

Análisis, diseño e implementación de un invernadero automatizado para la producción de fresa en Tehuacán

RODRIGUEZ-RAMIREZ, Felipe*†, GARCÍA-ORTEGA, Irene, VASQUEZ-GAMBOA, Saira Antonieta y JUAREZ-MENDOZA, Lucila

Departamento de Sistemas y Computación, Instituto Tecnológico de Tehuacán

Recibido Julio 3, 2017; Aceptado Septiembre 6, 2017

Resumen

El presente trabajo presenta el análisis, diseño, implementación y resultados obtenidos de la investigación: Sistema de control de clima en invernaderos del Instituto Tecnológico de Tehuacán, que busca una solución práctica a la necesidad de controlar el ambiente para la producción de productos agrícolas fuera de temporada o de cultivos no endémicos. La propuesta es un sistema para controlar el clima en la producción de productos como la fresa que requieren condiciones especiales, utilizando un invernadero tipo túnel y tecnología Arduino, para que el cultivo mantenga sus propiedades adecuadas en la producción. Se tiene un sistema que riega el cultivo mediante un sensor de humedad, esto hará que se active la bomba colocada en la torre para empezar a bombear agua a las tuberías y repartirla en las plantas según corresponda a cada una de estas. Permite ventilar utilizando sensores de temperatura, cuando se detecte que el ambiente es demasiado caluroso, activando un ventilador que está colocado en el interior del invernadero para que pueda mantener la temperatura óptima sin afectar el fruto y la planta. La principal contribución es que el sistema registra todos los indicadores durante el monitoreo y poder saber así el comportamiento de la producción.

Invernadero, endémicos, monitoreo, sensores, arduino

Citación: RODRIGUEZ-RAMIREZ, Felipe, GARCÍA-ORTEGA, Irene, VASQUEZ-GAMBOA, Saira Antonieta y JUAREZ-MENDOZA, Lucila. Análisis, diseño e implementación de un invernadero automatizado para la producción de fresa en Tehuacán. *Revista del Desarrollo Tecnológico* 2017, 1-3: 8-17

Abstract

The present work presents the analysis, design, implementation and results obtained from the research: Climate control system in greenhouses of the Technological Institute of Tehuacán, which seeks a practical solution to the need to control the environment for the production of agricultural products outside of Season or non-endemic crops. The proposal is a system to control the climate in the production of products such as strawberries that require special conditions, using a tunnel greenhouse and Arduino technology, so that the crop maintains its proper properties in production. It has a system that irrigates the crop by means of a humidity sensor, this will cause the pump placed in the tower to start to pump water to the pipes and to distribute it in the plants as it corresponds to each one of these. It allows to ventilate using temperature sensors, when it is detected that the atmosphere is too hot, activating a fan that is placed inside the greenhouse so that it can maintain the optimum temperature without affecting the fruit and the plant. The main contribution is that the system records all the indicators during the monitoring and thus be able to know the behavior of the production.

Greenhouse, endemic, monitoring, sensors, arduino

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: feliperodriguezramirez@ittehuacan.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En los últimos años las condiciones climatológicas o el abandono de los campos agrícolas causan escasez de productos o que sus precios se eleven de manera constante, una alternativa de solución a esta problemática en el sector agrícola son los invernaderos que son cada vez más utilizados para la producción de diferentes plantas o cultivos, incluso de aquellos que no podrían crecer de manera natural en diferentes climas.

La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA) menciona que con esta manera de producir se tienen varias ventajas como: control de heladas y bajas temperaturas, control de exceso de humedad, control de plagas, uso intensivo de la tierra, aumento en rendimiento, calidad y precocidad. Sin embargo, para lograr hacer efectivas estas ventajas se debe tener un control necesario de la temperatura, la humedad, la ventilación y el riego necesario para proporcionar agua.

Este proyecto es una propuesta para el control del clima en un invernadero del Instituto Tecnológico de Tehuacán donde actualmente se está experimentando en el área de Ingeniería Bioquímica con el cultivo semihidropónico de fresa en su variedad festival que es una planta cuyo crecimiento depende de las condiciones de luz y temperatura que ya han sido estudiados y determinados en el área de bioquímica. Hasta ese momento se había logrado su cultivo únicamente con un sistema de riego, pero debido a las condiciones que requiere de clima no se había logrado una adecuada producción.

La propuesta de este proyecto se enfoca en usar la tecnología y desarrollar un prototipo encargado de controlar el clima de manera automatizada, por medio del monitoreo de la temperatura para mantener los parámetros ambientales adecuados para que el cultivo mantenga sus propiedades para la producción de fresa y de esta manera poder extender la tecnología propuesta en cada uno de los invernaderos con los que cuenta la institución en el área de Ingeniería Bioquímica para la producción de diferentes productos agrícolas y posteriormente poder ofrecerla a los productores de la región.

Actualmente la automatización de procesos busca sustituir tareas o actividades que son realizadas por humanos con la capacidad de dispositivos mecánicos, electrónicos y de control. (Ramírez, 2016)

En este artículo se presentan los materiales seleccionados, la metodología utilizada para desarrollar el sistema de monitoreo y control del clima del invernadero, las pruebas realizadas y los resultados obtenidos.

Materiales y métodos

Para el control del clima se utiliza tecnología que no requiere grandes inversiones como es una plataforma de hardware libre Arduino la cual debido a la amplia variedad de sensores que son compatibles con el microcontrolador, permite reducir costos para el desarrollo del sistema, además la plataforma de programación en esta tecnología es fácilmente entendible para su desarrollo.

Se eligió Arduino porque es una tarjeta que permite controlar y a su vez adquirir datos de manera sencilla y se requieren ambas acciones para el diseño experimental que busca conocer el comportamiento de la planta de fresa bajo condiciones de temperatura y humedad controladas dentro de un invernadero en la región de Tehuacán, para lograr su producción y tener así un prototipo a bajo costo que servirá como propuesta para desarrollos posteriores.

La placa que se determinó utilizar para el prototipo fue un Arduino Mega (Figura 1), por la cantidad de puertos de entrada y salida que contiene, ya que son necesarios para adquirir datos de temperatura y humedad; así como también para controlar el sistema de riego, la ventilación e iluminación.

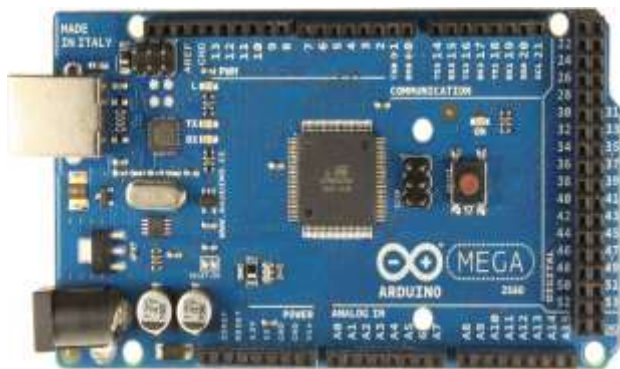


Figura 1 Arduino MEGA

Fuente: <https://paruro.pe/productos/tarjetas-de-desarrollo/tarjetas-de-microcontroladores/arduino-mega-2560-rev-3>

Se utilizaron sensores y actuadores junto con la placa Arduino para el control del clima; para el prototipo se utilizaron módulos de 4 relés que permiten accionar circuitos a 220v. (Torro, 2016)

Para controlar las condiciones climáticas se necesita conocer las condiciones de la humedad relativa y la temperatura en el invernadero, para esto se requiere de sensores que permitan obtener estos valores. Se colocaron 11 sensores LM35 dispuestos de manera estratégica en 3 carriles para medir temperatura.

Para obtener la temperatura en los carriles laterales se colocaron 4 sensores y para obtener la temperatura en el carril central se colocaron 3 sensores. Para obtener la humedad en la parte central del invernadero se colocó también estratégicamente un sensor DHT22 (Figura 2) con el propósito de medir temperatura y humedad relativa abarcando lo más posible el área dentro del invernadero.

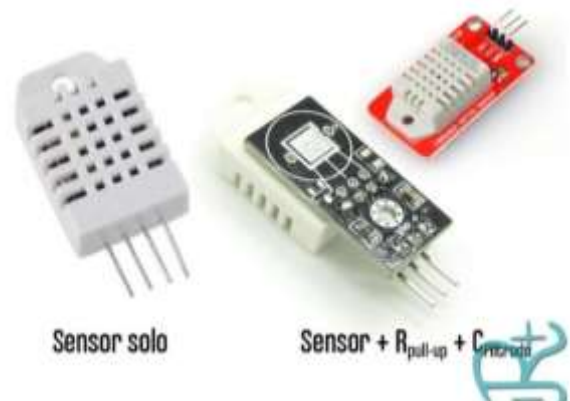


Figura 2 Sensores DHT22

Fuente: <http://rduinostar.com/documentacion/datasheets/dht22-caracteristicas-am2302/>

Este dispositivo está diseñado específicamente para medir temperatura con un rango de medición de -40°C hasta 80°C con una precisión de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ y para medir humedad con un rango de medición de 0-100 % HR y una precisión de humedad de $\pm 2\%$ HR y un tiempo de sensado de 2s, estos han sido calibrados en laboratorios por lo cual tienen alta fiabilidad y no requieren de añadir ningún circuito de tratamiento de señal. (Barroso García, 2015)

Para evitar que la temperatura dentro del invernadero se elevara y afectara la fructificación de la fresa se aplicaron métodos de ventilación y enfriamiento, donde el primer paso fue la ventilación natural, sin embargo, no es suficiente para los días calurosos y por esa razón se utilizan métodos de ventilación forzada o sistemas activos empleando un ventilador para inyectar aire al invernadero. Otro método que se utilizó para el enfriamiento del invernadero fue utilizar un sistema de riego localizado por goteo y nebulizado.

El sistema por nebulización consiste en distribuir en el aire un gran número de partículas de agua las cuales permanecen suspendidas en el aire del invernadero el tiempo suficiente y solo mojan ligeramente los cultivos para evitar el golpe directo de las gotas grandes y realizar el riego en forma de neblina, logrando de esta manera aumentar la humedad relativa de la instalación y bajar la temperatura.

Estos nebulizadores cuelgan de la techumbre del invernadero y se complementan con una bomba de agua de $\frac{1}{4}$ Hp y un equipo de control que lo activa a través de relés que permiten la automatización del sistema. Con este sistema se logra reducir hasta 10°C la temperatura. Los nebulizadores de 4 salidas que se utilizan específicamente para esta función proporcionan una salida de 8.3 a 9.2 lph, suficiente para aumentar la humedad relativa y disminuir la temperatura en el invernadero con las características del diseño experimental que se tiene ver Figura 3. (Senniger, s.f.)



Figura 3 Nebulizador de 4 salidas de 7mm

Fuente: <http://ferreteriadelcamp.com/nuevos-productos?n=60&p=18>

La ventilación natural se logra ya que las paredes están cubiertas de malla y plástico que permiten mantener la ventilación dentro del invernadero, además se colocaron 2 cortinas de plástico en las laterales que van a subir y bajar de manera controlada con la ayuda de un motoreductor de 6v cada uno para controlar la entrada de los rayos solares de manera directa.

Para la ventilación activa se utilizó un ventilador axial direccional de aire, ver Figura 4, para suministrar ventilación al invernadero y crear las condiciones climáticas ideales de acuerdo al tipo de cultivo de fresa festival que es la que se está estudiando y al tamaño del invernadero que se tiene para el diseño experimental.



Figura 4 Ventilador axial direccional

Fuente: <http://www.solerpalau.mx/367/producto/linea-comercial/tubulares/rbc-w/>

Estas estrategias elegidas para el control del clima se muestran en la Figura 5.

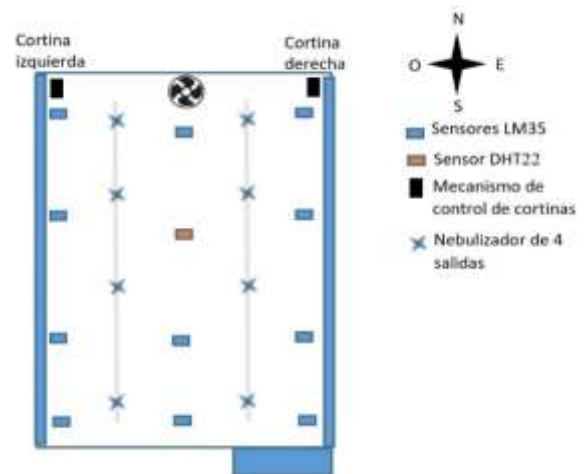


Figura 5 Sistema de control de clima en invernadero

Fuente: elaboración propia

El diseño experimental se realizó en el Instituto Tecnológico de Tehuacán. Para las pruebas del control del clima en el invernadero se utiliza el cultivo de fresa de variedad festival, como la que se muestra en la Figura 6, ya que es una planta que se ha estado investigando en el área de Ingeniería Bioquímica y en consecuencia ya se cuenta con los requerimientos edafoclimáticos del cultivo de fresa, que se obtuvieron mediante un diagnóstico del clima en la región de Tehuacán, Puebla donde la variedad que más se adaptó a las condiciones de estudio fue la variedad festival.



Figura 6 Planta de fresa festival

Fuente: Elaboración propia

El sistema de riego por goteo se utilizó también para proporcionar nutrientes a la planta ya que este permite dirigir directamente las gotas de riego al tallo de la fresa a través del uso de estacas y tubin.

El invernadero utilizado para el proyecto fue tipo túnel el cual se muestra en la Figura 7 con las siguientes dimensiones: ancho: 4.11 m, altura 4.27 m, largo 7.05 m (externas), con un área útil de siembra de 5.97 plantas /m². El material empleado como cubierta del invernadero es plástico y malla, así como bastidores de refuerzo perimetrales. (SAGARPA, 2007)



Figura 7 Invernadero tipo túnel

Fuente: Elaboración propia

Se llevó a cabo la siembra por reproducción de estolones de una planta madre obtenida del Estado de México, se realizó a través del sistema semihidropónico en macetas de 20 kilos utilizando como sustrato tezontle con un diámetro de 2mm. Ver Figura 8.



Figura 8 Maceta de fresa festival y sistema de riego

Fuente: Elaboración propia

Así mismo la formulación utilizada para la nutrición del cultivo se determinó en base a la formulación de Steiner para optimizar el uso de fertilizantes de acuerdo con la etapa fenológica del cultivo, así como un manejo integrado de plagas y enfermedades: Previendo y controlando las plagas y posibles enfermedades que en el cultivo de fresa se pudiera desarrollar durante el ciclo de vida y hasta la cosecha.

Etapas de desarrollo

Para el desarrollo del prototipo se siguieron las siguientes etapas:

- Analizar las características del invernadero experimental en colaboración con el área de Ingeniería Bioquímica.
- Configurar y colocar los sensores de temperatura y humedad requeridos.
- Colocar la infraestructura necesaria para el control del clima.
- Desarrollar e implementar la interfaz de usuario del sistema para el control de la temperatura y humedad, así como llevar un registro de las condiciones ambientales que se presentan en el invernadero y su efecto en las plantas.
- Solicitar al área de Bioquímica valores de temperatura y humedad que se necesitan para la producción de fresa.
- Colocar de acuerdo al análisis previo que se tiene y las condiciones para la planta, las macetas de fresa.
- Colocar los parámetros indicados en el sistema para el control del clima y registrar el comportamiento de la planta.

Cada una de las etapas de desarrollo se llevaron a cabo en colaboración por las áreas de Ingeniería en Sistemas Computacionales y Bioquímica.

El diseño del circuito que realiza el monitoreo y control es el que se muestra en la Figura 9.

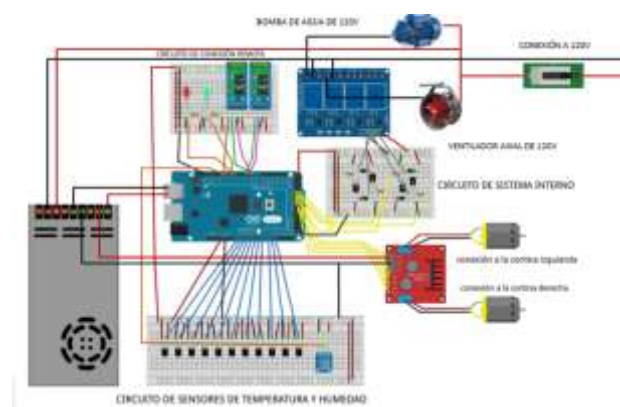


Figura 9 Circuito de control y monitoreo del clima del invernadero

Fuente: Elaboración propia

Para llevar a cabo el flujo de información entre el invernadero y los dispositivos de monitorización se desarrolló una aplicación cliente/servidor bajo código C#, capaz de administrar la información del invernadero en una base de datos SQL Server 2014.

Metodología a desarrollar

En relación al tipo de la investigación, es prospectiva ya que se obtuvieron datos a propósito de la investigación y longitudinal porque los datos se obtuvieron en varios momentos de la investigación. El diseño de la investigación es experimental ya que requiere de intervención y control y en relación al nivel investigativo esta investigación es de tipo exploratoria, descriptiva ya que se enfoca en analizar datos en relación a las variables temperatura, humedad y la producción de fresa.

Se obtuvieron los datos registrados por el sistema y las propiedades de la planta bajo condiciones de clima controlado para su análisis y descripción, de esta manera se logrará saber si en las condiciones del clima de Tehuacán bajo condiciones climáticas controladas en un invernadero automatizado es posible obtener producción de fresa de calidad.

Resultados

Una vez elegida la variedad de fresa óptima para la región de Tehuacán. Para el estudio se inicia con nuevo cultivo el 6 de marzo del 2017, con los cuidados que la planta requiere durante un mes, donde no se permitió el crecimiento de flor y de estolones. Una vez pasado ese periodo, con una planta fortalecida debido a sus cuidados iniciales, se continua con el crecimiento y desarrollo de la flor.

Posteriormente en el mes de abril se instaló el sistema, el cual opera en forma controlada para analizar el comportamiento de la planta; para este tipo de funcionamiento se utiliza la interfaz que se muestra en la Figura 10, donde se tiene el control individual de cada uno de los elementos que contribuyen a controlar el ambiente dentro del invernadero.



Figura 10 Interfaz de operación controlada

Fuente: *Elaboración propia*

Obteniendo la primera cosecha el 19 de abril de 2017.

Durante esas pruebas la cosecha fue constante produciendo un total de 173 plantas, donde el 80% de los casos dio frutos de calidad, esto de acuerdo a las pruebas organolépticas establecidas como el sabor, olor y color.

En la Figura 11 se muestra la cosecha con el sistema cotrolado.



Figura 11 Cosecha de fresa con el sistema controlado

Fuente: *Elaboración propia*

Los mejores resultados se han obtenido en un rango de temperatura que va de los 20 a 25 grados centígrados, estos datos se obtuvieron del análisis de los registros que se lograron con el sistema y del análisis de la producción de fresa.

La Figura 12 muestra la interfaz que ayuda a registrar la temperatura y la humedad en las diferentes áreas del invernadero.



Figura 12 Tablero que muestra el registro de los valores de las variables temperatura y humedad

Fuente: *Elaboración propia*

En el mes de junio se instaló un sistema totalmente automatizado, tomando como referencia los resultados obtenidos de manera controlada durante la experimentación que se realizó del mes de abril al mes de junio, donde debido a las condiciones del clima en la región de Tehuacán se requiere controlar el clima durante el día ya que es cuando el clima presenta temperaturas altas, por lo tanto el horario de automatización se estableció en el sistema de las 8:00 hrs. a las 18:00 hrs. a partir del mes de junio por lo que el sistema en este horario esta monitoreando la temperatura y humedad relativa cada 5 minutos cuando registra una temperatura mayor a 25 °C el sistema activa el ventilador y el sistema de riego por nebulización por 5 minutos, logrando con esto que la humedad relativa aumente y el ventilador sigue funcionando hasta que la temperatura nuevamente alcance los 20°C.

Durante los meses de junio y julio se ha seguido monitoreando y analizando el comportamiento de la planta y de su producción en colaboración con el área de bioquímica quienes al respecto han informado los siguientes resultados: El tamaño de la hoja de la planta es un punto importante a considerar, ya que se observó el aumento de su diámetro durante estos meses. En el registro obtenido y analizado se observan las plantas con buen crecimiento, como se muestra en la Figura 13.



Figura 13 Plantas desarrolladas con el sistema automatizado

Fuente: Elaboración propia

En el inicio de pruebas del sistema automatizado se registró que existían solo 53 plantas con más de 10 tallos con hoja y 120 plantas con menos de 10 tallos con hoja. A los tres días se registran 70 plantas con un número de tallos de hojas mayor a 10, el crecimiento y aumento de flor también se ha favorecido, y la formación de frutos, dándonos un total a la fecha de 157 flores y frutos en formación.

Agradecimiento

Se externa el agradecimiento a las siguientes instancias que hicieron posible la realización del proyecto: “Sistema de control de clima en invernaderos del Instituto Tecnológico de Tehuacán”.

- Al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento otorgado para el desarrollo del proyecto.
- A la directora del Instituto Tecnológico de Tehuacán C. M.E. Yeyetzín Sandoval González, por todo su apoyo.
- Al C. M.C. Francisco Ramón Díaz Arriaga jefe del Departamento de Ing. Química y Bioquímica por su apoyo y colaboración.
- Al C. M.T.I. Eduardo Vázquez Zayas jefe del Departamento de Ing. en Sistemas Computacionales por su apoyo y colaboración.

Conclusiones

De acuerdo a las pruebas realizadas, los resultados obtenidos y a lo observado, se concluye que el crecimiento, el aumento en el tamaño de la floración y el crecimiento del fruto se da en un periodo de 2 a 4 días bajo las condiciones establecidas en el sistema automatizado como se muestra en la Figura 14.