

La acuaponía urbana: fomentando la agricultura sostenible en entornos urbanos*

Urban aquaponics: promoting sustainable agriculture in urban environments

NÉSTOR ANDRÉS GUARNIZO SÁNCHEZ¹ • ALIX ESTELA YUSARA CONTRERAS GÓMEZ²

Resumen

La acuaponía urbana es una técnica innovadora que combina la acuicultura y la hidroponía en un sistema simbiótico y sostenible, con el objetivo de promover la producción de alimentos saludables en entornos urbanos. Esta iniciativa ofrece una solución práctica y eficiente para abordar los desafíos de la seguridad alimentaria, la sostenibilidad ambiental en las ciudades y un reto importante a considerar a partir del crecimiento de la población urbana. Es así como como estudiamos el sistema acuapónico tradicional de tipo vertical, al cual se requiere describirse y ser valorado desde el componente urbano para ser implementado en espacios limitados, como patios, azoteas, balcones y jardines comunitarios permitiendo así a la comunidad participar

activamente en la producción de sus propios alimentos. El resultado es ilustrar la importancia y la serie de beneficios significativos como la reducción y la dependencia de la agricultura convencional. La acuaponía utiliza muchísimo menos agua en comparación con la agricultura tradicional, ya que el agua se recircula en el sistema. También elimina la necesidad de utilizar fertilizantes químicos, ya que los nutrientes provienen de los desechos metabólicos de los peces. La investigación y el desarrollo liderados por la Universidad Santo Tomás seccional Bucaramanga representan una contribución significativa a la búsqueda de soluciones prácticas y sostenibles para los desafíos locales y nacionales de inseguridad alimentaria. La mejora en su prototipo tiene el potencial de garantizar la seguridad alimentaria, la gestión de residuos hacia su aprovechamiento

¹ **NÉSTOR ANDRÉS GUARNIZO SÁNCHEZ** | Pregrado, Arquitecto. Posgrado, Magister Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Docente en la Universidad Santo Tomás, seccional Bucaramanga, Colombia • CVLAC-ColCiencias: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001614603 • Google Scholar: https://scholar.google.es/citations?view_op=search_authors&mauthors=NESTOR+ANDRES+GUARNIZO+&hl=es&oi=ao • <https://orcid.org/0000-0002-2500-6586> • arquitecto.guarnizo@gmail.com

² **ALIX ESTELA YUSARA CONTRERAS GÓMEZ** | Pregrado, Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Posgrado, Magister en Ingeniería Ambiental. Docente en la Universidad Santo Tomás, seccional Bucaramanga, Colombia • CVLAC-ColCiencias: http://scienti.colciencias.gov.co:8081/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001631148 • Google Scholar: <https://scholar.google.com/citations?user=4swtQG5AAAAJ&hl=es> • <https://orcid.org/0000-0001-6180-9418> • alix.contreras@ustabuca.edu.co

FECHA DE RECEPCIÓN: 29 de septiembre de 2023 • FECHA DE ACEPTACIÓN: 23 de noviembre de 2023.

* Agradecemos a la Universidad Santo Tomás seccional Bucaramanga por el apoyo financiero bajo la Convocatoria Interna de Investigación FODEIN 2023, modalidad Demandas territoriales.

Citar este artículo como: GUARNIZO SÁNCHEZ, N. A. y CONTRERAS GÓMEZ, A. E. Y. (2023). La acuaponía urbana: fomentando la agricultura sostenible en entornos urbanos. Revista *Nodo*, 18(35), julio-diciembre, pp. 20-29. doi: 10.54104/nodo.v18n35.1616

como nuevos productos, y la disminución de la dependencia energética, beneficiando así tanto a las comunidades locales como al medio ambiente. Es un ejemplo inspirador de cómo la investigación académica puede traducirse en impactos positivos tangibles en la sociedad y el entorno.

Palabras clave • acuaponía urbana, comunidad, diseño, seguridad alimentaria, sostenibilidad ambiental

Abstract

Urban aquaponics is an innovative technique that combines aquaculture and hydroponics in a symbiotic and sustainable system, aiming to promote the production of healthy food in urban environments. This initiative offers a practical and efficient solution to address the challenges of food security, environmental sustainability in cities, and a significant challenge stemming from urban population growth. Thus, we examine the traditional vertical aquaponic system, which needs to be described and evaluated from the urban component to be implemented in limited spaces such as patios, rooftops, balconies, and community gardens, allowing the community to actively participate in the production of their own food. The result is to illustrate the importance and a series of significant benefits, such as the reduction and independence from conventional agriculture. Aquaponics uses much less water compared to traditional agriculture since water is recirculated in the system. It also eliminates the need for chemical fertilizers, as nutrients come from the metabolic waste of the fish. Research and development led by Santo Tomás University, Bucaramanga section, represent a significant contribution to the search for practical and sustainable solutions to local and national challenges of food insecurity. The improvement in its prototype has the potential to ensure food security, waste management towards their utilization as new products, and the reduction of energy dependence, benefiting both local communities and the environment. It is an inspiring example of how academic research can translate into tangible positive impacts on society and the environment.

Keywords • urban aquaponics, community, design, food security, environmental sustainability

Introducción

En un mundo cada vez más poblado y urbanizado, la producción de alimentos se enfrenta a desafíos significativos. Por ejemplo, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), en su informe “El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo”, establece que el hambre en el mundo sigue siendo un desafío considerable, y que sus niveles actuales son alarmantemente superiores a los registrados antes de la pandemia. Según las estimaciones de este informe, en 2022, entre 691 y 783 millones de personas experimentaron hambre en todo el mundo (FAO, 2023). Esta cifra es preocupante. En un mundo cada vez más poblado y urbanizado, la producción de alimentos enfrenta desafíos críticos, exacerbados por la persistente crisis alimentaria a nivel global. Esta situación no sólo evidencia la urgente necesidad de abordar el problema de manera efectiva, sino que también subraya la relevancia de soluciones sostenibles e innovadoras.

La FAO destaca en otro estudio la importancia de garantizar el acceso físico, económico y social a alimentos suficientes, seguros y nutritivos para satisfacer las necesidades de las personas (2011). También resalta la necesidad de asegurar la estabilidad en el acceso a los alimentos, tanto en términos de disponibilidad como de acceso económico. El informe analiza los factores que contribuyen a la inseguridad alimentaria y nutricional, como la pobreza, la falta de acceso a recursos productivos y los desastres naturales. Además, destaca la importancia de abordar la malnutrición en todas sus formas, incluida la desnutrición crónica y aguda, el sobrepeso y la obesidad (OMS, 2019).

La seguridad alimentaria y nutricional se ha convertido en una situación preocupante a nivel mundial, y Colombia no es ajena a este desafío. Aproximadamente 30% de la población colombiana enfrenta inseguridad alimentaria y nutricional, una cifra que se agrava aún más para la población migrante, alcanzando entre el 52% y el 73%, dependiendo del tipo de migración (FAO, 2018). Ante esta realidad desafiante, es imperativo intensificar los esfuerzos para transformar y potenciar los sistemas agroalimentarios como herramienta clave para garantizar el acceso a alimentos adecuados y nutritivos para todos.

En este contexto, este artículo presenta la acuaponía vertical como una alternativa para fomentar la producción de alimentos de manera sostenible en entornos urbanos, como una posible solución a la inseguridad alimentaria que experimentan Colombia y América Latina. Esta alternativa combina la acuicultura y la hidroponía en un sistema simbiótico y equilibrado. La acuaponía también pue-

de tener beneficios sociales y económicos, y puede servir como una fuente de empleo o emprendimiento local, promoviendo la participación comunitaria y el desarrollo económico (Pichardo Velázquez, I., & Salcedo Pérez, A., 2017). Además, al ser una práctica que se puede implementar en espacios urbanos, fomenta la educación ambiental y la conciencia sobre la importancia de la producción de alimentos respetando la naturaleza por tratarse de un sistema circular con bajo consumo de agua.

Por otra parte, este sistema reduce la dependencia de la agricultura convencional y los largos procesos de transporte de alimentos. Al cultivar alimentos localmente en entornos urbanos se acorta la cadena de suministro y disminuye la necesidad de transportar alimentos por largas distancias. Esto no sólo reduce los costos asociados con el transporte, sino también las emisiones de carbono relacionadas con el transporte de alimentos, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático (Fernández, 2011). Además, en comparación con la agricultura tradicional, que requiere grandes cantidades de agua para el riego, la acuaponía utiliza un sistema de recirculación de agua en un ciclo cerrado. Los desechos metabólicos de los peces son tratados para ser aprovechados como fertilizantes para las plantas cultivadas; luego el agua retorna al tanque de peces y se reinicia el ciclo. Esto reduce significativamente la cantidad de agua necesaria en comparación con los métodos agrícolas convencionales, aunque tiene requerimientos de energía para el suministro extra de oxígeno, pero sin duda puede ser un sistema valioso en comunidades con acceso limitado a este recurso.

Otro beneficio importante de la acuaponía urbana es que elimina la necesidad de utilizar fertilizantes químicos apuntando así al desarrollo de agricultura sostenible (Villalva-Quintana, 1994). En este sistema, los desechos de los peces proporcionan los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas. A medida que los peces excretan desechos ricos en nutrientes, como nitrógeno y fósforo, éstos se convierten en formas utilizables por las plantas a través del proceso de descomposición bacteriana. Como resultado, no se requiere la aplicación de fertilizantes químicos adicionales, lo que no sólo reduce los costos de producción, sino que también promueve una agricultura más sostenible y amigable con el medio ambiente (Ramírez, 2008).

Otra de las principales ventajas de la acuaponía en entornos urbanos es su capacidad para maximizar el uso del espacio. En las ciudades, el espacio disponible para la agricultura es limitado y costoso. La acuaponía puede adaptarse a espacios reducidos, como terrazas, patios, balcones o incluso en interiores. Este sistema permite cultivar una

cantidad de alimentos suficiente para provisionar a una familia en un área relativamente pequeña, lo que lo convierte en una opción viable para la producción local de alimentos en las ciudades (Preciado, 2017).

Los sistemas acuapónicos urbanos ofrecen una versatilidad en su implementación, ya que pueden adaptarse tanto a espacios interiores como exteriores. En el caso de los sistemas interiores, se presentan diversas ventajas. Una de ellas es la reducción significativa en la depredación de aves hacia los peces, lo que contribuye a mantener la integridad de la población de peces en el sistema. Además, al estar en un entorno controlado, se minimiza la exposición a plagas y enfermedades que pueden afectar a las plantas cultivadas en la acuaponía (DIVER, 2006).

La acuaponía al aire libre ofrece beneficios propios porque la disponibilidad de luz solar es fundamental para el proceso de fotosíntesis de las plantas. Al ubicar el sistema en exteriores se aprovecha al máximo este recurso natural y no requiere de iluminación artificial, como en espacios internos. Los montajes de acuaponía en exteriores sería más ventajoso, ya que la luz solar intensa y directa promueve un crecimiento saludable de las plantas, lo que se traduce en una mayor producción y calidad de los cultivos acuapónicos (Barahona, 2011). La acuaponía en asentamientos urbanos tiene un impacto significativo en la reducción de la huella ambiental porque representa un ahorro significativo de agua en comparación con los métodos de riego convencionales, y no requiere el uso de fertilizantes químicos, minimizando así la contaminación del suelo y del agua. Además, disminuye la huella de carbono, así como los riesgos asociados con el uso de productos químicos agrícolas (Goddek, 2015).

La acuaponía se encuentra en desarrollo y perfeccionamiento tecnológico. Varios países han desarrollado proyectos de investigación encaminados al perfeccionamiento de la técnica de la acuaponía en diferentes escalas, entre ellos: Brasil, Ecuador, Colombia, Estados Unidos, Australia, Canadá, Corea, Holanda, Emiratos Árabes, México y Perú. Uno de los proyectos de mayor extensión ha sido el desarrollado desde 1980 por el doctor James Rakocy, considerado uno de los precursores de la acuaponía con un montaje a escala comercial de la Universidad de las Islas Vírgenes (UVI por sus siglas en inglés). Durante más de treinta años, Rakocy y su equipo de investigación han perfeccionado el sistema UVI hasta lograr cosechas frecuentes de peces y plantas sin cambio de agua y con sólo un pequeño aporte de nutrientes suplementarios (McGraw, 2021).

Se ha comprobado así que la acuaponía permite la producción constante de vegetales y pescados en un espacio reducido, favoreciendo la preservación de recursos hídri-

cos y de materias primas al utilizar los desechos metabólicos de los peces como alimento para las plantas mediante la reutilización del agua con depuración natural realizada por las bacterias y plantas en el proceso de filtración. Es importante destacar que la implementación de la acuaponía contribuye directamente al desarrollo de la economía circular y a la sostenibilidad ambiental, aportando acciones en beneficio del cambio climático, entre otros (Jaime, 2019).

Para los montajes acuapónicos es importante evaluar las condiciones climáticas locales, porque desempeñan un papel crucial para el éxito del sistema. Factores relevantes son la temperatura, la humedad y las precipitaciones, ya que estos elementos pueden afectar tanto a los peces como a las plantas del sistema. Algunas especies de peces y de plantas pueden requerir condiciones específicas para su desarrollo óptimo, por lo que adaptar el sistema a las condiciones climáticas locales es esencial. La ubicación geográfica también es un elemento relevante en áreas urbanas; el espacio disponible puede ser limitado, lo que puede influir en la elección entre implementar el sistema acuapónico en interiores o exteriores. En interiores, es posible utilizar espacios reducidos como balcones, terrazas o incluso espacios interiores con iluminación artificial controlada. Por otro lado, en exteriores se debe evaluar la disponibilidad de áreas abiertas y su adecuación para la instalación del sistema acuapónico. La luz solar es un recurso y factor esencial para el crecimiento de las plantas y, por tanto, lo es para la acuaponía.

El proyecto acuapónico modular de la Universidad Santo Tomás (USTA) seccional Bucaramanga está en marcha desde enero de 2022 como una alternativa de producción sostenible que busca contribuir a la seguridad alimentaria de la región. Durante casi dos años, este proyecto ha ido mejorando mediante la innovación y la incorporación de nuevos conceptos —como el de biorrefinerías—, con el fin de robustecer un prototipo que permita la educación y su futura réplica en contextos urbanos, sobre todo en poblaciones con problemas de inseguridad alimentaria y escasez de agua.

Metodología

El objetivo principal de este artículo es proporcionar una revisión investigativa de carácter descriptivo (Sampieri, 2014) acerca de las ventajas del sistema acuapónico vertical, destacando aspectos positivos en términos de producción, los cultivos que pueden ser utilizados en este sistema y la importancia que representa en la producción alimen-

ticia. Además, se mencionará su viabilidad a nivel productivo, reemplazando la acuicultura, la hidroponía y la agricultura tradicional en tierra (Lozano, 2015).

El estudio del sistema acuapónico vertical en áreas urbanas promueve la seguridad alimentaria a nivel local. Los alimentos producidos en estos sistemas se encuentran más cerca de los consumidores, lo que reduce la cadena de suministro y garantiza la frescura de los productos. Además, la capacidad de cultivar alimentos durante todo el año, sin verse afectados por las estaciones, brinda un suministro constante de alimentos frescos y saludables a la comunidad local.

La implementación de sistemas acuapónicos verticales en áreas urbanas puede ser una estrategia para abordar los desafíos relacionados con la conciencia alimentaria en las comunidades. Estos sistemas combinan la acuicultura y la hidroponía. La simbiosis entre peces y plantas permite un uso más eficiente de los recursos y una producción de alimentos más sostenible.

La incorporación de estos sistemas en espacios urbanos como escuelas, centros comunitarios, e incluso en los hogares, puede ser una herramienta valiosa para instruir a las personas sobre la producción de alimentos y la importancia de la sostenibilidad ambiental. Los sistemas acuapónicos proporcionan una oportunidad para que la comunidad en general participe activamente en el proceso de cultivo de alimentos, siendo pedagógico también por abordar la comprensión práctica del cómo se producen los alimentos que consumimos (FAO, 2016).

La Universidad Santo Tomás seccional Bucaramanga ha desarrollado un Sistema Acuapónico Modular (SAM) con fines pedagógicos que se encuentra en marcha desde 2022, año en el que fue mejorado de una versión 0 a una versión 1 con algunos pequeños cambios en su infraestructura. En 2023 se inició su proceso de optimización incorporando el concepto de biorrefinerías, que busca el aprovechamiento de residuos para convertirlos en subproductos. Asimismo, contempla la disminución de dependencia energética con la instalación de energía solar para casos de emergencia en primer lugar.

Resultados de investigación. Revisión

Entre 2021 y 2022, la Alianza Universitaria por el Derecho Humano a la Alimentación Adecuada trabajó en conjunto con diversas universidades colombianas que ofrecen programas de formación en nutrición, y se llevó a cabo una investigación en hogares ubicados en once ciudades capitales del país (ALUDHAA, 2022).

En este estudio se utilizaron encuestas telefónicas para recopilar información de un total de 1 524 hogares, localizados mayoritariamente en áreas urbanas de las ciudades de Armenia, Barranquilla, Bogotá, Cúcuta, Leticia, Medellín, Pasto, Popayán, San Andrés, Tunja y Yopal. Los resultados indicaron que 85.6 % de los hogares encuestados pertenecían a los estratos 1, 2 y 3 de la sociedad. Además, que debido a la pandemia, 75.2% de los hogares reportaron pérdidas de ingresos y que 61.2% enfrentó la situación de desempleo. Se observó también que 66.7 % de los hogares estaba compuesto por dos o más miembros, y que en 73% de estos hogares había menores de 18 años. Otro dato relevante fue que en 60.5 % de los hogares, la figura de la cabeza de familia correspondía a una mujer. En su mayoría, estos hogares pertenecen a asentamientos informales ubicados en zonas de periferia, caracterizadas por condiciones precarias en materia de infraestructura y de servicios básicos (ALUDHAA, 2022). Estas áreas suelen carecer de una adecuada planificación urbana y de acceso a servicios fundamentales como agua potable, saneamiento, electricidad y transporte público. En este tipo de asentamientos, las viviendas a menudo se construyen de manera improvisada con materiales de bajo costo, lo que aumenta su vulnerabilidad frente a condiciones climáticas adversas y riesgos de desastres naturales (Castillo de Herrera, 2009).

Las condiciones precarias en las que viven estos hogares en zonas periféricas no sólo afectan su bienestar presente, sino que también influyen en sus perspectivas de desarrollo a largo plazo. La falta de oportunidades y recursos puede limitar las posibilidades de mejorar sus condiciones de vida y salir de la inseguridad alimentaria, lo que representa un desafío significativo para los esfuerzos dirigidos hacia la reducción de la pobreza y la mejora de la seguridad alimentaria en estas comunidades vulnerables (Furman, 2002).

Los resultados revelaron que únicamente 28.4% de los hogares se consideró seguro en términos alimentarios, mientras que la prevalencia era la inseguridad alimentaria (71.6%), es decir, siete de cada diez hogares. Dentro de este grupo se encontró que 31.6% experimentó una forma leve de inseguridad alimentaria, 26% presentó una forma moderada, y 14.1% sufrió una forma severa de inseguridad alimentaria. Se recopiló información sobre ocho estrategias utilizadas por los hogares para enfrentar la inseguridad alimentaria, evaluadas mediante el Índice de Estrategias de Afrontamiento (Coping Strategies Index, CSI). Este índice mide cómo responden los hogares cuando no tienen acceso a suficiente cantidad o calidad de alimentos. En estas situaciones, los hogares adoptan comportamientos o prácticas alimentarias irregulares para evitar caer en la

inseguridad alimentaria o prevenir que esta situación empeore (Fran Afonso, 2016). Las estrategias analizadas en el estudio incluyeron aspectos como:

- Cambios en la dieta: selección de alimentos más económicos o de menor calidad.
- Estrategias de abastecimiento a corto plazo: acciones como obtener alimentos a crédito o pedir préstamos monetarios.
- Reducción en el número de integrantes: compartir alimentos con otros hogares para afrontar la escasez.
- Estrategias de racionamiento: medidas como reducir las porciones o el número de comidas.

Alrededor de seis de cada diez hogares encuestados (aproximadamente 60%) implementaron alguna estrategia de afrontamiento ante la inseguridad alimentaria. Específicamente, 57.9% de los hogares consumió alimentos de menor calidad o más económicos, mientras que 43.4% recurrió a la reducción de las porciones para asegurar la comida en el hogar. Es evidente que estas comunidades enfrentan desafíos significativos en términos de acceso a alimentos suficientes y de calidad. Las condiciones precarias en las que viven, sumadas a la falta de oportunidades económicas y educativas, agravan su situación de vulnerabilidad y dificultan la posibilidad de salir de la inseguridad alimentaria en los departamentos ya nombrados.

El sistema acuapónico vertical como oportunidades de sustento alimenticio

Este sistema acuapónico aprovecha el espacio de forma vertical para el cultivo de plantas y la cría de peces. Una de sus principales ventajas es su eficiencia espacial, ya que permite maximizar la producción en áreas reducidas. Esto es especialmente beneficioso en entornos urbanos donde el espacio disponible es limitado. Al utilizar estructuras verticales se puede cultivar una mayor cantidad de plantas y criar peces en niveles superpuestos, optimizando así el uso del espacio. En términos de producción, el sistema acuapónico vertical ofrece la posibilidad de cultivar una amplia variedad de cultivos, incluyendo vegetales de hoja verde, hierbas, fresas y tomates, entre otros (Goddek, 2015).

Los nutrientes que provienen de los desechos de los peces enriquecen el agua y proporcionan un ambiente favorable para el crecimiento de las plantas previo a su tratamiento (figura 1).

Otro factor importante es el consumo de agua: los sistemas acuapónicos verticales son conocidos por ser alta-

mente eficientes. En comparación con la agricultura convencional en suelo, estos sistemas requieren una fracción del agua utilizada tradicionalmente debido a que el agua se recircula continuamente, minimizando las pérdidas y permitiendo un uso más eficiente de este escaso recurso. Además, la presencia de plantas en los sistemas acuapónicos ayuda a filtrar y purificar el agua, reduciendo aún más los requisitos de cambio y reemplazo de agua (FAO, 2018).

Sistemas acuapónico modular-SAM Universidad Santo Tomás seccional Bucaramanga

El sistema acuapónico modular implementado en el campus El Limonal de la Universidad Santo Tomás Seccional Bucaramanga se encuentra instalado desde enero de 2022 en un área menor a cinco metros cuadrados (figura 2). Consta de un tanque principal o tanque madre de 500 litros, donde están los peces; posteriormente pasa a un sistema de filtración con tres tanques de 70 litros cada uno: 1) sedimentador, 2) filtro biológico con plantas acuáticas, y 3) biofiltro con bacterias aerobias sostenidas en rosetones y tapas plásticas reutilizadas. Cuando el agua del tanque madre o principal es tratada en el filtro pasa al sistema hidropónico, que funciona con la técnica de cultivos en capas de nutrientes (NFT, por sus siglas en inglés), con capacidad de 100 agujeros para el cultivo vegetal. Finalmente, el efluente de la cama hidropónica se recolecta en un tanque de 100 litros, del cual se recircula el líquido hacia el tanque madre para iniciar el ciclo de nuevo. Este sistema es un ciclo cerrado que funciona con la misma agua y aprovecha los residuos metabólicos de los peces como alimento para las plantas previo a su tratamiento.

De acuerdo la línea de tiempo de 2022 (figura 3), la maduración del SAM de la USTA tardó más de siete meses debido a que las bacterias fueron formadas en el proceso y no se realizaron inóculos. A partir del mes de agosto se continuó el riguroso seguimiento a la calidad del agua de parámetros de alta relevancia como son: oxígeno disuelto (OD), pH, temperatura, amoníaco, nitritos, nitratos. Esto permitió la evaluación y la formulación de una propuesta de mejora a una versión 1 con modificaciones hidráulicas en la cama hidropónica principalmente.

En cuanto a los desechos nitrogenados, éstos resultan ser tóxicos para los peces, siendo el amoníaco y el nitrito aproximadamente cien veces más tóxicos que el nitrato. Si bien son venenosos para los peces, los compuestos nitrogenados son nutritivos para las plantas después de ser procesado por bacterias nitrificantes hasta la obtención de los nitratos (Somerville, Cohen, Pantanella, Stankus, & Lova-

FIGURA 1 SISTEMA ACUAPÓNICO TRADICIONAL DE TIPO VERTICAL



Fuente: Goddek, 2015.

telli, 2022). A pesar de que se presentaron niveles altos de nitritos en diferentes ocasiones, estos compuestos se han estabilizado a medida que se han realizado diversas modificaciones o acciones, hasta llegar a valores que se mantienen aceptables de acuerdo con la FAO (figura 4). Las demás formas de nitrógeno han presentado comportamientos en el marco del referente FAO (figuras 5 y 6).

La versión 1 del SAM planteó la modificación del flujo del agua para mejorar el tiempo de contacto del agua en la cama hidropónica, conforme a la teoría que indica que debe estar de una a cuatro horas (Hager, Bright, Tidwell, & & Dusci, 2021). Con esta modificación se buscan mejores resultados en la curva de crecimiento en las plantas, mayor adsorción de los nutrientes y mejor comportamiento en la calidad del agua.

FIGURA 2 SAM USTA VERSIÓN 0 DE 2022



FIGURA 3 SISTEMA ACUAPONÍCO MODULAR USTA: LÍNEA DE TIEMPO 2022



FIGURA 4 COMPORTAMIENTO 2022 NITRITOS SAM USTA

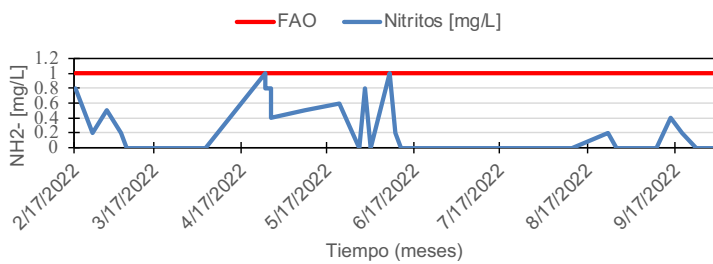


FIGURA 5 COMPORTAMIENTO 2022 AMONIO SAM USTA

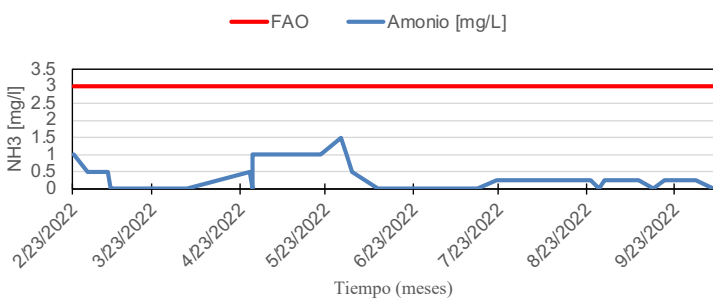
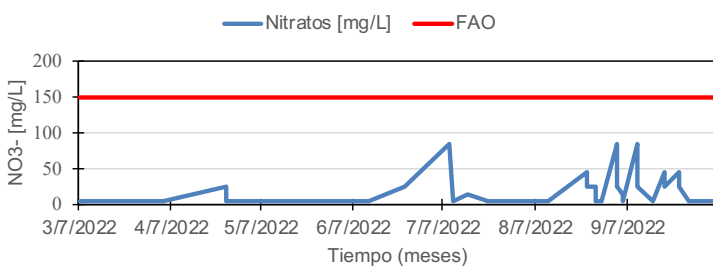


FIGURA 6 COMPORTAMIENTO 2022 NITRATOS SAM USTA



Ventajas de la acuaponía en marcha en Colombia

La acuaponía, como sistema de cultivo sostenible y eficiente, ha evolucionado para adaptarse a diversas condiciones y necesidades agrícolas. Los sistemas verticales acuaponícos son una excelente muestra de esta adaptabilidad, ya que han sido diseñados específicamente para maximizar el espacio disponible y optimizar el cultivo de una amplia variedad de plantas. Estos sistemas se presentan como una solución especialmente beneficiosa en áreas urbanas o con espacio limitado, donde la tierra es escasa y la producción de alimentos suele ser un reto. Al utilizar estructuras en forma de torres, columnas o estantes apilados, los sistemas verticales acuaponícos permiten cultivar una gran cantidad de plantas en una superficie vertical, minimizando el uso del suelo horizontal.

Un ejemplo de esto yace en el experimento exploratorio sobre la producción de tilapia roja (*Oreochromis spp*) ubicado en la región caribe colombiana, Santa Verónica, municipio de Juan de Acosta, departamento del Atlántico, costa norte de Colombia (Martínez, 2019), bajo condiciones de cultivo intensivo en un sistema acuaponíco a escala piloto 190 días. Además de la tilapia se cultivaron especies vegetales como candia (*Abelmoschus esculentus*), frijol cabecita negra (*Vigna unguiculata*), y plantas aromáticas como el toronjil (*Melissa officinalis*) y limonaria (*Cymbopogon citratus*).

En el transcurso de 150 días de experimentación se logró obtener una biomasa de 84.2 kg de peces. La tasa de supervivencia alcanzó un satisfactorio 92.8%, y el peso promedio obtenido fue de 302 ± 92 g. La tasa de conversión

de alimento global (TCA) fue de 1.48. Aunque los resultados muestran un desempeño interesante, es importante señalar que la desviación estándar de los pesos registrados presentó una variación de 92 gramos (ver figura 7). Esta variabilidad deja un rango de peces por debajo del peso comercial, lo cual se atribuye principalmente al confinamiento en alta densidad ($150 \text{ organismos/m}^3$) y la competencia por el alimento bajo un escenario de alimentación *ad libitum* (Martínez, 2019).

A pesar de la presencia de peces que no alcanzaron el peso comercial deseado, los datos obtenidos reflejan un buen progreso general en el experimento. Sin embargo, es relevante tener en cuenta los factores que afectaron el peso final de los peces para futuras mejoras y ajustes en el manejo de la densidad y la alimentación. Con un enfoque en la optimización de estas condiciones es posible aumentar la homogeneidad de los peces en términos de peso y mejorar aún más el desempeño del sistema.

La intensificación de la producción de tilapia roja en un sistema acuapónico bajo las condiciones del Caribe colombiano u otras regiones representa una oportunidad para aumentar la producción de alimentos en las comunidades. Sin embargo, existen ciertos desafíos y consideraciones técnicas que deben abordarse para garantizar la eficiencia y el funcionamiento óptimo de la unidad acuapónica.

Una de las ventajas más destacadas de los sistemas verticales acuapónicos es su versatilidad. Se puede cultivar una amplia variedad de plantas, incluyendo vegetales de hoja verde, hierbas aromáticas, fresas y tomates Cherry, entre otros. Esto brinda la posibilidad de diversificar la producción de alimentos y crear huertos con una oferta nutricional variada y fresca. Además, estos sistemas no sólo se limitan a espacios urbanos. También pueden ser implementados en zonas rurales y comunidades con recursos acuáticos disponibles, brindando oportunidades para la autosuficiencia alimentaria y la producción local de alimentos.

Además, la fiabilidad y disponibilidad de la energía son fundamentales para el funcionamiento exitoso de un sistema acuapónico. Es importante que los sistemas de respaldo energético sean robustos y diseñados para un uso diario, con la capacidad de operar durante periodos prolongados, superiores incluso a 4.5 horas. Esto garantiza que el sistema pueda funcionar de manera continua y estable, incluso en situaciones de cortes de energía o fluctuaciones en el suministro eléctrico. El estrés térmico también es un factor de riesgo a considerar en la producción acuapónica bajo las condiciones climáticas como el Caribe colombiano. Las altas temperaturas del aire, que pueden alcanzar los $40 \text{ }^\circ\text{C}$, pueden afectar el bienestar de los peces y la eficiencia de los equipos del sistema. Es esencial contar con medidas de mi-

FIGURA 7 DESARROLLO DE PECES DENTRO DE UN SISTEMA ACUAPONÍA



Fuente: ADACOL (2019).

tigación del estrés térmico, como la implementación de sombreado o sistemas de enfriamiento, para mantener condiciones óptimas para los organismos acuáticos (Martínez, 2019).

En cuanto a la infraestructura y los equipos utilizados en el sistema, es necesario que estén diseñados y protegidos para operar en las diversas condiciones de ambiente. En el caso de la costa caribe, la corrosión y la salinidad pueden afectar los componentes eléctricos y electrónicos, por lo que se deben tomar medidas adecuadas para protegerlos y realizar mantenimientos frecuentes.

Discusión

Los resultados presentados en este documento son una fuente de información para futuras investigaciones, así como para la implementación de modelos productivos acuapónicos. Los datos obtenidos de forma cualitativa proporcionan una base sólida para comprender el desempeño del sistema, el cual puede ser aplicado a contextos urbanos y rurales. Los datos pueden ser utilizados como punto de referencia para optimizar y adaptar los sistemas acuapónicos, tomando en cuenta las condiciones climáticas y los espacios para el desarrollo del sistema.

Es fundamental considerar los desafíos presentados, especialmente en relación con las unidades de respaldo energético. Un ejemplo para la costa caribe es la corrosión de los componentes de encendido, temporizadores, relés, entre otros, que puede convertirse en una problemática técnica que afecte la confiabilidad y durabilidad de los sistemas de respaldo. Por esta razón es esencial implementar medidas de protección y mantenimiento adecuadas para asegurar un funcionamiento óptimo de estas unidades en un entorno tan agresivo (Martínez, 2019).

La garantía de un suministro eléctrico estable y confiable es un factor fundamental en el proceso, ya que de esto depende no sólo la oxigenación para los peces, sino el funcionamiento del sistema aerobio de tratamiento. Este

último, aunque poco se menciona, puede ser el corazón de la acuaponía porque de este proceso depende que la calidad de agua sea la adecuada para recircular y no se presente mortalidad. Las interrupciones o fluctuaciones en el suministro eléctrico pueden tener un impacto negativo en la producción acuapónica, por lo que es crucial implementar medidas de protección y seguridad para mitigar los efectos de posibles problemas eléctricos y asegurar la continuidad de oxígeno para operar sin contratiempos.

El objetivo del prototipo de la Universidad Santo Tomás es, al finalizar el año 2023, optimizar el modelo SAM integrando un panel solar para obtener independencia energética, sobre todo para el caso de emergencias presentadas por interrupciones en el suministro eléctrico, lo que podría ser una solución para el desarrollo de la acuaponía en lugares con dificultades en el acceso de energía. Adicionalmente se articulará con otros prototipos de la universidad para el aprovechamiento de efluente de recambio para elaboración de fertilizantes especializados.

Conclusiones

En un mundo donde la inseguridad alimentaria es un desafío global, la acuaponía vertical se presenta como una solución innovadora y altamente eficiente para abordar la producción de alimentos en entornos urbanos y rurales.

Los sistemas acuapónicos representan una alternativa innovadora y prometedora en la producción de alimentos sostenibles y eficientes en áreas urbanas. Aunque existen avances significativos en este campo, la investigación continúa para mejorar los rendimientos y reducir el consumo de agua. Los cultivos más investigados en acuaponía, como la combinación de tilapia con tomate o lechuga, han demostrado ser efectivos y generan resultados positivos. Sin embargo, la automatización de estos sistemas aún necesita perfeccionarse, evitando el recambio de agua, que va en contra del principio fundamental de la acuaponía.

En Colombia se están realizando importantes trabajos de investigación en acuaponía, y es crucial fomentar un enfoque multidisciplinario para el desarrollo de estos sistemas. La colaboración entre expertos en acuicultura, hidroponía y otras áreas puede optimizar y expandir el uso de los sistemas acuapónicos en el país, promoviendo una producción de alimentos más sostenible y consciente del medio ambiente. La implementación de estas soluciones innovadoras puede contribuir significativamente a abordar los desafíos relacionados con la seguridad alimentaria, la sostenibilidad ambiental y la conciencia alimentaria en las comunidades urbanas.

Otras alternativas para la exploración de sistemas acuapónicos son aportes de trabajos ya realizados en campo. Por ejemplo, la *Guía para la cría, manejo y aprovechamiento sostenible de algunas especies animales promisorias y otras domésticas* (De la Ossa J, 2003) es un recurso que ofrece información y orientación sobre cómo criar y manejar diferentes tipos de especies animales de manera sostenible; tiene como objetivo principal ayudar a las personas involucradas en la cría y manejo de animales a hacerlo de una manera beneficiosa tanto para los animales como para el medio ambiente, teniendo en cuenta la conservación de especies, la productividad y el bienestar animal. El enfoque sugiere que la guía permite entender sobre una variedad de animales o vegetales considerados prometedores en términos de su potencial económico, nutricional y ecológico. Esto podría incluir especies criadas con fines de producción alimentaria; en el caso de nuestro estudio, los peces.

La iniciativa de la Universidad Santo Tomás de mejorar el prototipo de sistema acuapónico modular durante el año 2023 emerge como una respuesta precisa y relevante para abordar desafíos agrícolas y ambientales en Colombia, al enfocarse en la producción de alimentos sanos y sostenibles con autosuficiencia energética y generación de bioproductos (fertilizantes), así que esta investigación demuestra una profunda comprensión de las necesidades locales y un compromiso con soluciones innovadoras para las comunidades en diferentes contextos. ●

Bibliografía

- ALUDHAA (2022). *Efectos de la pandemia en la inseguridad alimentaria de los hogares colombianos: estudio multicéntrico en 11 ciudades capitales*. Bogotá: Alianza Universitaria por el Derecho Humano a la Alimentación Adecuada (ALUDHAA). Obtenido de <https://periodico.unal.edu.co/articulos/la-pandemia-empeoro-crisis-alimentaria-de-los-colombianos>
- Barahona, A. J. (2011). *Producción de tomate y tilapia en un sistema acuapónico con 50, 100, 150 y 200 ppm de nitrógeno*. Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana Zamorano.
- Castillo de Herrera, M. (2009). *Procesos urbanos informales y territorio: ensayos en torno a la construcción de sociedad, territorio y ciudad*. Grupo de Investigación Procesos Urbanos en Hábitat, Vivienda e Informalidad, Universidad Nacional de Colombia, pp. 133-182.
- De la Ossa J, B. L. (2003). *Guía para la cría, manejo y aprovechamiento sostenible de algunas especies animales promisorias y otras domésticas*. Bogotá: Convenio Andrés Bello, Serie Ciencia y Tecnología.

- Diver, S. (2006). Acuaponia. Integración de ATTRA Hidroponia con Acuicultura. ATTRA, pp. 1-28.
- FAO (2011). *Seguridad alimentaria y nutricional. Conceptos básicos*. Programa Especial para la Seguridad Alimentaria. Centroamérica: PESA.
- FAO (2016). *Agricultura sostenible: una herramienta para fortalecer la seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe. Actividades destacadas 2014-2015*. América Latina y el Caribe: FAO.
- FAO (04 de 09 de 2018). *Cada gota cuenta: La acuaponía y las granjas de agro-acuicultura integradas hacen un uso eficiente del agua*. Obtenido de FAO: <https://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1113809/>
- FAO (2023). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2023. Urbanización, transformación de los sistemas agroalimentarios y dietas saludables a lo largo del continuo rural-urbano*. Roma: FAO.
- Fernández, C. G. (2011). El cambio climático: los aspectos científicos y económicos más relevantes. *Nómadas Critical Journal of Social and Juridical Sciences*, pp. 32-34.
- Fran Afonso, A. A. (octubre de 2016). *¿Comeré hoy? De la semilla a la mesa*. Obtenido de Ediciones El País: <https://elpais.com/especiales/2016/planeta-futuro/seguridad-alimentaria/malas-practicas.html>
- Furman, C. (2002). *Pobreza urbana, exclusión social y asentamientos irregulares. Una mirada de género*. Córdoba: Red Mujer y Hábitat, América Latina y Caribe.
- Goddek, S. D. (2015). Challenges of sustainable and commercial aquaponics. 208. *MDPI Journals Awarded Impact Factor*, 7 (4).
- Hager, J., Bright, L. A., Tidwell, J. H., y Dusci, J. (2021). *A Practical Handbook for Growers. Aquaponics Production Manual*. Frankfurt: School of Aquaculture and Aquatic Sciences. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/355972997_A_Practical_Handbook_for_Growers_AQUAPONICS_Production_Manual
- Lozano, C. I. (2015). *Estudio de factibilidad para el montaje de un sistema de cultivos acuapónicos en la isla de Providencia y Santa Catalina, San Andrés, Colombia*. Cartagena: Universidad de Cartagena.
- Martínez (2019). Acuaponía intensiva en la región Caribe colombiano, oportunidad de desarrollo. *Agrotech BMA*, pp. 1-4.
- McGraw, B. (03 de 02 de 2021). *The Fish Site Limited*. Recuperado el 10 de 11 de 2023, de <https://thefishsite.com/articles/the-godfather-of-aquaponics-james-rakocy-creating-ecosystems>
- Naciones Unidas (2018). *La Agenda 2030 y los objetivos de desarrollo sostenible. Una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Santiago: CEPAL.
- OMS (2019). *La nutrición en la cobertura sanitaria universal*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.
- Pichardo Velázquez, I., Salcedo Pérez, A. (2017). *Sistema acuapónico doméstico: viabilidad económica y evaluación de cultivos*. Repositorio Institucional Investigare-PUCMM, 12.
- Preciado, P. (2017). *Estrategias de selección de materiales de construcción pro del ahorro de recurso*. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana.
- Ramírez, D. S. (2008). La acuaponía: una alternativa orientada al desarrollo sostenible. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 3, pp. 32-51.
- Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación*. 6ª ed. México: McGraw Hill Education.
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., y Lovatelli, A. (2022). *FAO org*. Obtenido de <https://www.fao.org/3/i4021es/i4021es.pdf>
- Villalva-Quintana, S. (1994). *Agricultura sostenible*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.