

DISEÑO DE UN SISTEMA ACUAPÓNICO AUTOMATIZADO COMO SOLUCIÓN PARA LA PRODUCCIÓN EFICIENTE DE ALIMENTOS

DESIGN OF AN AUTOMATED AQUAPONIC SYSTEM AS A SOLUTION FOR EFFICIENT FOOD PRODUCTION

L.M. Fernández¹

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Resumen

El objetivo de la investigación es generar un modelo de producción de alimentos eficiente mediante la construcción y evaluación de un prototipo funcional de un sistema acuapónico automatizado utilizando técnicas de llenado y drenaje en uno de los lechos de cultivo y la técnica de raíz flotante. en el otro.

Se propone resolver dos problemas de los sistemas acuapónicos, la eficiencia en el monitoreo de la calidad del agua y el control en la recirculación y cantidad de agua en el sistema, para ello se utiliza un sistema de control que permite capturar la información de los variables, analizarlas y poder realizar las acciones relevantes a través de actuadores. Se propone configurar el sistema para programar el tiempo de encendido y apagado de la bomba de agua, medir el nivel del agua en el cultivo y operar una válvula en función del nivel, medir el nivel del agua en la pecera y tomar decisiones, por otro Por otra parte, capturará la información de temperatura del agua, temperatura ambiente y humedad relativa, esta información será almacenada en un servicio en la nube que te permitirá rastrear variables y representarlas mediante gráficos.

Palabras clave: acuaponía, hidroponía, acuicultura, automatización, hortalizas.

Abstract

The objective of the research is to generate an efficient food production model through the construction and evaluation of a functional prototype of an automated aquaponic system using filling and drainage techniques in one of the culture beds and the floating root technique. in the other one.

It is proposed to solve two problems of aquaponic systems, the efficiency in the monitoring of water quality and the control in the recirculation and quantity of water in the system, for this, a control system is used that allows to capture the information of the relevant

¹ Ingeniero electrónico, Escuela de Ingeniería, especialista en Gestión de Proyectos Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Correo: luis.fernandez.ar@gmail.com

variables, analyze them and be able to carry out the relevant actions through actuators. It is proposed to configure the system to program the on and off time of the water pump, measure the water level in the culture and operate a valve based on the level, measure the water level in the fish tank and make decisions, on the other hand, it will capture the information of water temperature, ambient temperature and relative humidity, this information will be stored in a cloud service that will allow you to track variables and represent them using graphics.

Keywords: Aquaponics, hydroponics, aquaculture, automation, vegetables.

1. Introducción

Según el informe sobre el Foro de Expertos de Alto Nivel de la FAO llevado a cabo en Roma del 12 al 13 de octubre de 2009: la agricultura en el siglo XXI se enfrenta a múltiples retos: tiene que producir más alimentos y fibras a fin de alimentar a una población creciente con una mano de obra menor, así como más materias primas para un mercado de la bioenergía potencialmente enorme, y ha de contribuir al desarrollo global de los numerosos países en desarrollo dependientes de la agricultura, adoptar métodos de producción más eficaces y sostenibles y adaptarse al cambio climático.

Se prevé que la población mundial aumente en más de un tercio, o 2.300 millones de personas, entre 2009 y 2050. Esta tasa de crecimiento es muy inferior a la que se registró en las cuatro últimas décadas, durante las cuales se incrementó en 3.300 millones de personas, o en más del 90%. Se prevé que casi todo este crecimiento tendrá lugar en los países en desarrollo. Se pronostica que la urbanización seguirá aumentando a un ritmo acelerado, que las áreas urbanas pasarán a representar el 70% de la población mundial en 2050 (frente al 49 % en la actualidad) y que la población rural, tras alcanzar un nivel máximo a lo largo del próximo decenio, disminuirá.

De acuerdo a lo expuesto en los párrafos anteriores es necesario buscar nuevas alternativas de producción de alimentos, que sean más eficaces y que hagan uso eficiente del suelo y el agua, pero, además que puedan ser implementados en las zonas urbanas.

Una solución que nace hace mucho tiempo, pero que

¹ Ingeniero electrónico, Escuela de Ingeniería, especialista en Gestión de Proyectos Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Correo: luis.fernandez.ar@gmail.com

apenas hasta hace pocos años empezó a ser tenida en cuenta y practicada por entusiastas, investigadores y empresarios, es la acuaponía, esta última consiste en un ecosistema en el que se integran la acuicultura (cría de peces) con la hidroponía (cultivo de plantas en agua sin suelo) a través de un sistema de recirculación del agua.

La acuaponía tiene muchos beneficios en comparación a la producción de alimentos en suelo, incluso comparándolo con la hidroponía, algunos de estos ellos son: uso eficiente del agua al reutilizarse cerca del 90% del agua presente en el sistema, no hay contaminación por vertimientos en afluentes de agua, producción orgánica de alimentos al no estar permitido el uso de agroquímicos como fertilizantes, plaguicidas, funguicidas, antibióticos, producción de vegetales y proteína (peces), mayor densidad de siembra (Simbeye & Yang, 2014).

La práctica de la acuaponía trae consigo retos importantes en cuanto a la puesta en marcha y mantenimiento del sistema, mientras se promueve el crecimiento de las colonias de bacterias nitrificantes, las cuales son pieza fundamental en el ciclo del nitrógeno que convierten los excrementos de los peces y el alimento sobrante en nitratos, una forma del nitrógeno aprovechable por las plantas.

Para lograr una producción eficiente en un sistema acuapónico se deben controlar variables como pH, oxígeno disuelto, concentración de amonio, concentración de nitritos, concentración de nitratos, temperatura del agua, sólidos disueltos totales, conductividad eléctrica, temperatura ambiente, humedad relativa, luminosidad, entre otras. El control de estas variables puede ser realizado por un sistema automatizado el cual se encarga de leer la información de los sensores, analizar dicha información y tomar decisiones para tomar acciones a través de actuadores.

Estos sistemas automatizados pueden ser modelados de tal forma que puedan ser implementados en zonas rurales, urbanas, en edificios abandonados, en bodegas, en lotes urbanos, etc., y, además, para que puedan ser escalados solamente replicando el modelo tantas veces sea necesario para alcanzar la producción deseada.

2. Metodología

¹ Ingeniero electrónico, Escuela de Ingeniería, especialista en Gestión de Proyectos Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Correo: luis.fernandez.ar@gmail.com

Esta investigación se puede clasificar como aplicada, experimental y descriptiva ya que pretende aplicar los conocimientos adquiridos para replicar el fenómeno de estudio y luego poder describir o dar respuesta a los cuestionamientos del objeto que se investiga.

2.1 Materiales

2.1.1 Software Fusión 360: se utilizó el Software Fusión 360, software de diseño CAD, en el cual se hizo el diseño y ensamble de la estructura, el tanque de peces, las camas de cultivo, y el sistema para medir el nivel del agua en la cama de cultivo de grava.



Fig. 1. Elaboración propia a partir de software Fusión 360, diseño de piezas.

2.1.2 Estructura: para la construcción de la estructura y las camas de cultivo se utilizaron los siguientes materiales y herramientas: tablas de madera de pino, tornillos, pie de amigo, serrucho, escuadra, taladro, tanques de 55 galones herméticos.



Fig. 2. Elaboración propia, estructura utilizada para el montaje del sistema.

2.1.3. Sensores: para monitorear las variables medioambientales y de control se utilizaron los siguientes sensores:

Tabla 1. Sensores y características.

Sensor	Características	Ilustración
Sensor digital HC-SR04 para medir el nivel del agua en la cama de cultivo de grava.	Dimensiones del circuito: 43 x 20 x 17 mm Tensión de alimentación: 5 Vcc Frecuencia de trabajo: 40 KHz Rango máximo: 4.5 m Rango mínimo: 1.7 cm Alimentación: 3Vdc ≤ Vcc ≤	

¹ Ingeniero electrónico, Escuela de Ingeniería, especialista en Gestión de Proyectos Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Correo: luis.fernandez.ar@gmail.com

<p>Sensor digital DHT11 de temperatura ambiente y humedad relativa.</p>	<p>5Vdc Rango de medición de temperatura: 0 a 50 °C Precisión de medición de temperatura: ±2.0 °C. Resolución temperatura: 0.1°C Rango de medición de humedad: 20% a 90% RH. Precisión de medición de humedad: 4% RH. Resolución humedad: 1% RH</p>	
<p>Sensor digital DS18B20 de temperatura de agua.</p>	<p>Rango de temperatura: -55 a 125°C. Resolución: de 9 a 12 bits (configurable) Interfaz 1-Wire (puede funcionar con un solo pin) Identificador interno único de 64 bits. Múltiples sensores, puede compartir el mismo pin. Precisión: ±0.5°C (de -10°C a +85°C) Tiempo de captura inferior a 750ms</p>	
<p>Sensor analógico de PH</p>	<p>Alimentación: 5.00V Dimensiones: 43x32mm (controlador) Rango de medición: 0-14 pH Temperatura de medición: 0-60 °C Precisión: ± 0.1pH (25 °C) Tiempo de respuesta: ≤ 1min Sonda de pH con conector BNC Controlador pH 2.0 (3 pines) Ajuste de ganancia</p>	

Fuente: elaboración propia a partir de Simbeye & Yang (2014).

2.1.4 Actuadores: se utilizaron los siguientes actuadores para el control de la circulación del agua a través del sistema.

Tabla 2. Actuadores y características

Actuador	Características	Ilustración
<p>Bomba de agua para acuario de 18W</p>	<p>Altura elevación máx. (m) 1.1 m Caudal máximo 510 L/hora Diámetro 1/4" Tipo sumergible</p>	
<p>Electroválvula 12V</p>	<p>Voltaje de operación 12VDC Tipo de accionamiento Normalmente cerrada. Tamaño de puerto G3/4" Presión salida de agua 0.00Mpa~0.2Mpa</p>	
<p>Modulo relé de dos canales.</p>	<p>2 relés (Relays) de 1 polo 2 tiros Voltaje de operación: 250VAC/30VDC Voltaje de la bobina (relé): 5V Corriente de operación: 10A Corriente de activación por relé: 15mA~20mA</p>	

Fuente: elaboración propia a partir de Simbeye & Yang (2014).

2.1.5. Microcontrolador: se utilizó un Arduino UNO como cerebro para la automatización del sistema y un ESP8266 para conexión con el servicio de almacenamiento de la información de los sensores de temperatura y humedad.

¹ Ingeniero electrónico, Escuela de Ingeniería, especialista en Gestión de Proyectos Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Correo: luis.fernandez.ar@gmail.com



Fig. 3. Microcontrolador utilizado en el sistema (Fernández, 2020).

2.1.6. Sistema fotovoltaico: para alimentar los sensores, el microcontrolador, los actuadores, se implementó un sistema de energía fotovoltaica con los siguientes elementos:

- Panel solar de 20W
- Baterías de 12V 33AH
- Controlador de carga de 12V 20^a
- Circuito inversor de 40W

2.2 Métodos

Se inició la investigación definiendo la configuración que se iba a utilizar para diseñar el sistema acuapónico, una vez obtenida dicha configuración se dio inicio al diseño de esta en el software Fusion 360, con este diseño se logró generar el cálculo de la cantidad de material a utilizar en el proceso de construcción de la estructura. Posterior al diseño se llevó a cabo la construcción de la estructura en madera de pino, dicha estructura contará con la resistencia suficiente para soportar el peso de dos camas de cultivo de 100 lt. cada una llena de agua, adicionalmente una de ellas estará llena de grava de río.

Al contar con la estructura finalizada, se procedió a realizar el montaje de las camas de cultivo y el tanque que contiene los peces, para ello se utilizaron dos tanques de 55 galones, uno de los cuales fue dividido en dos partes con el fin utilizarlo como cama, mientras la mitad restante fue utilizada como tanque de peces, el cual fue perforado en la parte superior con el objetivo de facilitar las labores y acondicionarlo para la recirculación del agua.

Con la estructura, las camas y el tanque de peces en su sitio, se realizó el ensamble del sistema de tuberías y actuadores para la recirculación del agua, para ello se instaló la bomba sumergida en el tanque de peces, de allí se bombea el agua por medio de una manquera hasta la

¹ Ingeniero electrónico, Escuela de Ingeniería, especialista en Gestión de Proyectos Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Correo: luis.fernandez.ar@gmail.com

cama de cultivo llena de grava, desde aquí el agua pasa a la cama de raíz flotante controlada por una electroválvula para luego volver al tanque de peces por gravedad.

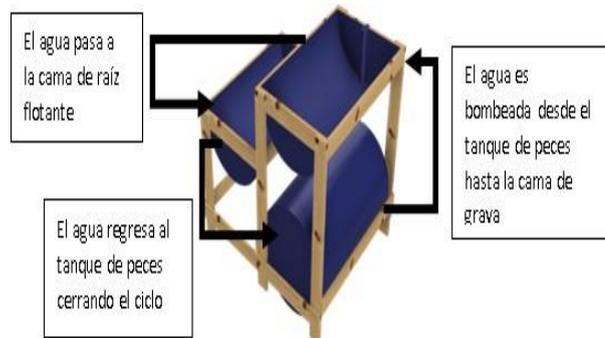


Fig. 4. Elaboración propia, Sistema de recirculación del agua.

Posteriormente, se construyó un sistema para medir el nivel de agua en la cama de grava, para ello se utilizó un sensor HC-SR04 al cual se le fabricó una carcasa en tubo PVC para lograr que el sensor solo mida el nivel del agua y evitar errores en la lectura debido a la interferencia de las piedras. Una vez se llevó a cabo el ensamble del sistema antes mencionado, se realizó el llenado de la cama superior con grava de río y se agregó el agua al sistema.

Al finalizarse el procedimiento antes expuesto se realizó la automatización y control del sistema utilizando un Arduino UNO como cerebro, el cual se encarga de las siguientes funciones:

- Encender y apagar la bomba cada 40 minutos por un lapso de 20 minutos.
- Medir el nivel de agua en la cama de grava.
- Accionar la electroválvula dependiendo de los límites superior e inferior de nivel de agua definidos en la programación del Arduino.
- Medir el pH del agua.
- Medir la temperatura del agua.
- Medir la temperatura del medioambiente.
- Medir la humedad relativa.

Para controlar todas estas variables se implementó el siguiente algoritmo que luego se codificó y se cargó en el Arduino UNO a través de su IDE de programación.

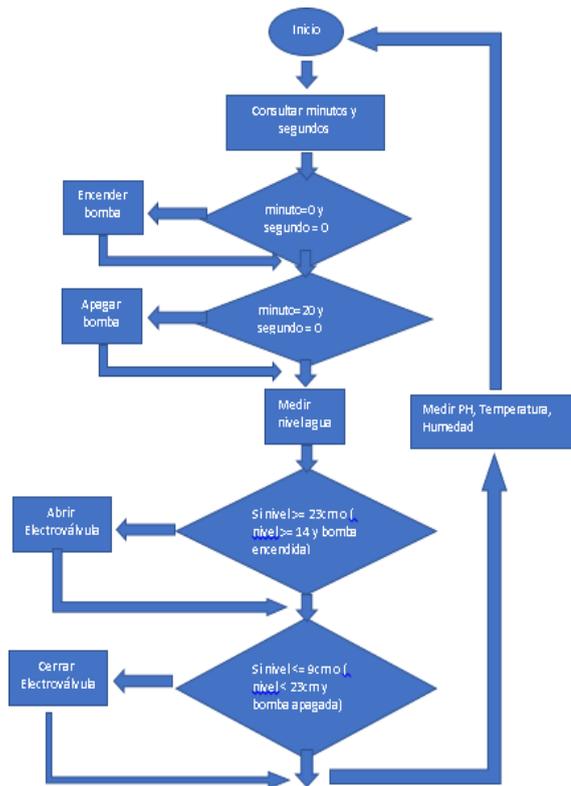


Fig. 5. Elaboración propia, algoritmo utilizado para la programación del sistema.

3. Resultado

Como resultado del proyecto se tiene que la automatización del sistema acuapónico se comporta según lo esperado, se están obteniendo correctamente las lecturas de los sensores algunas de las cuales se están utilizando para tomar decisiones como el nivel del agua para accionar la electroválvula. Por el momento las demás variables se están leyendo (PH, temperatura del agua, temperatura ambiente, humedad relativa), pero simplemente se están almacenando localmente y no hay forma de consultar el histórico de una forma intuitiva.

Respecto a problemas encontrados, se presentó taponamiento de la electroválvula con materiales sólidos, además, las tuberías de los efluentes al parecer son muy estrechas y es necesario tener un flujo más rápido para evacuar el agua de las camas. De igual forma es necesario instalar una bomba de mayor caudal ya que en los 20 minutos programados no se alcanza a hacer circular todo el volumen de agua del tanque de peces. El sistema fotovoltaico está cumpliendo con las expectativas de consumo de los elementos electrónicos del sistema acuapónico.

¹ Ingeniero electrónico, Escuela de Ingeniería, especialista en Gestión de Proyectos Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Correo: luis.fernandez.ar@gmail.com

4. **Conclusión**

- i. Es posible mejorar la eficiencia de los sistemas acuapónicos a través de la automatización, ya que las decisiones son tomadas en tiempo real, es decir tan pronto se detecta un cambio en los parámetros de las variables que están siendo monitoreadas.
- ii. El sistema propuesto presenta un grado de complejidad alto para ser un modelo que se pueda implementar sin asesoría técnica.
- iii. La implementación se puede mejorar adicionando sensores para controlar el mayor número de variables, en nuestro caso faltarían sensores para medir las concentraciones de amonio, nitritos, nitratos, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica.
- iv. El sistema puede ser utilizado para agricultura urbana, pero puede modificarse para acondicionarlo para producción comercial, a la vez que puede ser escalado, dependiendo de las necesidades de producción.

5. **Referencias**

- Fernández, Y. (2020). Qué es Arduino, cómo funciona y qué puedes hacer con uno. Xataka Basics.
<https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>
- Garbaer, A.J. (2009). Aquaponics systems: nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. *Aquaculture Innovations*, 246, 147–156.
- Kumar, H. (2016). An autonomus Aquaponics System using 6LoWPAN based WSN. 4th International Conference on Future Internet of Things and Cloud Workshops. 2016.
- Pantanella, E. & Cardarelli, M. (2012). Aquaponics vs hydroponics: production and quality of lettuce crop. *Acta Horti*, 927, 887–893.
- Ramírez, L. (2011). Evaluación preliminar de sistemas acuapónicos e hidropónicos en cama flotante para el cultivo de orégano. *Revista Facultad de ciencias*, 7, 242–259.
- Simbeye, D. S. & Yang, S. F. (2014). Water quality monitoring and control for aquaculture based on wireless sensor networks,

¹ Ingeniero electrónico, Escuela de Ingeniería, especialista en Gestión de Proyectos Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Correo: luis.fernandez.ar@gmail.com

Journal of Networks, 9, 840–849.

Suhl, J. & Dannehl, D. (2016). Advanced aquaponics: Evaluation of intensive tomato production in aquaponics vs conventional hydroponics. *Agricultural Water Management*, 178, 335– 344.