

# Desarrollo e implementación de un sistema automático a bajo costo para regulación de variables climáticas en cultivos bajo invernadero

Martín-Gómez, Pedro<sup>1</sup> (\*); Torres-Pabón, Daniel.<sup>1</sup>; Montoya-Gómez, Jairo <sup>1</sup>  
Rangel-Díaz, Jorge<sup>1</sup>; Rubiano-Fernández, José<sup>1</sup>

<sup>5</sup> Universidad de La Salle, Facultad de Ingeniería, Bogotá, Colombia

**Resumen:** Este trabajo contiene parte de un proyecto de investigación, en el cual se diseña e implementa un sistema automatizado de regulación de variables y fertirriego a bajo costo, en un invernadero hidropónico vertical para forraje verde. Las variables a regular son: temperatura, humedad relativa y el flujo de aire o ventilación. Además, se implementa un sistema de fertirriego para la aplicación simultánea de agua y fertilizantes en cultivo hidropónico de forraje verde; todo esto, para garantizar el adecuado crecimiento del cultivo, el cual tiene como finalidad servir de alimento a los animales de granja.

**Palabras clave:** Invernadero, Cultivo Hidropónico, Fertirriego, Forraje verde, Sistema automático.

Recibido: 28 de noviembre de 2022 Aceptado: 14 de abril de 2022

Received: November 28th, 2022 Accepted: April 14th, 2022

## Development and implementation of a low-cost automatic system for the regulation of climatic variables in greenhouse crops

**Abstract:** This work contains part of research project, in which an automated variable regulation and fertigation system is designed and implemented at low cost, in a vertical hydroponic greenhouse for green fodder. The variables to regulate are: temperature, relative humidity and air flow. In addition, a fertigation system is implemented for the simultaneous application of water and fertilizers on hydroponic crop of green fodder, all this, to guarantee the proper growth of the crop, which has the purpose of serving as food for farm animals.

**Keywords:** Greenhouse, Hydroponic crop, Fertigation, Green fodder, Automatic system.

## 1. INTRODUCCIÓN

Colombia es un país productor de materia prima y productos muy importante en América latina y el mundo, productor sobre todo de flores y algunas hortalizas de excelente calidad, cultivadas en invernaderos, por lo general, sin sistemas de medición de variables climáticas o no automatizados.

Los invernaderos automatizados permiten regular variables como temperatura y humedad relativa, mediante el intercambio de masas de aire fresco por aire caliente empleando actuadores como: cortinas, compuertas, ventiladores y/o calefactores entre otros. Esto significa que, para producir cultivos de alta calidad bajo invernadero, se necesita un presupuesto que puede llegar a superar hasta el 300% o más del requerido por un invernadero de producción tradicional; presupuesto con el cual la mayoría campesinos y productores nacionales no cuentan.

Uno de los cultivos de mayor interés actualmente bajo invernadero, es la producción de forraje verde hidropónico el cual aumenta su rendimiento por metro cuadrado y disminuye el tiempo de cultivo hasta en un 40% de acuerdo con experimentación previa (Murcia y Chacón, 2016), por esta razón, se decidió diseñar e implementar un prototipo de invernadero pequeño (25 m x 7m x 4m) en la Universidad de La Salle; para investigación sobre este tipo de cultivos. Este invernadero, con un sistema automático que permita desarrollar investigaciones bajo un ambiente regulado al interior de este, de tal manera, que pueda ser adaptado a diferentes condiciones ambientales, según los requisitos del tipo de cultivo; mediante el ajuste de los parámetros apropiados bajo una programación establecida. Lo anterior, tomando como referencia un sistema para cultivo de Forraje Verde Hidropónico (FVH) ubicado en el Centro de Investigación y capacitación (CIC) Santa María del puyón en el municipio de sopó, Cundinamarca.

El objetivo principal que se tiene con este proyecto es obtener una regulación más apropiada y estable de las variables que representan las condiciones climáticas al interior del invernadero; con el fin de encontrar las condiciones más apropiadas según el tipo de cultivo. Para esta aplicación, se quiere plantar forraje verde que requiere parámetros máximos y mínimos de temperatura cuyo rango se debe garantizar entre los 15° C y 20°C y la humedad relativa en un rango entre 65% y 75%.

Este tipo de aplicaciones ya se encuentra en el mercado como un conjunto de componentes y servicios, los cuales incluyen: estructura del invernadero, materiales, equipos industriales y personal profesional calificado, pero su costo es muy elevado en comparación con el proyecto que se está desarrollando, ya que se considera que se puede implementar con un presupuesto cercano al 60 - 70% del costo comercial.

## 2. MARCO TEÓRICO

Según el Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura de México, la hidroponía es un sistema de producción en el cual las raíces de las plantas no se encuentran establecidas en el suelo, sino en un sustrato (González, et.al., 2021) o en la misma solución nutritiva utilizada. En la solución nutritiva, como su nombre dice, se encuentran disueltos los elementos necesarios para el crecimiento de la planta (INTAGRI. 2017).

La hidroponía ha sido muy usada para la investigación en el campo de la nutrición mineral de las plantas, además de ser hoy en día el método de producción hortícola más intensivo (Gómez y Jiménez, 2019). Generalmente, este sistema de producción es de alta tecnología, con una fuerte inversión de capital, por lo cual es aplicada exitosamente en países desarrollados (INTAGRI. 2017). Según Gómez (2020), en Colombia se tienen dos zonas que predominan en cantidad de hectáreas cultivadas bajo invernadero; la principal es en la sabana de Bogotá y la segunda en Rionegro, Antioquia; las cuales se han establecido como un buen lugar para este tipo de cultivos debido a sus condiciones climáticas y facilidades logísticas.

En el territorio colombiano, la mayoría de los invernaderos son ventilados y no ocupan más de una hectárea de superficie, además, que en la mayoría de casos no existe algún tipo de control o regulación activa de variables de clima. La utilización de ventiladores para promover el flujo de aire y evacuar la humedad hacia el exterior, la erradicación de plagas y el uso de calefactores en épocas de temperaturas bajas, son parámetros importantes a la hora de aumentar la producción. Con base en esto; Colombia presenta una serie de desafíos para implementar este tipo de cultivos: la primera problemática que se tiene es que, sin importar la condición climática de la zona, siempre se implementa el mismo diseño de invernadero (diseño tradicional común en todas las zonas del país) y de acuerdo con Copete et.al. (2017), “Son invernaderos económicos y de fácil montaje, pero no son los mejores desde el punto de vista comportamental. Son estructuras que tienen deficiencias en su ventilación, en la medida que no podemos controlar activamente el clima, ya que no cuentan con sistemas de control de clima, como si existen en otras latitudes, es difícil regular en detalle los cambios extremos de temperatura o humedad relativa”. Como se explicó anteriormente, sin importar si es de día o de noche, este invernadero tradicional por sí solo no permite regular las condiciones climáticas al interior de él y pueden aparecer fenómenos como, por ejemplo, “la inversión térmica”, en la cual durante las noches la temperatura al interior llega a estar por debajo de la temperatura exterior. Ante esta y otras problemáticas, se habla de soluciones como, por ejemplo, una implementación de dinámica de fluidos computacional; en la cual, a partir de una simulación por computador, se determina un modelo dinámico de una óptima solución a este tipo de problemas, pero implica un alto costo de implementación por los requerimientos de equipos con la capacidad suficiente para este nivel de cómputo tan

complejo sumado al software especializado. Contrario a esto, existen soluciones que, a pesar de su bajo costo, hacen la regulación interna de la temperatura y humedad relativa al interior del invernadero con ayuda de componentes tecnológicos de bajo presupuesto. Pero se deben regular las variables internas procurando un flujo constante de aire fresco, ya que es importante que los niveles de CO<sub>2</sub> estén regulados entre 1.000 y 2.000 ppm (partes por millón) ya que estos tienen una influencia directa sobre la tasa fotosintética del cultivo. Además, este nivel de CO<sub>2</sub> no debe pasar de las 3.000 ppm ya que, de ser así, puede generar toxicidad perjudicial para el cultivo.

Un factor fundamental para la producción de cultivos bajo invernadero es el microclima al interior de los invernaderos. Es un efecto que se deriva de la cubierta plástica que se instala alrededor de la estructura y con la cual se pretende aislar parcialmente del exterior; esta condición de aislamiento causado por el plástico incide en algunas variables que afectan el cultivo, y en la mayoría de los casos, son ignorados por el agricultor al tener desconocimiento del balance energético dentro del invernadero. Por esto mismo, Bojacá y Villagrán (2021) afirman que: “el objetivo principal debe ser maximizar la entrada de radiación para que las plantas hagan la mayor fotosíntesis posible, pero también, la forma como generamos ese efecto invernadero dentro del volumen que protegemos con la cubierta plástica, y cómo se trata de mantener la temperatura, la humedad relativa y la ventilación adecuadas para el invernadero”.

En el caso de Colombia, dada la estructura del invernadero, esto se puede dar de forma natural ya que con ayuda de los fenómenos causados por la radiación, acompañados del efecto producido por el viento en el exterior, en la medida en que se permite la ventilación, da como resultado un microclima que si es el adecuado, propicia una buena capacidad fotosintética para las plantas, pero si lo que se quiere es optimizar al máximo este proceso, se deben regular estas variables de forma automática con ayuda de componentes tecnológicos. En los últimos veinte años se han hecho avances considerables en aspectos como el uso de sustratos y manejo de cultivos sin suelo (hidropónicos) (González et.al., 2021), automatización de riego y fertirriego (Montoya, et.al., 2021) y (Navarro et.al., 2021) e incluso, la aplicación automática de plaguicidas (Martín, et.al., 2019) entre otros; no obstante, aún hay puntos críticos que limitan la productividad y calidad del cultivo, como lo es la alta incidencia de enfermedades.

Una alternativa a la mejora en la productividad del cultivo bajo invernadero es el control de riego que tiene una influencia importante, ya que no sólo permite el ahorro de agua para su aplicación racional sobre el cultivo, sino que permite obtener rendimientos de cultivo muy superiores que pueden llegar a ser de hasta 5 veces más que sin sistema de riego controlado (Martín et.al., 2017). En gran parte, esto se debe a la falta de tecnologías para regular y controlar las condiciones ambientales al interior del invernadero mediante variables como: humedad relativa, temperatura,

ventilación, luminosidad, entre otras. (Gómez, 2020). Una ventaja de los invernaderos que cuentan con control o regulación automática de variables ambientales es que permiten que se pueda estudiar y tener conocimiento de los factores que lo afectan, con el fin de variar el potencial productivo del mismo.

El sistema desarrollado e implementado se basó en la medición de temperatura y humedad relativa como punto de partida, para el accionamiento del sistema de riego y fertilización, de acuerdo con las condiciones derivadas del comportamiento de estas variables. El funcionamiento permite, de acuerdo con los valores de las variables medidas, activar automáticamente el sistema de bombeo y/o el sistema de ventilación en forma combinada, con el objeto de regular la temperatura y la humedad dentro de los valores recomendados para el cultivo.

Adicionalmente, el controlador implementado, permite establecer los valores requeridos de temperatura y humedad relativa para otros tipos de cultivo a desarrollar según el caso, con lo cual el sistema es flexible para la regulación de las variables climáticas apropiadas según el cultivo. La estructura principal del sistema se observa en la Figura 1.

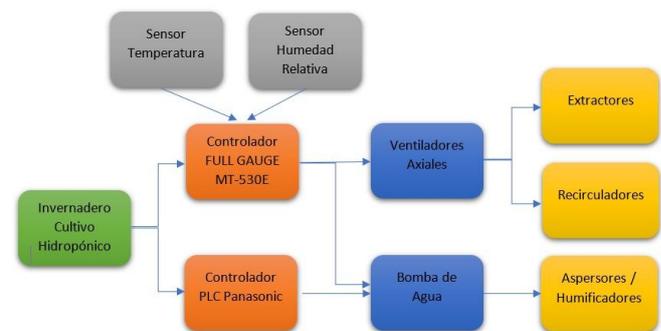


Figura 1. Estructura principal del sistema de regulación climática desarrollado.

Siguiendo el criterio de selección de componentes de bajo costo, pero apropiados a las condiciones imperantes en el medio por sus condiciones de humedad y ataque químico, fueron seleccionados los principales y más relevantes materiales y equipos utilizados en este trabajo.

### 2.1 Controlador de temperatura y humedad Full Gauge MT-530E

Es un controlador e indicador digital de temperatura y humedad relativa, el cual cuenta con tres salidas; una para control de la temperatura, una para control de la humedad y la tercera es una salida auxiliar con múltiples funcionalidades. Este controlador es ideal para el manejo de baja y mediana humedad relativa (10 – 85% sin condensación). Su sensor de temperatura y humedad se encuentra condensado en un solo bulbo, con el fin de reducir su espacio de instalación además de su costo. También, cuenta con otro tipo de funcionalidades como alarma (buzzer) y funciones programables entre las que se encuentra, por ejemplo, el bloqueo del dispositivo para evitar que personas no capacitadas lo manipulen, lo cual

brinda confiabilidad y seguridad en este tipo de aplicaciones.

### 2.2 Bomba de agua periférica ½ HP marca Pedrollio

Se seleccionó una bomba periférica de agua con motor asíncrono tipo jaula de ardilla a partir de los requisitos del sistema de aspersión para el cultivo. Esta bomba es utilizada para la distribución del líquido desde el tanque de almacenamiento, hasta los micro aspersores, según la necesidad; ya sea para realizar el fertirriego o elevar el nivel de humedad relativa en el invernadero. La bomba seleccionada tiene una potencia de ½ HP y un caudal de 40 lt/min con capacidad de elevación máxima de 40 m.

### 2.3 PLC Panasonic NAIS FPO-C10RS

Es un PLC encargado de regular la temperatura y humedad dentro del invernadero, mediante el accionamiento de los sistemas de ventilación y fertirriego de manera oportuna, empleando como datos de entrada los valores suministrados por los sensores. Este procedimiento se realiza mediante una programación previa hecha desde un software propio de la marca.

### 2.4 Ventilador axial 12”

Se seleccionó un ventilador/extractor de aire, tipo axial, con rejilla de seguridad, con balinera doble lubricada y un caudal de 33 m<sup>3</sup>/min a 1400 RPM. Fueron instaladas 5 unidades, encargadas de la circulación del aire con el objeto de homogeneizar las condiciones al interior del invernadero y de mantener una renovación de la masa de aire por hora, junto con las ventanas inferiores de ventilación natural.

### 2.5 Contactor trifásico con bobina 220V Schneider 15A

Este contactor trifásico es usado en aplicaciones industriales para el armado de guardamotores y tableros de protecciones en general. Para este caso, fueron instalados cuatro al interior del tablero eléctrico, encargados de realizar el accionamiento de los distintos mecanismos, y a la vez, separar la parte de potencia del circuito de control.

## 3. METODOLOGÍA

La metodología aplicada en este proyecto de investigación consistió en dividir por partes cada uno de los subprocesos que componen el sistema, para desarrollar varios sistemas independientes que luego se integraron de acuerdo con la funcionalidad requerida para regular las condiciones climáticas requeridas por el cultivo. Esto da mayor versatilidad al sistema, al permitir programar los parámetros dentro de los cuales deben ser reguladas las variables de acuerdo con el cultivo a sembrar. Los sistemas independientes desarrollados fueron: un sistema básico de medición de variables climáticas (temperatura y humedad relativa); un sistema de ventilación y un sistema de

fertirriego; todos con accionamiento dependiente del comportamiento de estas variables para regular el microclima del invernadero.

### 3.1 Estructura del invernadero

El invernadero fue construido sobre un pequeño lote plano en el Centro de Investigación y capacitación (CIC) Santa María del puyón en el municipio de sopó con dimensiones de 25m x 7 m x 4m y se muestra en la Figura 2.

Se trata de un invernadero tipo túnel, con estructura hecha de acero galvanizado por su mayor resistencia mecánica y durabilidad. Se seleccionó este tipo de estructura por su mayor estabilidad, gran resistencia al ataque químico y a la corrosión, teniendo en cuenta que soporta los sistemas de medición y control de variables, y posteriormente, contará con sistemas de control de apertura de cortinas y sistema de calefacción entre otros. El diseño construido cuenta con una ventana cenital en la parte superior de la cubierta tipo capilla modificada, que facilita la extracción del aire caliente y ventanas abiertas en la parte inferior de las paredes laterales, para la entrada de aire a la temperatura ambiente, mejorando así la ventilación natural y facilitando la regulación de las variables a controlar.



**Figura 2.** Invernadero construido en las instalaciones de la Universidad de La Salle en el municipio de sopó, Cundinamarca.

### 3.2 Subsistema de ventilación

El sistema de ventilación está compuesto por 5 ventiladores divididos en 2 grupos: el primero, está compuesto por 2 extractores de aire caliente y uno para ingresar aire fresco y el segundo, conformado por 2 ventiladores para circulación de aire al interior del invernadero, manteniendo más homogéneas las condiciones de la masa de aire dentro del invernadero. Todo este sistema está diseñado para garantizar un flujo constante de aire, renovando toda la masa de aire periódicamente.

La selección de los ventiladores se hizo a partir del volumen del invernadero el cual es de 723m<sup>3</sup> y el número de renovaciones requerido es de una por hora. La activación de estos componentes es hecha por el controlador seleccionado (Controlador de temperatura y humedad Full Gauge MT-530E) en el cual se hace la configuración de su tercera salida (denominada como auxiliar) como temporizador cíclico, con el fin de que cada cierto tiempo se haga la activación y desactivación de esta salida. En la Figura 3, se

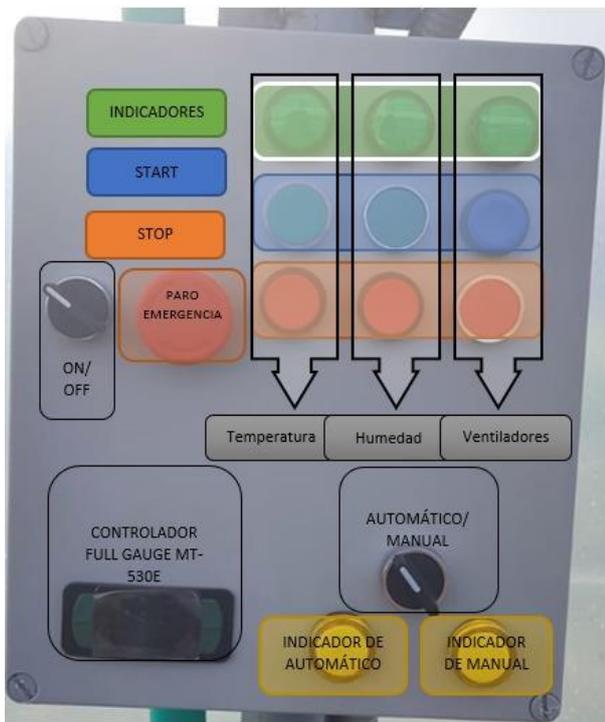
muestran los dos ventiladores de circulación internos y al fondo, uno de los ventiladores que ayuda a la entrada de aire fresco mediante ventilación forzada.



**Figura 3.** Ventiladores de entrada de aire fresco y de circulación interior.

### 3.3 Subsistema de regulación de variables

El sistema de regulación de variables como su nombre lo indica está hecho para regular las condiciones micro climáticas al interior del invernadero, a partir de la medición de la temperatura y la humedad relativa. En la Figura 4, se observa la distribución de los elementos de accionamiento y control en el tablero de mando de los sistemas de ventilación y fertirriego.



**Figura 4.** Tablero de mando de los sistemas de ventilación y fertirriego.

Este subsistema está conformado por un grupo de elementos tecnológicos de bajo costo, los cuales fueron

seleccionados para operar bajo condiciones climáticas difíciles ya que trabajarán al interior del invernadero en condiciones de temperatura y humedad altas junto con ambientes susceptibles de ataque químico ocasionado por los productos fertilizantes.

El elemento encargado del control de temperatura y humedad es un Controlador Full Gauge MT-530E, encargado de regular las variables mencionadas a partir del accionamiento de los sistemas de fertirriego y ventilación. Cuenta con distintas funcionalidades de regulación, además de contar con sistemas de seguridad, para evitar la manipulación no deseada por parte de terceros. Básicamente se programan dos parámetros; el primero es el rango de temperatura, denominado “set point”, el cual, según las condiciones de temperatura óptima para el cultivo de Forraje Verde Hidropónico (FVH), es de 15 a 20°C. Esta temperatura es regulada mediante el accionamiento de la salida correspondiente del controlador configurada para la activación de la bomba con el objeto de realizar la aspersión de agua o solución de fertirriego, además de activar los ventiladores y recirculadores para que ingrese el aire fresco y salga el aire caliente, causando como efecto que baje la temperatura al interior del invernadero.

El segundo parámetro que se programa es la humedad relativa, configurando el controlador como humidificador (es decir para subir el nivel de humedad) según las condiciones, manteniéndola en un rango de 60 a 80% de humedad a partir del accionamiento del sistema de aspersión.

### 3.4 Subsistema de fertirriego.

El sistema de fertirriego está diseñado para garantizar el suministro periódico de agua o solución de fertirriego al cultivo en cuestión. Este sistema facilita la obtención de una buena cosecha, con calidad superior respecto a la de otros invernaderos que no cuentan con este nivel de automatización. Este sistema principalmente se divide en dos secciones: la primera, es la sección de control realizada por un PLC (Controlador Lógico Programable) de la marca Panasonic. Este controlador es programado en el software propio de la marca (FPWIN PRO), configurando una de las salidas del PLC la cual se conecta con la bomba de agua para que se haga la aspersión correspondiente.

Este riego se hace de 6 a 8 veces al día programado de acuerdo con las necesidades de consumo de agua del cultivo. Para este caso, y según ciertos parámetros de caudal y selección de aspersores se decide hacer 8 riegos de un minuto cada uno con intervalos de dos horas, como producto de esto el primer riego queda programado sobre las 8:00 AM y el último para las 10:00 PM.

La segunda sección de este subsistema está compuesta por todo el sistema hidráulico: los aspersores, bomba de agua, conexiones hidráulicas de PVC y manguera de polietileno que sale desde el tanque de preparación de la solución. El diseño se basó en los cálculos de caudal necesario para la

demanda de agua diaria del cultivo. Se hizo la selección del tipo de aspersor a utilizar teniendo en cuenta las siguientes consideraciones: el área de cada bandeja, cantidad de agua necesaria por metro cuadrado, número de riegos por día que en este caso será de 8, y, teniendo en cuenta que cada micro aspersor debe hacer el riego de dos bandejas. A partir de lo anterior, se seleccionó un micro aspersor con caudal de 12 l/h.

Con base en la selección del micro aspersor y calculando el caudal total del sistema de riego, y la distancia máxima de distribución de agua, se hizo el cálculo de la cabeza de la bomba para su selección, resultando en una bomba de ½ HP de potencia aproximadamente, lo cual es suficiente para el propósito que se tiene.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las pruebas de medición de temperatura mostraron una variación de la misma entre 17 y 22°C durante el día, como resultado de la activación del sistema de ventilación independiente de las condiciones ambientales externas y del comportamiento de la humedad relativa.

Para las mediciones de humedad relativa con el suelo sembrado en raigrás, e independiente del comportamiento de la temperatura, se registraron valores entre 55% y 60% sin activación del sistema de aspersión.

De la misma manera, fue probado el accionamiento independiente del sistema de bombeo tanto en forma manual como automática respondiendo en forma positiva.

Al hacer las lecturas de temperatura y humedad relativa, se puede apreciar que los cambios hechos por el sistema de regulación automático ocurren en un periodo corto tiempo, debido a que gracias a las pequeñas dimensiones del invernadero la inercia de la masa de aire no interfiere de forma considerable sobre la dinámica del mismo.

El sistema de ventilación, junto con los micro aspersores, mantienen las variables cerca de los rangos establecidos para regulación. Actualmente, se está desarrollando el proceso de calibración de los sistemas de medición de variables junto con la integración del sistema de accionamiento, para la verificación final de la confiabilidad del sistema de regulación de variables climáticas al interior del invernadero.

Durante las horas de la noche, y especialmente, en la madrugada, el sistema de regulación presenta algunos inconvenientes derivados de las bajas temperaturas presentes en la región, lo cual implica una instalación posterior del sistema de calefacción interno para mejorar el comportamiento del micro clima las 24 horas del día.

#### 5. CONCLUSIONES

Se construyó un invernadero de pequeñas dimensiones para experimentar e investigar con regulación de variables climáticas a partir de la medición de temperatura y humedad relativa y el accionamiento de un sistema de ventilación y el sistema de aspersión en forma integrada de acuerdo con las características del cultivo.

El sistema de medición de variables registra una disminución efectiva de temperatura entre 17 y 22°C en el interior del invernadero en horas del día.

La humedad relativa se puede regular entre los valores establecidos de 55 y 60% de acuerdo con la programación inicial.

El sistema de ventilación y circulación de aire permite obtener un comportamiento relativamente homogéneo de las variables dentro del área del invernadero a partir de mediciones preliminares.

El sistema de medición de variables y regulación climática permite ser ajustado a otros rangos de medición dependiendo del cultivo, mediante la configuración de los parámetros en el controlador.

La confiabilidad del manejo de los parámetros establecidos es alta, debido a la posibilidad de bloquear el acceso a la configuración de los rangos de medición de las variables por parte de terceros.

Se evidenció un buen comportamiento del sistema para regular temperatura y humedad, pero, se recomienda la implementación de un sistema de calefacción, para regular las bajas de temperaturas durante la noche y la madrugada.

#### REFERENCIAS

- Agriculturers Red de Especialistas en Agricultura. (2014). *Qué es el forraje verde hidropónico y como producirlo*. Obtenido de: <http://agriculturers.com/origenes-y-uso-del-forraje-verde-hidroponico/> (24 de octubre de 2014)
- Bojacá, C y Villagrán, E. (2021). *Diseño, construcción y evaluación de un invernadero para el cultivo de flores de corte en las condiciones del occidente de la Sabana de Bogotá*. En: V. Flórez (Ed), *Productos relevantes del proyecto fortalecimiento de la competitividad del sector floricultor colombiano mediante el uso de la ciencia, tecnología e innovación aplicadas en Cundinamarca*. (pp. 13 – 45). Ediciones Unisalle.
- Copete, N. et.al. (2017). *Simulación con base en la técnica dinámica de fluidos computacional (CFD), para el Diseño y optimización de la ventilación natural de los invernaderos de flores de corte en la sabana de Bogotá*. Bogotá, D.C., Colombia: Produmedios.

Gómez, A. (2020). *Nivel tecnológico y desarrollo de los invernaderos en Colombia*. Obtenido de: <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protégida/la-hidroponiacultivos-sin-suelo>. (Noviembre, 2020).

Gómez, L., y Jiménez, S. (2019). *Diseño e implementación de un sistema automático de fertirrigación para un cultivo de gulupa*. Universidad de La Salle. Trabajo de grado en Ingeniería en Automatización. 135p.

González, C, López, A., Quintero, M. & Flórez, V. (2021). *Evaluación funcional y aplicación de fertirriego en sustratos*. En: V. Flórez (Ed), *Productos relevantes del proyecto fortalecimiento de la competitividad del sector floricultor colombiano mediante el uso de la ciencia, tecnología e innovación aplicadas en Cundinamarca*. (pp. 49 - 95). Ediciones Unisalle.

INTAGRI (2017). *La Hidroponía: Cultivos sin Suelo. Serie Horticultura Protégida*. Num. 29. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 5 p.

Martín, P., Muñoz, G. & Montoya, J. (2017). *Sistema de riego autónomo para pequeños cultivos basado en medición de temperatura y humedad*. En: Colombia, Revista Politécnica ISSN: 1900-2351. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. v.13 fasc.25 p.65 – 74. DOI: 10.33571/rpolitec

Martín, P., Rubiano, J., Rangel, J. & Montoya, J. (2019). *Automatización de la aplicación de plaguicida para invernadero: Diseño y construcción*. En: Colombia, Visión Electrónica: Algo Más Que Un Estado Sólido ISSN: 1909-9746. Fondo De Publicaciones De La Universidad Distrital. v.1 fasc. N/A p.1 – 12.

Montoya, J., Rubiano, J., Rangel, J., & Martín, P. (2021). *Automatización de la aplicación de productos fitosanitarios en flores de corte*. En: V. Flórez (Ed), *Productos relevantes del proyecto fortalecimiento de la competitividad del sector floricultor colombiano mediante el uso de la ciencia, tecnología e innovación aplicadas en Cundinamarca*. (pp. 167 - 193). Ediciones Unisalle.

Murcia, J. & Chacón, L. (2016). *Diseño de un sistema automático de Cultivo hidropónico para forraje verde*. Universidad de La Salle. Trabajo de grado en Ingeniería en Automatización. 120 p.

Navarro, C., González, C., Isaza, R. & Flórez, V. (2021). *Prototipo de sistema de fertirriego para investigación en ornamentales*. En: V. Flórez (Ed), *Productos relevantes del proyecto fortalecimiento de la competitividad del sector floricultor colombiano mediante el uso de la ciencia, tecnología e innovación aplicadas en Cundinamarca*. (pp. 99 - 122). Ediciones Unisalle.