

Automatización de un cultivo hidropónico para el control de variables

Automation through variable control of a hydroponic cultivation operation

DOI: <http://dx.doi.org/10.23850/24220582.114>

Recibido: 24-08-2014 Aceptado: 30-11-2014

Nelson Humberto Zambrano Cortés,¹Mery Catherine Behrentz Pfalz²

Resumen

La hidroponía es uno de los métodos de producción agrícola que más se ha desarrollado en los últimos años, ya que ha permitido la optimización del espacio físico, dejando en segundo plano el uso de la tierra como base para el crecimiento de especies, ha permitido también incorporar de una forma más simple nutrientes y fertilizantes orgánicos que favorecen el consumo de éstos. Por otra parte los cultivos generados bajo invernadero han beneficiado al productor, ya que protegen a las especies de las variaciones del clima, permiten un control más riguroso de producción y un manejo de plagas más acertado, dependiendo de la especie, aunque limita la producción ya que requiere una infraestructura física importante para su implementación. Es muy utilizado en nuestro país, especialmente en el cultivo de flores y de vegetales. Al fusionar estos dos elementos con la automatización encontramos una oportunidad de trabajar con un proyecto de impacto tanto ambiental como social, desarrollando su tecnología que viene a favorecer al agro y a la comunidad. Se busca así la producción controlada de alimentos de alta calidad, que ofrezcan características fisicoquímicas favorables para el consumo humano.

Partiendo de una base documental proveniente de los adelantos logrados en algunos países productores agrícolas, de empresas instaladas en el país y de tecnología de bajo consumo destinada al control de variables ambientales, e integrando la Escuela de Ciencias Pecuarias y Medio Ambiente ECAPMA y la de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería ECBTI, del CCAV de Zipaquirá, se realiza un proyecto que integra el agro y la tecnología, dando soluciones a situaciones reales a través de la investigación y la implementación de sistemas automatizados que permitan el control de variables fisicoquímicas en un invernadero bajo techo, que a su vez proporciona condiciones ideales para la producción de especies vegetales.

Este documento recopila las experiencias desarrolladas por el semillero Agrónica & Energías Limpias y los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto, además de los procesos de diseño y las mejoras a futuro con el fin de optimizar el invernadero hasta su punto de producción máxima.

Palabras clave: Hidroponía, invernaderos, automatización, control.

- 1 Colombiano. Especialista en Educación Superior a Distancia, Ingeniero de Diseño y Automatización Electrónica, tutor de la Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería en la UNAD CCAV Zipaquirá, líder del semillero de investigación Agrónica y Energías Limpias. nelson.zambrano@unad.edu.co
- 2 Colombiana. Máster of Business Administration, Especialista en Pedagogía para el desarrollo del aprendizaje autónomo, Administradora de Empresas, tutora de la Escuela de Ciencias Administrativas Contables, Económicas y de Negocios en la UNAD CCAV Zipaquirá, líder del semillero de investigación G´kaira y colaboradora en el semillero de Agrónica y Energías Limpias. Mery.Behrentz@unad.edu.co

Abstract

Hydroponics have been one of the agricultural production methods that have developed the most in the recent years, since it has permitted the physical space usage optimization, leaving behind the usage of soil as the base for growth of vegetal species, as well as increasing nutrient and organic fertilizer uptake in favor of its consumption by the plant. On the other hand, the greenhouse-sheltered operations have benefited the producer since it protects the plantation from climate variations, production control and surveillance, and easier, more simple plague control measures are to be taken, depending on the species, although it limits production since it requires a significant physical infrastructure necessary for its implementation. It is well used in the Colombian flower and vegetable production sector. When you fuse these two objects with automation, we find an opportunity to work with a project that has positive agricultural and social impact, developing technology that favors the farmers and their community. We seek the controlled production of high quality food, that offers physical and chemical properties that are favorable for human consumption.

Starting from a document base that has been extracted from the advances achieved in some agriculture producing countries, companies that have established operations in this country and low energy consumption technology usage destined to the control of environmental variables, while integrating the School of Aquaculture and Environment ECAPMA, and the School of Basic Sciences, Technology and Engineering ECBTI, that belongs to the CCAV of the city of Zipaquirá, a project is being gestated that integrates agriculture and technology, bringing solutions to real situations through research and implementation of automated systems that allow the control of physiochemical properties in an indoor greenhouse, that provides the ideal conditions for the production of vegetal species.

This document compiles the experiences recorded by the Agrónica & Energías Limpias seedbank, and the results obtained during the course of the project, along with the design processes and the further upgrades with the intention of optimizing the greenhouse to the point of maximum yield.

Keywords: Hydroponics, Greenhouses, Automation, Control.

Introducción

El cultivo y mejoramiento de productos alimenticios ha sido el motor del desarrollo de la sociedad, ha hecho que el hombre recorra grandes distancias con el fin de conseguir alimentos, que implemente granjas por doquier, que busque la forma de ganarle tierra al mar con el único objetivo de cultivar, ha sido la base de la economía, de los desarrollos tanto culturales como tecnológicos.

El aumento de la densidad demográfica mundial durante las últimas décadas ha generado una gran zozobra sobre el futuro de los recursos a los que tenemos acceso actualmente; los combustibles, los sistemas de energía eléctrica, los materiales de construcción y los alimentos se encuentran en los niveles de reserva baja, aunque el reciclaje, la re-manufactura, las soluciones alternativas ayudan a visualizar un futuro posible, la producción de

alimentos sigue siendo un tema delicado y crítico que se agudiza con el pasar de los días. La Figura 1 presenta una proyección del crecimiento acelerado de la población mundial donde se puede observar el crecimiento significativo entre 1950 y 1998, el cual influye y se relaciona directamente con el consumo masivo de recursos naturales y la generación de desperdicios no reutilizables (Guerrero *et al.*, 2014).

La Figura 2 muestra el consumo calórico por persona al día, se ve la tendencia hacia los países subdesarrollados en América Latina por un alto

consumo; teniendo en cuenta la cantidad de recursos naturales en estos territorios el consumo es desmedido y en muchas ocasiones exagerado.

Al ver la tendencia de la sociedad hacia el consumo de productos de corto crecimiento y maduración, se genera la necesidad de buscar técnicas y métodos más eficientes y naturales que mejoren la calidad de los productos alimenticios de consumo, así mismo de campañas de concientización de una alimentación saludable y el correcto manejo de los recursos naturales.

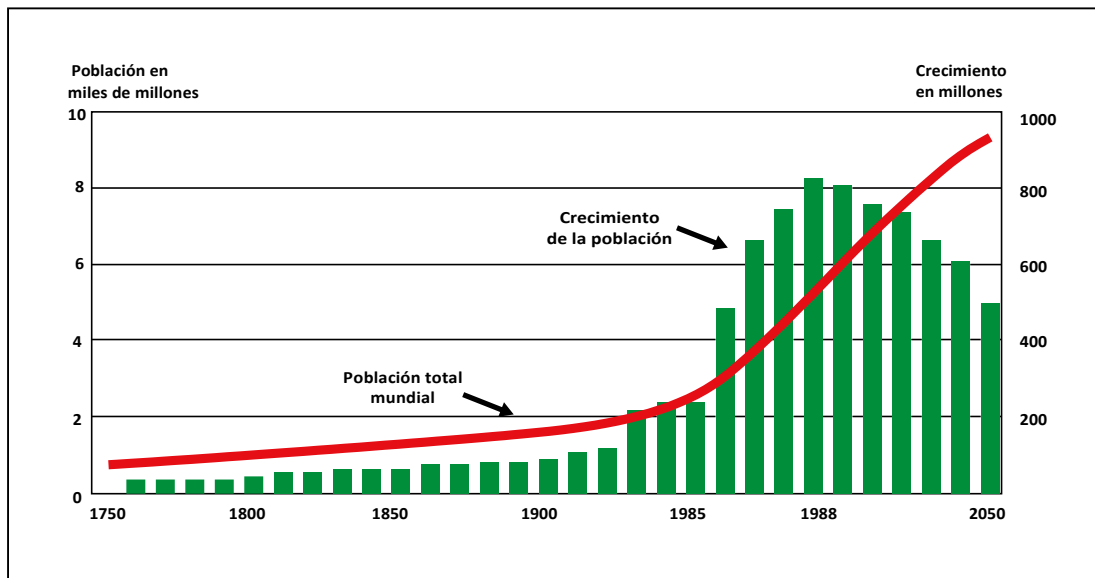


Figura 1. Crecimiento de la población mundial

Fuente: Martínez, 2001

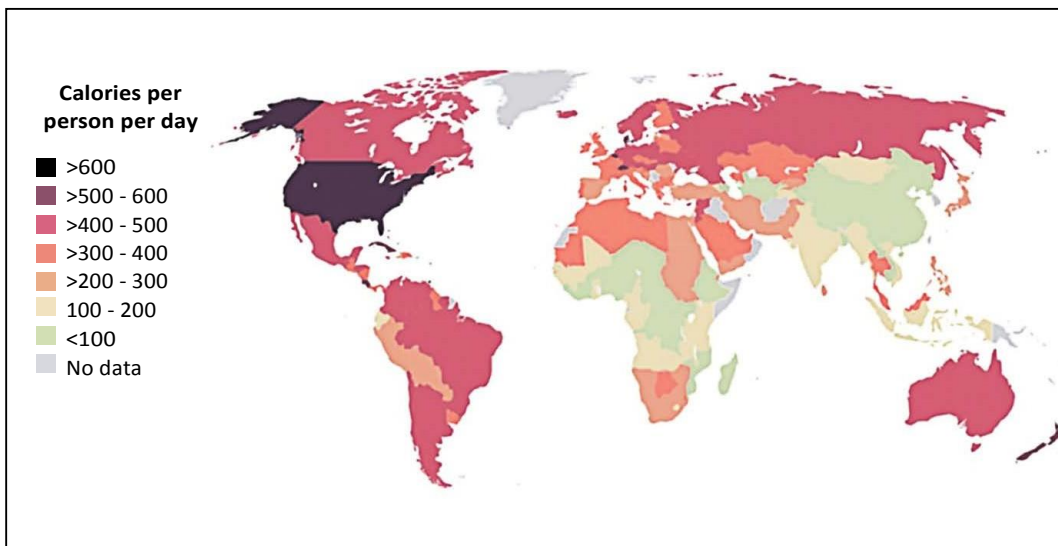


Figura 2. Consumo calórico mundial por persona

Fuente: www.fao.org

Culturas antiguas, precursoras en el desarrollo de la sociedad, cercanas al siglo IV a.C., desarrollaron técnicas de mejoramiento en los cultivos, entre los que se encuentran los jardines colgantes de Babilonia, los huertos flotantes de los aztecas, donde se manejaron los cultivos sin suelo, los que se basaron en reemplazar la tierra por elementos acuosos con base en agua enriquecida con los elementos necesarios para el crecimiento de las plantas. Esta técnica, que permite la reutilización del agua, la optimización de espacio, bajos costos de infraestructura y muy buenos resultados, se ha difundido ampliamente en los últimos años y ha sido base en el diseño de las ciudades más modernas.

Se presentan algunas variantes en el desarrollo de los cultivos sin suelo, los más conocidos son los hidropónicos, que se han combinado con otras técnicas y permiten un mejor desarrollo y calidad en los productos, la investigación de los cultivos bajo techo se ha difundido de tal forma que en México, Argentina y Chile se encuentran expertos en el tema que vienen realizando estudios sobre el efecto de las variables físicas manipuladas para el crecimiento de especies particulares (Carrillo y Vásquez, 2008), y en Colombia, a nivel empírico, granjas orgánicas vienen incursionando

en esta rama, principalmente en la sabana de Cundinamarca y en el Valle del Cauca.

Pruebas realizadas por la Organización Hydroponic Food Production (Productos Alimenticios Hidropónicos) han demostrado la alta eficiencia de los cultivos hidropónicos, una alta reusabilidad de los recursos, optimización de espacio, calidad en los productos obtenidos, la posibilidad de manejarlos sin sustancias químicas que alteren su crecimiento y composición. En la Tabla 1 se muestra un comparativo entre la producción de un cultivo hidropónico con un cultivo en tierra, y se ve la gran diferencia entre estas dos técnicas.

Debido a la necesidad de producir alimentos más saludables y de buena calidad, utilizando de una forma más óptima posible los recursos naturales en un tiempo corto y retomando procesos ancestrales, se inició el proyecto de investigación sobre la automatización de un cultivo hidropónico con insumos orgánicos, el cual combina y retoma las técnicas denominadas cultivos hidropónicos, la innovación tecnológica con la automatización y se genera un proyecto a implementarse en el Centro Comunitario de Atención Virtual CCAV, de Zipaquirá, incorporando además fuentes de energía eléctrica alternativa y limpia de alto impacto ambiental con la implementación de un sistema completamente ecológico, automático y autosostenible.

Tabla 1. Comparativo en toneladas por hectárea de la producción entre cultivos en tierra y en hidroponía.

Cultivo	En tierra	En hidroponía
Arroz	1.2	6
Avena	1.12	2.8
Betabel	10	30
Col	14.5	20
Chícharo	2.5	22
Frijol	12	50
Tomate	25 a 30	200 a 700
Lechuga	6 a 10	23
Papa	30	150
Pepino	7 a 10	31 a 35
Soya	0.62	1.75
Trigo	0.67	4.6

Fuente: Tello, 2009.

Objetivos

El principal objetivo es medir y controlar las variables físicas y químicas para la dosificación de nutrientes en un invernadero experimental de control de germinación y crecimiento de especies vegetales.

Los objetivos específicos son el diseño de un sistema de medición de variables físicas y químicas para un invernadero experimental, diseño del sistema de control de variables físicas y de dosificación de nutrientes, construcción de un invernadero experimental a escala que permita la implementación de los sistemas de medición y control de variables para una especie en particular.

Metodología

Para el control de variables en el prototipo de invernadero hidropónico se adoptó la experimentación controlada como método de trabajo, se manipularon las variables independientes de forma cuantitativa para generar datos que sean estadísticamente analizables.

Se analizaron los antecedentes en Colombia sobre el manejo de cultivos hidropónicos automatizados, encontrando muy poca bibliografía que aporte en desarrollo tecnológico. Con visitas a distintos cultivos locales y a algunos distribuidores de productos de automatización e insumos para el agro se logró construir el concepto del diseño necesario para obtener un prototipo adaptable a diversas especies.

En cada una de las etapas del proyecto se implementó el método instruccional ADDIE, para la recopilación y análisis de la información; en la Figura 3 se presentan las etapas en cada fase del modelo.

Se realizaron experimentos con diversos sistemas de control de variables. El diseño inicial se presenta en la Figura 4, donde se trabajaron variables ambientales como la temperatura, la humedad relativa del ambiente, al igual que la luminosidad. El control de la mezcla de la solución de los nutrientes se manejó en tanques contenedores independientes. La humedad relativa del ambiente se controló con un sensor que entrega una señal analógica proporcional al

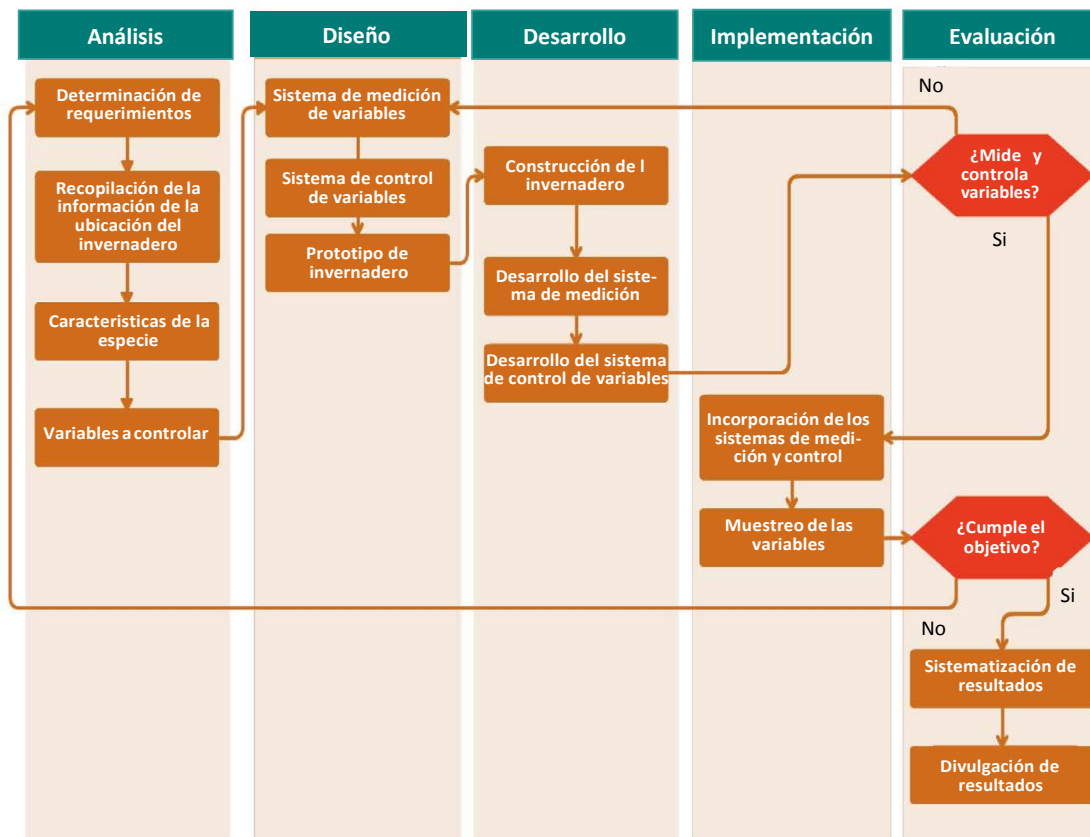


Figura 3. Método ADDIE ajustado a la automatización de un invernadero hidropónico,

Fuente: Autores

porcentaje de humedad, la que pasa al sistema de control encargado de la activación de los elementos reguladores; la iluminación se manejó con diodos emisores de luz LED, los que reemplazaron la radiación solar en la búsqueda de la producción de clorofila y se controló con un sensor de salida análoga, proporcional a la intensidad luminosa.

Dado que los cultivos hidropónicos surgieron como una alternativa de mejoramiento para la agricultura y que el suelo muchas veces impide el crecimiento de las raíces y perturba el desarrollo de las plantas, se buscaron medios alternativos para las camas de crecimiento, de diversos tipos como lo son inorgánicos, orgánicos y sintéticos, dentro de ellos arena, aserrín, arcilla, carbón, fibra de coco, cascarilla de arroz, espuma de poliuretano, espuma de poliestireno, espuma

fenólica, entre otros, que logran efectos en la producción incluso mejores que en un cultivo tradicional con base de tierra (Flórez, V., 2012).

El sistema que se implementó se manejó con un sistema de dosificación sin control de nivel de los tanques contenedores. El sistema completo utilizado en el prototipo se presenta en la Figura 5, en el esquema se muestra de forma descriptiva el sistema implementado que permitió asegurar el estado de variables físicas y químicas necesarias para la germinación y desarrollo de las especies vegetales que se quieren manejar.

Resultados

Al inicio del proyecto de automatización del invernadero implementado en el laboratorio de electrónica de la sede El Cedro, se logró conformar

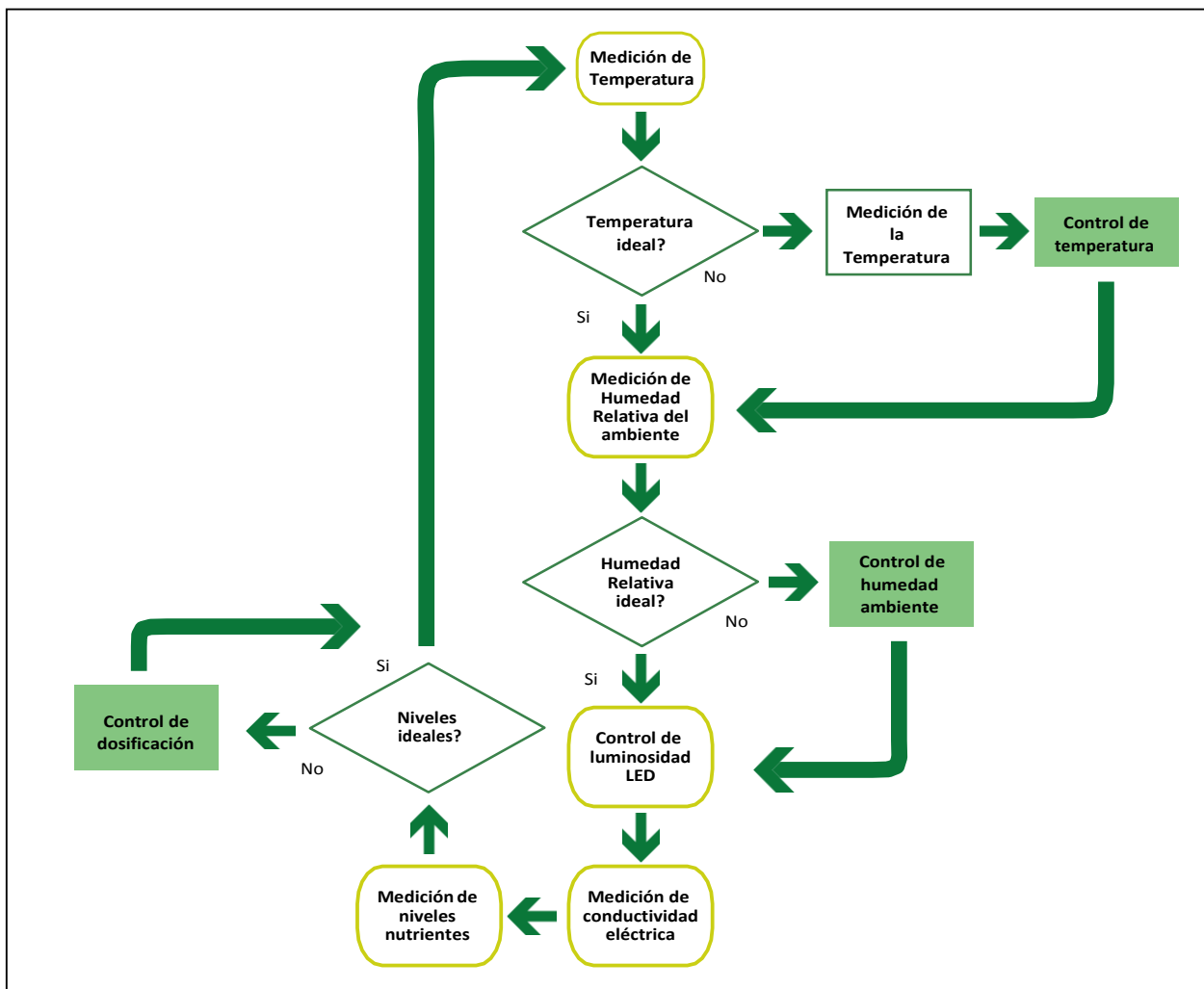


Figura 4. Sistema de medición y control de variables

Fuente: Autores

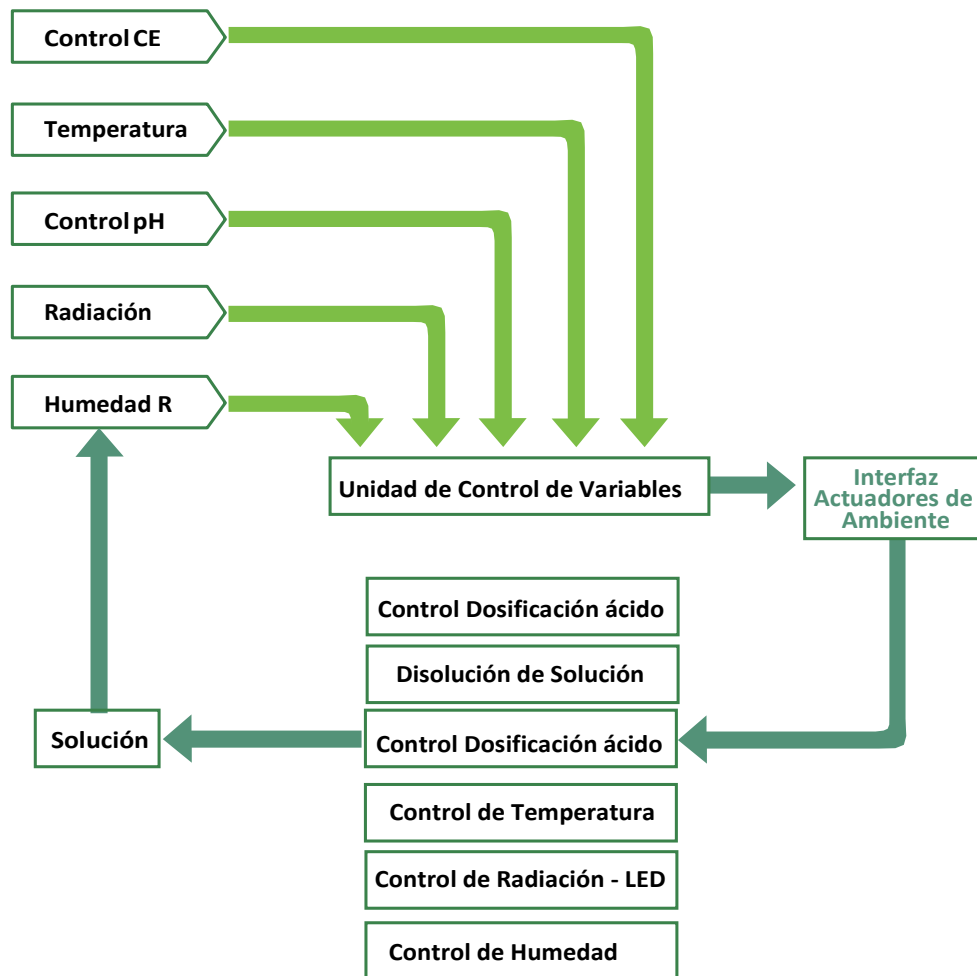


Figura 5. Esquema de control de variables para el cultivo automatizado.

Fuente: Autores

un grupo de trabajo para el manejo del cultivo hidropónico; se propusieron diversos diseños de trabajo, donde el componente electrónico fue el que más variación y evolución presentó; se propuso un sistema con base en controladores lógicos programables PLC, con microcontroladores de diversas familias y fabricantes, controlados directamente desde un PC y finalmente, gracias a su amplio rango de trabajo y versatilidad, se optó por trabajar con los microcontroladores de la familia Microchip. Se utilizaron sensores análogos para la medición de la temperatura, humedad relativa del ambiente, pH, luminosidad, CO₂, actuadores tales como dosificadores con motores paso a paso, ventiladores, extractores para el control de ventilación y temperatura, resistencias calóricas, motores, el control de iluminación se hizo por medio de cortinas, bombas hidráulicas para la

circulación de la solución de agua y nutrientes, agitadores para solución de dosificación, sistemas LED para iluminación artificial.

De acuerdo con Colombini (2005), es necesario tener un sistema de calefacción y enfriamiento muy preciso, de tal forma que la temperatura no sea una variable sino una constante, por tal razón, el primer sistema que se implementó fue el control de la temperatura, utilizando un sensor digital LM35 que generó una señal proporcional entre el voltaje y la temperatura censada, se manejaron lecturas internas y externas del invernadero, con el fin de generar un algoritmo de control de esta variable. En la Tabla 2 y en la Figura 6 se pudo observar el comportamiento de la temperatura medida durante cuatro fines de semana en el laboratorio donde se implementaron las pruebas, y se reportan los promedios para cada hora.

Tabla 2. Promedio de temperatura (en grados centígrados),

Tiempo	Interna	Externa
08:00	12	11
08:30	12	11
09:00	12.5	11.5
09:30	12.5	12
10:00	13	12
10:30	13	12
11:00	13	12
11:30	14	12
12:00	14	12
12:30	14	12
13:00	14	12
13:30	14	12
14:00	14	12

Fuente: Autores

Se implementó un dispositivo calefactor con resistencia eléctrica, que permite aumentar el valor de la temperatura dentro del invernadero, al igual que un ventilador y un extractor de aire que permite regular la temperatura interna hasta el valor de la temperatura ambiente externa al invernadero, se tiene proyectado manejar un sistema de enfriamiento parecido al de los procesadores de alta gama y de las tarjetas de video de PC, con base en tuberías de cobre con gases inertes contenidos.

De la mano del control de temperatura se encuentra el control de humedad, por esta razón

de dependencia, al mismo tiempo se realizaron mediciones de la humedad relativa dentro del invernadero con el sensor DHT11, el cual ha presentado variaciones de 10% +/- . Considerando un valor ideal del 85% para especies de la sabana de Cundinamarca (Muñoz, J., Núñez, D. ,2012), se implementó un aspersor de riego, una resistencia calefactora y un ventilador que permitió el control de la humedad dentro del invernadero llegando a valores mínimos de 40% y máximos de 93%.

A través del sensor de luminosidad LX1972, se logró medir la cantidad de lúmenes obtenidos con el sistema de iluminación LED, dadas las necesidades de lúmenes por m², entre 500 y 10.000 para germinación, entre 15.000 y 20.000 para vegetación, de 40.000 a 50.000 para floración (Florez V., 2012). Teniendo en cuenta que un LED de chorro blanco de 10mm proporciona aproximadamente 1.200 lúmenes, se acondicionó un arreglo con cerca de 50 LED's en un m² de tal forma que se logró regular la intensidad de corriente del arreglo asegurando valores desde 50 lx hasta 57.000lx.

Los datos presentados son fuentes primarias de información lograda por observación directa del resultado de la experimentación. La recolección de información se realizó por cerca de dos meses; estudiantes y docentes fueron registrando los resultados de las mediciones en un documento digital Figura 7. Se registró la hora y el valor de la medición, buscando tendencias de variación dependiendo de la temporada del año y la hora del día. Se diseñó un documento en google docs y un

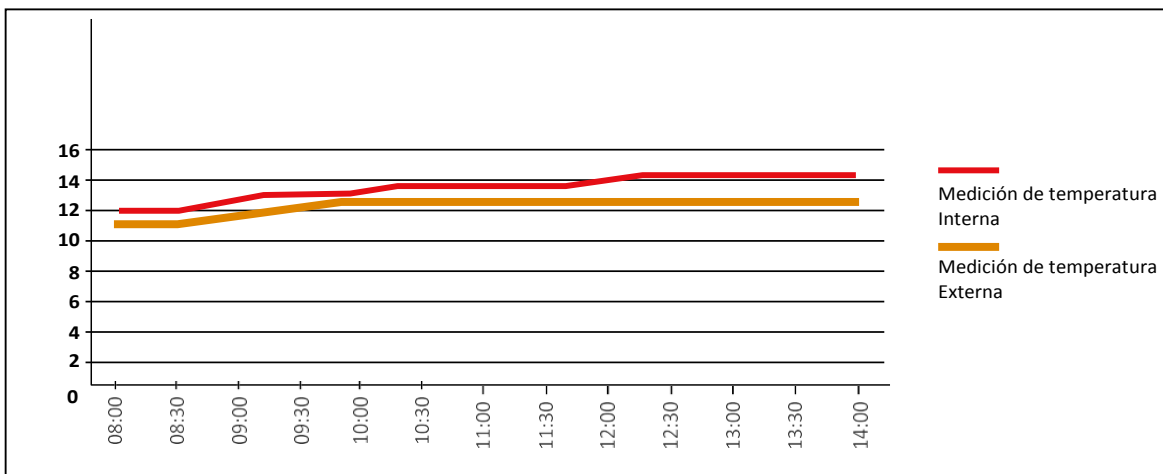


Figura 6. Comportamiento de la temperatura.

Fuente: Autores

formato en Excel donde se registraban los datos los fines de semana y ocasionalmente durante la semana, estos datos se extraen del dispositivo electrónico diseñado para tal fin.

Todas las pruebas iniciales se realizaron sin especies vegetales, con el único fin de valorar el control de las variables consideradas.

Según Díaz, R., García, L. y Espinosa, D., (2011), los insumos a distribuir hacia el invernadero deben venir estandarizados en recetas que permitan manipular solamente cantidades por tanque contenedor de nutrientes. El sistema de dosificación implementado cuenta con tres tanques contenedores de nutrientes que permiten el control de flujo de sustancias líquidas desde 3ml hasta 150 ml por minuto, ofreciendo un gran rango de variación que se puede adecuar a la especie con la que se desea trabajar, el

Mediciones del Invernadero

Fecha:

Hora:

Medición de temperatura interna en el invernadero:

Medición de temperatura externa en el invernadero:

Medición de humedad:

Medición de pH:

Medición de luminosidad (lumens):

Persona que realiza la medición:

Observaciones:

Figura 7. Recolección digital de la información de las mediciones en el invernadero automatizado

Fuente: Autores

tanque de homogenización de la mezcla cuenta con un motor reductor que permite agitar la solución y está pendiente la instalación del dosificador del homogenizador de la receta según la especie. Figura 8.

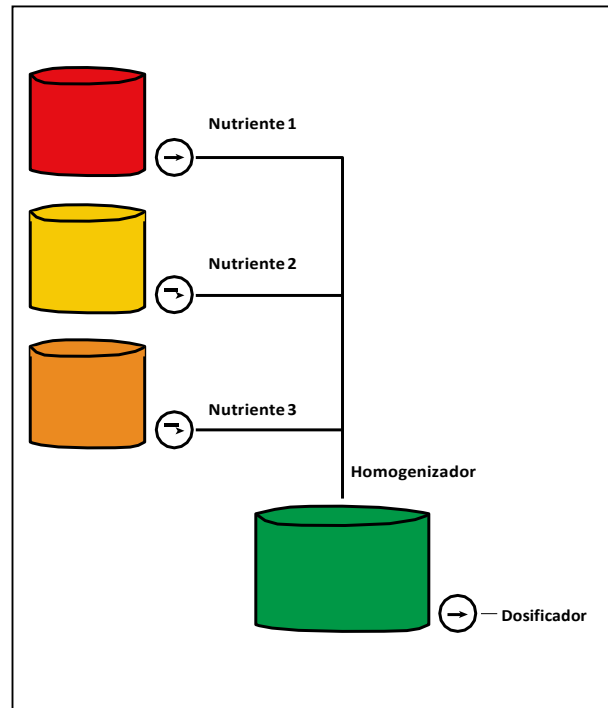


Figura 8. Sistema de dosificación de nutrientes,

Fuente: Autores

La estructura del prototipo se construyó teniendo en cuenta condiciones de diseño pre-establecidas, donde se conservó la forma del cubículo, se toma como base la construcción que presenta (Serrano, Z., 2005), realizando algunas pequeñas modificaciones con el fin de implementar elementos que tienen contacto con el exterior. Se construye en perfil de aluminio, el cual permite que sea modular con unas dimensiones de 1.5m de alto, 1m de ancho y 1m de largo, se recubrieron los costados con plástico de media densidad, dejando instalados el ventilador, el extractor y una puerta frontal. En la parte superior se instaló el arreglo de LED's para la iluminación, en el costado inferior se colocó la resistencia eléctrica que permite el control de aumento de la temperatura. Esta estructura, aunque es pequeña, ha permitido manejar las mediciones y las modificaciones en cuanto a la ubicación de los elementos; cabe resaltar que recientemente se hizo el traslado de sede donde se encontraban los laboratorios de electrónica y ha sido muy fácil el desensamble y traslado de dicha estructura. Figura 9.

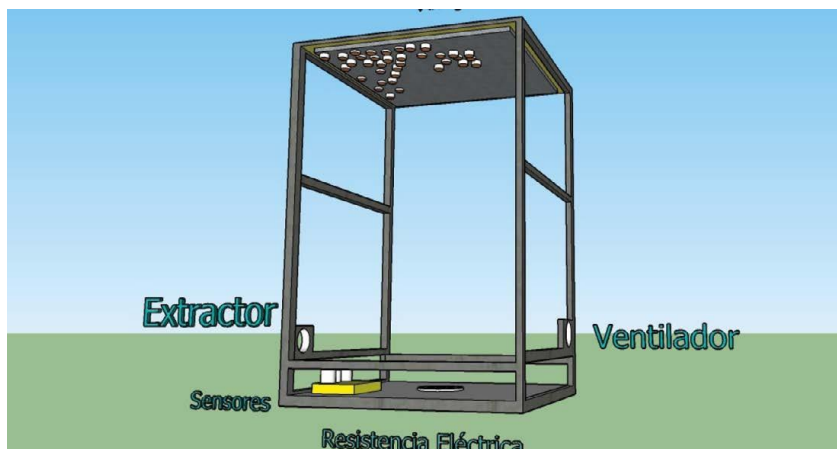


Figura 9. Estructura del Invernadero Automatizado

Fuente: Autores

Conclusiones

- El trabajo con cultivos hidropónicos automatizados permite el manejo inteligente de nutrientes y condiciones ambientales que en muchas ocasiones resultan inmanejables en cultivos en tierra, además requieren una mayor exigencia en la aplicación de los protocolos de germinación y crecimiento de las especies.
- El proyecto ha permitido trabajar a nivel estructural, la optimización y reducción de espacios físicos requeridos, a nivel del agro, el aseguramiento de las condiciones de vida de las especies, y a nivel ecológico, generar conciencia verde y propiciar el uso racional de los recursos.
- La recopilación de la información permitió identificar el uso de la automatización en el manejo de cultivos, generar un listado de variables que se deben controlar y de otras que se pueden incluir sin afectar el normal crecimiento de una especie.
- El garantizar condiciones físicas y químicas en la germinación y crecimiento de una especie vegetal permite incorporar otros elementos que aportarán en la calidad y el tiempo de maduración.
- Viendo la confiabilidad de los sensores implementados se procederá a renovar los mismos por referencias más precisas, que permitan manejar linealidad en la medición y asegurar un control más preciso de las variables.
- Dadas las variaciones que puede presentar el manejo de la receta de nutrientes se contempla la posibilidad de acondicionar sistemas acuapónicos que permitan el control por recirculación de variables químicas como pH, alcalinidad, niveles de fosfatos y otros que pueden ser manejados con esta técnica.

Referencias

- Carrillo, D., Vásquez, J. (2008). *Automatización de un invernadero con el PLC S7-200*. Universidad Autónoma de Zacatecas. México.
- Colombini, C. (2005). *Educación Técnico Profesional: Invernadero Automatizado. Serie: Recursos Didácticos*. Instituto Nacional de Educación Tecnológica. Argentina.
- Díaz, R., García, L., Espinosa, D. (2011). *Control y automatización de un sistema de bombeo de un invernadero para el desarrollo, cultivo e investigación de flora*. Instituto Politécnico Nacional. México.
- Guerrero, E., Revelo, J., Benavides B., Chaves, J. y Moncayo, C. (2014). Evaluación de sustratos en un cultivo de lechuga bajo un sistema hidropónico en el municipio de Pasto. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 31(1). Recuperado de <http://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacion/article/view/1933>

- Flórez, V. (2012). *Sustratos, manejo de clima, automatización y control de sistemas de cultivo sin suelo*. UNAL Colombia. Bogotá.
- Martínez, J. C. (2001). *Demografía en la economía de mercado, virtudes e inconvenientes*. Edición del 14 de junio de 2007; Recuperado de <http://www.eumed.net/cursecon/2/dem.htm>
- Muñoz, J., Núñez, D. (2012). *Automatización de invernadero en clima templado*. Universidad de San Buenaventura. Cali.
- Serrano, Z. (2005). *Construcción de invernaderos*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- Tello, G. (2009). *Evaluación de cultivo hidropónico versus fertirriego en tomate bajo condiciones de invernadero en Cuyotenango, Suchitepéquez. Guatemala*, Recuperado de www.glifos.concyt.gob.gt