.	18,02	8,66	13,24	-
Camas de cultivo	Media	14,30±1,75	8,17±0,15	8,88±1,64	225,13±21,91
	Mín.	12,00	8,00	6,10	190,21
	Max.	17,59	8,66	12,24	265,23

Cama de cultivo:

- Candarle (n.d.):
- T° 16 a 30°C
 - pH: 5,5 a 7,5
 - ✓ OD: > 3

Intagri, (2022):

- pH: 6,8 a 7,2.

>pH reduce la absorción de nutrientes vía radicular

Hardeep, (2017):

- CE: 1800 a 2400 μS·cm⁻¹

Homoki *et al.* (2020):

- * CE: 300 a 1100 μS·cm⁻¹ (sin problemas)

FAO (2022)

Biofiltro:

- T°: 17 a 34°C

✓ pH: 6 a 8,5

✓ OD: 4 a 8 mg·L⁻¹.

Temperatura <17 °C reduce la productividad de las bacterias nitrificantes.

Piscina:

✓ T°: 13 a 18 °C

✓ pH: 6,5 a 8,5

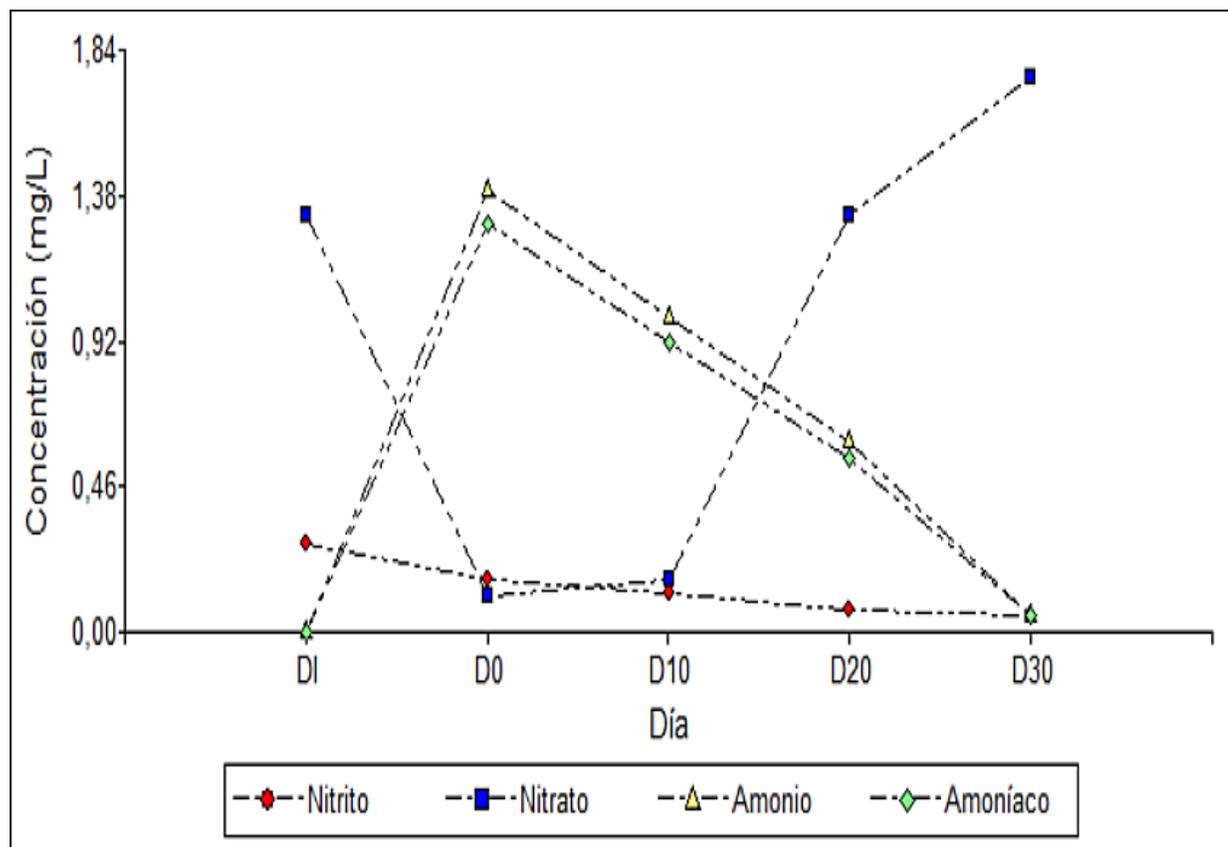
✓ OD: 7,5 a 12 ppm

(Reyes *et al.*, 2013): > Desechos sólidos provenientes de los peces > contenido de sales > CE



Resultados y discusión

Procesos de maduración del biofiltro



Días	Nitritos	Nitratos	Amonio	Amoníaco
D1	0,283	1,323	0	0
D0	0,170	0,110	1,400	1,292
D10	0,120	0,170	1,013	0,923
D20	0,071	1,320	0,605	0,550
D30	0,052	1,760	0,050	0,046

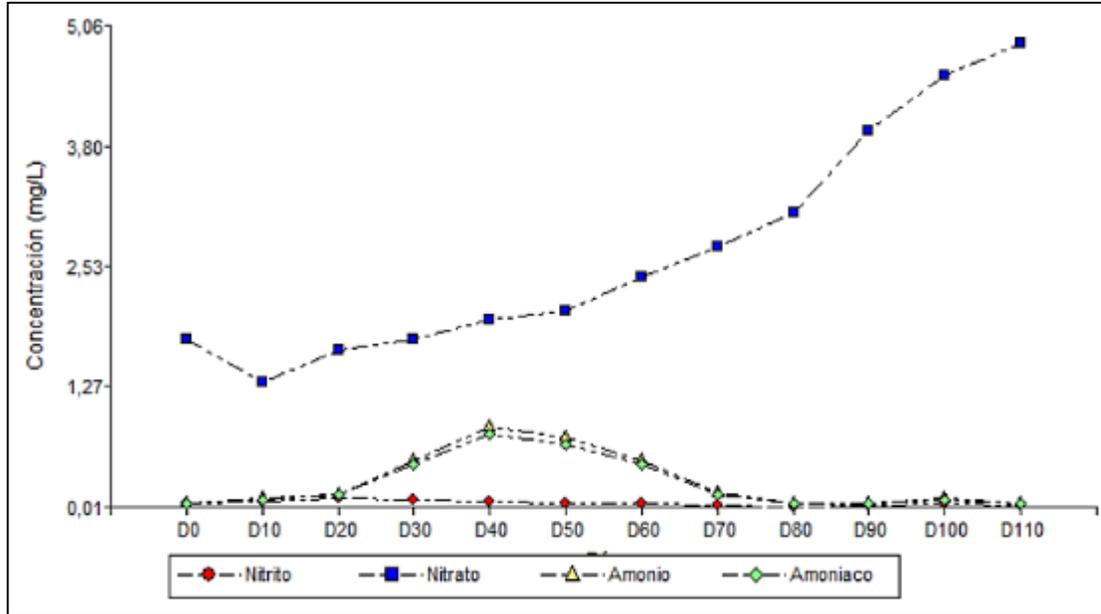
D1: Calidad inicial de agua; D0: carbamida: D(día)

FAO (2022):

- ✓ Amonio: < 3
- ✓ Nitritos: < 3
- ✓ nitratos; < 400 mg·L⁻¹

Resultados y discusión

Procesos de nitrificación del sistema acuapónico



Sistema acuapónico	Nitrito	Nitrato	Amonio	Amoníaco
D0	0,059	1,76	0,05	0,046
D10	0,062	1,32	0,1	0,09
D20	0,100	1,66	0,14	0,13
D30	0,089	1,76	0,5	0,46
D40	0,059	1,98	0,85	0,78
D110	0,020	4,88	0,05	0,05

- ✓ Candarle (2018) de amonio < 1 mg·L⁻¹, nitritos < 1 mg·L⁻¹
- ✓ FAO (2022): N. amoniacal: 0,5 mg·L⁻¹ y nitritos < 0,3 mg·L⁻¹.
- Gallego & García (2017): nitratos 59,14 mg·L⁻¹

42 %

16 %

61 %

$$\text{Contenido de Amoníaco} = \text{g de alimento} \times \frac{\% \text{ proteína del alimento}}{100 \text{ g alimento}} \times \frac{\% \text{ N}_2 \text{ de la proteína}}{100 \text{ g proteína}} \times \frac{\text{N}_2 \text{ desperdiciado}}{100 \text{ g N}_2 \text{ total}} \times \frac{1,2 \text{ g NH}_3}{1 \text{ g N}_2}$$

Por cada gramo de nitrógeno desperdiciado, se producen 1,2 g de amoníaco

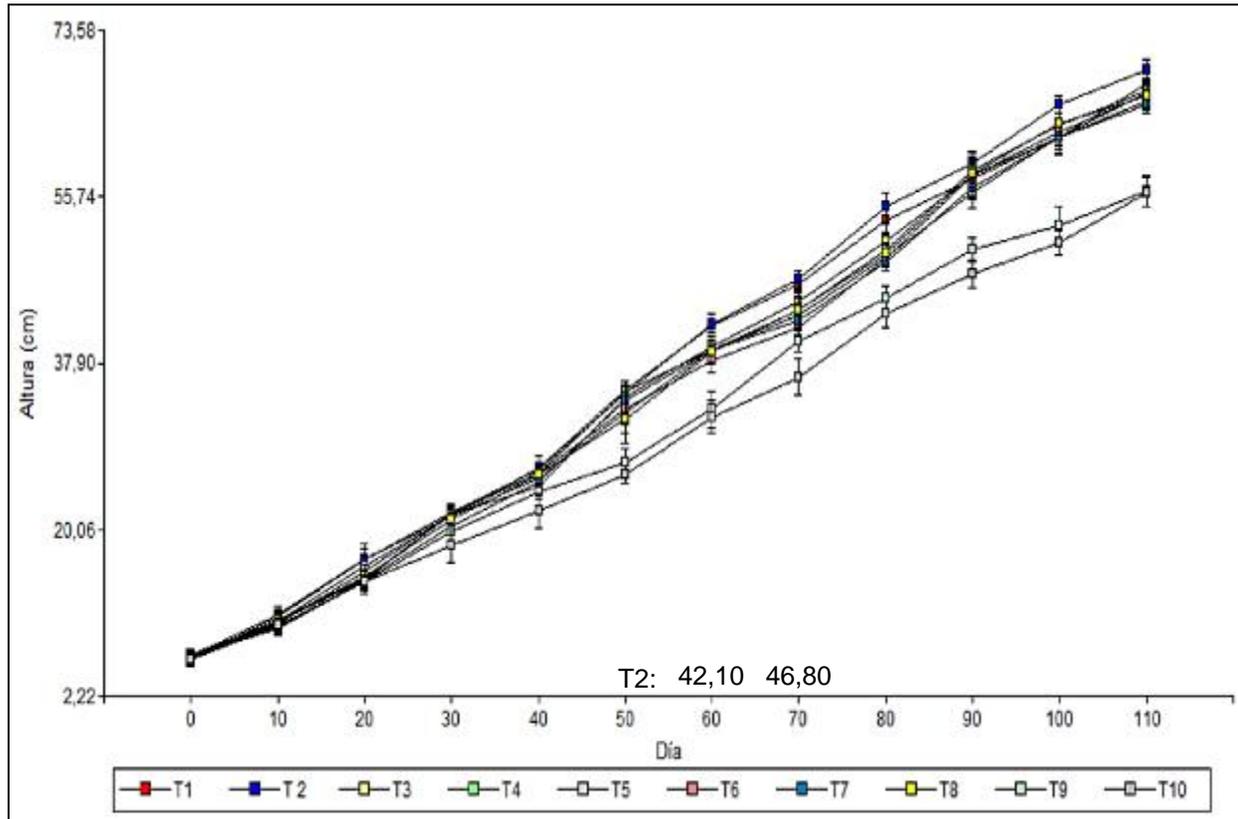
Alimento: 42-45 % proteína

En total, alrededor del 61 % N del alimento se convierte en amoníaco (nitrificación).

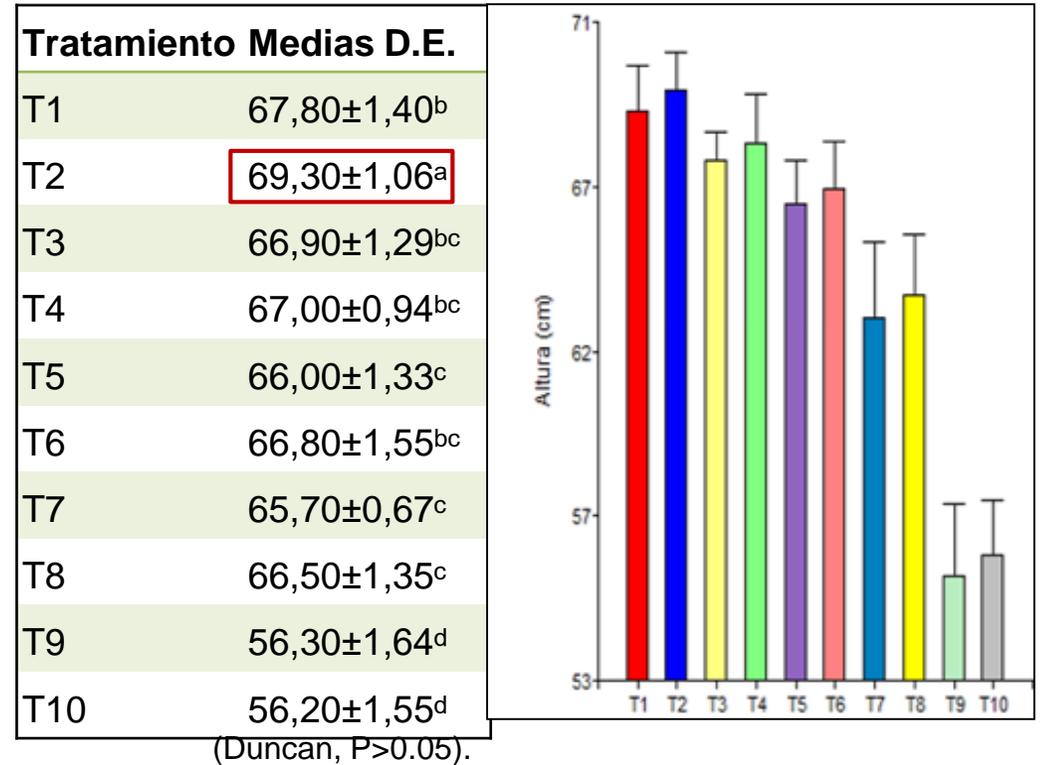
Resultados y discusión

Parámetros productivos del apio

Altura de la planta (0-110 días)



Altura de la planta (cosecha)



- ✓ Enríquez (2015): 68,13 cm fertilización orgánica (gallinaza)
- ✓ Molina (2017): 47,30 cm (70 días) (solución nutritiva)

+ Morales (2022): 36,36 cm (60 días) (yodo agrícola)

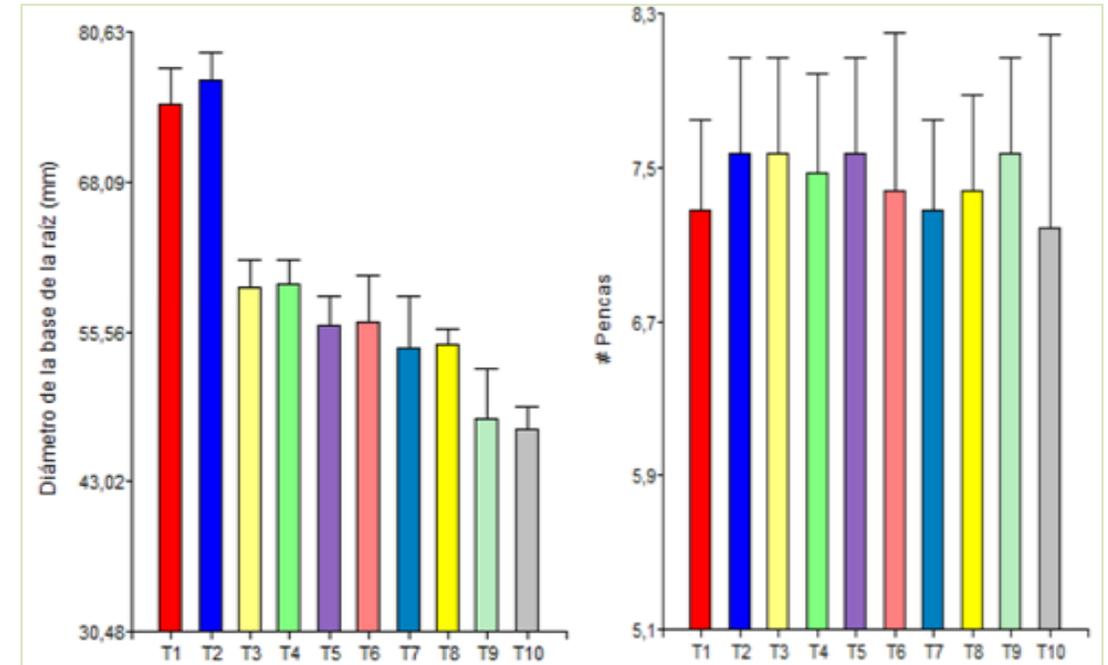
Resultados y discusión

Parámetros productivos del apio

Tratamiento	D. cuello de la raíz (mm)		Número de pencas (Pencas·planta ⁻¹)	
	Medias ± D.E	Ranks	Medias ± D.E.	Medianas
T1	74,54±3,04	88,55 ab	7,30±0,48	7,00
T2	76,53±2,37	92,45 a	7,60±0,52	8,00
T3	59,22±2,30	63,95 bc	7,60±0,52	8,00
T4	59,49±2,05	65,90 bc	7,50±0,53	7,50
T5	56,01±2,58	44,95 cd	7,60±0,52	8,00
T6	56,41±3,84	49,40 cd	7,40±0,84	8,00
T7	54,12±4,44	38,05 de	7,30±0,48	7,00
T8	54,51±1,20	36,00 def	7,40±0,52	7,00
T9	48,31±4,09	14,95 ef	7,60±0,52	8,00
T10	47,39±1,81	10,80 f	7,20±1,03	8,00

N:10; Kruskal Wallis (H: 81,54, P<0.05)

(H: 3,60, P=0,8698)



+ Santos(2019) 64,30 mm
(Biozyme: inductor de crecimiento)
+ Narvárez (2012) 63,8 mm
(compost)
+ Maicua (2021) 47,57mm
(hidropónico)

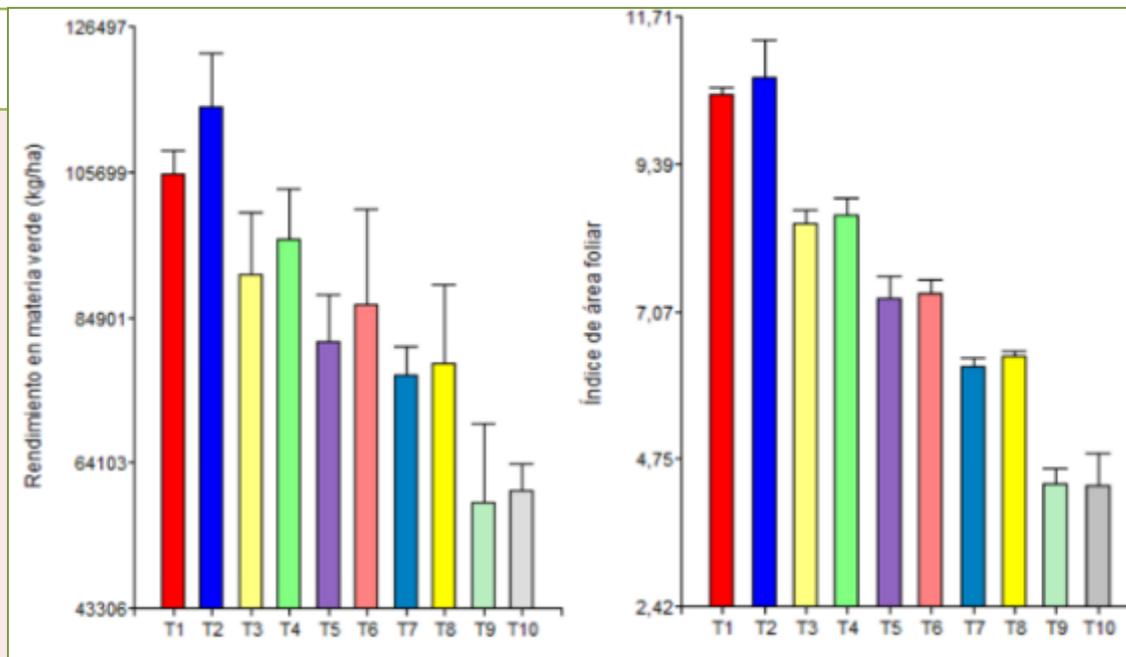
- * Amores (2015): cambio significativo de 6,75 a 8,65 (vermicompost)
- * Machaca (2007): 5,6 a 8,4 (estiércol de ovino)
- ✓ Soza & Suazo (2022) no reportó cambios (acuapónico)

Wuang *et al.* (2016) reportó que la fertilización con espirulina no influyó en el número de hojas de hortalizas de acelga roja y rúcula.

Resultados y discusión

Parámetros productivos del apio

Trat.	Rendimiento en materia verde (kg·ha ⁻¹)		Índice de área foliar	
	Medias ± D.E	Ranks	Medias ± D.E.	Ranks
T1	105312±3519,03	84,65 ab	10,47±0,12	44,80 a
T2	115000±7715,40	94,20 a	10,76±0,58	46,20 a
T3	90912±8965,33	60,15 bcd	8,46±0,21	34,80 abc
T4	95952±7187,56	68,75 bc	8,58±0,26	36,00 ab
T5	81376±6837,57	44,85cd	7,27±0,34	25,00 bcd
T6	86592±13748,58	52,35 cd	7,35±0,20	26,00 bcd
T7	76672±3915,41	36,00 de	6,21±0,12	13,60 de
T8	78240±11326,27	39,55 d	6,36±0,08	17,40 cde
T9	58432±11345,04	12,70 e	4,36±0,23	6,00 de
T10	60016±3949,15	11,80 e	4,32±0,52	5,00 de



N:10; Kruskal Wallis (H: 80,72, P<0.05)

(H: 47,16, P<0.05)

+ Sánchez (2013): 26,9 mil kg·ha⁻¹(Humus de lombriz)
 + Santos (2019) 63,2 mil kg·ha⁻¹ (Aminofol)
 - Quispe (2019): 130 mil kg·ha⁻¹ (té de poliniza)

+ Sánchez *et al.* (2002): 8,6 (fertirrigación)

Alves *et al.* (2016) en su estudio de fertilización de berenjena con espirulina aumentó el crecimiento vegetativo del cultivo y consecuentemente su área foliar.

Resultados y discusión

Análisis bromatológico

Tratamientos	%CENIZA	%PROTEÍNA	%GRASA	%FIBRA
T1	2,656 a	0,283 a	0,176 a	2,777 a
T2	2,680 a	0,291 a	0,172 a	2,808 a
T3	2,481 ab	0,275 a	0,173 a	2,481 b
T4	2,517 ab	0,271 a	0,174 a	2,698 b
T5	2,399 b	0,180 bc	0,1717 a	2,482 b
T6	2,586 ab	0,199 bc	0,172 a	2,428 bc
T7	2,315 bc	0,151 cd	0,171 a	1,899 cde
T8	2,312 bc	0,154 cd	0,178 a	1,992 bcd
T9	1,991 c	0,149 cd	0,174 a	1,230 e
T10	2,019 c	0,144 d	0,172 a	1,277 de

Márquez (2014) menciona que el contenido de cenizas en los alimentos es un indicador del contenido total de minerales y materia orgánica,

El apio es un alimento bajo en proteínas y grasas, sin embargo contiene otros nutrientes con beneficios para la salud de quien la consume.

Tabla de composición de alimentos INCAP (2012):

- + %C (0,75%)
- % P (0,69 %)
- + %F (1,60%)
- * %G (0,17)

FDC (2022):

- + %C (0,83%)
- % P (0,49 %)
- * %G (0,16%)

Rodríguez & Rojas (2022):

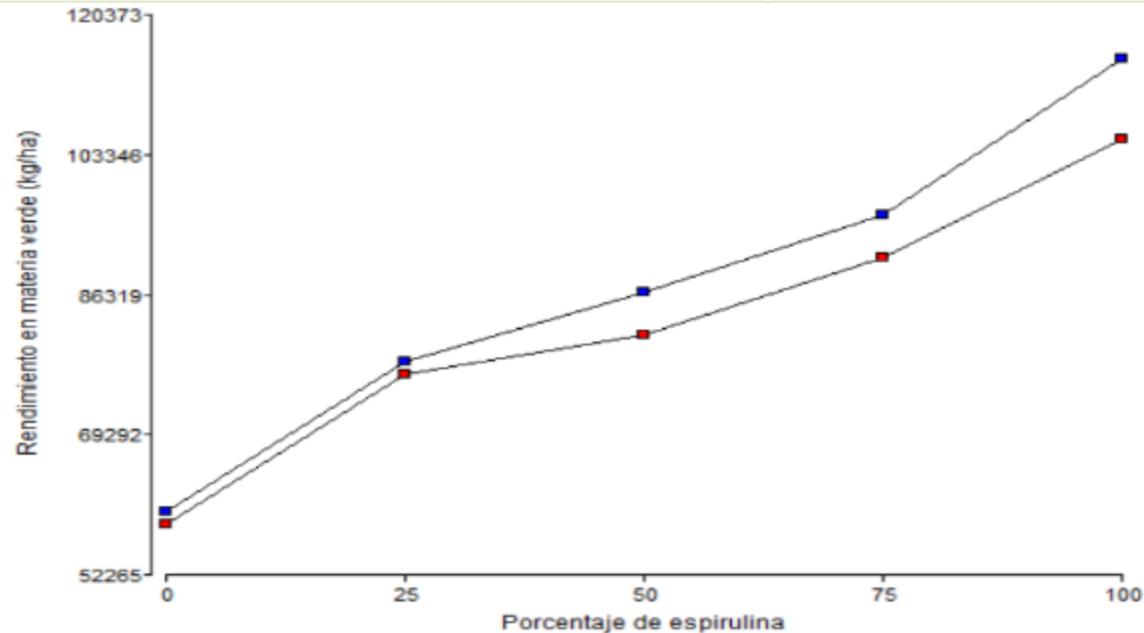
- + %C (1,9%)
- % P (0,5 %)
- %F (4,7%)



Resultados y discusión

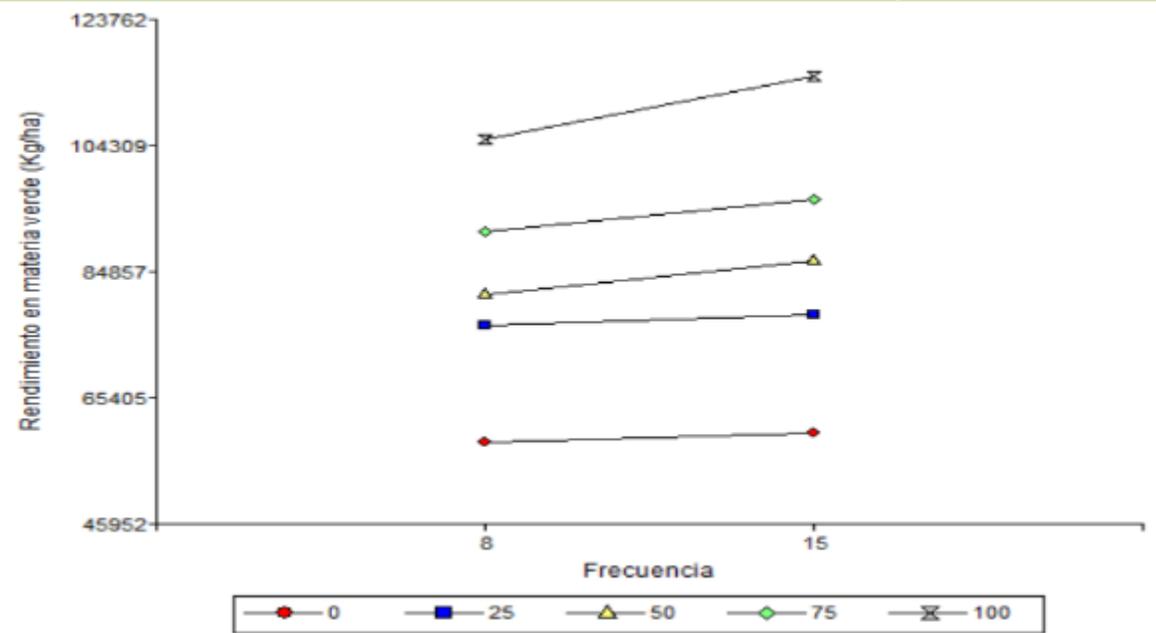
Gráficos de interacción

Interacción de porcentaje de espirulina con rendimiento de materia verde del apio.



- ✓ Vivanco (2022) > rendimiento de pepino > concentración (espirulina)
- ✓ Moursy *et al.* (2019) > rendimiento de maíz > concentración de espirulina, llegando a ser similar con una fertilización nitrogenada. Espirulina (< NPK que diferentes fertilizantes químicos, sin embargo, > Ca, Fe, Mn, Zn y Se, los cuales moderan la nutrición vegetal)

Interacción de frecuencia de aplicación con el rendimiento de materia verde del apio.

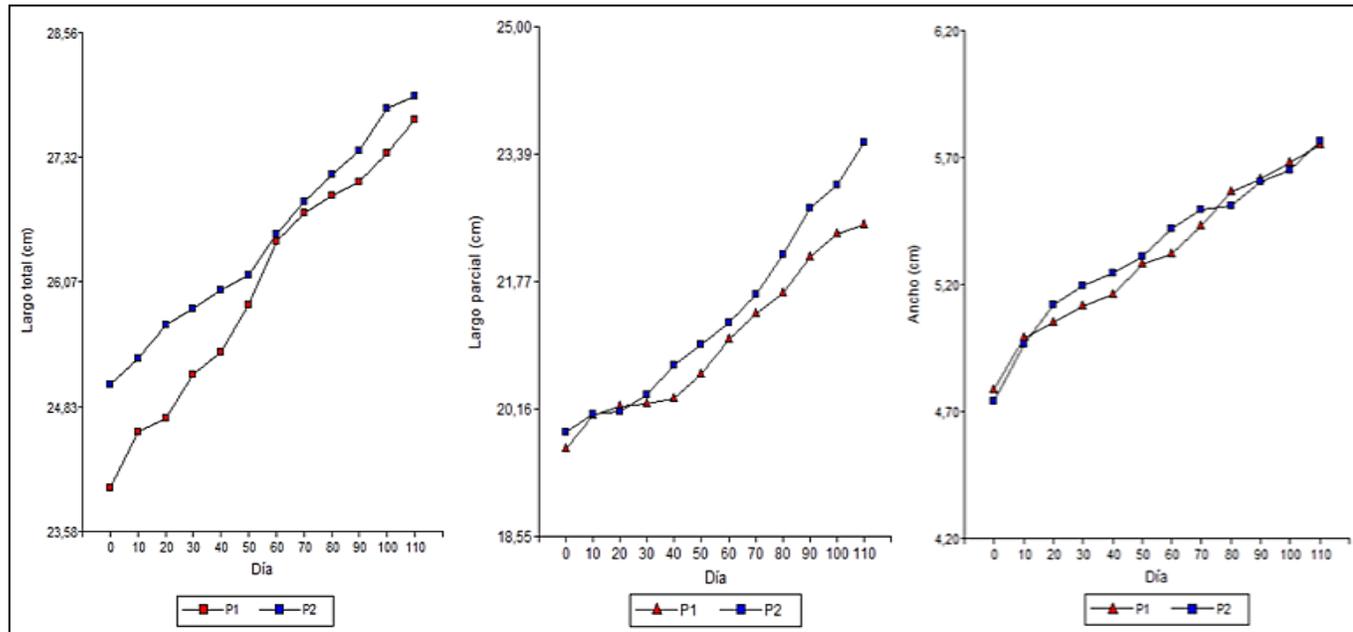


- * Muñoz & Tipán (2020) > rendimiento > frecuencia. (mayor aporte nutricional en un mismo intervalo de tiempo).
- ✓ Calvachi (2022) sin cambios
- IAUSA (2018) limitaciones: altas concentraciones de nutrientes por las frecuentes aplicaciones pueden causar fitotoxicidad, > frecuencia de aplicación en dosis más bajas-poco operativo y elevan los costos de producción.

Resultados y discusión

Parámetros morfométricos de trucha arco iris

Curvas de crecimiento de largo total, largo parcial y ancho de trucha arco iris de P1 y P2



Cosecha :

(250 g): peso mínimo sugerido por el Instituto Nacional de Pesca (2018): talla (30 cm).

Peso: GP: P1 (100,32 g) y P2 (100,85 g)

Longitud total:

Los peces de P1 (3,64 cm), P2 (2,87 cm)

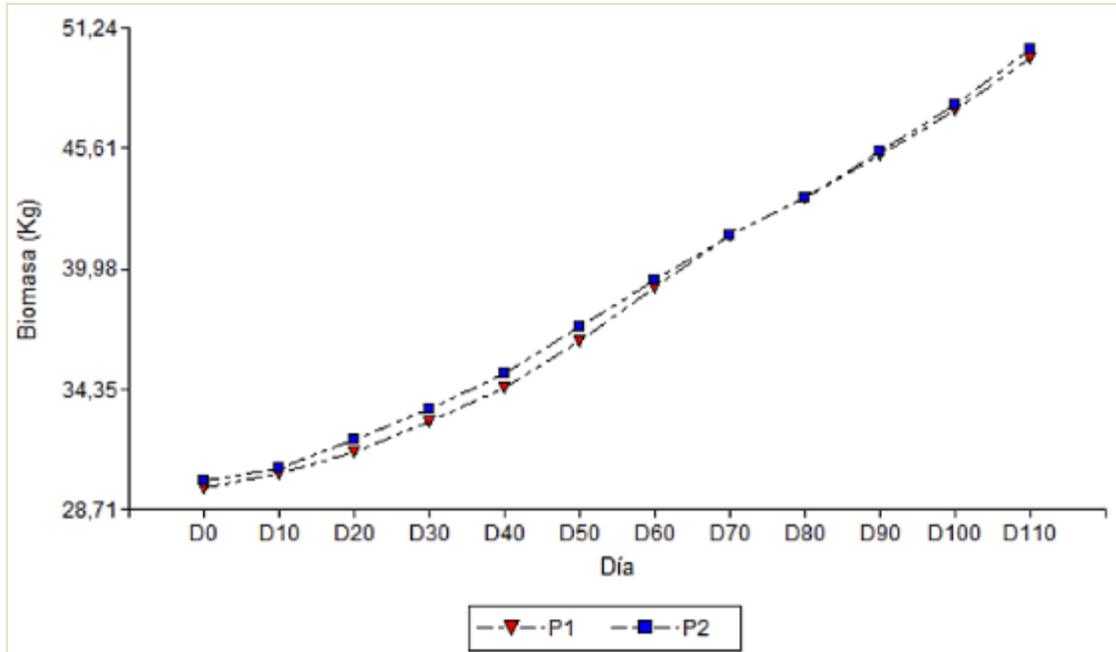
Longitud parcial: P1(3,37 cm), P2 (3,67 cm)

Piscina	Día	Peso (g)	Longitud total (cm)	Longitud parcial (cm)	Ancho (cm)
P1	0	148,59±4,89	24,01±1,19	19,66±1,24	4,79±0,33
	110	248,91±10,56	27,69±1,49	23,03±1,31	5,75±0,29
P2	0	150,31±4,24	25,05±1,20	19,87±1,24	4,74±0,29
	110	251,16±10,42	27,92±2,49	23,54±1,53	5,77±0,44

Resultados y discusión

Parámetros productivos de trucha arco iris

Incremento de la biomasa animal de trucha arco iris



	Días	P1	P2	BT(P1+P2)	% incremento
BI	D0	29,72	30,06	59,78	-
	D10	30,41	30,65	61,07	2,15
	D20	31,41	32,01	63,41	6,08
	D30	32,82	33,42	66,24	10,81
	D40	34,43	35,10	69,54	16,32
	D50	36,61	37,28	73,89	23,60
	D60	39,10	39,41	78,50	31,32
	D70	41,53	41,51	83,04	38,91
	D80	43,32	43,31	86,63	44,92
	D90	45,28	45,43	90,72	51,75
	D100	47,43	47,61	95,04	58,99
BF	D110	49,78	50,23	100,01	67,31

- ✓ Muñoz & Tipán (2020): 63 % y 77% (acuapónico: pepino-trucha)
- ✓ Paye (2022): 30,28 % (60 días acuapónico: lechuga-trucha)

- Calvachi (2022): 48,74 % (30 días acuapónico: girasol: trucha)

Resultados y discusión

Parámetros productivos de trucha arco iris

Piscina		GP(g·día ⁻¹)	TCE(%·día ⁻¹)	FCA	EA (%)	ICC	Mortalidad
P1	Media	0,90± 0,29	0,45±0,13	2,68±1,01	41,52±12,79	1,08±0,06	0,56±1,30
	Mín	0,35	0,23	1,59	19,69	1,02	0
	Max	1,24	0,66	5,08	62,97	1,22	3,33
P2	Media	0,96±0,29	0,46±0,11	2,51±1,00	43,31±10,30	1,04±0,07	0,83±2,07
	Mín	0,3	0,19	1,74	18,23	0,95	0
	Max	1,38	0,6	5,49	57,49	1,15	6,67
Promedio		0,93±0,29	0,45±0,12	2,59±0,99	42,42±11,40	1,06±0,07	0,69±1,70

Crespo (2018):

- GP: 1,14 g·día⁻¹
- TCE: 0,8 %·día⁻¹
- ✓ FCA :2,27
- EA: 53,67 %
- ICC: 1,13

Morales (2019)

- ✓ Mortalidad: 1%
- FCA: 1,63

Perdomo et al. (2013)

- TCE:1,68

Morales & Quirós (2007)

- ICC: 1,11

% mortalidad: proceso de nitrificación equilibrado.

Sin embargo, hay que tomar en cuenta el recambio de agua de las piscinas.

Zafra et al. (2019)

EA efectiva, valores > 50 %.

Yapuchura et al. (2018) FCA aceptable 1 a 1,1, el valor más bajo de FCA es el más eficiente.

Genética, manejo (suministro de alimento) y factores climáticos del área de estudio.

Conclusiones

- Los procesos de nitrificación del sistema acuapónico haciendo uso del complejo bacteriano fueron eficientes para la reducción de compuestos nitrogenados tóxicos para los peces, disminuyendo la concentración de nitritos y amonio/amoniaco hasta $0,02 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de y $0,05 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ respectivamente.
- La temperatura por debajo de 17°C dentro del biofiltro afectó la producción de nitratos, alcanzando una concentración máxima de $4,88 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, lo cual no cubre los requerimientos nutricionales del cultivo de apio.
- La fertilización vía foliar con espirulina compensó la baja disponibilidad de nutrientes dentro del sistema acuapónico, de modo que el cultivo no presentó síntomas de deficiencias nutricionales.

Conclusiones

- La fertilización foliar de apio con espirulina no afectó el número de pencas por planta, pero la concentración de espirulina al 100% aumentó la productividad del cultivo, siendo los tratamientos T1 (Espirulina al 100% cada 8 días) y T2 (Espirulina al 100% cada 15 días) los que presentaron un mayor desempeño con respecto al resto, con una altura de la planta a la cosecha de 67,80 cm y 69,30 cm respectivamente, diámetro del cuello de la raíz de 74,54 mm para T1 y 76,53 mm para T2 y un rendimiento en materia verde de 105,3 mil kg·ha⁻¹ para T1 y 115 mil kg·ha⁻¹ para T2, mientras que el índice de área foliar fue similar entre T1, T2, T3 y T4 con un promedio de 10,47, 10,76, 8,46 y 8,58 respectivamente.
- Las condiciones climáticas poco favorables en el área de estudio afectaron los parámetros productivos de la trucha arco iris, presentando valores no aceptables dentro de la producción, con un promedio de GP: 0,93 g·día⁻¹, TCE: 0,45 %, FCA: 2,59 y una EA de 42,42 %.
- Los bajos niveles de componentes nitrogenados tóxicos del agua dentro del sistema acuapónico mantuvieron un porcentaje de mortalidad baja de 0,69 %.

Recomendaciones

- Debido a que en el estudio realizado T1 y T2 fueron los tratamientos con mayor producción del cultivo y no se evidenció diferencias entre estos, es recomendable utilizar el biofertilizante al 100 % cada 15 días ya que es el que genera menos uso de recursos y consecuentemente menor inversión económica.
- Realizar análisis de factibilidad económico y financiero del uso de espirulina como biofertilizante en un sistema acuapónico para la toma de decisiones en torno a la rentabilidad económica.
- Evaluar diferentes dietas en trucha arco iris que mejoren la disponibilidad de nutrientes dentro del sistema acuapónico en general.
- Realizar estudios comparativos de fertilización con espirulina a nivel radicular siguiendo el mismo protocolo.

Agradecimientos

