
Efecto de la adición de tres bases sobre el desarrollo de cebolla puerro (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*) durante su etapa vegetativa en asocio con tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) y su desempeño zootécnico en un sistema acuapónico

*Effect of the addition of three bases on the development of leek onion (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*) during its vegetative stage in association with Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and its performance in an aquaponic system*

Por Santiago Ceballos-Bedoya¹, Carlos Santiago Escobar-Restrepo², Daniel Gallego-Bustamante³

1 Estudiante de pregrado en Zootecnia Universidad Católica de Oriente. <https://orcid.org/0009-0005-3486-3255>

2 Grupo de Investigación INCA-CES, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad CES, CI 10A #22 - 04, Medellín, Antioquia, Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-3955-484X>

3 Grupo de investigación en Agronomía y Zootecnia-GIAZ, Universidad Católica de Oriente. Semillero de nutrición, alimentación y reproducción (SENAR). <https://orcid.org/0009-0005-9717-0907>

Resumen

El experimento consistió en evaluar el impacto de tres bases distintas aplicadas en un sistema acuapónico para observar el desarrollo de la cebolla puerro (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*) en su etapa vegetativa, al mismo tiempo que se midió el desempeño de la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*). El objetivo principal de la investigación fue determinar cuál de las bases tuvo el mejor efecto sobre las variables del cultivo como longitud de hoja, longitud del tallo, crecimiento radicular y número de hojas, así como el crecimiento de los peces, se midió el peso y su longitud. Los tratamientos aplicados de manera aleatoria, en nueve unidades experimentales fueron: bicarbonato de sodio (NaHCO_3), cal dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) e

hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Se utilizaron un total de 45 tilapias y 405 plántulas de cebolla puerro. También se midieron parámetros del agua como pH, temperatura, oxígeno disuelto, amonio, nitritos y nitratos. Los resultados obtenidos indican que los tanques tratados con bicarbonato de sodio presentaron un mejor desempeño en cuanto a la elongación de hoja, elongación de tallo y número de hojas. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre los tres tratamientos en cuanto al crecimiento de los peces. Por otro lado, los tanques tratados con cal dolomita mostraron el mejor promedio de nitritos (NO_3^-) en comparación con los demás tratamientos.

Palabras clave

Acuaponía, Alcalinidad, Buffer, Tilapia, Cebolla Puerro.

Abstract

The experiment consisted of evaluating the impact of three different limes applied in an aquaponic system to observe the development of leek onion (*Allium ampeloprasum var. porrum*) in its vegetative stage, while also measuring the performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). The main objective of the research was to determine which of the limes had the best effect on crop variables such as leaf length, stem length, root growth, and numbers of leaves, as well as fish growth, which was measured by weight and length. The treatments applied, randomly, in nine experimental units were: sodium bicarbonate (NaHCO_3), dolomitic lime ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$,

and calcium hydroxide ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). A total of 45 tilapias and 405 leek onion seedlings were used. Water parameters such as pH, temperature, dissolved oxygen, ammonia, nitrites, and nitrates were also measured. The results obtained indicate that tanks treated with sodium bicarbonate performed better in terms of leaf elongation, stem elongation, and numbers of leaves. However, there were no significant differences found between the three treatments regarding fish growth. On the other hand, tanks treated with dolomitic lime showed the best average of nitrites (NO_3^-) compared to the other treatments.

Keywords

Aquaponic, alkalinity, buffer, tilapia, leek onion.

Introducción

La acuaponía es un sistema de recirculación acuícola que combina la hidroponía y la acuicultura. En este sistema, los desechos de los peces se convierten en nutrientes gracias a la acción bacteriana, los cuales son aprovechados por las plantas (Quispe *et al.*, 2018). El uso de heces de animales como fertilizantes para las plantas es una práctica que se ha realizado durante miles de años, especialmente en Asia y América del Sur. Con el tiempo se fueron implementando biofiltros y nuevos diseños de sistemas para que fueran más eficientes hasta lo que conocemos hoy en día (Somerville *et al.*, 2022).

La tilapia nilótica (*O. niloticus*) es una especie que se adapta a diferentes tipos de agua y puede alcanzar un alto rendimiento y ritmo de crecimiento, especialmente cuando se cultiva en densidades altas en comparación con otras especies. Es importante destacar que la tilapia es la tercera especie más comercializada en el mundo, después del camarón y el salmón (Kumar & Engle, 2016). Con respecto al puerro (*porrum*), se trata de una variedad de cebolla que se originó en Asia que se ha extendido ampliamente por Europa y parte de América. Pertenece a la familia de las liliáceas y es un cultivo considerado hortícola. Esta planta herbácea se caracteriza por su alto contenido de agua y riqueza en nutrientes como hiero,

potasio, yodo, silicio, fósforo y calcio. El puerro se cultiva principalmente en suelos donde hay mucha humedad. Las hojas del puerro como los bulbos están adquiriendo cada vez más relevancia dentro del mundo gastronómico, ya que su aspecto físico y sabor son muy similares a la cebolla blanca (Tarira, 2015).

En la acuaponía, las bases se usan con el fin de controlar la acidificación que es causada por la disminución de los cationes básicos (como Ca, Mg, K y Na) y la acumulación de cationes ácidos (como el Al y H). El objetivo de añadir compuestos de calcio o enmiendas es disminuir la acidez del sustrato, ya que los iones de hidrógeno se unen a estos compuestos mencionados y así neutralizarlos químicamente (Magra & Ausilio, 2004). Existen tres bases dentro del sector agropecuario y en la industria alimentaria que se pueden adquirir fácilmente: la primera es el bicarbonato de sodio el cual, dentro de sus características, no presenta punto de ebullición ni inflamación debido a que es no combustible. Sin embargo, se descompone a temperaturas superiores a 70 °C. Cabe destacar que el bicarbonato de sodio se utiliza en la remineralización de aguas, desempeñando un papel esencial como sustancia tampón (Martínez & Sagastume, 1997). La segunda base utilizada es la cal dolomita o dolomítica

que en agricultura es usada como fertilizante para corregir la acidificación del suelo y mejorar su calidad, aportando iones de calcio y magnesio, dos nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas (Price & Walsh, 2005). Y, por último, el hidróxido de calcio, también conocido como cal apagada, que es considerado una base fuerte, con un pH de 12. Se utiliza en la agricultura como corrector de pH; también es usado en el saneamiento del agua, donde actúa como eliminador de bacterias, ayudando en la sedimentación de sólidos suspendidos y en la aclaración del agua (Sandoval *et al.*, 2012).

Una de las principales problemáticas de un sistema acuapónico es mantener el pH en niveles adecuados tanto para los peces como para las plantas. La variación del pH se debe principalmente a dos razones. La primera, es el producto del ciclo del nitrógeno, que es el ácido nítrico (HNO_3). Este ácido aporta iones de H^+ al agua, lo que la acidifica; la segunda razón es la liberación de ácidos del dióxido de carbono (CO_2) durante la noche. Estos ácidos son subproductos metabólicos de la respiración de los organismos que permiten disminuir considerablemente el nivel de oxígeno y, por lo tanto, aumenta el pH del sistema. En la mañana antes de los primeros rayos de luz, se obtiene el pH más bajo. A medida que avanza el día, las algas activan su periodo de fotosíntesis, usando el dióxido de carbono (CO_2) acumulado durante la noche, haciendo que los iones de H^+ disminuyan y, en consecuencia, aumente la alcalinidad del sistema (Mi arrecife, 2021).

Para el año 2050, más del 65 % de la población residirá en zona urbana, lo cual implica un cambio drástico en la distribución demográfica. Además, se ha observado una disminución significativa en la población rural en el periodo comprendido entre 1960 y 2015, pasando de un 66,4 % a un 46,1 % (FAO, 2017). A causa del crecimiento poblacional, se ha vuelto imprescindible buscar sistemas eficientes y amigables con el medio ambiente para lograr un equilibrio entre satisfacer las necesidades de la población y aprovechar de manera sostenible los recursos limitados de la biosfera (Ehrlich & Harte, 2015). La acuaponía, como sistema productivo, ofrece la ventaja de permitir la producción de alimentos en espacios reducidos en lo que anteriormente resultaba difícil cultivar. Esto conlleva a una valiosa oportunidad tanto para la producción de alimentos propios, como para tratar de dar solución al segundo objetivo del desarrollo sostenible (ODS) "hambre cero" (Franco *et al.*, 2023).

Materiales y métodos

Localización

El sistema acuapónico se encuentra ubicado en un invernadero situado en el municipio de La Ceja, en la subregión del Orienteantioqueño, Colombia. Este municipio está localizado en las coordenadas $6^{\circ}02'40''\text{N}$ y $75^{\circ}25'52''\text{O}$, a una altitud de 2.150 metros sobre el nivel del mar. La temperatura promedio en esta zona oscila entre los 16 y los 20°C . Además, se registra una precipitación promedio anual de 3.105 mm,

con una humedad relativa del 85 % (Meteoblue, 2023). La clasificación de zona de vida según Holdridge (1967), corresponde a bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB).

Estanques y tratamientos

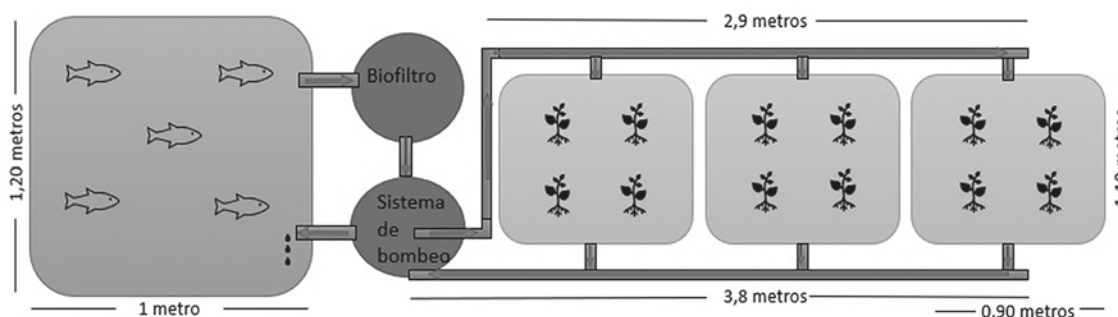
Para el estudio, se emplearon nueve sistemas acuapónicos, tal como se indica en la figura 1. Cada estanque de peces contaba con cinco (5) tilapias negras (*Oreochromis niloticus*) y 45 plantas de cebolla puerro (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*) por sistema.

Cada sistema acuapónico fue considerado como unidad experimental bajo un diseño completamente al azar.

Las dimensiones del tanque que albergaba a los peces eran de 1,20 metros de largo por 1 metro de ancho y 0,90 metros de altura, con una capacidad total de 1.000 litros de agua. Por otro lado, los tanques que contenían las camas flotantes de poliestireno de 0,90 metros de largo por 1,10 metros de largo y 0,50 metros de altura, con una capacidad total de 400 litros de agua (Figura 1).

Figura 1

Diagrama del sistema acuapónico con sus respectivas medidas



Nota. Se procedió a calcular el recambio de agua tanto en el tanque de los peces como en las camas flotantes como se observa en la tabla 1. Elaboración propia.

Tabla 1

Dinámica de llenado y recambio de agua en los tanques de los peces y camas flotantes de las plantas

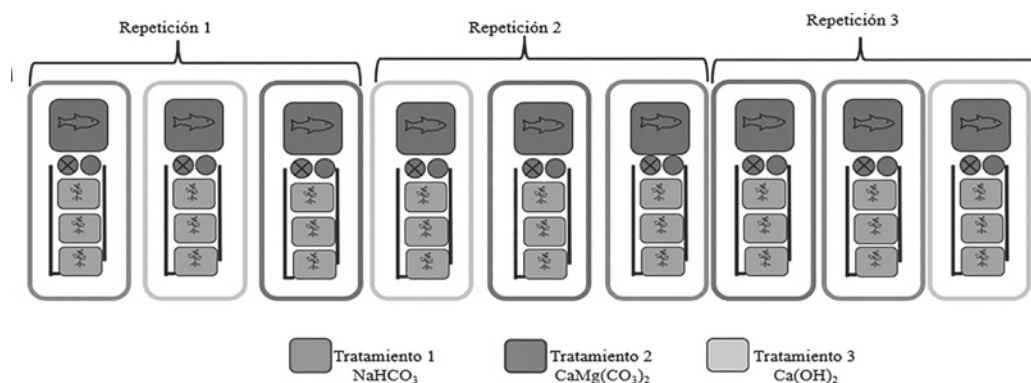
Tanque	Horas llenado Tanque de 1000 L	% recambio/día	Camas flotantes	Horas llenado tanque de 400 L	% recambio/día
1	1,76	136 %	1	2,35	102 %
2	1,75	137 %	2	3,65	65 %
3	1,28	188 %	3	1,01	238 %
4	2,34	103 %	4	3,82	62 %
5	2,35	102 %	5	3,99	60 %
6	1,50	160 %	6	3,39	70 %
7	1,65	145 %	7	2,67	90 %
8	2,08	115 %	8	2,92	82 %
9	1,87	128 %	9	3,27	73 %

Nota. Elaboración propia.

Se evaluaron tres enmiendas distribuidas al azar en las nueve (9) unidades experimentales como se observa en la figura 2, que consistía en lo siguiente: tratamiento 1, bicarbonato de sodio (NaHCO_3); tratamiento 2, Cal dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$); y tratamiento 3, hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Durante el experimento, se aplicaron estas enmiendas en los cuatro (4) tanques de cada unidad experimental; incrementando la dosis, comenzando con un (1) gramo y aumentando hasta tres (3) gramos, tres veces por semana. El objetivo era alcanzar niveles de pH superiores a 7,6.

Figura 2

Diagrama de la aplicación de tratamientos a las unidades experimentales



Nota. Elaboración propia.

Plantas

Las plántulas fueron compradas en un vivero con una edad aproximadamente de 20 días y con un largo de $11 \pm 2,76$ cm. Fueron evaluadas durante su etapa vegetativa, que comprende desde su plantación en el sistema hasta que se observó la presencia de 4 a 8 hojas verdaderas y cuando el cuello de la planta empezaba a engrosar (INTI fertilizantes, s.f). Este proceso tuvo lugar entre 35 y 40 días después de la siembra.

Se obtuvieron 405 plántulas de cebolla puerro (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*) y se plantaron en el sistema acuapónico en las camas flotantes de poliestireno. En cada cama se dispuso 15 vasos de siete onzas de volumen que contenían una esponja como soporte. Cada unidad experimental contaba con tres camas, lo que resultó en un total de 45 plántulas por cada unidad experimental. Para medir el crecimiento de las plantas se tuvo en cuenta varios aspectos como la longitud de hoja, la longitud de tallo, la elongación radicular y el número de hojas. Del total de las plantas trabajadas se midió una muestra del 33 %, lo que significa que se medían 15 plantas por tratamiento, las cuales fueron evaluadas semanalmente por medio del software TPSDig232.

Animales

Se utilizaron un total de 45 tilapias con un peso inicial de $128,78 \pm 45,80$ g. Estas tilapias fueron distribuidas de manera

aleatoria en los nueve estanques del sistema acuapónico. Para alimentar a las tilapias se utilizó un concentrado comercial con la composición nutricional presentada en la tabla 2. Los peces fueron alimentados a razón de un 3 % de su biomasa, utilizando alimentadores automáticos de la marca Resun AF-2005D® dos veces al día, a las 8:00 y a las 13:00, respectivamente. Durante el experimento, los peces fueron pesados utilizando una balanza Electronic SF-400®; su longitud fue medida utilizando el software TPSDig232. Estas medidas se realizaron en tres ocasiones a lo largo del experimento.

Tabla 2

Composición nutricional del concentrado comercial

Composición garantizada	
Proteína mínima	38 %
Grasa mínima	4 %
Fibra máxima	4 %
Cenizas máximo	12 %
Humedad máxima	13 %

Nota. Elaboración propia.

Parámetros del agua

Periódicamente se hacían evaluaciones de los parámetros del agua como temperatura, pH, oxígeno disuelto (OD), pH, NH₄, NO₂, NO₃, y dureza.

La temperatura (T°), el pH y el oxígeno disuelto (OD) fueron medidos *in situ* tres

veces por semana entre las 7:00 y las 8:00 am, antes de que fueran aplicadas las bases en cada unidad experimental. La Temperatura y el OD se midieron utilizando el equipo METTLER TOLEDO SevenGo pro dissolved oxygen®. Por otro lado, las mediciones de los compuestos nitrogenados y el pH de los tanques se realizaron semanalmente utilizando el kit de muestras API® freshwater master test kit, que incluye pruebas para medir el potencial de hidrogeniones (pH), Amonio (NH₃/NH₄⁺), nitritos (NO₂⁻) y nitratos (NO₃⁻).

El potencial de hidrogeniones se midió colocando 5 ml de agua en un tubo de ensayo y añadiendo 3 gotas del frasco de pH. Luego, se agitó durante 3 segundos. El resultado del test arrojó valores entre 6 a 7,6. En caso de que la muestra mostrara un color intenso (>7,6), se debía utilizar el test de High Range (HR). Para ello, se llena de nuevo el tubo de ensayo con 5 ml de agua y se agregan 5 gotas de la prueba HR. Esta prueba proporciona resultados de pH entre 7,8 y 8,8.

La medición del amonio se realizó colocando 5 ml de agua en un tubo de ensayo. Luego se agregan 8 gotas del frasco n°1, sujetándolo verticalmente, seguido de 8 gotas del frasco n°2. Se coloca la tapa y se agita vigorosamente durante cinco segundos. Al finalizar se lee el nivel de amoniaco en partes por millón (ppm) o miligramos por litro (mg/L), que va desde 0 ppm a 8 ppm (mg/L).

Para realizar la prueba de NO₂, se colocaron 5 ml de agua en un tubo de ensayo y agregaron 5 gotas del frasco de nitritos (NO₂⁻), agitando durante 5 segundos. Los resultados de la prueba variaron desde 0 ppm a 5 ppm (mg/L).

Para realizar la prueba de NO₃, se colocaron 5 ml de agua en un tubo de ensayo y se agregaron 10 gotas del frasco n°1, agitándose verticalmente. Luego, antes de abrir el frasco n°2, se debe agitar vigorosamente durante 30 segundos y, una vez pasado ese tiempo, se añaden 10 gotas del frasco n°2 al tubo de ensayo. Al cerrar el tubo con la tapa, se revuelve vigorosamente durante 1 minuto y se espera 5 minutos hasta que la muestra se asiente. Esta prueba arroja resultados desde 0 ppm hasta 160 ppm (mg/L).

Para medir la dureza del agua, se utilizó la prueba KH (*carbonate hardness*) test solution de la marca API® cada 15 días. Se llenó a un tubo de ensayo con 5 ml de agua y se contaron las gotas necesarias para que el agua cambiara de una tonalidad azul a un tono amarillo-anaranjado. Los resultados se pueden observar en la tabla 3, donde se muestra el número de gotas necesarias para determinar el grado de dKH y, por lo tanto, la cantidad de partes por millón que había de KH presentes en el agua.

Tabla 3

Determinación del KH por medio del número de gotas utilizadas

Tabla de conversión		
# de gotas	°dKH	ppm KH
1	1	17,9
2	2	35,8
3	3	53,7
4	4	71,6
5	5	89,5
6	6	107,4
7	7	125,3
8	8	143,2
9	9	161,1
10	10	179
11	11	196,9
12	12	214,8

Nota. dKH: grados de dureza de carbonatos. Es una unidad utilizada para medir la dureza de carbonatos (KH) en el agua, que refleja la capacidad de esta para neutralizar ácidos (alcalinidad).

Análisis estadístico

Para la comparación entre tratamientos de las variables longitud de hoja, tallo y raíz en plantas, además de la longitud y peso en peces, se evaluaron diferentes modelos no lineales (Tabla 4). Se escogió el modelo de mejor ajuste para estas variables a partir del criterio de Akaike, el R² y la coherencia

biológica. La diferencia entre tratamientos se consideró cuando los intervalos de confianza (IC) de cada curva no se traslapan entre sí. A su vez, las variables número de hojas, pH, O₂, NH₄⁺, NO₂⁻ y NO₃⁻ fueron analizados a partir de un ANOVA y la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y la comparación de medias de Tukey y Dunn's post hoc según la verificación de los supuestos de normalidad.

Tabla 4

Modelos evaluados para determinar el desarrollo de la cebolla puerro (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*) en su etapa vegetativa y tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) en un sistema acuapónico

Tabla de conversión		
Modelo	Ecuación	Autor
Lineal	$y=ax+b$	Nelder & Wedderburn, 1972
Cuadrático	$y=ax^2+bx+c$	
Von Bertalanffy	$y=a*(1-be^{-cx})$	Bertalanffy, 1952
Logístico	$y=\frac{a}{1+be^{-cx}}$	Brown & Rothery, 1993
Gompertz	$y=a(b^{cx})$	Gompertz, 1825
Gaussiano	$y=ae^{-\frac{(x-b)^2}{2z}}$	Gauss, 1877
Exponencial	$y=a-(a*e^{-c*x})v$	
Alométrica	$y=aX^b+c$	

Nota. Elaborado con base en las fuentes citadas en la tabla.

Resultados

En la tabla 5 se presentan los modelos de mejor ajuste para cada una de las variables de crecimiento de las plantas. El modelo cuadrático fue el de mejor ajuste para longitud de hoja y tallo, sin embargo, para longitud de raíz fue el modelo alométrico. En general, los ajustes según el R2 no fueron los mejores fluctuando entre 0.17 y 0.42 para longitud de hoja y tallo, a pesar de esto, la longitud de raíz sí obtuvo R2 mayores fluctuando entre 0.64 y 0.75.

Tabla 5

Modelos seleccionados para las variables de crecimiento de la cebolla puerro (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*) bajo la aplicación de tres bases.

Tratamiento	Variable	Modelo	Ecuación	AIC	R ²
NaHCO ₃	Longitud hoja	Cuadrático	$y=0,31568x^2-0,49018x+9,48$	3317,70	0,43
CaMg(CO ₃) ₂			$y=0,07493x^2+0,17429x+9,34$	1071,20	0,27
Ca (OH) ₂			$y=0,1186x^2-0,23027x+8,94$	904,59	0,25
NaHCO ₃	Longitud raíz	Alométrico	$y=12,628x^{0,576}-8,56$	2927,50	0,65
CaMg(CO ₃) ₂			$y=16,589x^{0,50754}-12,98$	8426,10	0,69
Ca (OH) ₂			$y=91,944x^{0,2584}-38,11$	4946,00	0,75
NaHCO ₃	Longitud tallo	Cuadrático	$y=0,099643x^2+0,12109x+4,40$	1083,50	0,31
CaMg(CO ₃) ₂			$y=0,058976x^2+0,81967x+3,29$	499,62	0,21
Ca(OH) ₂			$y=0,038379x^2+0,57475x+3,50$	369,14	0,18

Nota. Tratamientos: bicarbonato de sodio (NaHCO₃), cal dolomita (CaMg(CO₃)₂) e hidróxido de calcio (Ca(OH)₂) a un sistema acuapónico; AIC: Criterio de información de Akaike; R²: Coeficiente de correlación.

Longitud de la hoja

Para el NaHCO₃, se observó que la longitud inicial de las hojas fue de $9,6 \pm 1,92$ cm. A la sexta semana, que fue la última toma de datos, se registró una longitud final de $17,8 \pm 5,73$ cm. Por otra parte, para el CaMg(CO₃)₂ la longitud inicial de las hojas fue de $9,8 \pm 1,81$ cm, y su longitud final fue de $13,07 \pm 2,53$ cm. Por último, para el Ca(OH)₂ se encontró que la longitud inicial de las hojas fue de $8,99 \pm 1,85$ cm, y la longitud final de las hojas fue de $11,88 \pm 2,19$ cm.

En la figura 3, se observa la comparación de la longitud de hoja entre los tres tratamientos durante la etapa vegetativa de la cebolla

puerro (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*). En la primera comparación, se observa una diferencia significativa entre NaHCO₃ y CaMg(CO₃)₂ desde la cuarta semana hasta la sexta semana, siendo el NaHCO₃ el que presenta un mayor desarrollo en la longitud de hojas. Asimismo, la comparación del NaHCO₃ con el Ca(OH)₂ tiene un comportamiento similar y diferencia significativa, durante el mismo periodo de tiempo a la comparación anterior, resaltando el desempeño del NaHCO₃. Por último, entre los tratamientos con CaMg(CO₃)₂ y con Ca(OH)₂ no se encontró diferencia significativa, ya que ambos presentaron un crecimiento muy similar en la elongación de sus hojas.

Longitud del tallo

Se observó que el promedio inicial de la longitud del tallo al momento de plantar la cebolla puerro (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*) fue de $4,33 \pm 1,09$ cm. En la última medición realizada a las seis semanas, se encontró que para el NaHCO_3 el crecimiento promedio del tallo fue de $8,51 \pm 3,03$ cm; para el $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ fue de $6,06 \pm 1,67$ cm; y finalmente para el $\text{Ca}(\text{OH})_2$, fue de $5,72 \pm 1,36$ cm.

La figura 4 muestra una comparación entre los tres tratamientos. Se muestra que no hubo diferencia significativa entre $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ y $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Sin embargo, al comparar el NaHCO_3 con el $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ y $\text{Ca}(\text{OH})_2$, se encontró diferencia significativa. Destacando que el NaHCO_3 tuvo un crecimiento superior al resto de los tratamientos a partir de la semana cuatro.

Figura 3

Comparación de la longitud de hojas de cebolla puerro (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*) bajo la aplicación de tres bases a un sistema acuapónico.

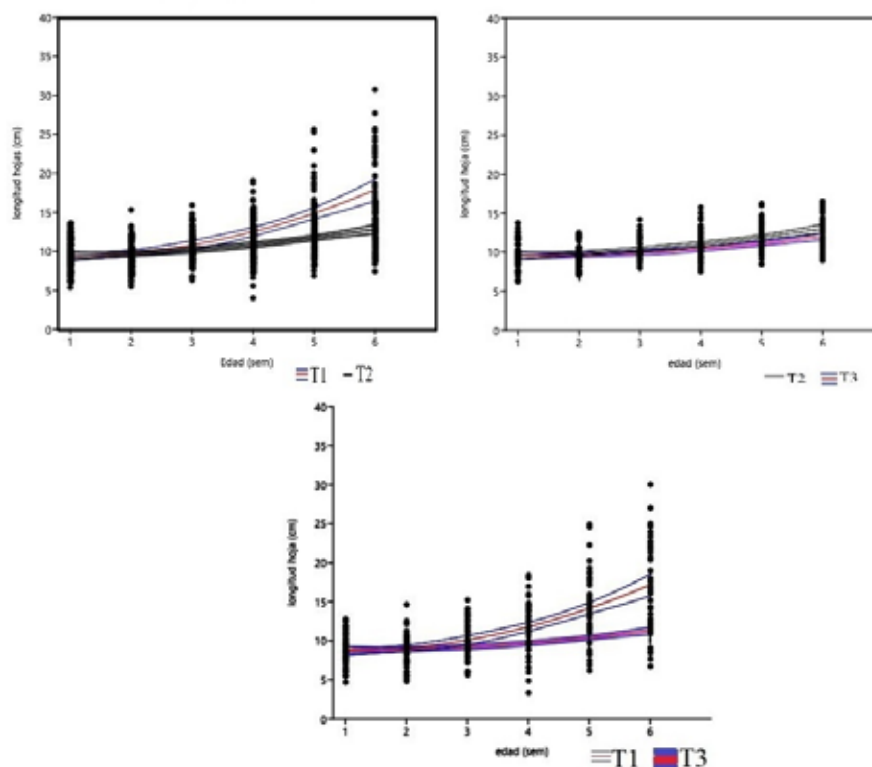
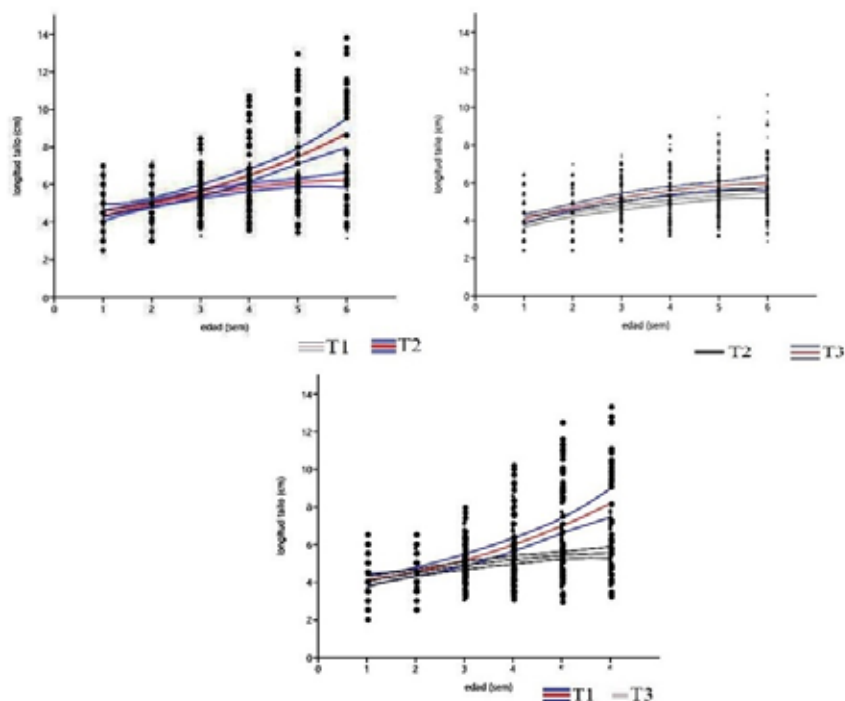


Figura 4

Comparación de la longitud del tallo de cebolla puerro (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*) bajo la aplicación de tres bases a un sistema acuapónico



Longitud de la raíz

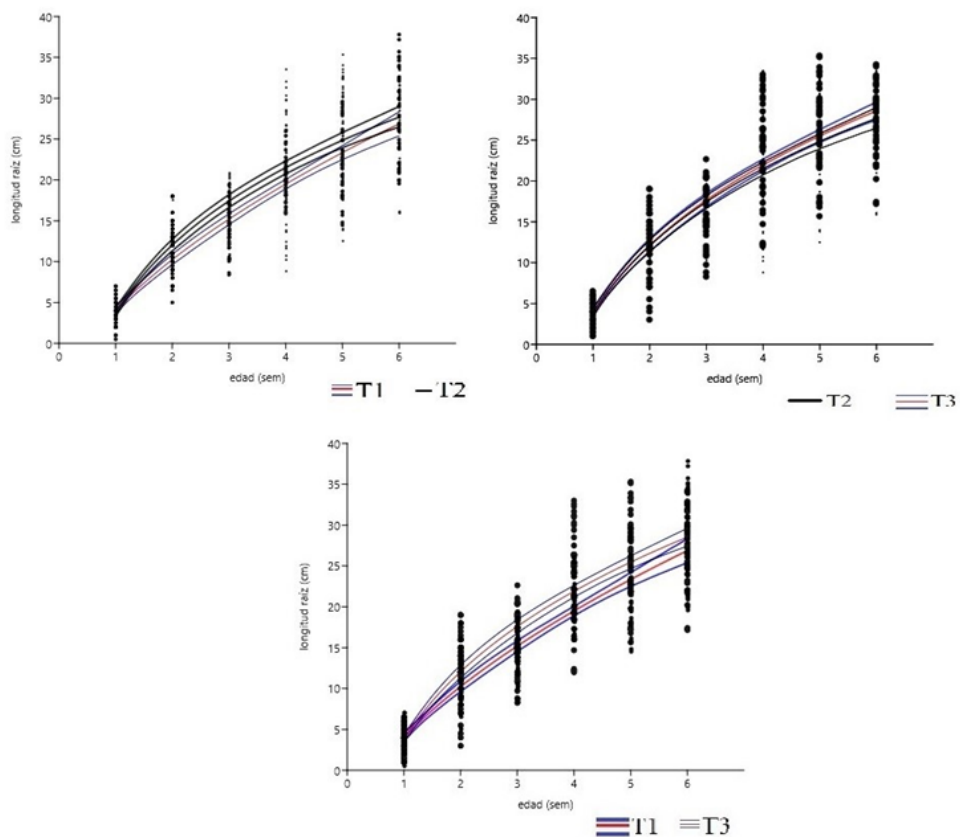
El crecimiento radicular inicial promedio de las plántulas fue de $3,78 \pm 1,40$ cm, y al finalizar las mediciones, el NaHCO_3 mostró un promedio de longitud de raíz de $26,87 \pm 7,8$ cm, el $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ de $26,85 \pm 5,98$ cm y, finalmente, el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ registró una longitud de raíz promedio de $27,55 \pm 5,2$ cm.

Se observó, en la figura 5, que el NaHCO_3 muestra diferencia significativa si lo

comparamos con $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ y $\text{Ca}(\text{OH})_2$, ya que ambos tienden a comportarse de manera muy similar. La diferencia se da desde la semana dos hasta la semana cinco. Sin embargo, al comparar los tratamientos con $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ y $\text{Ca}(\text{OH})_2$, no se encontraron diferencias significativas. Es importante destacar que el NaHCO_3 mostró un mejor desarrollo radicular numérico en termino de longitud en comparación a los otros tratamientos.

Figura 5

Comparación de la longitud de la raíz de cebolla puerro (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*) bajo la aplicación de tres bases a un sistema acuapónico



En la tabla 6 se presentan los diferentes modelos de mejor ajuste para cada una de las variables de crecimiento de peces. El modelo cuadrático fue el de mejor ajuste. En general los ajustes según el R2 fueron buenos fluctuando entre 0.61y 0.75. Sin embargo, el Ca(OH)2 en longitud obtuvo un bajo R2 (0.38).

Tabla 6

Ecuaciones de los modelos de mejor ajuste para las variables de crecimiento de la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) bajo la aplicación de tres bases a un sistema acuapónico.

Tratamiento	Variable	Modelo	Ecuación	AIC	R ²
NaHCO ₃	Peso	Cuadrático	$y = -119,23x^2 + 604,5x - 376,92$	1,52E+05	0,7532
CaMg(CO ₃) ₂		Cuadrático	$y = -104,36x^2 + 530x - 283,74$	1,20E+05	0,7499
Ca(OH) ₂		Cuadrático	$y = -144,95x^2 + 584,05x - 333$	1,56E+05	0,7361
NaHCO ₃	Longitud	Cuadrático	$y = -2,7745x^2 + 14,898x + 8,0491$	154,91	0,7164
CaMg(CO ₃) ₂		Cuadrático	$y = -2,2977x^2 + 12,57x + 10,569$	1,88E+02	0,6155
Ca(OH) ₂		Cuadrático	$y = -2,0573x^2 + 11,49,7x + 11,224$	4,39E+02	0,3784

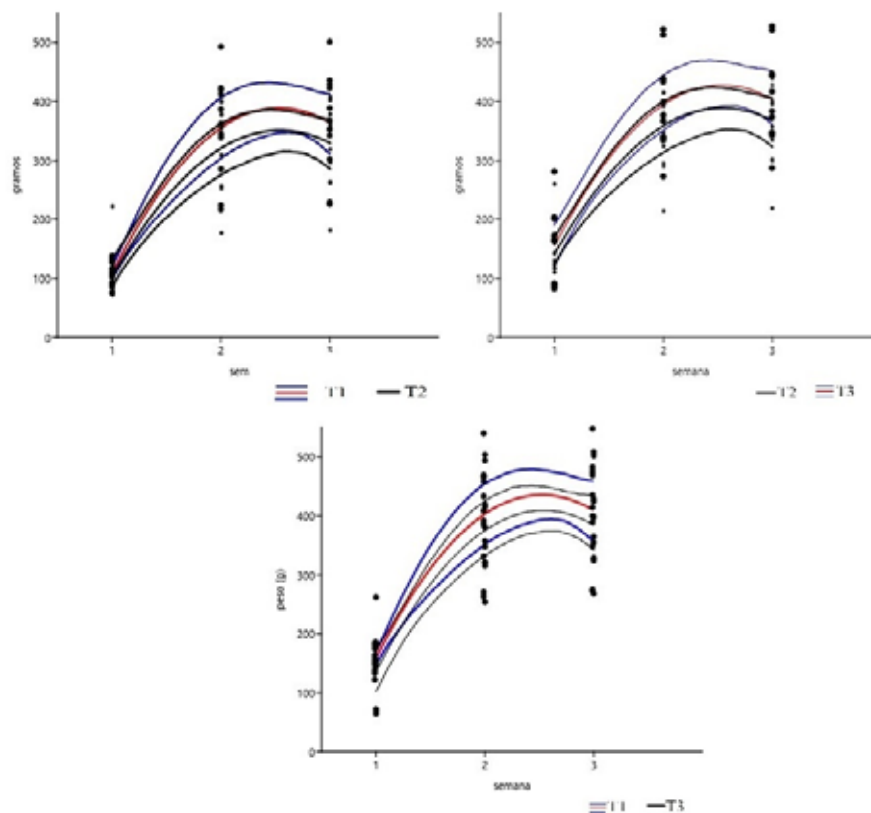
Nota. Tratamientos: bicarbonato de sodio (NaHCO₃), cal dolomita (CaMg(CO₃)₂) e hidróxido de calcio (Ca(OH)₂) a un sistema acuapónico; AIC: Criterio de información de Akaike; R²: Coeficiente de correlación

Peso

La figura 6 muestra que no se encontraron diferencias significativas en el peso de la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*) entre los tres tratamientos. Sin embargo, es importante destacar que el peso inicial promedio de los peces en la primera semana de pesaje fue de 128,78 ± 45,80 g. A los 152 días, día de la última medición, se registró un aumento del 189 % en el peso, alcanzando un peso final de 371,69 ± 76,22 g.

Figura 6

Comparación del peso de las tilapias nilóticas (*Oreochromis niloticus*) bajo la aplicación de tres bases a un sistema acuapónico.

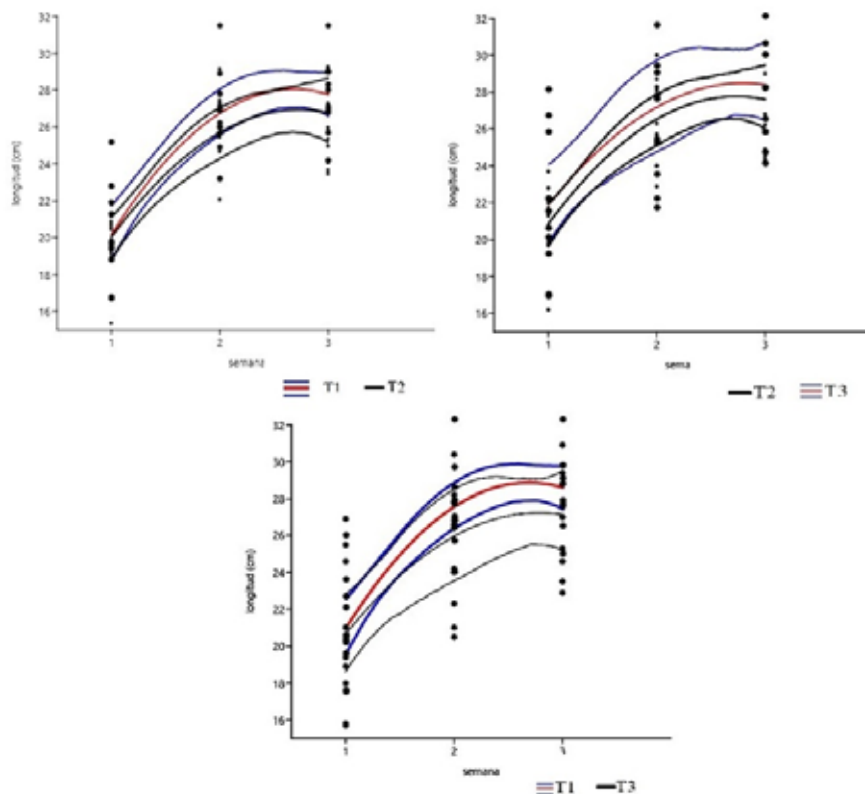


Longitud de los peces

Con respecto a la longitud de la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*), como se observa en la figura 7, no se encontraron diferencias significativas entre los tres tratamientos. La longitud inicial de las tilapias fue de $20,55 \pm 2,75$ cm, la longitud final registrada fue de $27,51 \pm 2,81$ cm, lo que representa un aumento del 2 % en esta variable.

Figura 7

Comparación de la longitud de las tilapias nilóticas (*Oreochromis niloticus*) bajo la aplicación de tres bases a un sistema acuapónico.



Como se observa en la tabla 7, la cebolla puerro (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*) mostró un rendimiento superior en termino de número de hojas en las aguas tratadas con NaHCO_3 y con $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, ambas siendo estadísticamente igual. Sin embargo, el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ registró diferencias significativas con respecto a las otras dos bases, presentando el menor rendimiento en cuanto a la cantidad de hojas.

Tabla 7

Comparación en número de hojas de cebolla puerro (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*), parámetros fisicoquímicos y metabolitos nitrogenados del agua bajo la aplicación de tres bases a un sistema acuapónico.

Base	Hojas (cantidad)	pH	OD	NH ₃ /NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻
NaHCO ₃	4,68±1,45a	7,32±0,78a	6,94±0,67	0,044±0,02	0,13±0,11a	4±4,21a
CaMg(CO ₃) ₂	4,47±1,01a	7,66±0,72b	6,95±0,65	0,016±0,009	0,12±0,12a	6,11±14,76a
Ca(OH) ₂	4,10±0,91b	7,60±0,76b	6,77±0,65	0,038±0,01	0,00±0,00b	1,11±2,10b
P-valor	7,64E-06	4,28E-02	0,533	0,337	0,042	0,001

NOTA. NaHCO₃: bicarbonato de sodio; CaMg(CO₃)₂: cal dolomita; Ca(OH)₂: hidróxido de calcio. OD: Oxígeno disuelto; NH₃/NH₄⁺: Nitrógeno amoniacal; NO₂⁻: Nitratos; NO₃⁻: Nitritos. Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadística significativa (p-valor < 0,05) ± Desviación estándar.

Parámetros del agua

Durante el estudio, la temperatura del agua osciló entre los 17 y 21 °C, mientras que el oxígeno disuelto varió entre 5,46 y 8,52 ppm. En cuanto al pH del agua, se observó que la aplicación de CaMg(CO₃)₂ y Ca(OH)₂ tuvieron tendencia a mantener el pH muy similar (7,66 y 7,60 respectivamente). Por el contrario, el tratamiento con NaHCO₃ mantuvo un pH menos elevado (7,32), haciendo a este último diferente significativamente con respecto a los demás tratamientos (tabla 7).

Metabolitos nitrogenados

Los niveles promedio de amonio (NH₃/NH₄⁺) durante el estudio se mantuvieron por debajo de 0,1 mg/L, que es lo recomendable para el mantenimiento de la tilapia (Zweig, 1999). Sin

embargo, se observó que el tratamiento con NaHCO₃ tuvo el mayor nivel de amonio en los tanques, pero sin diferencias estadísticas entre los tratamientos (tabla 7).

En cuanto a los nitritos (NO₂⁻), el tratamiento con Ca(OH)₂ mostró una diferencia significativa en comparación con los otros dos tratamientos. En este caso la cantidad de nitritos en el tratamiento con Ca(OH)₂ (0,00 mg/L) no fue lo suficientemente alta para ser detectada mediante la técnica de titulación. Por otro lado, los tratamientos NaHCO₃ y CaMg(CO₃)₂ tendieron a presentar una cantidad de nitritos (NO₂⁻) muy similar (0,13 y 0,12 mg/L, respectivamente) (tabla 7).

Con respecto a los nitratos (NO₃⁻), los tratamientos con NaHCO₃ y CaMg(CO₃)₂ no mostraron diferencias significativas

(4 y 6,11 mg/L, respectivamente), pero en comparación con el tratamiento con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sí hubo diferencia, ya que los tanques tratados con esta base presentaron menor nivel de nitratos (tabla 7).

Discusión

El estudio de Trussell (1972) demostró que la proporción de amonio (NH_4^+) disminuye a medida que el pH aumenta, es decir, en un pH de 9, el amonio (NH_4^+) representa un 70 % de nitrógeno amoniacal (NH_3) y en pH mayores a 11, todas las formas de amonio se presentan en forma amoniacal (NH_3). Se concluye así que el factor que determina la proporción de amoniaco (tóxico) con respecto al amonio en el agua es el pH y la temperatura. En ese orden de ideas si el OD es mayor a 5 mg/L, que es lo recomendando por Wheaton *et al.* (1994), se produce oxidación con los iones de NH_4^+ , los cuales forman nitritos (Morales, 1991). En contraste con el estudio de Quintero (2014), donde se concluyó que los nitritos son más estables y menos tóxicos en pH ligeramente ácidos si el pH se va haciendo alcalino, el OD está en el rango adecuado y hay presencia de nitrobacterias, por lo cual se obtiene nitratos como producto. A su vez, los resultados obtenidos por el estudio de Hageman (1992), demuestran que el pH óptimo para que la planta absorba los nitritos, va de 4,5 a 6, y que las plantas prefieren este ion a comparación del NH_4^+ para obtener nitrógeno (Hewitt, 1952; Hartman *et al.*, 1986). Con respecto al presente estudio, los tanques tratados con NaHCO_3 mostraron el promedio

de pH más bajo y la concentración de amonio más alta, lo que indica que una considerable parte del amonio que está presente en el agua se encuentre en forma de NH_4^+ , lo que permitió que la cebolla absorbiera la mayor parte de nitrógeno. Además, se observó que el nivel de nitritos también fue el más alto en este tratamiento, lo que se traduce en que hay buena tasa de transformación por parte de las bacterias nitrificantes del biofiltro; sin embargo, la conversión hasta nitratos no fue la mejor. Al contrario, en los tanques tratados con $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ se observó una mayor cantidad de nitratos (6,11 mg/L). Sin embargo, este tratamiento también mostró el pH más alcalino. Esto se debe al metabolismo de las microalgas, las cuales utilizan los compuestos carbonatados presentes en el agua para realizar fotosíntesis. Como subproducto se obtiene un aumento en los niveles de oxígeno; además, si se añade la radiación solar, el pH puede alcanzar niveles de basicidad muy altos, lo cual hace que el agua se encuentre fuera del rango recomendado por Hageman (1992). Esto a su vez provoca que no haya absorción óptima, principalmente del nitrógeno. Finalmente, en los tanques tratados con NaHCO_3 , al obtener el promedio de pH más bajo, como se menciona anteriormente, las plantas tienden a absorber el nitrógeno de manera más eficiente, lo que refleja el mejor desempeño de la cebolla en las variables evaluadas.

La acuaponía, como sistema productivo, ofrece la ventaja de permitir la producción de alimentos en espacios reducidos (Franco *et al.*, 2023). En la investigación se evaluaron varios aspectos

clave de un sistema acuapónico, haciendo énfasis en los parámetros fisicoquímicos del agua y el desarrollo de la cebolla puerro (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*) y la tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*).

Mantener en condiciones óptimas la calidad del agua en el sistema acuapónico es esencial. Uno de los factores más importantes es el pH, el cual es crucial para evitar el estrés en peces y plantas; de manera que, para poder controlarlo se usan bases como correctores con el fin de favorecer las características de estabilidad en el agua y mitigar el riesgo que representa cualquier cambio en las condiciones de esta; cuyo resultado es una afectación a los organismos dentro del sistema (Mi arrecife, 2021).

Durante la etapa vegetativa de la cebolla puerro (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*), se observó que NaHCO₃ tuvo el mejor promedio en términos de longitud de hojas y tallos. En contraste con los hallazgos de Peña (2015), quien destacó la importancia de la densidad de siembra como el principal factor determinante del crecimiento foliar. Además, se encontró que, a mayor interceptación de radiación solar, mayor aumento de biomasa (Rabinowitch & Brewster, 1990). A su vez, el estudio de Garcés (2007) confirmó que la densidad de siembra también influye en el crecimiento del tallo, contrario a lo hallado durante el análisis del resultado de este estudio, donde se logró identificar que la densidad de siembra no representa un criterio determinante frente al crecimiento de los tallos.

En cuanto al crecimiento de las tilapias

nilóticas (*Oreochromis niloticus*), las cuales tenían un peso promedio inicial de 128,78±45,80, durante los 152 días del estudio las tilapias obtuvieron un peso de 371,69±76,22 gramos, lo que representa un aumento del 182 % de ganancia de peso en el sistema acuapónico. Esto difiere de los pesos promedio encontrados en otros dos sistemas acuapónicos intensivos evaluados por González *et al.* (2015), donde comparó la ganancia de peso en un sistema con biofiltración y otro con recambio de agua (102,81 y 92,2 gramos, respectivamente). Estos resultados indican que la densidad de siembra y la capacidad de carga tienen un impacto significativo en el crecimiento de los peces (Cabrera *et al.*, 1998).

Durante el experimento, los niveles de amonio se mantuvieron por debajo del rango de tolerancia de los peces tropicales (< 0,1 mg/L), según lo recomendado por Zweig (1999). En contraste, se han reportado niveles más altos de este metabolito nitrogenado en el estudio de Campos *et al.* (2013), donde alcanzaron niveles de 7,93 mg/L; causando una mortalidad del 9,9 % de las tilapias. Altos niveles de amonio afectan negativamente la osmorregulación y la concentración iónica de la hemolinfa, como afirman Lloyd & Orr (1969). Sin embargo, Quintero (2014) encontró que las tilapias pueden tolerar niveles más altos de amonio sin afectar su salud. Además, se ha observado que niveles bajos de amonio pueden ser aprovechados por las raíces de las plantas, ayudando a reducir niveles tóxicos en el agua (Fakhri *et al.*, 1995).

Los niveles de nitritos se mantuvieron por debajo de la concentración recomendada para muchas especies acuáticas (< 1,0 mg/L) (Van Gorder, 1991). Un alto nivel de nitritos puede ser consecuencia de una falla en el biofiltro; lo cual puede afectar a los peces al dificultar el transporte de oxígeno en la sangre y así, causar la muerte por anoxia, según Somerville *et al.* (2022). Sin embargo, en un estudio similar realizado por Quintero (2014), los niveles de nitritos encontrados fueron de 0,64 mg/L, los cuales fueron inferiores a los encontrados en este estudio (0,08 mg/L).

En cuanto a los nitratos, se mantuvieron en el rango recomendado (10 mg/L) por Ayers y Wescot (1985). Los nitratos son el compuesto menos tóxico de los metabolitos nitrogenados tanto para peces como para las plantas (Westin, 1974; Colt & Tchobanoglous, 1976; Pierce & Weeks, 1993; Tsai & Chen, 2002).

La temperatura promedio del agua durante el estudio se mantuvo en 19,2 °C, lo cual está dentro del rango óptimo (18 a 23 °C) para el cultivo de tilapia y muchas especies de hortalizas, según lo mencionado por Asiain *et al.* (2011). Esto indica que las condiciones de temperatura eran favorables para el desarrollo de los organismos acuáticos y plantas evaluadas en este estudio.

Por otro lado, el pH estuvo en un promedio de 7,5, el cual está dentro del rango óptimo (7-8) para la supervivencia de los peces tropicales según Somerville (2022). Sin embargo, para el adecuado crecimiento de la cebolla puerro, es necesario que el sustrato esté dentro del rango de pH de 6 a 7 (Bernaert *et al.*, 2012).

Se observó una discrepancia en los resultados entre este estudio y la investigación realizada por Quintero (2014), donde el promedio del pH estuvo en 8,5 lo que demuestra que algunas plantas como el tomate (*Solanum lycopersicum* L.) responden positivamente a estos niveles de alcalinidad y que las tilapias toleran un rango amplio de pH. Esta es una de las razones por las cuales hacer investigaciones en cultivos hidropónicos es urgente, ya que hay que mantener controlado el pH para brindar un ambiente idóneo tanto para los peces como para las plantas, con el objetivo de determinar cuáles especies de plantas son las que mejor se adaptan a las características específicas de cada sistema. En este caso, se observó que las tilapias (*O. niloticus*) tuvieron un excelente desempeño con respecto al crecimiento, pero solo el 20 % (81 unidades) de la cebolla puerro (*Allium ampeloprasum var. porrum*) tuvieron un crecimiento adecuado en el sistema acuapónico, esto debido a que el ambiente fue adecuado para los peces, pero no para el cultivo, ya que sus requerimientos nutricionales y ambientales no fueron suplidos.

En relación con los niveles de oxígeno, estos estuvieron por debajo de los niveles recomendados para el requerimiento básico de las plantas que es de 7,5 mg/L (Morales, 1991). Esto contrasta con la investigación de Wheaton *et al.* (1994), quienes afirman que los niveles no deben ser inferiores a 5 mg/L de OD, ya que esto disminuye el metabolismo y el crecimiento de los peces. Además, un adecuado nivel de oxígeno promueve el desarrollo y crecimiento de las raíces (Gilsanz, 2007).

Con respecto a los tratamientos aplicados, el de NaHCO_3 mostró el mejor desempeño en relación con las variables evaluadas. Estos resultados son consistentes con lo encontrado por Cerón (2005), quien también demostró que la aplicación de NaHCO_3 mejoró los niveles de alcalinidad bicarbonática (1084 a 2268 mg/L) y proporcionó estabilidad en el pH. Por otro lado, el Ca(OH)_2 no logró obtener el efecto buffer esperado (500 mg/L) en un sistema de aguas residuales.

En el caso del Ca(OH)_2 , se observó un menor desarrollo de las cebollas en comparación con los otros tratamientos. Esto coincide con lo mencionado por Sandoval *et al.* (2012), quienes explican que el hidróxido de calcio es una base fuerte que puede dañar los tejidos, en este caso, las raíces de las plantas, así como también puede afectar la capacidad de absorción de agua y de algunos nutrientes metálicos. Además, las reacciones exotérmicas que ocurren cuando las sustancias cáusticas entran en contacto con el agua pueden afectar negativamente las raíces de las plantas, como ha sido señalado por Avaca (2015). Esto se reflejó en el agua que fueron tratadas con Ca(OH)_2 , perjudicándoles el crecimiento y el adecuado desarrollo.

Conclusiones

El presente estudio demostró que la aplicación de bases para mantener el pH adecuado del agua en un sistema acuapónico no tiene efecto sobre el crecimiento y desarrollo de la tilapia (*O. niloticus*). Los hallazgos de este estudio son importantes para controlar un factor

determinante en la acuaponía como lo es el pH; con lo cual se comprueba que, en las aguas tratadas con bicarbonato de sodio, la cebolla obtuvo un mejor desempeño con respecto a las variables evaluadas. Por otro lado, esta base tiene la ventaja de obtenerse fácilmente en el mercado por un precio accesible.

Con respecto al hidróxido de calcio, por sus propiedades de base fuerte, no se recomienda su aplicación donde haya cultivos, sin embargo, esta fue la base que presentó la menor desviación estándar y la que mayor estabilidad de pH proporcionó al sistema en comparación con el resto de los tratamientos. En cambio, en los estanques donde se aplicó la cal dolomita se encontró el pH más alcalino y el valor más alto de nitratos, que son el compuesto nitrogenado de interés para la nutrición de las plantas.

Por último, se recomienda seguir experimentando y fijar protocolos para controlar los principales parámetros del agua en sistemas acuapónicos, ya que es un sistema sostenible que se puede establecer en lugares donde antes no era posible implementar cultivos para la producción de alimentos propios como pescado, vegetales y hortalizas, sin necesidad de adición de fertilizantes químicos. Además, este sistema disminuye considerablemente los compuestos nitrogenados tóxicos del agua, enriqueciéndola con nutrientes que pueden ser utilizados para irrigar a otros cultivos.

Bibliografía

- Asiain-Hoyos, A., Fernández-Díaz, B., Reta-Mendiola, J. L., & Suárez-Santacruz, C. A. (2011). *Manual de acuicultura para la producción de mojarra tilapia (Oreochromis spp)*. Colegio de Postgraduados. México.
- Avaca, F. M. (2015). Efectos de la salinidad y la alcalinidad sobre la germinación y el crecimiento vegetativo temprano de *Chloris gayana* Kunth. [Trabajo de Grado]. Universidad Católica Argentina. <https://repositorio.uca.edu.ar/handle/123456789/317>
- Ayers, R. S. y Wescot, D. W. (1985). *Water quality for agriculture*. FAO, Irrigation and Drainage paper 29 Rev. I. Roma, Italia.
- Bath R.N., Eddy, F.B., (1980). Transport of nitrite across fish gills. *Journal of Experimental Zoology* 214, 119–121.
- Bernaert, N., Goetghebeur, L., De Clercq, H., De Loose, M., Daeseleire, E., Van Pamel, E., ... & Van Droogenbroeck, B. (2012). Influence of cultivar and harvest time on the amounts of isoalliin and methiin in leek (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*). *Journal of agricultural and food chemistry*, 60(44), 10910-10919.
- Bertalanffy, L. V. (1952). *Theoretical models in biology and psychology*.
- Brown, D., & Rothery, P. (1993). Models in biology: mathematics, statistics and computing *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 67(1), 105–106.
- Cabrera, T., Millán, J., & Rosas, J. (1998). Tres experiencias de cultivo de tilapias en la Isla de Margarita, Venezuela. *Zootecnia Tropical*, 16(1), 127-145.
- Campos-Pulido, R., Alonso-López, A., Avalos-de la Cruz, D. A., Asiain-Hoyos, A., & Reta-Mendiola, J. L. (2013). Caracterización fisicoquímica de un efluente salobre de tilapia en acuaponía. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(SPE5), 939-950.

- Cerón, Á. A. C., Vidal, A. P., & Lozada, P. T. (2005). Importancia del pH y la alcalinidad en el tratamiento anaerobio de las aguas residuales del proceso de extracción de almidón de yuca. *Scientia et Technica*, 11(27), 243-248.
- Colt J., Tchobanoglous, G., (1976). Evaluation of the short-term toxicity of nitrogenous compounds to channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *Aquaculture* 8, 209–224.
- Ehrlich, P. R., & Harte, J. (2015). To feed the world in 2050 will require a global revolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(48), 14743-14744.
- Fakhri, M. N., Maloupa, E., & Gerasopoulos, D. (1993, October). Effects of substrate and frequency of irrigation on yield and quality of three *Gerbera jamesonii* cultivars. In *International Seminar on Soilless Culture Technology Protected Crops Mild Winter Climates 408*, pp. 41-46.
- FAO (2017). *The state of food and agriculture leveraging food systems for inclusive rural transformation*. FAO: Rome.
- Franco Paez, J. E., Aragón Correa, A. J., Ramos Caldón, H.C., Ramírez Chau, D.A., Betancour Murcia, D.C., Tobar Tello, M.F, Rosero Solarte, J.L. & Lugo Escobar, M. (2023). *Sistemas acuapónicos para producción de alimentos combinando la acuicultura e hidroponía como tecnologías de producción en el futuro* (Traducción de Aquaponics Food Production Systems). Editorial Universidad de la Amazonia.
- Garcés López, R. N. (2007). *Evaluación de abonos orgánicos en la producción de cebolla puerro (Allium porrum L.)* (Bachelor's thesis).
- García-Ulloa, M., León, C., Hernández, F., & Chávez, R. (2005). Evaluación de un sistema experimental de acuaponía. *Avances en investigación agropecuaria*, 9(1).
- Gauss, C. F. (1877). *Theoria motus corporum coelestium in sectionibus conicis solem ambientium* (Vol. 7). FA Perthes.
-

- Gilsanz, C. J. (2007). *Hidroponía*. Instituto Nacional de Investigación agropecuaria (Ed.).
- Gompertz, B. (1825). XXIV. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. *Philosophical transactions of the Royal Society of London*, (115), 513-583.
- González, H. R., Cabrera, S. G. R., Gómez, M. G. U., Mejía, M. M., & Barajas, F. J. M. (2015). *Análisis técnico de la producción de tilapia (Oreochromis niloticus) y lechuga (Lactuca sativa) en dos sistemas de acuaponía*. Agro Productividad.
- Hach. (2023). *Procesos que requieren la monitorización de la alcalinidad*. <https://es.hach.com/parameters/alkalinity>
- Hageman R. H., (1992). Ammonium versus nitrate nutrition of higher plants. En R.D. Hauck, J.D. Beaton, C.A.I. Goring, R.G. Hoef, G. W. Randall y D.A. Russel (eds.). *Nitrogen in crop production*. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America and Soil Society of America. Madison, USA.
- Hartman, P. L., Mills, H. A., & Jones, J. B. (1986). The influence of nitrate: ammonium ratios on growth, fruit development, and element concentration in 'Floradel'tomato plants. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 111(4), 487-490.
- Hewitt, E. J. (1952). *Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition*. Farnham Royal, Bucks; Commonw. Agric. Bur.
- Holdridge, L. R. (1967). *Life zone ecology*. Life zone ecology., (rev. ed.).
- INTI fertilizantes. (s.f). *Características de cultivo de cebolla y su nutrición*. <https://inti.pe/caracteristicas-de-cultivo-de-cebolla-y-su-nutricion/>
- Kumar, G., & Engle, C. R. (2016). Technological advances that led to growth of shrimp, salmon, and tilapia farming. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 24(2), 136-152.
- Lewis Jr, W. M., & Morris, D. P. (1986). Toxicity of nitrite to fish: a review. *Transactions of the American fisheries society*, 115(2), 183-195.
- Lloyd, R., & Orr, L. D. (1969). The diuretic response by rainbow trout to sub-lethal concentrations of ammonia. *Water Research*, 3(5), 335-344.
-

- Magra, G., & Ausilio, A. (2004). *Corrección de la acidez de los suelos*. Universidad Nacional del Rosario.
- Martínez Valdez, A. E., & Sagastume Leiva, L. X. (1997). *Elaboración de un manual de materia prima sólida usado en la industria Farmacéutica Salvadoreña y sus requisitos mínimos indispensables para su almacenamiento*. San Salvador.
- Meteoblue (2023). *Datos climáticos y meteorológicos históricos simulados para La Ceja*. https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/la-ceja_colombia_3679554
- Mi arrecife (2021, 18 de junio). *Problemas de pH en el acuario: Las cuatro causas más comunes*. <https://www.miarrecife.digital/post/problemas-de-ph-en-el-acuario-las-cuatro-causas-m%C3%A1s-comunes>
- Morales D. A., (1991). *La Tilapia en México. Biología, cultivo y pesquería*. A.G.T. Editor.
- Nelder, J. A., & Wedderburn, R. W. (1972). Generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society Series A: Statistics in Society*, 135(3), 370-384.
- Peña Baracaldo, F. J. (2015). Efecto de la densidad de siembra y del aporque en la producción y calidad de la cebolla puerro (*Allium ampeloprasum* L. var. *porrum* J. Gay). *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 18(1), 101-108.
- Pierce R.H. y Weeks J.M., (1993). Nitrate toxicity to five species of marine fish. *Journal of the World Aquaculture Society*, 24: 105-107.
- Price, M., & Walsh, K. (2005). *Pocket Nature Rocks and Minerals*. Dorling Kindersley Limited.
- Quintero Vázquez, M. A. (2014). *Producción en acuaponía de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) camarón (*Litopenaeus vannamei*) y tilapia (*Oreochromis niloticus*) controlando las concentraciones de nitrato (NO₃⁻) y amonio (NH₄⁺)*. Instituto Politécnico Nacional.
- Quispe, E. W. A., Tapia, M. L., Pezoa, A. B., Laguna, O. T., Gonzales, J. W., & Contreras, V. H. E. (2018). Evaluación de la concentración de nitratos,
-

- calidad microbiológica y funcional en lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivadas en los sistemas acuapónico e hidropónico. *Anales científicos*, 79(1), 101-110.
- Rabinowitch, H. D., & Brewster, J. L. (1990). *Onions and allied crops* (Vols. I-III). CRC Press.
- Ramírez-Mosqueda, M. A., Iglesias-Andreu, L. G., & Luna-Sánchez, I. J. (2017). Light quality affects growth and development of in vitro plantlet of *Vanilla planifolia* Jacks. *South African Journal of Botany*, 109, 288-293.
- Russo, R. C. (1985). Ammonia, nitrite, and nitrate. En G. M. Rand & S. R. Petrocelli (Eds.), *Fundamentals of aquatic toxicology* (pp. 455-471). Hemisphere Publishing Corporation.
- Sandoval, C. H. H., Cristancho, J. C. G., & Naranjo, Ó. E. P. (2012). Caracterización de un suelo arcilloso tratado con hidróxido de calcio. *Facultad de Ingeniería*, 21(32), 21-40.
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., & Lovatelli, A. (2022). *Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala—Cultivo integral de peces y plantas* (Vol. 589). Food & Agriculture Org.
- Tarira Ortiz, Y. M. (2015). *Comportamiento agronómico del cultivo de cebolla puerro (Allium porrum L.) en cuatro densidades de siembra mediante el sistema organopónico, en la zona de Babahoyo* (Bachelor's thesis, Babahoyo).
- Trussell, R. P. (1972). The Percent Un-Ionized Ammonia in Aqueous Ammonia Solutions at Different pH Levels and Temperatures. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 29 (10), 1505-1507.
- Tsai, S. J., & Chen, J. C. (2002). Acute toxicity of nitrate on *Penaeus monodon* juveniles at different salinity levels. *Aquaculture*, 213(1-4), 163-170.
- Van Gorder, S. 1991. Optimizing production by continuous loading of recirculating systems. En: *Workshop on Design of High Density Recirculating Systems*. Baton Rouge, LA, USA.
- Westin, D. T. (1974). Nitrate and nitrite toxicity to salmonoid fishes. *The Progressive Fish-Culturist*, 36(2), 86-89.
-

Wheaton, F.W., Hochheimer, J.N., Kaiser, G.E., Krones, M.J., Libey, G.S. & Easter, C.C., (1994). Nitrification Filter Principles. In *Aquaculture water reuse systems: Engineering design and management*. M.B. Timmons and T.M. Losordo (Eds.). Elsevier.101.

Zweig, R. D., Morton, J. D., & Stewart, M. M. (1999). *Source water quality for aquaculture: a guide for assessment*. The World Bank.
