

Artículo de investigación

Cómo citar: E. Aguirre *et al.*, "Desarrollo de un sistema de monitoreo para acuaponía en hogares basado en IOT", *Inventum*, vol. 13, no. 24, pp. 15-21, enero - junio, 2018. doi: 10.26620/uniminuto.inventum. 13.24.2018.15-21

Editorial: Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO.

Recibido: 11 de enero de 2018

Aceptado: 16 de febrero de 2018

Publicado: 2 de abril de 2018

Conflicto de intereses: los autores han declarado que no existen intereses en competencia.

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MONITOREO PARA ACUAPONÍA EN HOGARES BASADO EN IOT

DEVELOPMENT OF A MONITORING SYSTEM FOR AQUAPONICS IN HOMES BASED ON IOT

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO PARA ACUAPONÍA EM LARES BASEADO EM IOT

Édgar A. Aguirre; Jhon J. Monje Carvajal; Camilo Sierra Salamanca; Daniel Andrés Vega

Resumen

La metodología de producir alimentos de forma local es una de las herramientas más importante en la teoría de la soberanía y seguridad alimentaria, y en este perfil productivo el tener proteína animal se convierte en un reto importante a considerar, por diferentes razones de espacio, logística, generación de olores, etc. Así, los cultivos hidropónicos se convierten en una solución, máxime cuando este sistema se transfiere incluyendo el cultivo de peces en estanques que se benefician de la hidroponía. Es así como este tipo de sistema, en donde a la metodología de hidroponía se le agregan peces, se convierte en acuapónico, metodología que requería ser valorada, y así se hizo, usando herramientas agrónicas para su automatización, midiendo variables de temperatura, humedad y pH para controlar la circulación y la temperatura, con la producción de hortalizas y peces en una misma estructura, para comprobar el funcionamiento del modelo, bajo el monitoreo electrónico y la toma remota de datos con actuadores y comunicación inalámbrica a una plataforma web. El resultado fue la construcción de un prototipo que permite la integración de peces con cultivo de hortalizas, bajo un monitoreo remoto con sensores, y la transmisión de datos a una plataforma web. En las conclusiones se hace referencia a las condiciones mínimas de uso de esta metodología con resultados productivos positivos, y las condiciones de manejos para un buen uso del prototipo, de hasta un 90 % de resultados positivos en la producción, el uso eficiente de recursos, y los sistemas remotos de control; esto como una alternativa para la producción integrada de peces y hortalizas en espacios urbanos.

Palabras clave: Sistemas acuapónicos, agricultura urbana, agrónica, sensores electrónicos agropecuarios.

Abstract

The methodology of producing food locally is one of the most important tools in the theory of food sovereignty and security, and, in this productive profile, having animal protein becomes an important challenge to consider, for different reasons of space, logistics, odor generation, etc. Thus, hydroponic crops become a solution, especially when this system is transferred including fish farming in ponds that benefit from hydroponics.

Édgar A. Aguirre

eaguirre@uniminuto.edu

Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO, Colombia.

Jhon J. Monje Carvajal

jmonje@uniminuto.edu.co

Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO, Colombia.

Camilo Sierra Salamanca

Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO, Colombia.

Daniel Andrés Vega

davega@uniminuto.edu

Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO, Colombia.

Copyright:



That is how this type of system, where fish is added to the hydroponics methodology and becomes aquaponic, a methodology that required to be valued, which was done using agronomic tools for its automation, measuring temperature, humidity, temperature variables and pH to control circulation and temperature, with the production of vegetables and fish in the same structure, to check the operation of the model, under electronic monitoring and remote data capture with actuators and wireless communication to a web platform. The result was the construction of a prototype that allows the integration of fish with vegetable crops, under remote monitoring with sensors, and the transmission of data to a web platform. In the conclusions, reference is made to the minimum conditions of use of this methodology with positive productive results, and the management conditions for a good use of the prototype, up to 90 % of positive results in production, efficient use of resources, and remote control systems; this as an alternative for the integrated production of fish and vegetables in urban spaces.

Keywords: Aquaponics systems, urban farming, agronica, livestock electrical sensors.

Resumo

A metodologia de produzir alimentos de forma local é uma das ferramentas mais importante na teoria da soberania e segurança dos alimentos, e neste perfil produtivo o ter proteína animal converte-se num desafio importante a considerar, por diferentes razões de espaço, logística, geração de cheiros, etc. Assim, os cultivos hidropônicos se convertem numa solução, principalmente quando este sistema se transfere incluindo o cultivo de peixes em tanques que se beneficiam da hidroponia. É bem como este tipo de sistema, em onde à metodologia de hidroponia se lhe agregam peixes, se converte em acuapónico, metodologia que necessitaria ser valorada, e assim se fez, usando ferramentas agrónicas para sua automação, medindo variáveis de temperatura, humidade e pH para controlar a circulação e a temperatura, com a produção de hortaliças e peixes numa mesma estrutura, para comprovar o funcionamento do modelo, baixo a monitorização eletrónica e a tomada remota de dados com atuadores e comunicação inalámbrica para uma plataforma web. O resultado foi a construção de um protótipo que permite a integração de peixes com cultivo de hortaliças, baixo uma monitorização remota com sensores, e a transmissão de dados a uma plataforma web. Nas conclusões faz-se referência às condições mínimas de uso desta metodologia com resultados produtivos positivos, e as condições de manejos para um bom uso do protótipo, de até um 90 % de resultados positivos na produção, o uso eficiente de recursos, e os sistemas remotos de controle; isto como uma alternativa para a produção integrada de peixes e hortaliças em espaços urbanos.

Palavras-chave: Sistemas acuapónicos, agricultura urbana, agrónica, sensores eletrônicos agropecuários.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas agrícolas convencionales se desarrollan en extensas áreas de tierra, produciendo y cosechando grandes volúmenes de frutas, hortalizas, tubérculos, tallos, flores, entre otros tejidos aprovechables. En la implementación de este modelo productivo intervienen múltiples variables agroecológicas como factores físicos, químicos y microbiológicos del suelo, el clima, el tipo de cultivo y el recurso hídrico, así como el manejo de tecnologías derivadas de la mal denominada revolución verde, que sustenta sus principios en la utilización indiscriminada de productos de síntesis química, sistemas de riego de gran escala, maquinaria de arado y recolección, semillas modificadas, fertilizantes inorgánicos y pesticidas. Todo lo anterior, con una repercusión negativa sobre el medio ambiente, el productor y el consumidor [1].

El cambio climático es un fenómeno que afecta de manera transversal las actividades humanas y la agricultura. La FAO afirma que el cambio climático impacta la agricultura y el bienestar humano: los efectos biológicos en el rendimiento de los cultivos, las consecuencias del impacto sobre los resultados, precios, producción, consumo y los impactos sobre el consumo per cápita de calorías y la malnutrición infantil [2]. Los efectos biofísicos del cambio climático sobre la agricultura inducen cambios en la producción y precios, que se manifiestan en el sistema económico a medida que los agricultores y otros participantes del mercado realizan ajustes de forma autónoma, modificando sus combinaciones de cultivos, uso de insumos, nivel de producción, demanda de alimentos, consumo de alimentos y comercio [3], tierra infértil, desperdicio de recursos naturales, contaminación, fertilizantes, pesticidas [4], baja producción, enfermedades, disminución de la biodiversidad.

Para mitigar los impactos generados por la revolución verde, así como los efectos del cambio climático, se han diseñado alternativas para la producción de alimentos inocuos y que contribuyen de forma directa al mejoramiento del medio ambiente. Algunas de estas alternativas están enfocadas en cultivos urbanos con modelos de producción verticales, hidropónicos y aeropónicos con técnicas de producción orgánicas. En estos modelos de producción se pueden controlar ciertas variables para mantener la calidad y mejorar los rendimientos [2]. No obstante, uno de los problemas de estos módulos es la baja integración de la producción en espacios pequeños [5]. Por lo tanto, la pregunta que se gesta hace

referencia a ¿cómo mejorar e integrar los sistemas productivos agrícolas y pecuarios por medio de un sistema acuapónico?

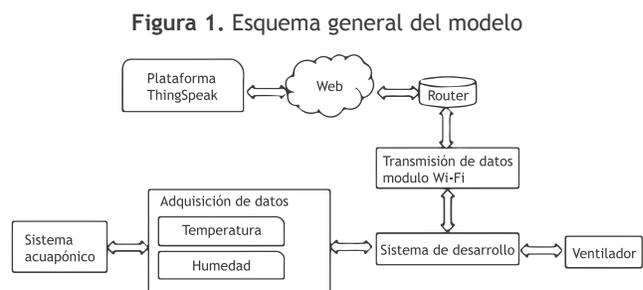
El desarrollo de cultivos acuapónicos [6] se realiza bajo técnicas de manejo de sustratos sólidos, con camas que actúan como biofiltros. Para el manejo básico y los resultados de crecimiento y supervivencia de lechugas [4] se diseñan prototipos acuapónicos utilizando técnicas [7] y camas de agua para cultivos de hortalizas, cría de [3] moluscos [8]. Para este tipo de cultivos se trabaja con hidroponía, acuicultura, aeroponía y acuaponía con diferentes técnicas de cultivo.

Este artículo se divide en cinco apartados. El primero, corresponde al marco de referencia donde se propone el problema de investigación y un breve estado del arte. El segundo, describe el modelo implementado con cada una de sus partes. El tercero, expone el caso de estudio en particular que se implementó. El cuarto, muestra los resultados obtenidos y, finalmente, en el quinto apartado se señalan las conclusiones obtenidas.

MODELO

El objetivo principal del modelo se basó en la medición de diferentes variables para observar el comportamiento buscando la mejora de la productividad usando como contexto casas de interés social donde se pudieran ubicar el modelo de prueba.

El esquema general del modelo se observa en la figura 1, donde cada elemento contiene una medición de variables, el sistema recoge nutriente de un tanque y lo hace circular hacia el sistema de hortalizas donde por gravedad cae el agua por las raíces de las hortalizas y a su vez hacia el tanque de agua donde están los peces. Este ciclo se repite [9].

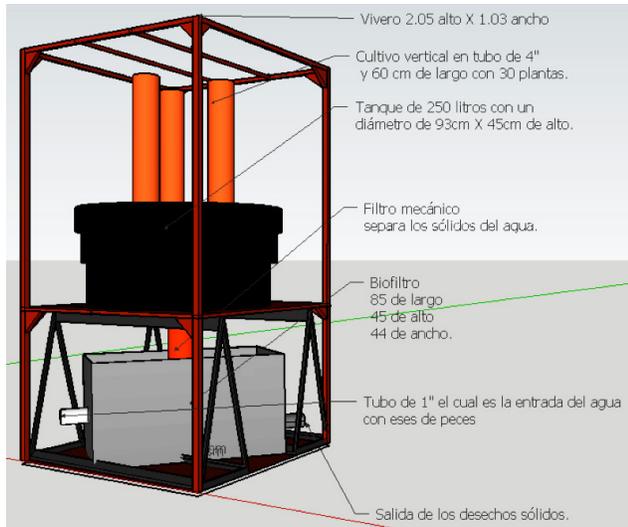


Fuente: elaboración propia.

Bajo los requerimientos iniciales se planteó un modelo no funcional que se observa en la figura 2 para

definir el proceso. Para mantener la temperatura interna, se cubrió el exterior con plástico y se reguló el ingreso de aire por medio de un ventilador. El sistema de hortalizas fue implementado por medio de un hidropónico vertical donde la circulación de nutrientes se realizó por gravedad, la automatización determinó los ciclos de irrigación para el encendido de la bomba que surte al tanque de agua donde están los peces.

Figura 2. Imagen del modelo propuesto



Fuente: elaboración propia.

CASO DE ESTUDIO

Se construyó un biofiltro y un filtro mecánico para realizar el ciclo de conversión de amoníaco a nitrato, para lo cual se añadieron 100 litros de agua con un filtro mecánico ya colonizado con bacterias y tapas PET, con la finalidad de incentivar el proceso de colonización y aumentar las bacterias. Para tal finalidad se adicionaron 3 ml de amoníaco para estimular los niveles de nitritos y nitratos. Por otro lado, para obtener los niveles de oxigenación y temperatura requeridos, se instaló una motobomba para recircular el agua y generar oxígeno disuelto por medio de la caída del agua [10]. Para mantener la temperatura, se instaló un termostato (HX-906 de 300w) con temperatura de $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

Teniendo en cuenta lo anterior, se llevó a cabo el diseño e instalación del circuito electrónico, utilizando un Arduino® en el cual se programaron los

sensores de temperatura y humedad (DHT11), temperatura (sonda DS18B20) y pH (sensor MSP430). Lo anterior, con el objetivo de monitorear las variables previamente descritas.

Desde el punto de vista técnico productivo, se construyó el vivero para la propagación del material vegetativo para trabajar. Así mismo, se construyeron los tanques y los tubos de plantación con el respectivo sistema de bombeo. Posteriormente a estas actividades, se distribuyeron los sensores que realizan las pruebas de temperatura y las respectivas mediciones de nitritos y amoníaco (5 a 150 mg/l) para luego sembrar las plantas y los peces y poder iniciar el proceso de recirculación del recurso hídrico [10].

Para el sistema electrónico se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones: el sensor DH11 se ubicó a 2 metros en la parte superior del semillero para registrar la temperatura y humedad relativa en donde están las plantas, se añadió un ventilador para controlar la temperatura con consigna de registro de más de 20°C a mediodía o en la tarde. Los dos sensores DSB18B20 se añadieron a los 2 tanques para registrar la temperatura del agua y se añadió un termómetro para observar qué tan similares eran los registros de temperatura. La medición del pH se realizó por turnos ya que el sensor no se puede mantener en todo momento sumergido; entonces, se alternaron las mediciones entre el tanque de peces y el biofiltro.

A. Integración de peces

El diseño involucró peces carpa. Lo anterior, debido a sus características de rusticidad y adaptabilidad frente a posibles cambios de las condiciones y variables que intervienen en el crecimiento de esta especie animal. Se trabajó con una unidad observacional de 14 alevinos de 2 cm de longitud en promedio.

Durante el primer mes se fueron añadiendo otros 4 peces de la misma clase y 10 carpas doradas para generar más desechos, también se incluyeron 2 cachamas y 1 tilapia para observar la reacción y ver la respuesta del ambiente establecido.

Para la cantidad de plantas se pusieron 5 kg de pez, pero se compraron en etapa juvenil para mirar su crecimiento y para no reducir el espacio a medida que aumenta de tamaño.

B. Colonización de bacterias

Las bacterias se pusieron a colonizar desde el día 1 con una temperatura de 20°C y un pH de 6.2 y con nivel de oxígeno óptimo. Para que se multiplicaran se añadieron en la segunda semana dos filtros. La segunda semana se obtuvo un pH 6.8 con una temperatura de 20°C a 22°C y niveles de nitrito altos con un valor de 10.0mg/l y nitratos 40-80 mg/l. Con estos resultados no se dificulta la recirculación de agua [10].

C. Traspaso de plantas

La germinación de lechuga cressa se realizó en un lapso de 15 días donde se presentaron 3 hojas. En cada tubo su ubicaron 30, con lo que se obtuvo en total 90 plantas sembradas. En este proceso el sensor de temperatura y humedad registró niveles de 15°C a 20°C en las mañanas y un promedio de 25°C a 30°C a mediodía; por la noche, baja a unos 13°C con una humedad de 83 %.

RESULTADOS

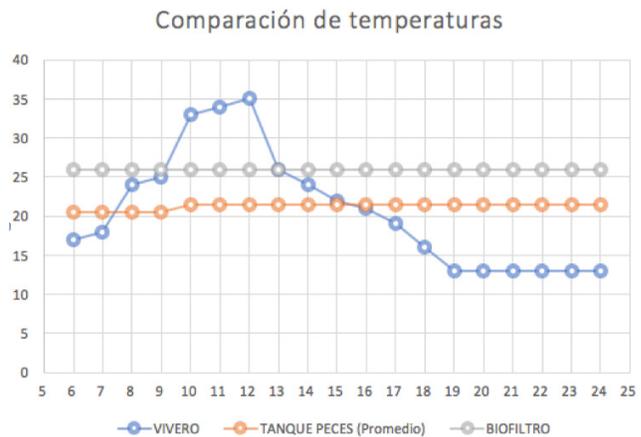
Tabla 1. Promedio de la temperatura en una semana. La temperatura del vivero varía según el día

	VIVERO		TEMPERATURA	
	Temperatura	Humedad	Tanque Peces	Biofiltro
6:00 Am	17°C	63 %	21°C - 20°C	26°C
7:00 Am	18°C	65 %	21°C - 20°C	26°C
8:00 Am	24°C	43 %	21°C - 20°C	26°C
9:00 Am	25°C	33 %	21°C - 20°C	26°C
10:00 Am	33°C	12 %	20°C - 23°C	26°C
11:00 Am	34°C	10 %	20°C - 23°C	26°C
12:00 Am	35°C	9 %	20°C - 23°C	26°C
1:00 Pm	26°C	22 %	20°C - 23°C	26°C
2:00 Pm	24°C	28 %	20°C - 23°C	26°C
3:00 Pm	22°C	38 %	20°C - 23°C	26°C
4:00 Pm	21°C	39 %	20°C - 23°C	26°C
5:00 Pm	19°C	60 %	20°C - 23°C	26°C
6:00 Pm	16°C	65 %	20°C - 23°C	26°C
7:00 Pm	13°C	79 %	20°C - 23°C	26°C
8:00 Pm	13°C	81 %	20°C - 23°C	26°C
9:00 Pm	13°C	83 %	20°C - 23°C	26°C

	VIVERO		TEMPERATURA	
	Temperatura	Humedad	Tanque Peces	Biofiltro
10:00 Pm	13°C	73 %	20°C - 23°C	26°C
11:00 Pm	13°C	73 %	20°C - 23°C	26°C
12:00 Pm	13°C	73 %	20°C - 23°C	26°C

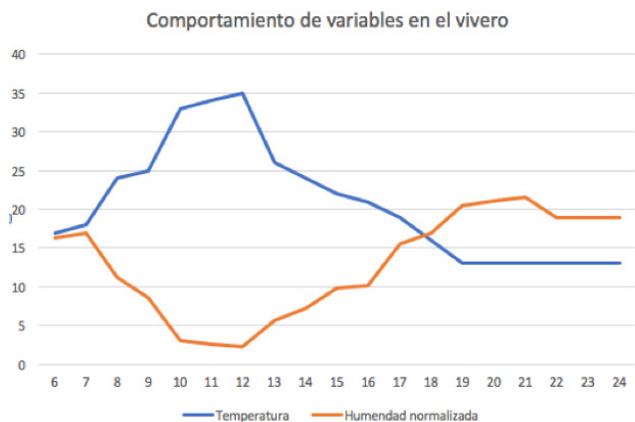
Fuente: elaboración propia.

Figura 4. Comportamiento de la temperatura del vivero, del tanque y del biofiltro



Fuente: elaboración propia.

Figura 5. Comportamiento de la temperatura y la humedad relativa por horas en el vivero



Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Medición del pH al finalizar la semana

SEMANA	PH	
	Tanque peces	Biofiltro
Semana 1 / 8 al 12 de mayo	6.5	6.8
Semana 2 / 15 al 19 de mayo	6.7	7.0

SEMANA	PH	
	Tanque peces	Biofiltro
Semana 3 / 22 al 26 de mayo	6.7	6.6
Semana 4 / 29 al 2 de junio	6.6	6.7
Semana 5 / 5 al 9 de junio	6.6	6.8
Semana 6 / 12 al 16 junio	6.7	6.8

Fuente: elaboración propia.

Figura 6. Crecimiento de hortalizas



Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

El diseño de estructuras productivas urbanas que integran la producción de alimentos es de suma importancia y deben ser valorados dentro de los planes de ordenamiento territorial. Lo anterior, desde la perspectiva asociada a la seguridad alimentaria, entregando productos inocuos y de calidad a los consumidores, así como los benéficos asociados a la mitigación del cambio climático a través de los procesos de intercambio gaseoso que realizan las coberturas vegetales.

El proceso de la implementación de este proyecto deja como aprendizaje que al conseguir un buen filtro mecánico y un buen biofiltro con una colonia de bacterias maduras, es posible tener niveles de menos de 1 mg/L de amoníaco y nitrito, niveles de 5 a 150 mg/l de nitrato para realizar la circulación del agua en todo el cultivo. Al mismo tiempo, ir adecuando el espacio para los peces, porque se consigue los niveles adecuados de pH, temperatura y oxígeno disuelto.

También es una conclusión importante que para mantener el nivel de bacterias en el biofiltro es recomendable solo cambiar la mitad del filtro mecánico, pues si se hace por completo se pierden las bacterias y cambian los niveles de nitritos y nitratos.

Hay que tener en cuenta que para la germinación de las plantas se debe realizar 4 semanas antes de la puesta en funcionamiento de la unidad productiva, y que éstas se deben ubicar en un buen lugar en donde la raíz puede ser larga para así poder absorber mejor los nitratos.

Como un sistema acuapónico se establece a los 6 meses, al principio los resultados no van a ser los mejores, hay que tener tiempo para lograr y obtener buenos resultados.

Se puede llegar a elaborar cultivos acuapónicos de tamaños medianos llegando a 90% con buenos resultados siempre y cuando las principales variables estén controladas, entre ellas, pH, temperatura, oxígeno disuelto y niveles inferiores de 1 mg/l de amoníaco y nitritos con un nivel alto de nitratos. Los resultados que arrojaban los sensores temperatura son muy similares a las mediciones que se realizaron de forma manual con un termómetro, teniendo un porcentaje de error de 0.5- 1.0 ° C.

Es posible doblar la densidad de peces en un espacio determinado teniendo todos los parámetros adecuados y así poder cultivar el doble de plantas.

Los espacios en los cuales se puede elaborar estos cultivos son muy variados, ya que estos tienen buenos rendimientos siempre y cuando se tengan los parámetros indicados y las cantidades óptimas.

REFERENCIAS

- [1] E. Reig, "La multifuncionalidad del mundo rural", *ICE: Revista de economía*, no. 803, pp. 33 - 44, noviembre - diciembre, 2002.
- [2] G. C. Nelson *et al.*, *Cambio climático. El impacto en la agricultura y los costos de adaptación*. Washington, D.C.: Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias IFPRI - FAO, 2009.
- [3] A. J. Barahona, Producción de tomate y tilapia en un sistema acuapónico con 50, 100, 150 y 200 ppm de nitrógeno, 2011.

- [4] J. R. Lobillo *et al.*, “Manejo básico y resultados preliminares de crecimiento y supervivencia de tencas (*Tinca tinca* L.) y lechugas (*Lactuca sativa* L.) en un prototipo acuapónico”, *ITEA*, vol. 110, no. 2, pp. 142 - 159, 2014.
- [5] J. J. Monje, “Retos de la agroecología en las regiones colombianas”, *Luna Azul*, no. 24, pp. 1 - 6, enero - junio, 2007.
- [6] O. Alatorre, *Diseño de un sistema acuapónico autónomo*, Tesis doctoral, México: Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, Santiago de Querétaro, 2014.
- [7] A. Lara, “Nutrient Solution Management in the Hydroponic Production of Tomato”, *TERRA*, vol. 17, no. 3, pp. 221-229, 1999.
- [8] M. Ronzón *et al.*, “Producción hidropónica y acupónica de albahaca (*Ocimum basilicum*) y langostino malayo (*Macrobrachium rosenbergii*)”, *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, vol. 15, núm. 2, pp. S63-S71, 2012.
- [9] D. Ramírez *et al.*, “Montaje y Evaluación Preliminar de un Sistema Acuapónico Goldfish-Lechuga”, *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, vol. 5, no. 1, pp. 154 - 170, 2009.
- [10] M. E. Muñoz, “Sistemas de recirculación acuapónicos”, *Informador Técnico (Colombia)*, no. 76, pp. 123 - 129, enero - diciembre, 2012.