

Tópicos de investigación agropecuaria con enfoque sustentable en México Volumen I

Ignacio Orona Castillo
Ernesto González Gaona
Roberto Sánchez Lucio
Alain Buendía García
Compiladores



2026

Ignacio Orona Castillo
Ernesto González Gaona
Roberto Sánchez Lucio
Alain Buendía García
Compiladores

**Tópicos de investigación agropecuaria con
enfoque sustentable en México**
Volumen I



Pantanal Editora

2026

Copyright© Pantanal Editora

Editor Jefe: Dr. Alan Mario Zuffo

Editores Ejecutivos: Dr. Jorge González Aguilera y Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira

Diseño: El editor. **Diseño y arte:** el editor. Imágenes de portada y contraportada: Canva.com. **Reseña:** Autor(es), organizador(es) y editor.

Consejo editorial

Grado académico y nombre

Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos
Profa. MSc. Adriana Flávia Neu
Profa. Dra. Albys Ferrer Dubois
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior
Profa. MSc. Aris Verdecia Peña
Profa. Arisleidis Chapman Verdecia
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva
Prof. Dr. Bruno Gomes de Araújo
Prof. Dr. Caio Cesar Enside de Abreu
Prof. Dr. Carlos Nick
Prof. Dr. Claudio Silveira Maia
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos
Prof. Dr. Cristiano Pereira da Silva
Profa. Ma. Dayse Rodrigues dos Santos
Prof. MSc. David Chacon Alvarez
Prof. Dr. Denis Silva Nogueira
Profa. Dra. Denise Silva Nogueira
Profa. Dra. Dennyura Oliveira Galvão
Prof. Dr. Elias Rocha Gonçalves
Prof. Me. Ernane Rosa Martins
Prof. Dr. Fábio Steiner
Prof. Dr. Fabiano dos Santos Souza
Prof. Dr. Gabriel Andres Tafur Gomez
Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzáles
Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira
Prof. MSc. Javier Revilla Armesto
Prof. MSc. João Camilo Sevilla
Prof. Dr. José Luis Soto Gonzales
Prof. Dr. Julio Cezar Uzinski
Prof. MSc. Lucas R. Oliveira
Prof. Dr. Luciano Façanha Marques
Profa. Dra. Keyla Christina Almeida Portela
Prof. Dr. Leandro Argentel-Martínez
Profa. MSc. Lidiene Jaqueline de Souza Costa Marchesan
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann
Prof. MSc. Marcos Pisarski Júnior
Prof. Dr. Marcos Pereira dos Santos
Prof. Dr. Mario Rodrigo Esparza Mantilla
Profa. MSc. Mary Jose Almeida Pereira
Profa. MSc. Núbia Flávia Oliveira Mendes
Profa. MSc. Nila Luciana Vilhena Madureira
Profa. Dra. Patrícia Maurer
Profa. Dra. Queila Pahim da Silva
Prof. Dr. Rafael Chapman Auty
Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke
Prof. Dr. Raphael Reis da Silva
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes
Prof. Dr. Ricardo Alves de Araújo (*In Memoriam*)
Profa. Dra. Sylvana Karla da Silva de Lemos Santos
Prof. Dr. Tayronne de Almeida Rodrigues
Prof. Dr. Ugur Azizoglu
Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca
Prof. MSc. Wesclen Vilar Nogueira
Profa. Dra. Yilan Fung Boix
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme

Institución

OAB/PB
Mun. Faxinal Soturno e Tupanciretã
UO (Cuba)
IF SUDESTE MG
Facultad de Medicina (Cuba)
ISCM (Cuba)
UFESSPA
UEA
UNEMAT
UFV
AJES
UFGD
UEMS
IFPA
UNICENTRO
IFMT
UFMG
URCA
ISEPAM-FAETEC
IFG
UEMS
UFF
(Colômbia)
UNAM (Peru)
IFRR
UCG (México)
Rede Municipal de Niterói (RJ)
UNMSM (Peru)
UFMT
SED Mato Grosso do Sul
UEMA
IFPR
Tec-NM (México)
Consultório em Santa Maria
UFJF
UEG
FAQ
UNAM (Peru)
SEDUC/PA
IFB
IFPA
UNIPAMPA
IFB
UO (Cuba)
UFMS
UFPI
UFG
UEMA
IFB
Sec. Mun. de Educação, Cultura e Tecnologia de Araripe
Universidade Kayseri, Türkiye
UFPI
FURG
UO (Cuba)
UFT

Consejo Científico Técnico
- Esp. Joacir Mário Zuffo Júnior
- Esp. Maurício Amormino Júnior
- Lda. Rosalina Eufrausino Lustosa Zuffo

Hoja de catálogo

Catalogación en la publicación
Elaborado por la Bibliotecaria Janaina Ramos – CRB-8/9166

T674

Tópicos de investigación agropecuaria con enfoque sustentable en México - Volumen I / Organización Ignacio Orona Castillo, Ernesto González Gaona, Roberto Sánchez Lucio, et al. – Nova Xavantina-MT: Pantanal, 2026.
181p. ; il.

Otro organizador: Alain Buendía García.

Livro em PDF

ISBN 978-65-85756-74-7

DOI <https://doi.org/10.46420/9786585756747>

1. Agricultura orgânica. 2. Sustentabilidade. 3. Produção alimentaria. I. Castillo, Ignacio Orona (Organización). II. Gaona, Ernesto González (Organización). III. Lucio, Roberto Sanchez (Organización). IV. Título.

CDD 630

Índice para catálogo sistemático

I. Agricultura orgânica



Nuestros libros electrónicos son gratuitos y se permite el acceso público, la descarga y el intercambio, pero solicitamos que se dé el debido crédito a Pantanal Editora y también a los organizadores y autores. Sin embargo, no se permite el uso de libros electrónicos con fines comerciales, salvo autorización expresa de los autores y acuerdo de Pantanal Editora.

Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000.
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil.
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp).
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br

Presentación

El contenido de ésta obra, titulada: Tópicos de investigación agropecuaria con enfoque sustentable en México en su primer Volumen, presenta algunas estrategias de manejo sustentable para la producción de alimentos en México, producto de resultados de investigación de un grupo de investigadores-especialistas en la temática, que pertenecen a prestigiadas instituciones de México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Universidad Juárez del Estado de Durango, Instituto Tecnológico de Torreón, Universidad Autónoma Chapingo, Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Durango y la Universidad Politécnica Región Laguna cuya contribución busca ofrecer un mejor futuro, mediante el análisis de técnicas de cultivo que conservan los recursos del medio ambiente, con un enfoque de producción sostenible y de impacto positivo en la economía y en la sociedad.

La agricultura orgánica es una forma de obtener alimentos libres de residuos como fertilizantes y plaguicidas en general. Busca la sustentabilidad mediante el manejo integral del agua y del suelo, considerando su permanencia para garantizar alimentos sanos y abundantes a una sociedad en constante crecimiento.

El objetivo es ofrecer alternativas y experiencias para mejorar la calidad y cantidad de alimentos en beneficio de la población y ello se refleje en mejores ingresos y bienestar del productor.

Los compiladores

Índice

Presentación	4
Introducción	6
Capítulo 1	7
Evaluación de Soluciones Nutritivas en el Desarrollo y la Producción de Forraje Verde Hidropónico	7
Capítulo 2	18
Rendimiento y Calidad Fitoquímica de Frutos de Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) Por Efecto del Estiércol Solarizado y la Inoculación con <i>Azospirillum brasilense</i>	18
Capítulo 3	40
La producción de café por productores del Grupo Terruño Nayarita en México	40
Capítulo 4	55
Perfil Fitoquímico en Chiles Tratados con Fertilización orgánica	55
Capítulo 5	68
Dinámica de Nitratos en la Producción de Lechuga en Acuaponía	68
Capítulo 6	81
Orégano mexicano, propagación y sus propiedades fitoquímicas: una revisión	81
Capítulo 7	94
Efectos de la Fertilización Orgánica e Inorgánica en el cultivo de Chile Jalapeño <i>Capsicum annuum</i> L. var. Autlan en las Características Físico-Químico-Biológicas del Suelo	94
Capítulo 8	116
Biofertilizantes como Alternativa de Producción en dos Genotipos de Maíz Forrajero	116
Capítulo 9	131
Respuesta del cultivo de Quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd) a sustratos orgánicos formulados con diferentes proporciones de Vermicompost: Arena	131
Capítulo 10	145
Uso de Enmiendas Orgánicas en la Agricultura: Una Revisión Sistemática Sobre sus Efectos en el Crecimiento, Rendimiento y Calidad de los Cultivos	145
Capítulo 11	171
Aprovechamiento de Candelilla (<i>Euphorbia antisyphilitica</i> Zucc.) para la Formulación de un Tratamiento Dermatológico	171
Índice	180
Los organizadores	181

INTRODUCCIÓN



El cultivo de la tierra surge como una necesidad para la permanencia del hombre en la tierra; la recolección de plantas y frutos la antecedió una vez que el *Homo sapiens* se hizo sedentario. Sin embargo; a través de los siglos, la combinación de recursos utilizados en la producción de alimentos agropecuarios ha ido cambiando, motivado por el crecimiento demográfico como por el uso de insumos de origen químico en la agricultura.

Los sistemas de riego han dado respuesta al mejor aprovechamiento del recurso ante la cada vez mayor escasez en cantidad y calidad del agua, y nuevos tipos de agricultura protegida e intensiva han prosperado a fin de satisfacer la demanda de insumos a la industria agroalimentaria que abastece el consumo alimenticio de una población en constante crecimiento, surgiendo así el uso de semillas transgénicas resistentes a sequía, plagas y enfermedades.

Como una respuesta a la producción de alimentos libres de residuos tóxicos y en armonía con la naturaleza surge la agricultura orgánica, que busca proteger el medio ambiente y la salud humana, por lo cual, el propósito de este libro, es mostrar avances de investigación logrados en distintos temas como son: el uso de estiércoles y vermicompostas, uso de bacterias promotoras de crecimiento, biofertilizantes, control biológico de plagas y sustratos en los cultivos de tomate, café, algodónero, chile jalapeño, maíz forrajero, nogal pecanero, y la producción de café.



Dinámica de Nitratos en la Producción de Lechuga en Acuaponía

Nitrate Dynamics in Lettuce Production in Aquaponics

Recibida em: 07/11/25

Aprobado em: 04/02/2026

 10.46420/9786585756747cap5

Itzel Guadalupe Alvarado-Móntez¹ 

Silvia Rodríguez-Pérez¹ 

Magdalena Galindo-Guzmán¹ 

Susana Torres-Valles¹ 

Alfredo Daniel Rivera-Zamarripa¹ 

Oscar Alan Segura-Echevarria¹ 

Juan Luis Ríos Plaza^{1‡} 



¹ Universidad Politécnica de la Región Laguna, Calle Sin Nombre Sin Número Ejido Santa Teresa Municipio de San Pedro de las Colonias, Coahuila, México C.P. 27942.

‡ Autor para correspondencia: jriosplaza@gmail.com

RESUMEN

Uno de los principales retos de la acuicultura es la acumulación de compuestos nitrogenados derivados de las excretas de los peces, lo que puede afectar la calidad del agua y aumentar los costos de producción asociados al manejo y tratamiento de efluentes. En este contexto, la acuaponía surge como una alternativa que integra la producción de peces y hortalizas, permitiendo el aprovechamiento de los nutrientes generados en el sistema mediante su asimilación por las plantas. El presente estudio se desarrolló en el invernadero experimental de la Universidad Politécnica de la Región Laguna, con el objetivo de evaluar la dinámica de la concentración de nitratos y su relación con el desarrollo morfológico de la lechuga (altura) y la mojarra tilapia (longitud) producidas en un sistema acuapónico durante el periodo agosto–diciembre de 2021. Se realizaron mediciones semanales de la concentración de nitratos en el agua, así como del crecimiento de los peces y las plantas, a partir de muestras representativas. Los resultados mostraron un crecimiento progresivo tanto de las tilapias como de las plantas de lechuga, acompañado de fluctuaciones en la concentración de nitratos a lo largo del periodo de estudio. Las tendencias observadas sugieren que la asimilación de nitratos por parte de las plantas contribuyó a mantener la calidad del agua dentro de rangos adecuados para el desarrollo de ambos componentes del sistema. En conjunto, los resultados indican que la acuaponía puede favorecer un manejo más eficiente de los nutrientes y del recurso hídrico, lo que la posiciona como una alternativa con potencial para la producción integrada de alimentos en contextos con limitaciones de agua. No obstante, se reconoce la necesidad de realizar estudios adicionales que profundicen en la dinámica de los compuestos nitrogenados bajo condiciones de mayor carga biológica.

Palabras clave: sistemas integrados, reciclaje de nutrientes, producción sustentable, calidad del agua, interacción pez–planta.

SUMMARY

One of the main challenges in aquaculture is the accumulation of nitrogenous compounds derived from fish excreta, which can negatively affect water quality and increase production costs associated with effluent management. In this context, aquaponics has emerged as an alternative production system that integrates fish and vegetable cultivation, allowing the nutrients generated within the system to be reutilized through plant assimilation. The present study was conducted at the experimental greenhouse facilities of the Polytechnic University of the Laguna Region, with the objective of evaluating the dynamics of nitrate concentration and its relationship with the morphological development of lettuce (height) and tilapia mojarra (length) produced in an aquaponic system during the period from August to December 2021. Weekly measurements of nitrate concentration in the system water were performed, along with assessments of fish and plant growth based on representative samples. The results showed a progressive increase in both tilapia length and lettuce height throughout the study period, accompanied by fluctuations in nitrate concentration over time. The observed trends suggest that nitrate assimilation

by plants contributed to maintaining water quality within ranges suitable for the development of both biological components of the system. Overall, the findings indicate that aquaponics can promote more efficient management of nutrients and water resources, positioning it as a production alternative with potential for integrated food production in water-limited environments. However, further studies are needed to deepen the understanding of nitrogen compound dynamics under conditions of higher biological load and extended production cycles.

Index Words: integrated systems, nutrient recycling, sustainable production, water quality, fish–plant interaction.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la acuaponía ha despertado un interés creciente tanto a nivel internacional como en México, debido a su potencial para integrar la producción de peces y hortalizas en sistemas más sostenibles y resilientes. Este interés se ha visto impulsado por la necesidad de optimizar el uso de los recursos naturales en un contexto de cambio climático, escasez hídrica y crecimiento demográfico, particularmente en regiones con limitaciones ambientales (Goddek et al., 2019). La diversidad geográfica de México, que abarca desde zonas áridas y semiáridas hasta regiones de alta pluviosidad, representa un escenario con amplias oportunidades, pero también con importantes desafíos, para la implementación de sistemas acuapónicos adaptados a condiciones locales específicas (Savidov, 2013).

La acuacultura es una actividad productiva relativamente joven e innovadora, caracterizada por elevadas tasas de crecimiento a nivel mundial y una contribución cada vez mayor al suministro de alimentos de origen acuático. No obstante, el desarrollo sostenible de esta actividad depende en gran medida del uso eficiente del agua y del manejo adecuado de los residuos derivados de la alimentación y de las excretas de los peces. La acumulación de estos residuos puede comprometer la calidad del agua y afectar negativamente el crecimiento y la salud de los organismos cultivados, lo que ha impulsado el desarrollo de sistemas de recirculación y tecnologías orientadas a minimizar el impacto ambiental de la producción acuícola (FAO, 2023; Timmons et al., 2018).

Por otra parte, la producción de hortalizas en México desempeña un papel fundamental en la seguridad alimentaria, la generación de empleo y la contribución al Producto Interno Bruto (PIB) agrícola. Las hortalizas constituyen una fuente esencial de vitaminas, minerales y fibra en la dieta humana, y su producción local permite garantizar un suministro constante de alimentos frescos y nutritivos para la población (SAGARPA, 2018). Además, este sector genera una cantidad significativa de empleos en zonas rurales y periurbanas, abarcando actividades que van desde la siembra y el cultivo hasta la cosecha, el procesamiento y la comercialización, lo que contribuye al desarrollo económico local y a la reducción de la migración hacia áreas urbanas (SIAP, 2020). De acuerdo con datos oficiales, las hortalizas representan una proporción relevante del valor total de la producción agrícola nacional, con una contribución

significativa al PIB agropecuario (SIAP, 2021), y ofrecen a los productores la posibilidad de diversificar cultivos y optimizar el uso de la tierra y otros recursos productivos (SENASICA, 2019).

Dentro de este contexto, la lechuga (*Lactuca sativa*) destaca como uno de los cultivos hortícolas de mayor importancia económica y alimentaria en México. Su amplia adaptabilidad a distintas condiciones climáticas y su demanda constante en el mercado interno y de exportación permiten su producción durante todo el año, consolidándola como un cultivo estratégico dentro de la horticultura nacional (Valdez y García, 2010). En este sentido, el cultivo de lechuga en sistemas hidropónicos ha surgido como una alternativa eficiente e innovadora, al ofrecer ventajas como un uso más racional del agua y los nutrientes, un mayor control del ambiente de crecimiento y una reducción del impacto ambiental asociado con la agricultura convencional (Gómez y Martínez, 2017). Diversos estudios han demostrado que estos sistemas permiten un suministro continuo de agua y nutrientes directamente a las raíces, lo que favorece un crecimiento rápido y uniforme, reduce la incidencia de enfermedades y plagas, y mejora la calidad del producto final al eliminar el suelo como medio de cultivo (Tejada et al., 2018). En México, la adopción de la hidroponía para la producción de lechuga ha mostrado un crecimiento sostenido en los últimos años, impulsado por el reconocimiento de sus beneficios productivos y ambientales, así como por el avance en la investigación y el desarrollo tecnológico en este campo (Rodríguez y Arrieta, 2009).

En el marco del creciente interés por sistemas alimentarios sostenibles, la acuaponía ha emergido como una alternativa integradora que combina la acuicultura y la hidroponía en un sistema de recirculación cerrado, donde los desechos metabólicos de los peces son transformados en nutrientes aprovechables por las plantas. Este enfoque ha cobrado especial relevancia en regiones con limitaciones de agua y suelo, ya que permite maximizar la eficiencia en el uso de los recursos y reducir la generación de residuos. A nivel global, la acuicultura es uno de los sectores de producción de alimentos con mayor crecimiento y aporta aproximadamente el 50 % del alimento acuático destinado al consumo humano, lo que resalta la importancia de desarrollar modelos productivos más eficientes y ambientalmente responsables (FAO, 2023).

En México, la acuaponía presenta un potencial considerable para fortalecer la producción de alimentos, mejorar la eficiencia en el uso del agua y contribuir a la seguridad alimentaria, particularmente en regiones áridas y semiáridas. Estudios experimentales desarrollados en el norte del país han demostrado que los sistemas acuapónicos pueden mejorar la eficiencia hídrica, optimizar el reciclaje de nutrientes y favorecer el crecimiento simultáneo de peces y hortalizas bajo condiciones de baja tecnología, lo que resalta su viabilidad como alternativa productiva en contextos con recursos limitados (Cervantes-Vázquez et al., 2025). No obstante, la adopción generalizada de la acuaponía enfrenta diversos desafíos, entre los que se incluyen los costos iniciales de instalación, la necesidad de capacitación técnica especializada y ciertos obstáculos regulatorios. Asimismo, la limitada disponibilidad de estudios enfocados en la adaptación de estos sistemas a condiciones locales y en la evaluación de su viabilidad

económica y ambiental ha restringido su implementación a mayor escala (Takemura et al., 2017; Akhondali et al., 2021).

Desde la perspectiva de la calidad del agua en sistemas acuapónicos, resulta fundamental evitar la acumulación de compuestos nitrogenados tóxicos como el amoníaco (NH_3), el ion amonio (NH_4^+) y los nitritos (NO_2^-), derivados de la descomposición del alimento no consumido y de los residuos metabólicos de los peces, ya que estos pueden afectar negativamente su salud y desempeño productivo (Timmons et al., 2018). En este contexto, los nitratos, producto final del proceso de nitrificación bacteriana, adquieren un papel central, al constituir una fuente esencial de nitrógeno para el crecimiento de las plantas dentro del sistema.

Los nitratos son fundamentales para el desarrollo de la lechuga en sistemas acuapónicos, ya que son absorbidos por las raíces y participan en procesos metabólicos esenciales relacionados con la síntesis de aminoácidos, proteínas y otros compuestos estructurales. Un suministro adecuado de nitratos favorece el crecimiento vegetativo, incrementa la producción de hojas y promueve el desarrollo del sistema radicular, lo que se traduce en una mayor productividad del cultivo (Ruiz et al., 2010). Asimismo, se ha documentado que la disponibilidad balanceada de nitratos puede influir positivamente en la calidad nutricional de la lechuga, incluyendo la concentración de antioxidantes y otros metabolitos de interés para la salud humana (Kopsell et al., 2007).

Además de su efecto sobre el crecimiento y la calidad nutricional, la concentración de nitratos en el agua puede influir en las características organolépticas de la lechuga. Niveles adecuados se asocian con un sabor fresco y una textura crujiente, mientras que concentraciones excesivas pueden inducir sabores amargos y una textura más fibrosa del tejido vegetal (Colla et al., 2013). De igual forma, se ha reportado que un suministro equilibrado de nitratos puede mejorar la tolerancia de las plantas al estrés ambiental, como condiciones de sequía o temperaturas elevadas, contribuyendo a una mayor estabilidad productiva del sistema (Ntatsi et al., 2013).

Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar la dinámica de la concentración de nitratos y su relación con el desarrollo morfológico de la lechuga (altura) y la mojarra tilapia (longitud), producidas en un sistema acuapónico durante el periodo agosto–diciembre de 2021, en las instalaciones de la Universidad Politécnica de la Región Laguna.

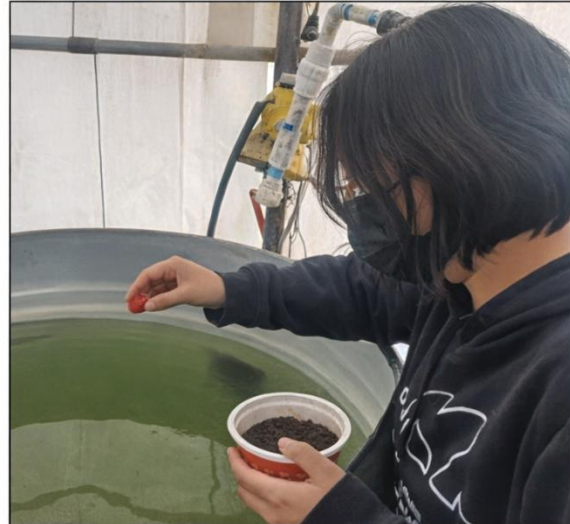
MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del estudio

El presente proyecto se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Politécnica de la Región Laguna en el periodo de agosto del 2021 a abril del 2022.



A) Siembra de tilapia



B) Alimentación de tilapia

Figura 1. Operación en el sistema acuapónico: A) Siembra de tilapia y B) Alimentación diaria.

Siembra de tilapias

Para la producción de tilapia se sembraron 500 alevines de 1.9 cm en promedio de longitud y 2.13 gramos de peso en un tanque de 1200 litros de capacidad (Figura 1A), el cual contaba con dos termostatos para un control de temperatura a 29°C del agua, así mismo se les proporcionó una alimentación comercial para peces destinados a consumo humano de la marca Bluefish a libre demanda (Figura 1B), hasta que las tilapias alcanzaron un tamaño de 17 cm aproximadamente en promedio, ya luego se les cambio la alimentación por un alimento comercial para desarrollo de peces destinados a consumo humano de la marca Bluefish con una dosis de 4 gramos por individuo al día.

Trasplante de lechuga

Para la producción de lechuga, se llevaron a trasplante dentro de la acuaponía en balsas flotantes (Figura 2A), 100 individuos con una altura aproximada de 4.6 cm, las balsas flotantes estuvieron formadas por pliegos de unicel de 100 x 50 cm, con un espesor de 2 cm, en el cual se realizaron perforaciones circulares de 3 cm de diámetro, donde se colocarían las plantas de lechuga sujetas con un trozo de foami para que no se movieran de lugar las plantas. En cada charola se realizaron 25 perforaciones perfectamente distribuidas.



Figura 2. A) Trasplante de lechuga en acuaponía B) Medición de parámetros en agua.

Medición de Nitratos

Para la medición de nitratos se utilizó un aparato de la marca LAQWAtwin modelo NO3-11 que utiliza el principio de medición de electrodo selectivo de iones (ISE) con rango de 6 a 9900 ppm de nitratos (Figura 2B).

Medición de altura de planta

Para la medición de altura de planta de lechuga, se utilizó una regla de 30 cm, haciendo una medición cada 2 semanas desde el trasplante hasta la semana de cosecha (semana 8), tomando como parámetro la hoja más larga de la lechuga, teniendo en cuenta solamente 20 individuos como muestra representativa, de manera aleatoria, previamente seleccionadas y marcadas.

Medición de la talla de tilapias

Para la medición de la talla de las tilapias, se utilizó un vernier digital, previamente calibrado, seleccionando de manera aleatoria durante el experimento 50 individuos cada 2 semanas, a los cuales se les tomaba el largo desde la punta de la cola hasta la boca (Figura 3).



Figura 3. Medición de la talla de la tilapia de manera catorcenal.

Análisis de datos

Para el análisis de los datos se utilizó el programa Microsoft Excel (Microsoft 365®). Debido al enfoque descriptivo y exploratorio del estudio, orientado a analizar la dinámica temporal de la concentración de nitratos y su relación con el crecimiento de los peces y las plantas dentro del sistema acuapónico, se empleó estadística descriptiva como herramienta principal de análisis.

Se calcularon valores promedio de la talla de los peces y de la altura de las plantas por cada día de medición, con el fin de obtener datos representativos de cada variable a lo largo del periodo experimental. Estos valores permitieron describir tendencias generales y patrones de comportamiento del sistema, sin el objetivo de establecer comparaciones estadísticas inferenciales entre tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos muestran una tendencia de crecimiento progresivo en la talla de las tilapias a lo largo del periodo de evaluación, tal como se observa en la Figura 4. Este comportamiento es consistente con lo reportado en la literatura para sistemas acuapónicos bien manejados, donde la calidad del agua y la disponibilidad continua de nutrientes favorecen un desarrollo adecuado de los peces (Goddek et al., 2019). El incremento gradual en la longitud de las tilapias sugiere que las condiciones del sistema fueron apropiadas para su crecimiento, sin evidenciar efectos adversos asociados a la acumulación de compuestos nitrogenados durante el periodo de estudio.

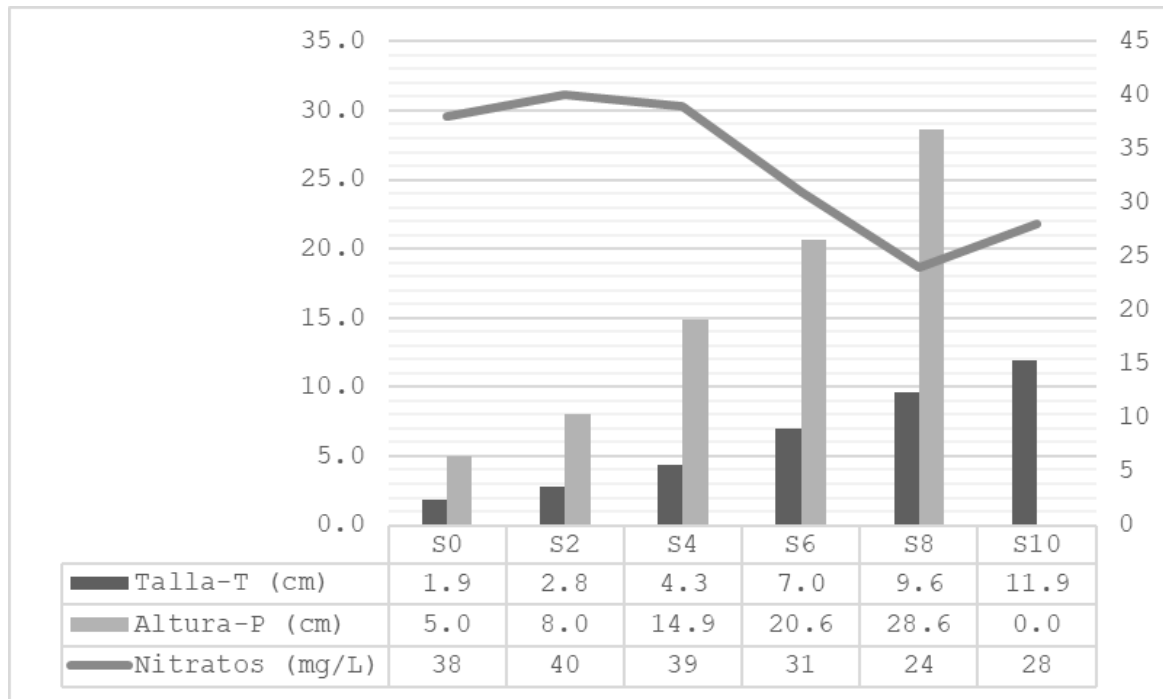


Figura 4. Dinámica semanal de nitratos respecto al crecimiento de planta (cm) y crecimiento de los peces (cm) en el sistema acuapónico.

De manera paralela, se observó un aumento sostenido en la altura de las plantas de lechuga, lo cual concuerda con estudios previos que documentan el buen desempeño de este cultivo en sistemas acuapónicos, donde los nutrientes derivados de los desechos metabólicos de los peces son aprovechados eficientemente por las plantas (Endut et al., 2010). Este crecimiento vegetal refleja la capacidad del sistema para mantener una disponibilidad adecuada de nutrientes, particularmente nitrógeno en forma de nitratos, elemento esencial para el desarrollo vegetativo de la lechuga.



Figura 5. Medición de parámetros en agua y acumulación de desechos de la tilapia en el agua del sistema.

La dinámica observada en la concentración de nitratos sugiere una relación funcional con el crecimiento simultáneo de peces y plantas dentro del sistema. A medida que las tilapias incrementaron su talla, se generaron compuestos nitrogenados producto de su metabolismo, los cuales fueron

transformados mediante procesos de nitrificación y posteriormente absorbidos por las plantas. Este equilibrio entre la producción de nitratos y su asimilación por la lechuga contribuyó a mantener concentraciones dentro de rangos adecuados para ambos organismos, evitando efectos negativos sobre la calidad del agua y favoreciendo la estabilidad del sistema acuapónico.

En conjunto, los resultados indican que el sistema evaluado permitió una interacción eficiente entre los componentes biológicos, evidenciada por el crecimiento concurrente de tilapias y lechugas y por la regulación natural de los nitratos en el agua. Si bien el presente estudio tiene un enfoque descriptivo y no pretende establecer relaciones estadísticas inferenciales, las tendencias observadas aportan evidencia relevante sobre el funcionamiento integral del sistema y resaltan la importancia del manejo adecuado de los nutrientes para optimizar la productividad en sistemas acuapónicos.

Se observó que, conforme avanzó el crecimiento de las plantas de lechuga, la concentración de nitratos en el agua del sistema mostró una tendencia a disminuir. Este comportamiento sugiere una mayor asimilación de nitratos por parte de las plantas a medida que incrementan su biomasa, lo cual es consistente con el funcionamiento esperado de los sistemas acuapónicos, donde los vegetales aprovechan los nutrientes derivados del metabolismo de los peces (Figura 4). Desde una perspectiva funcional, esta dinámica contribuye a la regulación de la calidad del agua y puede favorecer condiciones más estables para el desarrollo de los organismos acuáticos.

A pesar de las fluctuaciones observadas en la concentración de nitratos a lo largo del periodo de estudio, los valores se mantuvieron dentro de rangos considerados adecuados para el crecimiento vegetal en sistemas acuapónicos. Diversos estudios han reportado que concentraciones moderadas de nitratos favorecen el desarrollo de cultivos hidropónicos y acuapónicos, siempre que exista un equilibrio entre la producción y la absorción de nutrientes (Love et al., 2015; Goddek et al., 2019). Los valores registrados en el presente estudio se encuentran dentro de estos rangos funcionales, lo que sugiere un manejo adecuado de los nutrientes y una interacción eficiente entre los componentes del sistema.



Figura 6. Resultados de la producción de lechuga en acuaponía.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos, el sistema acuapónico evaluado mostró un comportamiento funcional adecuado, evidenciado por el crecimiento concurrente de las plantas de lechuga y las tilapias, así como por la dinámica observada en la concentración de nitratos en el agua. Las tendencias registradas sugieren que la absorción de nitratos por parte de las plantas contribuyó a mantener la calidad del agua dentro de rangos favorables para el desarrollo de ambos componentes biológicos del sistema.

Desde una perspectiva productiva y ambiental, los resultados indican que la acuaponía representa una alternativa con potencial para la producción integrada de alimentos, al favorecer el aprovechamiento de los nutrientes generados en el sistema y promover un uso más eficiente del recurso hídrico. Este enfoque resulta especialmente relevante en contextos donde la disponibilidad de agua es limitada y se buscan estrategias de producción con menor impacto ambiental.

No obstante, los resultados obtenidos corresponden a un sistema de escala y periodo específicos, por lo que se reconoce la necesidad de realizar estudios adicionales que profundicen en la dinámica de los compuestos nitrogenados bajo condiciones de mayor carga biológica, particularmente en etapas avanzadas de crecimiento de los peces. Este tipo de investigaciones permitiría evaluar con mayor detalle

posibles efectos de acumulación y fortalecer las estrategias de manejo para garantizar la estabilidad y sostenibilidad de los sistemas acuapónicos.

LITERATURA CITADA

- Akhondali, A., Seidavi, A., Dadashbeiki, M., Laudadio, V., & Tufarelli, V. (2021). A critical review of aquaponic systems: Challenges and prospects with emphasis on environmental sustainability. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(3), 2650–2664. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11059-2>
- Cervantes-Vázquez, M. G., Cervantes-Vázquez, T. J. Á., Luna-Ortega, J. G., Galindo-Guzmán, M., Galindo-Guzmán, A. P., González-Torres, A., & Ríos-Plaza, J. L. (2025). Producción acuapónica de tilapia y lechuga en regiones semiáridas: Eficiencia hídrica y reciclaje de nutrientes. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 28, Article 153. <https://doi.org/10.56369/tsaes.6480>
- Colla, G., Roupael, Y., Cardarelli, M., Svecova, E., Rea, E., & Lucini, L. (2013). Effects of saline stress on mineral composition, phenolic acids and flavonoids in leaves of artichoke and cardoon genotypes grown in floating system. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(5), 1119–1127. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5871>
- Endut, A., Jusoh, A., Ali, N., Wan Nik, W. B., & Hassan, A. (2010). A study on the optimal hydraulic loading rate and plant ratios in recirculation aquaponic system. *Bioresource Technology*, 101(5), 1511–1517. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.09.040>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). The state of world fisheries and aquaculture 2023. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., Dos-Santos, M., & Savidov, N. (2019). Aquaponics and global food challenges. In S. Goddek, A. Joyce, B. Kotzen, & G. M. Burnell (Eds.), *Aquaponics food production systems* (pp. 3–25). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_1
- Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K. V., Jijakli, H., & Thorarinsdottir, R. (2020). Challenges of sustainable and commercial aquaponics. *Sustainability*, 12(17), 7005. <https://doi.org/10.3390/su12177005>
- Gómez, J. M. C., & Martínez, S. C. (2017). Hidroponía: Alternativa de cultivo para la producción de hortalizas en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(4), 913–924.
- Kopsell, D. A., Sams, C. E., Barickman, T. C., Morrow, R. C., & McElroy, J. S. (2007). Influence of electrical conductivity and spectral quality on growth and phytonutrient content of kale and basil grown in hydroponic systems. *HortScience*, 42(1), 91–95. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.42.1.91>
- Love, D. C., Fry, J. P., Genello, L., Hill, E. S., Semmens, K., & Thompson, R. E. (2015). An international survey of aquaponics practitioners. *Plos One*, 10(7), e0132340. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132340>

- Ntatsi, G., Savvas, D., Huntentburg, K., Druege, U., & Schwarz, D. (2013). Root-zone cooling delays leaf senescence and preserves fruit yield of sweet pepper grown under greenhouse conditions with high air humidity. *Annals of Applied Biology*, 163(1), 73–88. <https://doi.org/10.1111/aab.12037>
- Rodríguez, M. A., & Arrieta, M. C. (2009). Producción de lechuga en invernadero. *Agricultura Técnica en México*, 35(1), 51–58.
- Ruiz, J. M., Rivero, R. M., López-Cantarero, I., Romero, L., & Sánchez, E. (2010). Effects of nitrogen supply on antioxidant systems in plants. *Environmental and Experimental Botany*, 68(2), 113–121. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.10.007>
- Savidov, N. (2013). World aquaponics: Status and challenges. *Aquaponics Journal*, 69, 24–28.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2018). Atlas agroalimentario 2018. SAGARPA.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2020). Anuario estadístico de la producción agrícola. SIAP.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2021). Estadísticas agroalimentarias. SIAP.
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (2019). Cifras que hablan de la importancia de la sanidad agroalimentaria en México. SENASICA.
- Takemura, A., Takano, H., Satoh, S., & Ushimaru, A. (2017). Aquaponics: Integrating fish feeding rates with nutrient dynamics for sustainable farming. *Aquaculture*, 473, 82–89. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.02.021>
- Tejada, A. C., Del Ángel, M. F., & Ochoa, J. L. R. (2018). Evaluación de la producción de lechuga en sistemas hidropónicos en la región centro de México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 42(26), 737–746.
- Timmons, M. B., Guerdat, T. C., & Vinci, B. J. (2018). Recirculating aquaculture. Cayuga Aqua Ventures.
- Valdez, L. L., & García, S. A. (2010). Diagnóstico y prospectiva de la producción de lechuga en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(1), 45–58.

Índice

A

Acuaponía, 68
Agricultura, 132, 142, 144, 145, 146
Aloe barbadensis, 172, 175
Aloe Vera, 172, 174, 175
Arena, 131, 134
Azospirillum brasilense, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 28, 29, 30, 31, 32, 33

B

Bacillus, 117, 119, 120, 122, 124, 125, 126, 127
Biofertilización, 19, 33, 35
Bloqueador solar, 172, 173, 175, 176, 177

C

Candelilla, 171, 173, 174, 175, 177
Capsicum annuum, 57, 59, 94, 96, 98, 105, 107, 109, 111, 115

Ch

Chile, 63
Chile Jalapeño, 94

E

Enmiendas Orgánicas, 145
Estiércol, 18, 21, 22, 28, 29, 30, 33
Euphorbia antisiphilitica, 171, 173

F

Fertilización, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 19, 20, 22, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 39
fertilizante, 120, 124, 126
Forraje Verde, 7

G

Ganado, 9

I

Inorgánica, 94

J

Jalapeño, 59, 62

L

Lechuga, 68
Lippia graveolens, 83, 84, 87, 88, 89, 90

M

Maíz, 116
Metabolitos, 88, 89
México, 116
Micropropagación, 86
Mojarra tilapia, 69, 72

N

Nitratos, 69, 72, 74, 75, 76, 77, 78

O

Orégano, 81, 83, 84
Orgánica, 94, 99

P

Peces, 69, 70, 71, 72, 73, 75, 76, 77, 78
Piel, 172, 173
Producción, 8, 9, 11, 16, 116
Propagación, 81, 82, 83, 86, 90

Q

Quinoa, 131, 140, 141

S

Suelo, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160
Sustancias húmicas, 146, 147, 148, 156, 160
Sustratos, 131, 132, 133, 135, 136, 138

T

Tomate, 19, 20, 21, 23, 24, 26, 28, 29, 30, 32, 33, 34

V

Vermicompost, 131, 134

Los organizadores



Dr. Ignacio Orona Castillo 

Profesor Investigador de Tiempo Exclusivo de la Universidad Juárez del Estado de Durango, adscrito a la Facultad de Agricultura y Zootecnia ubicada en ejido Venecia, Gómez Palacio Durango desde 2006. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel I. Líneas de Investigación: Economía de los Recursos Naturales y Comercialización de Productos Agropecuarios.



Dr. Ernesto González Gaona 

Investigador Titular del Programa de Sanidad Forestal y Agrícola del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, adscrito al Campo Experimental Pabellón en Aguascalientes desde 1984, Miembro del SNII Nivel 1. Líneas de Investigación: Manejo orgánico biológico de plagas y enfermedades en Guayaba, Nopal, Vid, Maíz, así como plagas forestales con énfasis en defoliadores de la familia Diprionidae.



Dr. Roberto Sánchez Lucio 

Investigador Titular del Programa de Inocuidad y Producción Orgánica del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, adscrito al Campo Experimental Santiago Ixcuintla, Nayarit desde 2008, Miembro honorífico del Grupo de Expertos del Consejo Nacional de Producción Orgánica ante SENASICA: líneas de investigación Acompañamiento en la Certificación y Renovación en Sistemas de Reducción de Riesgos de Contaminación (SRRC). Asesoría para Obtener el Certificado Orgánico de Producción. Elaboración de Bioinsumos. Producción de Insectos Benéficos y Hongos Entomopatógenos.



Dr. Alain Buendía García 

Se desempeña como Profesor Investigador de Tiempo Completo desde 2018 en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, ubicada en Torreón, Coahuila. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores en la categoría de candidato. Sus líneas de investigación se enfocan en la generación de estrategias tecnológicas para la transición de los sistemas agropecuarios, así como la producción integral de cultivos y aprovechamiento de subproductos agropecuarios.

Esta obra, titulada “Tópicos de investigación agropecuaria con enfoque sustentable en México”, compila estrategias de diversas instituciones académicas para promover una producción de alimentos sana y libre de químicos. A través de la agricultura orgánica y el manejo integral del suelo y el agua, el texto propone técnicas de cultivo que conservan el medio ambiente, buscando no solo la sostenibilidad ecológica, sino también el bienestar socioeconómico de los productores y la seguridad alimentaria de la sociedad.



Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000

Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil

Telefone (66) 9608-6133 (Whatsapp)

<https://www.editorapantanal.com.br>

contato@editorapantanal.com.br