

Análisis de dos técnicas de producción hidropónica raíz flotante y sustrato (grava-escoria de carbón, hidrogel) validado por bioensayo en un prototipo de acuaponía

Analysis of two hydroponic production techniques: floating root and substrate (gravel-coal slag, hydrogel) validated by bioassay in an aquaponics prototype

Autores: J. Y. Martín, J. A. Franco, D. R. Acosta, C. Manrique

Recibido: julio 11 de 2025 – Aceptado: agosto 25 de 2025

Fecha de publicación: diciembre 26 de 2025

Como citar este artículo: J.Y. Martín, J. A. Franco, D.R. Acosta, C. Manrique "Análisis de dos técnicas de producción hidropónica raíz flotante y sustrato (grava-escoria de carbón, hidrogel) validado por bioensayo en un prototipo de acuaponía" *inventum*, vol 20, no, 39, pp. 43 - 57, julio - diciembre año 2025 . DOI 10.26620/uniminuto.inven-tum.20.39.2025.44-58 .

Editorial: Corporación Universitaria Mi-nuto de Dios - UNIMINUTO. ISSN:1909-2520 eISSN: 2590-8219

Resumen: En zonas urbanas, la mejora de las técnicas para la obtención de alimentos es una necesidad inminente, dado el crecimiento poblacional y las variantes socioambientales que limitan el acceso a estos productos en términos de costos, calidad y uso de recursos. El presente estudio comparó dos técnicas de producción hidropónica: la raíz flotante y el sustrato (grava - escoria de carbón e hidrogel) probados en un prototipo acuapónico urbano funcional, se experimentó con carpa común (*Cyprinus carpio*) y lechuga (*Batavia*). La metodología propuesta fue de corte mixto (experimentación e interpretación-análisis). De los resultados obtenidos, se destaca que el uso del hidrogel en sistemas de invernadero proporciona un medio adecuado para que las raíces de las plantas se desarrollen con mayor abundancia y longitud, así mismo, permite la reducción del tiempo de cosecha, dada su capacidad para reservar nutrientes y agua. También se logró reproducción de las especies animales, en el sistema.

Palabras clave: acuicultura, hidroponía, acrilato de potasio, *Cyprinus carpio*, *Lactuca sativa*.

Abstract: In urban areas, improving food production techniques is an imminent necessity, given population growth and socio-environmental variables that limit access to these products in terms of cost, quality, and resource use. The present study compared two hydroponic production techniques, floating root and substrate (gravel - coal slag and hydrogel), tested in a functional urban aquaponic prototype. It was experimented with com-

Copyright:



Producto derivado del proyecto de innovación y desarrollo tecnológico "HIDROGELUS", apoyado por la: Universidad Santo Tomás Bogotá (Departamento de Ciencias Básicas), Uniagraria (Facultad de Agronegocios) y Secretaría de Educación de Bogotá (I.E.D. Ricaurte).

J. Y. Martín, Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia, email: juanamartin@usta.edu.co.

J. A. Franco, Uniagraria, Colombia, email: franco.julio.n@uniagraria.edu.co.

D. R. Acosta, Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia, email: daniacosta@usta.edu.co.

C. Manrique, Secretaría de Educación Distrital, Bogotá, Colombia, email: cmanrique@educacionbogota.edu.co.

Como citar este artículo: J. Y. Martín, J. A. Franco, D. R. Acosta t C. Manrique, "Análisis de dos técnicas de producción hidropónica raíz flotante y sustrato (grava-escoria de carbón, hidrogel) validado por bioensayo en un prototipo de acuaponía".

mon carp (*Cyprinus carpio*) and lettuce (*Batavia*). The proposed methodology was mixed (experimentation and interpretation-analysis). From the results obtained, it stands out that the use of hydrogel in greenhouse systems provides an adequate medium for plant roots to develop with greater abundance and length, and also allows for a reduction in harvest time, given its capacity to retain nutrients and water. Animal species reproduction was also achieved in the system.

Keywords: aquaculture, hydroponics, potassium acrylate, *Cyprinus carpio*, *Lactuca sativa*.

Resumo: Em áreas urbanas, aprimorar as técnicas de obtenção de alimentos é uma necessidade iminente, dado o crescimento populacional e as variantes socioambientais que limitam o acesso a esses produtos em termos de custos, qualidade e uso de recursos. O presente estudo comparou duas técnicas de produção hidropônica, raiz flutuante e substrato (brita - escória de carvão e hidrogel) testadas em um protótipo funcional de aquapônica urbana, foi experimentado com carpa comum (*Cyprinus carpio*) e alface (*Batavia*). A metodologia proposta foi mista (experimentação e interpretação-análise). Os resultados mostram que o uso de hidrogel em sistemas de estufa proporciona um ambiente adequado para que as raízes das plantas se desenvolvam mais abundantemente e por mais tempo. Também permite a redução do tempo de colheita, dada sua capacidade de reter nutrientes e água. A reprodução de espécies animais também foi alcançada no sistema. **Palavras-chave** O autor deve fornecer palavras-chave (em ordem alfabética), no máximo 10, que ajudem a identificar os principais temas ou aspectos do artigo, cada palavra separada por vírgula.

Palavras-chave: aquicultura, hidroponia, acrilato de potássio, *Cyprinus carpio*, *Lactuca sativa*.

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático, los conflictos, las desigualdades y la pandemia COVID-19, entre otros factores, han ocasionado que el número de personas que padecen hambre e inseguridad alimentaria haya aumentado en los últimos años. Por lo anterior, es necesario adoptar e implementar prácticas como la agricultura sostenible, lo cual contribuye principalmente a reducir el hambre,

cumpliendo así con el segundo Objetivo de Desarrollo Sostenible incluido en la Agenda 2030 [1]. Una de estas prácticas agrícolas sostenibles es la acuaponía, entendida como una biotecnología que integra la acuicultura y la hidroponía. La primera involucra el cultivo de especies acuáticas y la segunda utiliza una solución de nutrientes resultantes de los procesos metabólicos de las especies acuícolas para la producción de vegetales [2].

En este sentido, es importante resaltar estudios internacionales y nacionales que referencian la importancia de implementación de prácticas sostenibles, como los realizados por Osorto en 2021 [3], y Oladimeji en 2020 [4], los cuales determinaron que la técnica de raíz flotante es una de las más efectivas en hidroponía para sistemas acuapónicos. Ésta permite el intercambio de oxígeno por difusión entre el agua y la cámara de aire, sin embargo, una de las fallas de este proceso se da cuando el nivel de agua varía, ya sea por evaporación o corte, debido a que algunas raíces no pueden tomar su alimento, reduciendo su crecimiento normal y, en casos extremos su muerte.

Otra técnica, es el uso de la grava como sustrato, que, al ser porosa, permite el flujo continuo de agua y es ideal para el crecimiento de colonias biológicas, almacenando así nutrientes y liberándolos de forma dosificada gracias a los poros. Una de las dificultades con esta técnica, es la escasa retención de humedad, que oscila entre 17%, lo que ocasiona la necesidad de suministro constante del líquido para que el sistema funcione [5].

Por su parte, el uso de hidrogeles es una técnica que, aunque ha sido poco explorada, ha dado muy buenos resultados. Nissen y Ovando en 1999 [6], evaluaron el efecto de un hidrogel humectado en las raíces de *Nothofagus obliqua* y *Nothofagus dombeyi* durante el trasplante, obteniendo mayores valores de supervivencia en *Nothofagus dombeyi* que en aquellos en los que no se utilizó el hidrogel.

De la misma manera, en el estudio reportado por Chatzopoulos [7], se estableció que, para un mismo régimen de irrigación, los suelos acondicionados con los hidrogeles presentaban mayor contenido de humedad con relación al testigo. Al restringir el riego y someter a las plantas a condiciones de marchitez, los

individuos no murieron con la misma velocidad que en el suelo testigo, de ahí que los investigadores concluyeran un proceso de liberación controlada del agua por parte del hidrogel.

Por otro lado, en Colombia, se estudió el uso de hidrogeles y su efecto en las propiedades hidráulicas de suelos arcillosos para sistemas de hortalizas en este se estableció su uso como una alternativa válida para la conservación de agua en el suelo, mejorando sus propiedades de retención y liberación [8].

Del mismo modo, en un cultivo de lechuga desarrollado en suelo con la enmienda del copolímero de acrilamida y acrilato de potasio se presentó mayor emergencia, crecimiento y supervivencia de las plantas. Esta enmienda aumenta el contenido de humedad del suelo, lo cual se asocia con mayores rendimientos en los agroecosistemas de las regiones semiáridas y áridas [9].

También, se analizó la aplicación del hidrogel de acrilato de potasio en cultivos acuapónicos bajo invernadero, para la producción de jitomate y pepino lo que arrojó evidencias de ahorro de agua, de fertilizantes, reducción de costos y por ende el impacto ambiental [10].

Dada la revisión, para este estudio surge un proyecto investigativo doctoral, en el año 2021, en la institución educativa Distrital Ricaurte ubicada en la ciudad de Bogotá – (Colombia), el cual, en su primera fase generó insumos para un desarrollo educativo enmarcado en laboratorio vivo, que derivó en una implementación didáctica, integrando estudiantes, docentes y expertos [11] y una aplicación desde el concepto biotecnológico de la acuaponía urbana [12].

Variables como temperatura, amoníaco, nitritos, nitratos, pH, crecimiento de las plantas de lechuga y salud de los peces, fueron determinados de forma manual. En 2023, algunas de estas variables y otras como luminosidad, conductividad eléctrica, entre otras, fueron automatizadas mediante un sistema básico de adquisición de datos.

Dentro de las problemáticas identificadas en los sistemas acuapónicos, se pueden distinguir: a) las relacionadas con la reposición de agua cada semana, ya que

esta se pierde por evapotranspiración, dadas las fluctuaciones de temperatura y los procesos metabólicos intrínsecos; b) la supervivencia de peces y plantas está limitada por el desarrollo de las bacterias benéficas que cercen en los sustratos o medios de absorción, pues allí se controla el amoníaco y se fijan los nutrientes; c) se requiere de la medición y control de variables físico-químicas como temperatura, conductividad eléctrica en agua, componentes nitrogenados, oxígeno disuelto, entre otros, para garantizar el equilibrio del sistema, lo cual requiere de inversión en equipos de medición, observación e interacción y manutención constante.

En este sentido, cada técnica de producción acuapónica puede presentar ventajas y desventajas asociadas en su mayoría a la retención de agua, por ello, para esta investigación se aplicaron las técnicas de raíz flotante y el uso de sustratos grava-escoria de carbón e hidrogel y así consolidar datos experimentales que permitan comparar el comportamiento y las diferencias entre sustratos, y, por consiguiente evaluar el crecimiento y nutrición de plantas, la salud de los peces, y poder usar los recursos disponibles para proponer proyectos que puedan solucionar o mejorar las problemáticas identificadas en la acuaponía [6].

De igual forma, en agricultura e hidroponía bajo invernadero, al emplear el acrilato de potasio como sustrato, los nutrientes suspendidos en agua que recirculan en el sistema, se encapsulan en el hidrogel, lo cual permite que las raíces de las plantas los tomen en forma dosificada; así mismo, la evaporación de agua se reduce, lo que hace que la reposición de este líquido disminuya, optimizando así el funcionamiento de todo el sistema, en términos de limpieza, uso de recursos y obtención de cosechas en menor tiempo [7].

Como objetivo del estudio se propuso desarrollar e implementar un bioensayo que permitió la comparación y seguimiento entre dos técnicas de producción hidropónica como son la raíz flotante y el sustrato (grava-escoria de carbón e hidrogel de acrilato de potasio) usados en un prototipo acuapónico urbano ubicado en una Institución Educativa Ricaurte, como estrategia de optimización del sistema en términos de control de sustancias, de suministro de agua y de productividad en un cultivo de lechuga variedad Batavia, con ayuda de un análisis correlacional de las características de las dos técnicas.

II. DESARROLLO DEL ARTÍCULO

A. Metodología

El tipo de estudio que caracteriza la investigación es de desarrollo tecnológico [13], ya que contribuyó en la optimización de las técnicas de producción y minimización del impacto ambiental en sistemas acuapónicos urbanos, basado en un método mixto que incluyó una etapa de experimentación y una segunda etapa de interpretación-análisis que involucró cinco fases:

Fase I. Ajustes de funcionamiento del prototipo: se usa un prototipo acuapónico acoplado funcional ubicado en la Institución Educativa Distrital Ricaurte, Bogotá (Colombia), que lleva dos años en uso, cuya estructura consta de:

a) Un sistema piscícola compuesto por un tanque plástico cuadrado (isotank) revestido de una estructura metálica con un volumen (vol.) de 1000 L, adaptado con una ventana de observación, con entrada de 0,5 pulgada (in) y salida de agua de 1,5 in.

b) Un sistema de filtración, compuesto por una caneca plástica tapa aro con un vol. de 120 L, adaptado como filtro mecánico de flujo radial, que se encarga de suspender las partículas sólidas (heces) y conectado por tubería de 1 in a un filtro biológico con una caneca plástica del mismo vol (120 L). En su interior contiene tapas reutilizadas de envases plásticos PET como sustrato para un adecuado desarrollo bacteriano [14].

c) El sistema hidropónico compuesto por seis estructuras metálicas en hierro modulares que soportan las camas, compuestas por bateas plásticas reutilizadas (vol 110 L) adaptadas y ajustadas según la técnica de producción (raíz flotante y sustratos hidrogel y grava) con entrada controlada de 1 in y salida con un diseño de sifón campana de 2 in.

d) Un sumidero que colecta las aguas del componente hidropónico compuesto por una caneca plástica de 120 L, en su interior una bomba con una potencia de 2000 L/h adaptada a una manguera de 0,5 in que llega al tanque de peces y permite la recirculación. El volumen útil del prototipo fue de 1570 L (figura 1).

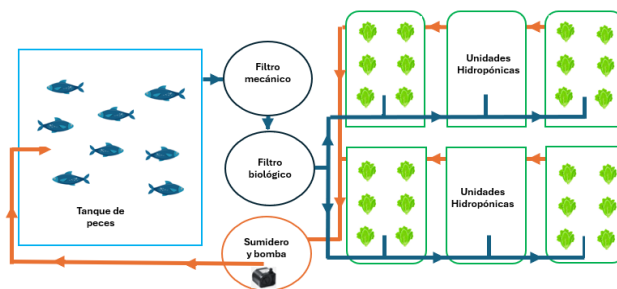


Figura 1. Estructura del sistema acuapónico.

Nota. La figura muestra el esquema de un sistema acuapónico funcional y el modelo del prototipo real desarrollado. Fuente: elaboración propia.

Entre los procesos de ajuste al sistema se pueden mencionar la adecuación hidráulica, el lavado, la limpieza y desinfección del sistema piscícola, de filtración, hidropónico, sumidero, y la tubería, como se muestra en la Figura 2.

Adicionalmente, se realizaron pruebas de agua, ajustes de fugas de acuerdo con la metodología propuesta por Franco [12], en donde, se llenó y cloró el agua mediante la adición de hipoclorito de sodio a razón de 1g/m³ para garantizar su desinfección.

Se inocularon con bacterias comerciales Stability® a razón de 5 mL / 40 L durante siete días y se promovió el desarrollo bacteriano mediante el suministro de nitrógeno con alimento comercial del 38% proteína bruta de acuerdo con Ali y Rawal [15] para alevinos de carpa, hasta detectar concentraciones de 0,1 mg /L de amoníaco.

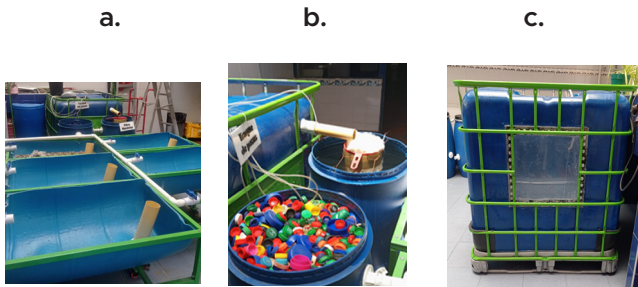


Figura 2. Proceso de ajuste del prototipo acuapónico urbano. Nota. a. Preparación del sistema; b. Adecuación hidráulica y de circulación; c. Adecuación del estanque y suministro de agua. Fuente: elaboración propia.

Durante la estabilización y evaluación del sistema se realizaron mediciones de adaptación en parámetros de calidad de agua como pH y temperatura, usando el kit de análisis de aguas Máster Kit Api Acuario® contrastados con los datos obtenidos a través del equipo multiparámetro HI9811-51 Hanna®, también se tomaron mediciones del oxígeno disuelto en agua (OD), sólidos totales disueltos (TDS) con el equipo HI9147 de Hanna®; tomados como referencia: pH (6,2), amoníaco (0,40 mg/L) nitritos (0,50 mg/L), nitratos (0,1 mg/L), OD (63 mg/L), TDS (180 mg/L). Semanalmente, se realizó la reposición del agua perdida por evapotranspiración, para garantizar la estabilidad del sistema y la seguridad de las especies animales y vegetales que más adelante fueron incorporadas.

Fase II. Acondicionamiento de las condiciones experimentales del sistema: luego de verificar que los parámetros de funcionamiento fueran los apropiados, se procedió a adecuar las seis camas, para la técnica de raíz flotante y el sustrato de hidrogel. Se adaptaron cuatro camas, suspendiendo láminas de icopor de 3cm de grosor, que se dotaron con diez orificios distribuidos homogéneamente, asegurando liberar las entradas de agua y el tubo de 2 in de salida. Para las dos camas restantes se agregó grava y grava con escoria de carbón 50/50% directamente sobre la batea.

En dichos orificios se incorporaron 10 vasos de 6 onzas (de calibre 2), por cama, que previamente se adecuaron abriendo huecos con un cautín en la base y el contorno (parte posterior), para que, al incorporarlos al sistema en sus respectivas camas y técnicas, permitieran que la raíz de las plántulas pudiera crecer hacia el suministro de nutrientes. También se realizaron pruebas de adaptación del hidrogel colocando vasos en

diferentes posiciones de la cama, evidenciando la absorción de agua, y garantizando espacio para la siembra de la plántula y sus raíces, sin rebotar el tamaño del vaso (figura 3).

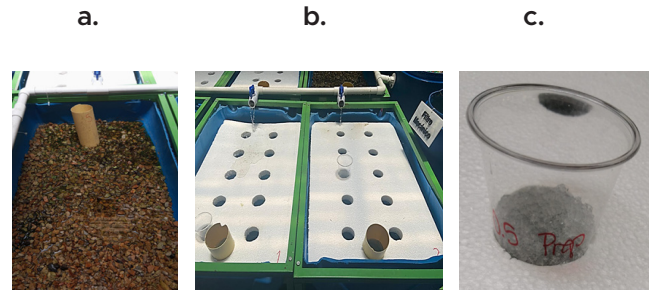


Figura 3. Adecuación de las camas del sistema para inicio del ensayo.

Nota. a. Agregado de grava; b. Incorporación de las bases de icopor para las técnicas de raíz flotante y sustrato hidrogel; c. Pruebas de comportamiento (absorción de agua) del acrilato de potasio en las camas. Fuente: elaboración propia.

Fase III. Siembra de especies animales: esta fase se realizó paralelamente a la fase dos, en donde se adquirieron 60 alevinos de carpa común (*Cyprinus carpio*), con un peso promedio de $27 \pm 0,1$ g y una longitud total de $4,74 \pm 0,3$ cm, provenientes de una granja piscícola ubicada en Cumaral, Meta, Colombia ($4^{\circ}16'20.2''N$ $73^{\circ}29'37.3''W$). Como medidas profilácticas, los animales fueron sometidos a un baño de inmersión con agua y sal al 3% por 10 minutos y puestos en cuarentena durante ocho días. En este periodo se ubicaron en un tanque plástico cerrado de 60 L de capacidad, que contaba con aireación constante.

Les fue suministrado a saciedad aparente, una dieta comercial con 40% de proteína bruta, distribuida en 4 cuatro raciones diarias, suministradas en horarios específicos. Posteriormente, fueron trasladados al prototipo para el inicio del experimento (día cero). Al final del periodo de cuarentena, los 60 individuos fueron medidos, pesados y reubicados en el tanque piscícola del prototipo con una densidad inicial de $0,19$ Kg/m³ ($n=60$ peces/tanque) como se aprecia en la figura 4.

En el experimento, las carpas se alimentaron tres veces al día, con una dieta comercial del 38 % de proteína bruta al 5 % del peso total promedio. La cantidad de alimento suministrada y el porcentaje se ajustaron con base a la tasa de crecimiento tomado en cada muestreo (con periodo de 20 días).



Figura 4. Siembra de especies animales en el prototipo urbano (carpa común).

Fuente: elaboración propia

Luego de la siembra, para garantizar adecuadas condiciones de calidad de agua, se monitorearon una vez por semana los parámetros fisicoquímicos y luminosidad, tomando como referencia las medidas que se relacionan en las Tablas 1 y 2.

Tipo de organismo	Temperatura en °C	pH	Amo-niaco (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Oxí- geno disuelto en agua OD (mg/L)
Peces de agua fría	10-18	6-	<1	<0,1	<400	6-8
	16-30	8.5	<30	<1	-	>3
Plantas		5.5				
Bacte- rias	17-34	7.5 >4	6-8.5	<3	<3	>150

Tabla 1. Tolerancia general de calidad de agua para peces y plantas en sistemas hidropónicos. Fuente: adaptado de Somerville et al. [16].

Tipo de organismo	Tempe- ratura en °C	pH	Amo- niaco (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Oxí- geno disuelto en agua OD (mg/L)
Acua- ponía	18-30	6-7	<0,3	<1	5-150	>5

Tabla 2. Parámetros ideales para la acuaponía tomando un punto medio para los tres organismos. Fuente: adaptado de Somerville et al [16].

Durante el experimento, a los peces se les realizó biometría inicial y final en la cosecha, fueron pesados (báscula digital Kitchen®) y medidos (ictiómetro), los datos permitieron una evaluación del desempeño zootécnico de los animales tomando en cuenta las variables propuestas por Franco en 2023 [12]:

$$\text{Supervivencia} = ((\text{Número de peces final}) / (\text{Número de peces inicial})) \times 100$$

$$\text{Ganancia de peso (GDP, g/d)} = (\text{Peso final (g)} - \text{peso inicial (g)}) / \text{tiempo (d)}$$

$$\text{Consumo de alimento (CA, g/d)} = (\text{alimento total consumido (g)}) / (\text{tiempo (d)})$$

$$\text{Eficiencia alimenticia/Aparente (EFA-A) (alimento consumido (g)) / ganancia de peso (g)}$$

$$\text{Tasa específica de crecimiento (TEC, %/d)} = ((\ln \text{biomasa final (g)} - \ln \text{biomasa inicial (g)}) / (\text{tiempo (d)})) \times 100$$

Fase IV. Siembra de especies vegetales: se adquirieron y transportaron 60 plántulas de *Lactuca sativa* L (lechuga) adaptadas a condiciones hidropónicas, de variedad Batavia de un vivero ubicado en el municipio el Rosal en el departamento de Cundinamarca (4°49'35.3"N 74°15'20.1"W). Desde el día cero, se realizó la biometría de las plántulas (medida de peso seco, longitud del tallo y número de hojas), las cuales se sembraron en camas hidropónicas con sustrato o técnica, como se describió en el ítem b, manteniendo una relación de 10 plántulas /m 2.

El periodo experimental tuvo una duración de 65 días. Como medida de control de plagas, se aplicó una vez por semana a nivel foliar y por aspersión el detergente biológico Jabotan® en dosis de 1 mL/L. Cada sujeto por cama se identificó por medio de una bandera numerada por color y colocada al lado de cada plántula (figura 4), acción que permitió que semanalmente se registraran en una bitácora los datos del desempeño productivo y observaciones de eventos atípicos.

Durante el experimento se registraron los parámetros de desempeño de las plántulas de lechuga cómo: la longitud de hoja (LH) usando una regla calibrada en

milímetros, así como la supervivencia. Adicionalmente, se calculó la tasa de crecimiento y la tasa específica de crecimiento de las lechugas para cada tratamiento conforme a los siguientes cálculos:

$$\text{Tasa de crecimiento (cm/día): } TC = \frac{(\text{Longitud Final} - \text{Longitud inicial})}{(\text{Tiempo final} - \text{Tiempo inicial})}$$

$$\text{Tasa Específica de Crecimiento (%día): } TEC = \frac{(\text{Ln}(\text{longitud final}) - \text{Ln}(\text{Longitud inicial}))}{(\text{Tiempo final} - \text{Tiempo inicial})}$$

Donde: Ln Logaritmo natural.



Figura 5. Identificación de las plántulas.

Nota. La figura muestra a. la siembra de las lechugas. b. la identificación de las plántulas (1 a 10) por color y técnica. Fuente: elaboración propia.

Durante esta fase, se abordaron aspectos relacionados con la ética de la investigación en el manejo y bienestar de las especies animales y vegetales, estableciéndose una logística para garantizar la alimentación diaria de los peces, a cargo del personal de seguridad del colegio, quienes colaboraron en la observación y manutención del prototipo según los estándares previamente mencionados. Adicionalmente, las mediciones de las variables de calidad de agua permitieron la supervivencia de las plantas. En caso de la muerte de un pez (lo que ocurrió en dos ocasiones durante el proceso), se sometió a biometría y este se utilizó como abono en la huerta del colegio.

Fase V. Interpretativa-analítica: una vez registrada en la base de datos, la información semanal se procesó para estimar modelos de crecimiento de las plantas, según cada uno aplicando un método de regresión simple, fueron analizados los datos referentes al crecimiento y nutrición de la planta correlacionándose para establecer las ventajas de cada técnica sobre la longitud. Finalmente, se evaluó si en la cama de hidrogel se logró minimizar el recambio de agua y si las plantas presentaron mejor rendimiento, como lo afirma la teoría revisada.

B. Resultados y discusión

En lo referente al prototipo acuapónico, se proporcionó novedades técnicas que mejoraron las condiciones de funcionamiento del sistema, en relación con estudios realizados por la Sierra et al. [17], en donde se exaltan las principales necesidades para optimizar la producción acuapónica, entre ellos se puede destacar el uso de tapas reciclables como componentes del filtro biológico, lo que potencia la recirculación de productos, la disposición de entradas de agua independientes a las camas modulares, lo que facilitó la realización del mantenimiento preventivo y correctivo, así como el diagnóstico de fallas, para garantizar la supervivencia de las especies.

1. Desempeño zootécnico de la *Ciprynus Carpio*

Los alevines tuvieron un peso inicial promedio entre: 2,3 a 4 g respectivamente, llegando a un peso final entre 26 y 31 g durante los 65 días de experimentación. En general las carpas mostraron un comportamiento productivo estable. Se observó una supervivencia del 96.67% por ciento producto de la muerte de dos individuos.

En la tabla 3, se aprecian los resultados del desempeño zootécnico de la carpa en condiciones de acuaponía en contexto urbano, mostrando que la eficiencia alimentaria varió de 1,91 a 2,24 a medida que la biomasa aumentaba de 0,19 a 1,6 Kg, reportada dentro de los rangos normales por [18] y [19]. En general, el desempeño en el crecimiento de los peces se atribuyó principalmente a la eliminación efectiva de sustancias nitrogenadas como, amoníaco y nitritos, proporcionando una mejor condición ambiental para los peces.

S (%)	PI (g)	PF (g)	GP (g)	CA	EFA	TEC
96,67	3,2 ± 0,13	28,1 ± 1,32	24,9	0,78	2,02	1,45

Tabla 3. Desempeño zootécnico de alevines de *Ciprynus carpio* en un prototipo de acuaponía urbana. *Supervivencia (S); Peso inicial (PI); Peso final (PF); Ganancia de peso (GP); Consumo de alimento (CA); Eficiencia alimenticia aparente (EFA); Tasa específica de crecimiento (TEC). Fuente: elaboración propia.

Los valores de la TEC (Tasa específica de crecimiento) indican que los peces aumentan su peso en un 1,45% diario. Este valor se considera moderado, lo que refleja un crecimiento constante, aunque no extremadamente rápido. Se observó una tasa específica de crecimiento de 1,45 que se encuentra dentro de los valores reportados en 2022 por Byrd & Jha [20]. Sin embargo, para efectos de este estudio, los valores fueron inferiores a los reportados por Ahmed, Jha y Davies [21] con 1,79 y los reportados por Nuwansi et al. [18] con 1 y 1,04 respectivamente.

Los valores bajos de la TEC pueden ser atribuidos a la temperatura del agua (17,1°C), ya que las tasas de crecimiento de la carpa se correlacionan de manera positiva con la temperatura [22], el rango de temperatura óptimo para el crecimiento de la carpa es de 24 a 28 °C [23]. El reporte de temperatura baja reportada en este estudio puede incidir en tasas de alimentación y crecimiento reducidas [20], [24].

La eficiencia alimentaria es un indicador que mide la capacidad de un organismo para convertir el alimento consumido en músculo o crecimiento. Por tanto, una mayor eficiencia indica que el animal necesita menos alimento para ganar una cierta cantidad de peso. Los valores de EFA (Eficiencia alimenticia aparente) reportados en este estudio indican que por cada 2,02 Kg de alimento que consumen, los peces ganan 1 Kg de peso. Los resultados de este indicador fueron superiores a los reportes realizados en sistemas acuapónicos con carpas por Ertaş et al. [24] con 1,9 en [18], para juveniles de carpa koi en sistemas acuapónicos con 1,08; 0,85 respectivamente.

El valor FCR varió de 1,95 a 6,49, en un estudio reportado por Hussain et al. [25], con carpas koi juveniles, que criaron desde 4,22 g de peso inicial hasta 6,81 g de peso final a una temperatura del agua de 24,03 °C. Por otra parte, Nuwanski et al. [18] en su revisión con juveniles de la misma especie, que llevaron de un peso inicial de 2,45 g a un peso final de 3,36 g, a una temperatura del agua de 25,56 °C, el valor FCR fue de 5,6. El mismo autor en 2020 reportó un estudio acuapónico con carpas koi donde aumentaron de 6,94 a 12,66 g a altas temperaturas (27,8-28,3 °C) y se obtuvieron valores de FCR de 3,31-3,41.

Desarrollo y adaptación de las lechugas *Lactuca sativa* L (variedad Batavia)

En lo relacionado con el experimento de esta variedad de lechuga, como se puntualizó en la metodología, se aplicó un diseño en bloques al azar, donde se compararon la técnica de raíz flotante y los sustratos hidrogel y grava - escoria de carbón, en 6 camas, con 2 repeticiones por cada grupo experimental, totalizando 60 sujetos analizados. En cada cama fueron estudiadas las variables físicas en siembra y cosecha de longitud del tallo, número de hojas y peso seco (tabla 4):

Técnica o sustrato	Cantidad de sujetos		Peso seco en g		Número de hojas		Longitud tallo en	
	Siembra	Cosecha	Siembra	Cosecha	Siembra	Cosecha	Siembra	Cosecha
Raíz flotante Hidrogel	20	20	8.1	20,3	8,3	15,2	7,5	32,3
	20	19	8.2	25,5	8,5	17,3	7,8	35,7
Grava escoria	20	13	8.4	18,1	8,4	7,9	7,6	22,2

Tabla 4. Registros de parámetros por técnica bajo sistema acuapónico Fuente: elaboración propia

Estos datos muestran que se presentó una supervivencia del 100% para la técnica de raíz flotante, lo cual es consecuente con los estudios de Osorto en su estudio en 2021 [3], para el sustrato de grava se presentó una supervivencia del 65%, dado que en estas camas se observó un exceso de humedad, lo que llevó al crecimiento lento y a una desnutrición evidente en las plantas, hallazgo que es contrario a lo aportado en el estudio de Chen en 2020 [5], en el que esta técnica fue la más sobresaliente. En cuanto al hidrogel, la sobrevivencia fue del 95 % de las plantas, observándose lechugas más frondosas y verdes, la muerte del sujeto que no llegó a cosecha se debió a su cercanía al suministro de agua, que ocasionó un exceso de humedad.

El parámetro del peso seco indicó un incremento 25 % para la técnica de raíz flotante, un 19 % para el sustrato grava y 34 % para hidrogel. De otro lado, las longitudes presentaron diferencias significativas para las tres comparaciones, según la prueba Tukey aplicada,

dichos datos muestran rendimientos superiores a los encontrados por [26] donde la lechuga alcanzó una longitud de 21,80 cm. Por otro lado, para el caso de raíz flotante se muestra un aumento de longitud con relación a las pruebas realizadas por Mena Flores en 2020 [27], donde se registraron longitudes de 27,5 cm.

En análisis y relación de variables, permitió el diseño de modelos de crecimiento a través de una regresión lineal básica (figura 6), que, para el caso de la raíz flotante, tuvo un comportamiento lineal (grado 1) que se relaciona con un aumento de número de hojas similar en los sujetos; para grava-escoria de carbón, se obtuvo una función cuadrática (grado 2), en la que se observó un crecimiento; y para el hidrogel un modelo cúbico que muestra un incremento de número de hojas con diferencias significativas por semana.

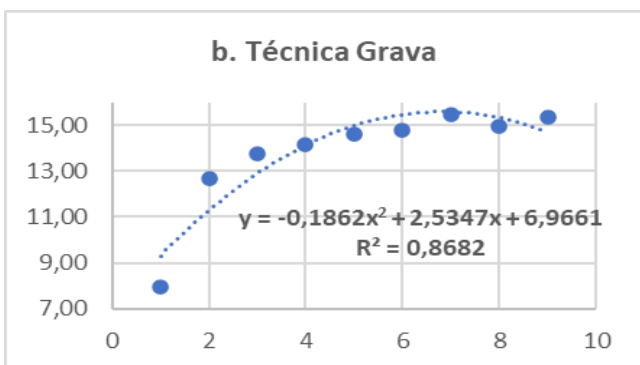
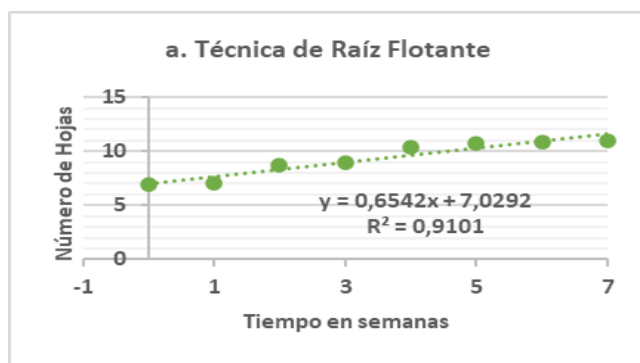


Figura 6. Modelos de regresión lineal para el número de hojas bajo sistema acuapónico. Fuente: elaboración propia.

También, aplicando procesos de regresión simple, con $R^2=0,9$ se construyeron modelos para identificar el comportamiento en el crecimiento por técnica (figura 7), encontrándose una función polinómica de grado 6 para la técnica de raíz flotante que se ajusta perfecta-

mente a los datos tomados, para el sustrato de hidrogel un polinomio grado 4 y para grava una ecuación polinómica grado 5, los cuales muestran las diferencias significativas según la prueba Tukey aplicada para ($p \leq 0,01$), entre las técnicas raíz flotante e hidrogel versus la técnica de grava - escoria de carbón. Estos resultados muestran que el desarrollo en longitud de las plantas puede deberse a que el factor de crecimiento y desarrollo de las plantas está directamente relacionado con la absorción de nitrógeno (Ver apartado “3. Análisis de variables fisicoquímicas del agua”), el cual contribuye en la multiplicación celular y en la formación de aminoácidos, proteínas, enzimas, etc. como lo afirma Aguirre en 2023 .

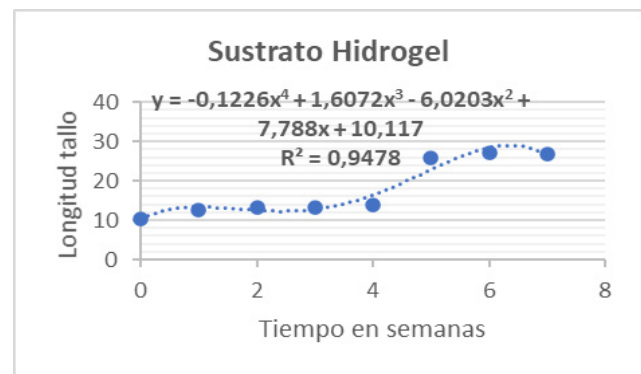
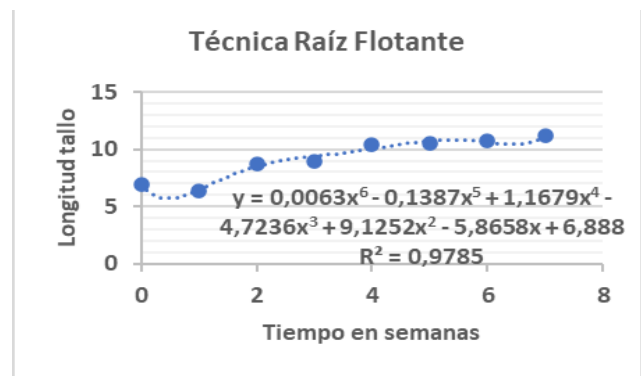


Figura 7. Modelos de regresión lineal para el crecimiento de lechuga bajo sistema acuapónico. Fuente: elaboración propia.



3. Análisis de variables fisicoquímicas del agua

La temperatura es una de las variables más importantes en acuaponía debido a que influye directamente en la cantidad de oxígeno disuelto en agua, crucial para la supervivencia de las especies, también puede afectar la solubilidad de sustancias químicas presentes en el agua, la actividad microbiana y su ionización, por lo cual, un aumento o disminución de la temperatura incide directamente en los valores de su pH. El promedio de la temperatura mínima y máxima fue de 17,1°C y 18.85 °C, valores que se encuentran dentro del rango óptimo, para los tres organismos (peces, plantas y bacterias) en un sistema acuapónico, 18 - 30°C [16], estos valores de temperatura son similares a los reportados por Vaca y García, 2023, quienes desarrollaron un sistema automatizado de acuaponía con carpa y lechuga en condiciones similares a las de este estudio.

El valor promedio de pH fue de 6,1, que indica una ligera acidez y es óptimo en acuaponía con valores que oscilan entre 6 - 7 [16]. Este parámetro químico en el agua determina la actividad biológica de las bacterias nitrificantes (nitrosomas y nitrobacter) para transformar el amoníaco en nitritos y éstos a su vez en nitratos mediante una reacción de oxidación; valores muy altos bajos pueden ser letales para las especies.

Las lechugas requieren de una ligera acidez (valores de referencia) para poder absorber y utilizar los nutrientes. De otra parte, en lo que se refiere al pH de los filtros del sistema y el sumidero, se obtuvieron valores entre 5,6 y 6,9 en el filtro biológico, 5,7 y 6,7 en el filtro mecánico y 5,6 y 6,6 en el sumidero, valores similares que muestran también una ligera acidez y que están dentro de los parámetros normales [30].

Con respecto a las sustancias químicas producidas en acuaponía por efecto de los procesos metabólicos de las especies que participan en el sistema, es posible ver en la figura 8 que la concentración de amoníaco aumentó en las mediciones 4 y 5, lo anterior debido al incremento en la ración de la comida para los peces. Este aumento tiene implicaciones en la salud de las especies, debido a que el amoníaco a altas concentraciones es tóxico. El amoníaco es producido por las heces, orina y branquias de los peces, así como por la comida y la descomposición de la materia orgánica. La proporción de amoníaco puede aumentar la concentración de iones hidróxido, haciendo el pH más básico lo cual puede alterar la disponibilidad de nutrientes para organismos acuáticos. Los nitritos también pueden ser tóxicos y los nitratos son la forma de nitrógeno más viable para las plantas, constituyen un nutriente que es esencial para su crecimiento y desarrollo. Como resultados se obtuvieron los siguientes valores promedio para cada una de las sustancias: amoníaco 0,5 mg /L, nitritos 0,1 mg /L, nitratos 30,6 mg /L. Según el documento técnico de Pesca y Acuicultura de la [27], el amoníaco debe ser menor a 3 mg/L, los nitritos deben mantenerse por debajo de 1 mg/L y los nitratos deben tener una concentración entre 5-150 mg/L. Teniendo en cuenta lo anterior, se puede considerar que los datos obtenidos para estas sustancias utilizando el Master Test Kit Freshwater API que se basa en colorimetría, están dentro de los valores de referencia normales.

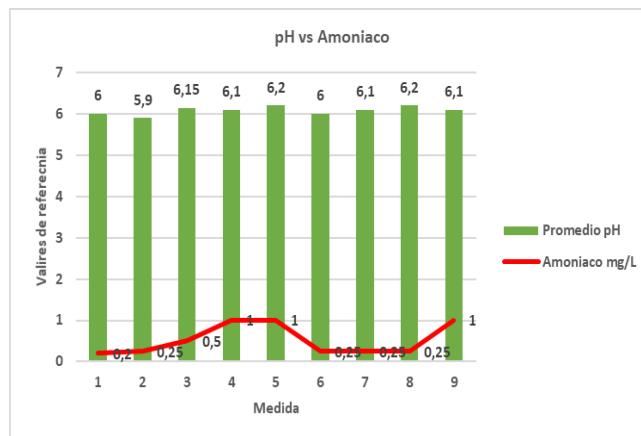


Figura 8. Relación pH y amoníaco en sistema acuapónico.

Fuente: elaboración propia

Lo anterior confirma que las condiciones de biofilm generadas en el prototipo proporcionaron un ecosistema dinámico, donde diferentes tasas de crecimiento entre las bacterias oxidantes de amoníaco y de nitrito como lo menciona [31]. Adicionalmente, la interacción de estas bacterias oxidantes y su desequilibrio de crecimiento son de considerable importancia en el proceso de nitrificación.

En cuanto a la relación oxígeno -luminosidad, en una reacción de nitrificación, el oxígeno actúa como reactivo, como agente oxidante, si su concentración disminuye hasta alcanzar valores por debajo de 2 mg/L, disminuye la reacción de nitrificación, por lo cual las bacterias no realizan una adecuada transformación de amoníaco a nitritos y de nitritos a nitratos. Como puede verse en la tabla 5, la concentración de oxígeno alcanzó un valor mínimo de 6,2 mg/L y un máximo de 7,7 mg/L, el promedio fue de 6,8 mg/L, encontrándose dentro del rango óptimo que es de 4-8 mg/L [16]. Las bacterias nitrificantes en un sistema acuapónico pueden ser afectadas por la luz del sol, razón por la cual éste debe protegerse de su acción directa. Por lo anterior, se comparó el oxígeno disuelto en agua y la luminosidad del estanque, resultados que se muestran en la tabla 5. Se obtuvo una correlación de 0,37 entre estas dos variables, lo cual indica que es positiva débil o baja, es decir que la variable luminosidad no le aporta a la variable oxígeno disuelto, es independiente, es una correlación poco probable o improbable.

Parámetro	Medidas desde siembra hasta cosecha									
Oxígeno disuelto	6,2	6,2	6,4	6,3	7,3	6,7	7,7	7,7	6,7	6,7
Luminosidad	27	27	27	25	45	34	37	22	23	
estanque	79	38	99	60	08	80	20	58	68	

Tabla 5. Relación oxígeno disuelto en agua versus luminosidad en sistema acuapónico.
Fuente: elaboración propia.

Otros parámetros importantes son los Sólidos Totales Disueltos (TDS) y la conductividad eléctrica, que se relacionan debido a que la concentración de TDS es la suma de los cationes y aniones que se encuentran en el agua como resultado de cargas eléctricas que contienen las sales, metales y minerales que se encuen-

tran disueltos en el agua. En la figura 9, se puede ver que la concentración de TDS en el agua osciló entre 90 y 460 mg/L, obteniéndose los valores más altos en las dos primeras mediciones debido a que el sistema en su etapa inicial es inestable y necesita adaptarse a las condiciones iniciales. La correlación de estas dos variables fue positiva fuerte o alta, con un valor de 0,76, lo que significa que la conductividad eléctrica depende de los TDS contenidos en el agua del estanque; es una correlación significativa, no funcionalmente exacta, es decir, están fuertemente relacionadas.

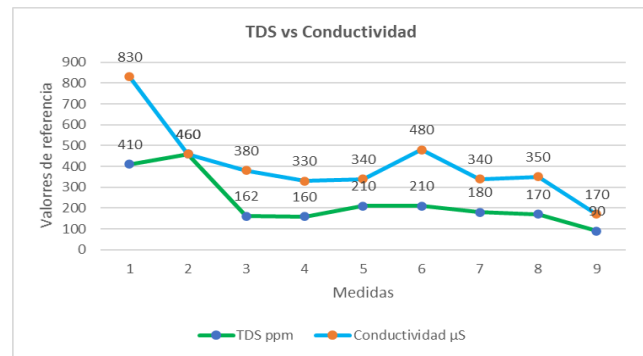


Figura 9. Relación de TDS y conductividad en sistema acuapónico.
Fuente: elaboración propia.

III. CONCLUSIONES

Las pruebas estadísticas realizadas permitieron establecer que el sustrato de hidrogel empleado en sistemas acuapónicos constituye un insumo para aumentar la nutrición de las especies vegetales, dada su capacidad de retención de nutrientes, así mismo, ofrece comodidad a la raíz para desarrollarse; además de ser una sustancia segura para la supervivencia de las especies animales y de las bacterias.

La capacidad del hidrogel para reservar agua (nutrientes) ofrece una alternativa para minimizar los recambios de agua en sistemas acuapónicos.

Los modelos matemáticos que representan el crecimiento de las plantas en un periodo de tiempo contemplado, desde su inserción al cultivo (siembra) hasta su etapa madura (recolección), permitió diferenciar la productividad por técnica, así como el medio de crecimiento (sustrato y raíz flotante), lo que posibilita realizar un estimado en otro experimento, además de caracterizar los individuos y el tipo de alimentación que provee la especie de pez con el que se está ali-

mentando el sistema.

En un sistema acuapónico, la nitrificación es un proceso imprescindible, determinante y esencial en la transformación del amoníaco tóxico y en la producción de nitratos como nutrientes para las plantas, para lo cual deben controlarse variables como pH, temperatura y oxígeno disuelto del agua, mantener una adecuada relación entre peces y plantas y contar con un eficiente sistema de filtración, circulación y recambio de agua.

Esta investigación indica que las carpas se pueden cultivar con éxito en combinación con lechuga en un sistema acuapónico acoplado en escenarios urbanos.

AGRADECIMIENTOS

El siguiente es un ejemplo de agradecimiento. Los autores reconocen las contribuciones de I. X. Austan, A. H. Burgmeyer, C. J. Essel y S. H. Gold a la versión original inglesa de este documento. Agradecen a C. Bravo y F. Crispino (Brasil), M. Cotorogea (México) y L. Antón, M. Castro J. García y M. Luque (España) las ayudas en la fijación de los criterios lingüísticos y en la elaboración de ejemplos de referencias.

REFERENCIAS

- [1] United Nations, "Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development," 2015. Acceso: 13 Jun 2025. [En línea]. Disponible en: <https://sdgs.un.org/2030agenda>. [].
- [2] M. Friuli, A. Masciullo, F. S. Blasi, M. Mita, L. Corbari, and I. Surano, "A 4.0 sustainable aquaponic system based on the combined use of superabsorbing natural hydrogels and innovative sensing technologies for the optimization of water use," in 2021 IEEE 6th International Forum on Research and Technology for Society and Industry (RTSI), 2021, pp. 429–434.
- [3] E. E. Osorto. "Producción de lechuga en acuaponía con adición de fertilizantes orgánicos líquidos y bacterias promotoras de crecimiento", tesis doctoral, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras, 2021.
- [4] A. S. Oladimeji, S. O. Olufeagba, V. O. Ayuba, S. G. Sololmon, and V. T. Okomoda, "Effects of different growth media on water quality and plant yield in a catfish-pumpkin aquaponics system," *Journal of King Saud University - Science*, vol. 32, no. 1, pp. 60–66, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2018.02.001>
- [5] P. Chen, G. Zhu, H. J. Kim, P. B. Brown, and J. Y. Huang, "Comparative life cycle assessment of aquaponics and hydroponics in the Midwestern United States," *Journal of Cleaner Production*, vol. 275, p. 122888, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122888>
- [6] J. Nissen y C. Ovando, "Efecto de un hidrogel humectado aplicado a las raíces de *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. y *Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst. durante su trasplante," *Agro Sur*, vol. 27, no. 2, pp. 48–58, 1999. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.4206/agrosur.1999.v27n2-05>
- [7] T. Chatzopoulos, I. P. Domínguez, M. Zampieri, and A. Toreti, "Climate extremes and agricultural commodity markets: A global economic analysis of regionally simulated events," *Weather and Climate Extremes*, vol. 27, p. 100193, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.wace.2019.100193>
- [8] A. N. Briceño Barón, A. N. Molina Rodríguez y M. J. Quiñones Martínez, "Diseño y caracterización de hidrogeles empleando *Eichhornia crassipes* (buchón de agua)", trabajo de grado, Universidad El Bosque, Bogotá, Colombia, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unbosque.edu.co/items/d725d0ee-b2a9-4789-8667-817819f7aa4c>
- [9] H. Andrada y G. Di Barbaro, "Efecto de la aplicación de copolímeros sobre el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.)", *Revista de Ciencias Agrícolas*, vol. 35, no. 2, pp. 27–35, 2018. [En línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v35n2/2256-2273-rcia-35-02-00027.pdf>
- [10] E. I. Laredo-Alcalá, A. Salinas-Gutiérrez, M. L. Chávez-Martínez, N. P. Meléndez-Rentería, C. L. Barrera-Martínez, T. A. Salinas-Jasso, y M. Á. De León-Zapata, "Efecto de hidrogeles biodegradables sobre la retención de humedad y la germinación de alfalfa", *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, vol. 10, no. 2, pp. 1-11, 2023. Doi: <https://doi.org/10.19136/era.a10n2.3133>
- [11] C. Manrique, "Integración de los campos del conocimiento hacia el desarrollo de competencias STEAM: una ruta metodológica en el marco del laboratorio vivo como ecosistema abierto de innovación", tesis doctoral, Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.usta.edu.co/handle/11634/51091>
- [12] J. Franco, "Evaluación de dos prototipos acuapónicos urbanos semiautomatizados para pro-

mover competencias educativas STEAM en estudiantes de décimo grado en dos instituciones educativas de Bogotá DC”, tesis de maestría, Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unillanos.edu.co/handle/001/4124>

[13] K. J. Obispo-Salazar y J. H. Wilches-Visbal, “Relación productividad académica-categoría de investigador Minciencias en el programa de psicología de una universidad colombiana”, *Revista Salud Uninorte*, vol. 40, no. 1, pp. 239–249, 2024. Doi: <https://dx.doi.org/10.14482/sun.40.01.658.001>

[14] L. E. Hernández Morelos, A. A. Díaz Ceballos, O. A. Aguilar Cristiani, R. S. Uribe Macedo y A. Medina Aguilar, “Propuesta de proceso de producción sostenible de fibras textiles para vestiduras a base de PET”, *Expo Ibero*, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.11777/5916>

[15] B. Ali, and Y. K. Rawal, “Evaluation of optimum dietary protein requirement for maximum growth of common carp (*Cyprinus carpio*) fingerlings” *Aquaculture Research*, vol. 53, no. 17, pp. 5915–5924, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1111/are.16059>.

[16] C. Somerville, M. Cohen, E. Pantanella, A. Stankus y A. Lovatelli, *Producción de alimentos en acuaponía a pequeña escala – Cultivo integral de peces y plantas*, FAO Documento Técnico de Pesca y Acuicultura No. 589, FAO, Roma, 2022. Doi: <https://doi.org/10.4060/i4021es>

[17] Y. Sierra Reyes, A. de Dios Martínez y A. Valido Tomes, “Análisis teórico-metodológico de la planificación territorial de la agricultura urbana”, *Retos de la Dirección*, vol. 17, no. 1, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://retos.reduc.edu.cu/index.php/retos/article/view/e23101>

[18] K. K. T. Nuwansi, A. K. Verma, C. Prakash, V. K. Tiwari, M. H. Chandrakant, A. P. Shete, and G. P. W. A. Prabhat, “Effect of water flow rate on polyculture of koi carp (*Cyprinus carpio* var. koi) and goldfish (*Carassius auratus*) with water spinach (*Ipomoea aquatica*) in recirculating aquaponic system,” *Aquaculture International*, vol. 24, no. 2, pp. 385–393, Apr. 2016. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10499-015-9932-5>.

[19] R. L. Naylor, R. J. Goldburg, J. H. Primavera, N. Kautsky, M. C. Beveridge, J. Clay, and M. Troell, “Effect of aquaculture on world fish supplies”, *Nature*, vol. 405, no. 6790, pp. 1017–1024, Jun. 2000.

Doi: <https://doi.org/10.1038/35016500>.

[20] G. V. Byrd, and B. R. Jha, “Relative growth of lettuce (*Lactuca sativa*) and common carp (*Cyprinus carpio*) in aquaponics with different types of fish food”, *Water*, vol. 14, no. 23, p. 3870, Dec. 2022. Doi: <https://doi.org/10.3390/w14233870>.

[21] A. R. Ahmed, A. N. Jha, and S. J. Davies, “The effect of dietary organic chromium on specific growth rate, tissue chromium concentrations, enzyme activities and histology in common carp, *Cyprinus carpio* L.”, *Biological Trace Element Research*, vol. 149, pp. 362–370, 2012. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12011-012-9436-3>.

[22] P. S. F. Aguilar, J. F. G. Trejo y S. I. M. Guido, “Acuaponía: Una alternativa versátil e integral en la producción de alimentos para el entorno mexicano”, *Digital Ciencia@uaqro*, vol. 14, no. 1, pp. 43–53, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.uaqro.mx/index.php/ciencia/article/view/101>

[23] B. Al-Khaziri, A. Al-Busaidi, Z. Al-Ghatami, and W. Gallardo, “Optimum stocking density of ‘koi’ carp (*Cyprinus carpio*) in combination with different plant species in an aquaponic system”, *Journal of Agricultural & Marine Sciences (JAMS)*, vol. 27, no. 1, pp. 77–89, 2022, Doi: <https://doi.org/10.53541/jams.vol27iss1pp77-89>.

[24] İ. Ertaş, M. A. Gökçe, H. Saygı, and A. Ertaş, “Investigation on basil (*Ocimum basilicum* L.) and lavender (*Lavandula angustifolia*) cultivation in aquaponic aquaculture (carp, *Cyprinus carpio* L.)”, *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, vol. 33, no. 4, pp. 618–633, 2023. Doi: <https://doi.org/10.29133/yyutbd.1286610>.

[25] T. Hussain, A. K. Verma, V. K. Tiwari, C. Prakash, G. Rathore, A. P. Shete, y K. K. T. Nuwansi, “Optimizing koi carp, *Cyprinus carpio* var. koi (Linnaeus, 1758), stocking density and nutrient recycling with spinach in an aquaponic system”, *Journal of the World Aquaculture Society*, vol. 45, no. 6, pp. 652–661, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1111/jwas.12159>.

[26] M. Aslanidou, A. Elvanidi, A. Mourantian, E. Levizou, E. Mente, y N. Katsoulas, “Nutrients use efficiency in coupled and decoupled aquaponic systems”, *Horticulturae*, vol. 9, no. 10, p. 1077, 2023. Doi: <https://doi.org/10.3390/horticulturae9101077>.

[27] R. J. Mena Flores, “Acuaponía como alternativa para la seguridad alimentaria en zonas urbanas de Cochabamba”, tesis de grado, Universidad mayor de San Simón, 2023. [En línea]. Disponible en: <http://hdl>.

handle.net/123456789/36740

[28] Aguirre

[29] Vaca y García

[30] Naciones Unidas, Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Edición Especial, 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/informe-ods/>

[31] Z. Hu, J. W. Lee, K. Chandran, S. Kim, A. C. Brotto, and S. K. Khanal, "Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics", *Bioresource. Technology*, vol. 188, pp. 92–98. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.01.013>



Juana Yadira Martín Perico.

Doctora en Educación, Universidad Santo Tomás, (2019). Magister en Gerencia de Proyectos, Universidad EAN (2015). Magíster en Educación, Universidad Santo Tomás (2019), Colombia. Especialista en Instrumentación Electrónica, Universidad Santo Tomás (2005). Ingeniera Biomédica, Universidad Manuela Beltrán (2002). Docente Investigadora y directora de tesis de doctorado de la Universidad Santo Tomás, Bogotá (Colombia). Las áreas de interés investigativo se refieren al diseño y desarrollo de ecosistemas sostenibles, prototipos tecnológicos, la ingeniería de materiales con aplicaciones ambientales y médicas, la biomecánica funcional animal y humana, los estudios de la transdisciplinariedad en la enseñanza de la ingeniería, el enfoque STEAM como didáctica y la enseñanza mediada por tecnologías.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5416-1393>



Julio Alejandro Franco Ortega.

Magíster en Acuicultura, Universidad de los Llanos (2023). Especialista en Acuicultura. Universidad de los Llanos (2019). Zootecnista, Universidad de la Salle (2011), Colombia. Director del programa de Especialización en Gestión de Agronegocios de Uniagraria de Colombia. Línea de investigación en acuicultura continental y producción animal. Sistemas tecnológicos de producción piscícola (acuaponía) y agronegocios.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3836-8535>



Dania Rocío Acosta Mesa.

Magíster en Gestión Ambiental, Universidad Sergio Arboleda (2020). Especialista en Gerencia Ambiental, Universidad Sergio Arboleda (2004). Licenciada en Química, Universidad Francisco José de Caldas (2001), Colombia. Docente investigadora de la Universidad Santo Tomás, sede Bogotá. Líder del comité de Calidad de la Universidad Santo Tomás, para el Departamento de Ciencias Básicas. Las líneas de investigación se refieren a ciencias química, química ambiental, medioambiente y sistemas de calidad.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4651-1071>



Carolina Manrique Torres.

Doctora en Educación, Universidad Santo Tomás (2023). Magíster de las Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional (2012). Licenciada en Matemáticas, Universidad Francisco José de Caldas (2004), Colombia. Las áreas de interés investigativo se refieren a la didáctica y pedagogía de las ciencias, la matemática aplicada, los sistemas agrícolas urbanos. Coordinadora de convivencia de la I.E.D. Ricaurte, Bogotá, Colombia.