

**Proyecto de integración de la electrónica (IEEE-EPICS) en procesos agrícolas en la  
Institución Educativa (I.E.) El Cruce, municipio de Tuta – Boyacá**

**Andrés Felipe González Torres**

**Juan Carlos Moncada González**



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SECCIONAL TUNJA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**TUNJA**

**2020**

**Proyecto de integración de la electrónica (IEEE-EPICS) en procesos agrícolas en la  
Institución Educativa (I.E.) El Cruce, municipio de Tuta – Boyacá.**

**Andrés Felipe González Torres**

**Juan Carlos Moncada González**

**Trabajo de grado como requisito para obtener el título de:**

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

**Director:**

**Ing. Carlos Alberto Cardona Coy**

**Codirector:**

**Ing. Pablo Andrés Álvarez Camargo**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SECCIONAL TUNJA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**TUNJA**

**2020**

*Las ideas y afirmaciones presentes en este documento son responsabilidad de los autores. La universidad Santo Tomas no se hace responsable de las consecuencias que pueda generar este trabajo.*

## **NOTA DE ACEPTACIÓN**

La tesis de grado “Proyecto de integración de la electrónica (IEEE-EPICS) en procesos agrícolas en la Institución Educativa (I.E.) El Cruce, municipio de Tuta – Boyacá.” desarrollada por Andrés Felipe González Torres y Juan Carlos Moncada González, estudiantes de la Universidad Santo Tomás seccional Tunja, ha sido aprobada para obtener el título de ingeniero electrónico.

---

CARLOS ALBERTO CARDONA

Director del proyecto

---

PABLO ANDRÉS ÁLVAREZ CAMARGO

Codirector del proyecto

---

ARNOLD WIESNER HERNANDEZ

Lector

---

ADOLFO ÁVILA BARÓN

Lector

## TABLA DE CONTENIDO

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| LISTA DE FIGURAS .....                                                          | 7  |
| DEDICATORIA .....                                                               | 8  |
| RESUMEN .....                                                                   | 9  |
| INTRODUCCIÓN.....                                                               | 10 |
| 1. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA .....                                              | 12 |
| 1.1. Definición del problema.....                                               | 12 |
| 1.2. Formulación de pregunta.....                                               | 12 |
| 1.3. Delimitación del problema .....                                            | 13 |
| 2. JUSTIFICACIÓN .....                                                          | 14 |
| 3. OBJETIVOS.....                                                               | 16 |
| 3.1. Objetivo General.....                                                      | 16 |
| 3.2. Objetivo Específico.....                                                   | 16 |
| 4. MARCO TEÓRICO.....                                                           | 17 |
| 5. DISEÑO METODOLÓGICO.....                                                     | 25 |
| □ Planteamiento de estrategias de divulgación: .....                            | 29 |
| 6. DESARROLLO .....                                                             | 30 |
| 6.1. SELECCIÓN DEL TIPO DE INVERNADERO Y DEL TIPO DE RIEGO. ....                | 30 |
| 6.1.1. Selección del tipo de invernadero .....                                  | 30 |
| 6.1.2. Selección del tipo de riego .....                                        | 31 |
| 6.2. SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS.....                                             | 32 |
| 6.2.1. Controladores: .....                                                     | 32 |
| 6.2.2. Sensores: .....                                                          | 33 |
| 6.2.3. Actuadores: .....                                                        | 34 |
| 6.3. REALIZACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN PARA LOS CONTROLADORES SELECCIONADOS.<br>37 |    |
| 6.4. DISEÑO E INSTALACIÓN DEL PROTOTIPO .....                                   | 43 |
| 7. RESULTADOS .....                                                             | 47 |

|    |                                     |    |
|----|-------------------------------------|----|
| 8. | APORTES DERIVADOS DEL TRABAJO ..... | 51 |
| 9. | CONCLUSIONES .....                  | 52 |
|    | BIBLIOGRAFÍA.....                   | 53 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 Soporte del análisis de terreno del municipio de Tuta-Boyacá (CRECE-FEDERACIÓN, 2013).....                                          | 14 |
| Figura 2 Invernadero capilla (NOVAGRIC, NOVAGRIC, 2016).....                                                                                 | 19 |
| Figura 3 Comportamiento del control ON/OFF (Gutiérrez, 2011).....                                                                            | 23 |
| Figura 4 Esquema de fases del proyecto. (Autores).....                                                                                       | 26 |
| Figura 5 Estructura del invernadero (Autores). ....                                                                                          | 31 |
| Figura 6 Distribución del sistema de riego (Autores). ....                                                                                   | 32 |
| Figura 7 Relé de estado sólido (Autores). ....                                                                                               | 35 |
| Figura 8 Electroválvula 24vac (Autores). ....                                                                                                | 36 |
| Figura 9 Electrobomba de 1HP (Autores).....                                                                                                  | 37 |
| Figura 10 Conexión entre los dos micro controladores para la comunicación serial (Autores).....                                              | 38 |
| Figura 11 Creación y ubicación de los label en la interfaz (Autores). ....                                                                   | 40 |
| Figura 12 Comandos para consultar el puerto detectado en la ventana de comandos de Raspbian (Autores)..                                      | 41 |
| Figura 13 Interfaz gráfica final (Autores). ....                                                                                             | 42 |
| Figura 14 Diseño de circuito en proteus .....                                                                                                | 43 |
| Figura 15 Vista 3D de la baqueta final en proteus.....                                                                                       | 43 |
| Figura 16 Dispositivo de control .....                                                                                                       | 44 |
| Figura 17 Ubicación del dispositivo de control (Autores). ....                                                                               | 45 |
| Figura 18 Ubicación de los sensores de humedad .....                                                                                         | 46 |
| Figura 19 Comparación de datos de temperatura y humedad relativa. ....                                                                       | 47 |
| Figura 20 Ubicaciones donde fueron tomados los datos por parte de la aplicación del clima y el sensor DHT22 (The Weather Station, s.f.)..... | 48 |
| Figura 21 Interfaz gráfica final, activa.....                                                                                                | 49 |

## **DEDICATORIA**

Este proyecto se lo dedicamos a Dios quien ha sido nuestro eje y punto de apoyo en nuestras vidas, el cual ha hecho posible el alcanzar cada una de las metas propuestas y el haber culminado con éxito el proyecto, agradecemos también de corazón a las familias González Torres y Moncada González que con gran esfuerzo y sacrificio nos han brindado un apoyo incondicional.

Andrés Felipe González Torres

Juan Carlos Moncada González

## **RESUMEN**

En este documento, se describen todas las fases desarrolladas en el proyecto de grado realizado en la Institución Educativa El Cruce, la cual se encuentra ubicada en el municipio de Tuta – Boyacá. Este proyecto se basó en la integración de la electrónica en los procesos agrícolas propios del colegio, donde se automatizó el sistema de riego para un invernadero y a su vez, el monitoreo de temperatura del mismo, con la finalidad de ayudar y mejorar los procesos de producción, tanto en cantidad como en calidad, brindando la oportunidad a los docentes y estudiantes, de conocer nuevos métodos de trabajo en este sector, obteniendo un mayor aprendizaje a partir de lo mencionado anteriormente.

Por otro lado, la implementación de este proyecto, el cual fue realizado con ayuda de la plataforma EPICS de IEEE, busca incentivar a la comunidad educativa, a trabajar en el sector agrícola, considerando los grandes avances tecnológicos que han llegado a este campo, y su vez ir demostrando que el uso de la tecnología, es simplemente una ayuda que generará cambios positivos y grandes beneficios para la comunidad, sin llegar a sustituir la mano de obra de los trabajadores.

## INTRODUCCIÓN

Con el paso del tiempo, el avance tecnológico ha estado creciendo rápidamente y así mismo, ha llegado a cubrir las necesidades de diferentes campos importantes, como lo son la medicina, la industria, la informática y en especial la agricultura. Siendo este último, el tema principal del desarrollo de este documento. A pesar de los grandes avances que ha tenido el sector agrícola, esta tecnología no ha conseguido llegar a algunos rincones del país, debido al costo y desconfianza que genera en algunos agricultores, donde consideran que podría ser una inversión innecesaria, o que simplemente no conseguirían productos de calidad para ofrecer al mercado.

La Institución Educativa El Cruce, el cual es un colegio agrícola, tiene un pensamiento similar al señalado en el párrafo anterior, lo cual impide el avance educativo de sus estudiantes en este campo, ya que se limitan al manejo de técnicas comunes a pesar de que los sistemas con más tecnología sean la mejor opción en este momento, gracias a las grandes ventajas y beneficios que pueden generar para sus usuarios. La tecnología en el campo no busca sustituir a los agricultores, a las personas que se dedican al cuidado de los cultivos, sino que, por el contrario, son de gran ayuda, debido a que tienen mayor libertad al momento de realizar otras labores sin descuidar sus cultivos en ningún momento.

Relacionando lo mencionado en los párrafos anteriores, en este proyecto, con ayuda de la plataforma EPICS de IEEE, se diseñará e implementará un sistema de riego automatizado, brindándole a la institución educativa un espacio más avanzado para la realización de sus clases y así mismo, demostrar la importancia de tener un sistema como estos, de no estancarse en un único método de trabajo, sino de conocer muchas más formas de realizar esta labor, que puedan generar beneficios para toda su comunidad. De igual manera, será posible motivar, no sólo a las personas que hacen parte de la I.E., sino a gran parte de la comunidad perteneciente al Municipio de Tuta a partir de la divulgación del proyecto y sus ventajas, a través de las personas que interactuarán inicialmente con el sistema automatizado (Personas pertenecientes a la I.E. El Cruce).

Este trabajo de grado se encuentra estructurado en siete capítulos, donde se abordará cómo han sido los diferentes procesos que han hecho parte del desarrollo de este y a su vez, conocer algunos aspectos importantes para comprender de mejor manera la ejecución de este proyecto.

En el primer capítulo, se encuentra el planteamiento del problema, en el cual se da a conocer la problemática que quiere llegar a solucionarse y así mismo se consideran las delimitaciones, para conocer el alcance que tendrá el proyecto. A continuación, en el segundo capítulo, se sustenta por qué se realiza el proyecto a partir de la necesidad o el problema que se presenta.

Posteriormente, en el tercer capítulo, se presentan los objetivos que desean cumplirse con la ejecución del proyecto. Luego de ello, en el cuarto capítulo, se encuentra el marco teórico, en el que se definen conceptos importantes que son necesarios para comprender con mayor facilidad lo que se encuentra dentro del documento.

Después, en el quinto capítulo, se señala como se trabajará y lo que se espera conseguir a partir del sistema automatizado. Lo anterior, lleva al sexto y séptimo capítulo, donde se presenta el desarrollo y los resultados obtenidos, luego de la realización del diseño e implementación de la totalidad del proyecto.

En seguida, en el octavo capítulo, se presentan los aportes que se derivan como consecuencia de algunas de las tareas realizadas y de los objetivos cumplidos. Por último, en el noveno capítulo, se presentan las conclusiones y se da finalidad al proyecto.

## **1. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA.**

### **1.1. Definición del problema.**

La agricultura se centra en un conjunto de técnicas para controlar diferentes espacios con cultivos vegetales y/o animales (N/A, ECOLOGIA HOY, 2018), la cual se ha convertido para el país, en uno de los principales factores que aportan al desarrollo del mismo. Con el paso del tiempo, el interés en el sector agrícola por parte de las nuevas generaciones ha disminuido significativamente por la poca tecnología (TIEMPO, 2017), o el poco avance que se tiene en los diversos procesos que se realizan en este campo.

De igual manera, esta problemática se ve reflejada en algunos cultivos que no cuentan con los procesos necesarios para un excelente proceso de producción, como lo son: control en los riegos (poniendo en consideración la humedad que tenga el cultivo, sin hacer un uso innecesario del agua) o el monitoreo de temperatura. Los malos manejos en el control de la humedad, normalmente causan pérdidas económicas ya que los cultivos se dañan, o demoran más en el proceso de producción, lo que de igual manera se consideran como pérdidas.

A su vez, los procedimientos que se realizan en el cuidado o mantenimiento del invernadero, implican ciertas acciones que son peligrosas o traen riesgos tales como: el daño que puede generarse al realizar un riego a un cultivo que anteriormente haya sido fumigado (La recepción de toxinas en el cuerpo) (Segarra, 2004) y la recolección de agua de un pozo profundo que no cuenta con las adecuaciones o factores de prevención mínimos, tanto para los docentes y/o estudiantes que se encuentren realizando alguna de las actividades anteriormente nombradas.

### **1.2. Formulación de pregunta.**

- ¿Cuales cambios significativos se generarán en los procesos de producción agrícola de la I.E. El Cruce mediante la automatización del sistema de riego, temperatura y humedad de su invernadero a partir del programa IEEE - EPICS?
- ¿Qué microcontroladores se ajustan mejor (Respecto a sus características) para la implementación en el sistema de control y de riego en conjunto con una Raspberry

Pi, considerando la cantidad de datos que se recogerán y la velocidad con que estos deben ser procesados?

- ¿Qué tipo de sensores son los indicados para la adquisición de datos de temperatura, flujo y humedad considerando el espacio donde deben implementarse estos?
- ¿Cómo asegurar que los procesos que se realizan en invernaderos son realmente más efectivos al tener cada uno de ellos automatizado?

### **1.3. Delimitación del problema.**

El alcance del proyecto se ha definido de la siguiente forma:

- Delimitación Espacial: La implementación de los sistemas automatizados para el campo agrícola se realizarán en el municipio de Tuta-Boyacá en la I.E. El Cruce, lugar escogido por ser una institución agrícola y además de ello, por cumplir con el objetivo del programa EPICS en IEEE, el cual es ayudar a las comunidades a alcanzar sus objetivos.
- Delimitación Temporal: Cubrirá un periodo de cinco meses, dando inicio en el mes de noviembre y finaliza en el mes de Marzo del año 2020.
- Delimitación Temática: La finalidad que tiene la realización este proyecto, es la automatización de un invernadero considerando factores importantes que se deben tener en cuenta para el buen funcionamiento del mismo, como lo son la temperatura y la humedad. Con el control en el invernadero se demuestra que la electrónica es de gran utilidad, al cumplir con tareas que necesiten de mayor precisión, permitiendo generar beneficios para una comunidad; En este caso, la I.E. El Cruce.

## 2. JUSTIFICACIÓN.

El municipio de Tuta-Boyacá es conocido a nivel departamental, por basar su economía en el sector agropecuario, destacándose por la producción de cultivos de papa, frijol, maíz, arveja, cebolla y algunos frutales; esto se debe al clima y la localización del mismo municipio. Por lo anterior, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural realizó un análisis de los terrenos, donde se evidenció que el 74,36% del área del municipio está cubierto por mosaicos de pastos y cultivos como es posible evidenciar en la Figura1, a partir de los campos de Conservación y Recuperación (22%), Cultivos Transitorios Intensivos (6%), Conservación de Recursos Hídricos e Hidrológicos (4%) y Protección – Producción (42%) (CRECE-FEDERACIÓN, 2013).

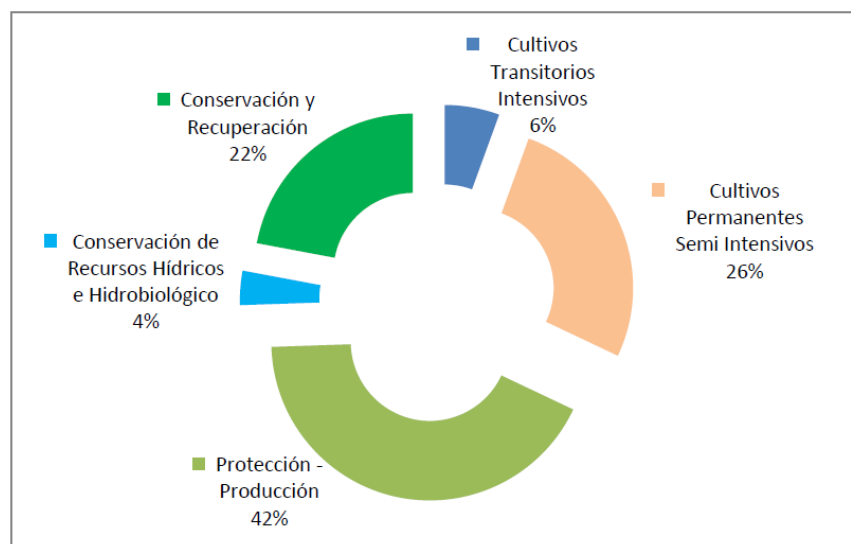


Figura 1 Soporte del análisis de terreno del municipio de Tuta-Boyacá (CRECE-FEDERACIÓN, 2013).

Teniendo en cuenta lo anterior, la Institución Educativa El Cruce, ubicada en este municipio, cuenta con una educación media técnica agrícola, la cual tiene como finalidad preparar a sus estudiantes para el desempeño laboral en los sectores de producción y servicios, y a su vez, concientizar a sus estudiantes de que el trabajo en este sector es necesario y puede controlarse con técnicas innovadoras a partir de procesos de automatización; esto convierte a esta institución en el escenario ideal que busca EPICS de IEEE para que sus proyectos puedan ser desarrollados allí.

La rama EPICS de IEEE, tiene como iniciativa la innovación social que permite trabajar con organizaciones comunitarias sin ánimo de lucro, influenciando la realización de procesos investigativos o mejoras tecnológicas que no sólo fortalezcan sino también que faciliten la realización de actividades.

Relacionando lo anteriormente mencionado, esta rama tiene como objetivo fortalecer fuertemente los procesos de producción en el invernadero y crear espacios más dinámicos, a partir de la implementación de este proyecto, haciendo uso de técnicas nuevas (Automatización) en la sede con la ayuda que IEEE, de la mano con la Facultad de ingeniería electrónica pueden proporcionar, y así mismo fomentar mayor interés por parte de los estudiantes y docentes sobre este campo de trabajo (sector agrícola).

Es importante recalcar, que la realización del proyecto no busca sustituir la labor realizada por las personas que normalmente interactúan con el invernadero, sino hacer más sencilla la realización de la misma, y así mismo demostrar que la automatización del agro no genera un cambio negativo en la calidad de los productos obtenidos de los cultivos donde se encuentra implementada.

### **3. OBJETIVOS.**

#### **3.1. Objetivo General.**

- Implementar el sistema de automatización del invernadero de la Granja de la I.E. El Cruce en el municipio de Tuta – Boyacá, teniendo en cuenta las variables de humedad y temperatura asociadas a los cultivos que se deseen desarrollar, llegando a mantener un mayor control en el crecimiento de los cultivos.

#### **3.2. Objetivo Específico**

- Analizar entre los distintos tipos de invernaderos disponibles en el mercado, definiendo cual es el indicado para su instalación en la granja, según las necesidades de la producción y las características geográficas y climatológicas del sitio (fuerza y dirección del viento, temperatura promedio en las temporadas de producción y localización de las fuentes hídricas).
- Diseñar el sistema de control general del invernadero, considerando las variables de temperatura y humedad que se deseen supervisar, los actuadores que se requieran y la tecnología de controlador, Arduino y Raspberry considerando que son sistemas multiplataforma.
- Diseñar e implementar el sistema de riego para el invernadero, teniendo en cuenta las características eléctricas de la motobomba, el sistema de control y los equipos de instrumentación necesaria para conseguir un proceso de automatización efectivo, como lo son válvulas, los contactores, los relés, entre otros.

#### **4. MARCO TEÓRICO.**

##### **CONTEXTO SOCIAL**

A pesar de los resultados aportados por el Censo Nacional Agropecuario, los cuales mencionan que el 40.6% del área rural pertenece al sector agropecuario, (estos resultados fueron presentados por el director del Dane) (El Ministro de la Agricultura, 2016), es importante resaltar que la problemática de los campos podría ser más profunda y que es uno de los sectores más débiles que hoy en día tiene Colombia debido a que las personas generan mayores ingresos en el sector petrolero y por esta razón abandonan el sector agrícola. Con esta información podemos afirmar que el gobierno nacional, en cabeza del presidente Iván Duque Márquez, está al tanto de varias problemáticas que se generan debido a que no es un tema nuevo para el país; pues una de las acciones que lideró el exministro de hacienda José Antonio Ocampo, fue la de presentar un diagnóstico sobre los problemas que impiden un mayor crecimiento del agro, lo cual demuestra que a pesar de que se conocen las razones del descuido en el sector agrícola, se continua dando mayor prioridad a otros sectores como por ejemplo, el sector petrolero. (Borrero, 2019)

En el mencionado diagnóstico se presenta un factor que afecta el progreso del sector agrícola es que la población joven con edad de trabajar toma la decisión de migrar a las ciudades y esto genera que los ingresos de los habitantes rurales sean más bajos que los ingresos de las ciudades, debido a que los niveles de producción en el sector disminuirán. Asimismo, mirando los niveles de producción del agro es válido afirmar que la productividad actual es la misma de hace 20 años, debido a que la infraestructura del agro no ha avanzado y esto afecta la comercialización de productos y accesorios a mercados. Finalmente, otro de los factores presentados es que los costos de producción son elevados. (N/A, Agropinos, 2017)

A su vez, a partir de estas problemáticas que afronta el sector agropecuario, se puede afirmar que es necesario hacer un cambio en la táctica que hoy en día se tiene en cuanto al campo colombiano, el cual si bien muestra falencias es uno de los sectores con más potencial. Pues según las cifras oficiales del IGAC (2012), de los 22,1 millones de hectáreas con vocación para uso agrícola, Colombia sólo utiliza 5,3 millones, en otras palabras, únicamente se emplea el 24,1% del potencial. Adicionalmente, el potencial agropecuario del país se

aproxima al 36,2% del territorio, comprendido por los sistemas tradicionales, en donde a la agricultura le corresponde el 19,3%, a la ganadería el 13,3% y a los integrados con el bosque, es decir, el agrosilvopastoril el 3,55%.

Colombia es un país que posee un gran potencial para el desarrollo en el sector agropecuario, pudiendo generar un nivel de producción suficiente como para satisfacer la demanda de alimentos del país, una gran ventaja es que tiene una localización intertropical y ecuatorial lo cual generara ganancias importantes para la exportación de productos competitivos (N/A, El "top" 10 de los líos del campo, 2014). Por esta razón, es necesario tener el conocimiento previo acerca de los diferentes elementos que harán parte del proceso de investigación, considerando cuáles se acomodan de mejor manera al momento de satisfacer algunos de los objetivos planteados en la sección 3 del presente documento.

## **ESTRUCTURAS DE INVERNADEROS**

Los invernaderos son estructuras que aportan gran variedad de beneficios en el desarrollo de cultivos, dentro de las que recalcan la independencia de los factores medioambientales, gracias a las propiedades que ofrecen los plásticos u otros materiales utilizados en las cubiertas para la evadir la exposición de del sol, las granizadas, las heladas, las lluvias y las fuertes corrientes de viento las cuales producen afectaciones a las plantas ocasionando pérdidas o retrasos en la producción.

Las estructuras varían dependiendo del tipo de invernadero. En seguida se indicarán las dos clases de invernaderos que constan de mayor uso en el territorio colombiano. Los dos tipos que se encuentran en el mercado en la actualidad son:

- Artesanales
- Industriales (NOVAGRIC, NOVAGRIC, 2016)

### **Estructuras artesanales**

Las estructuras artesanales cuentan con un diseño básico y se construyen a través de conocimientos empíricos, sus materiales son rústicos y en ocasiones poco adecuados.

Este tipo de invernadero es muy común encontrarlo en zonas alejadas de Colombia y aunque su uso ha sido aceptado en ciertas zonas, el proyecto pretende que este tipo de invernaderos sean reemplazados por unos más aptos para el cultivo. (NOVAGRIC, NOVAGRIC, 2016)

### **Estructura industriales**

Los invernaderos industriales son de tipo tecnificado son estructuras altamente elaboradas, con tecnología de punta y materiales óptimos para este tipo de estructuras Para la realización del proyecto se utilizará un invernadero industrial esto debido a que el aumento de producción en invernaderos creció notoriamente en el sector agrícola por la facilidad de uso y la eficiencia de la producción. (NOVAGRIC, NOVAGRIC, 2016)

## **INVERNADERO**

Un invernadero es una estructura cubierta-cerrada por diferentes tipos de materiales transparentes, dentro del cual es posible obtener diferentes entornos artificiales de microclima. Para la realización del proyecto se hará uso de un diseño de invernadero tipo capilla el cual se explicará a continuación. (NOVAGRIC, NOVAGRIC, 2016)

### **Invernadero tipo capilla**

Este tipo de invernadero también denominado multicapilla, se caracteriza por el diseño de su cubierta conformado por arcos curvos semicirculares y por su estructura totalmente metálica, este se puede observar en la Figura.2. (NOVAGRIC, NOVAGRIC, 2016)



Figura 2 Invernadero capilla (NOVAGRIC, NOVAGRIC, 2016).

Se optó por implementar este tipo de invernadero debido a los diferentes cambios climáticos que se pueden generar dentro de este y que contribuyen al desarrollo como, por ejemplo, climas templados y fríos; aunque con las reformas adecuadas se pueden adaptar a casi todo tipo de condiciones climáticas; una de estas reformas puede ser el reforzado de su estructura para climas más fríos, donde las cargas por nieve pueden ser un problema.

Por otro lado, aparte de tener gran firmeza a fuertes vientos, así como rápida instalación al ser estructuras prefabricadas, unas de sus principales ventajas son:

- Buena ventilación.
- Buena estanqueidad a la lluvia y al aire.
- Permite la instalación de ventilación cenital, así como ventilación perimetral
- Buen reparto de la luminosidad en el interior del invernadero.
- Pocos obstáculos en su estructura.
- Fácil instalación. (NOVAGRIC, NOVAGRIC, 2016)

## **SISTEMAS DE RIEGO**

El sistema de riego en un cultivo es un factor primordial para el desarrollo del mismo, pues permite a través de diferentes procedimientos, una distribución uniforme del agua en la superficie del suelo, lo que genera una expansión más de una manera más equivalente. Los sistemas de riego están sujetos a varios factores, entre ellos el económico, el tipo de suelo, superficie a regar, fuente de energía, tipo de cultivo, etc.

Existen diversos tipos de riego, los cuales dependen del suelo, el cultivo y el entorno. No obstante, en este proyecto se tendrán en cuenta solo dos de ellos: el riego automático y el riego por aspersión. (N/A, EL UNIVERSO, 2016)

### **Riego automático**

El sistema de riego automático es aquel encargado de distribuir agua al cultivo de una manera controlada por medio de los diferentes tipos de riego como los mencionados anteriormente en la descripción de los sistemas de riego.

Unas de las principales ventajas de la instalación de este tipo de riego son:

- Aumentos de la producción debido a la optimización del riego.
- Ahorro de mano de obra, agua y energía.
- Mayor eficiencia de riego.
- Control de operaciones relacionadas al riego (control económico del riego).
- Reducción de costes de mantenimiento (detección de fallos y la protección de los diferentes componentes del sistema de riego). (NOVAGRIC, NOVAGRIC, 2016)

### **Riego por aspersión**

Este sistema de riego permite hacer un reparto lo más homogéneo posible del agua a lo largo de todo el cultivo, teniendo en cuenta los factores que pueden afectar su calidad de producción (viento, el tipo y altura del cultivo, necesidades del cultivo, la orografía del terreno, etc.). Unas de las principales ventajas de este tipo de riego son:

- Tiene un menor consumo de agua que los sistemas de riego por inundación.
- Presenta una gran adaptabilidad a terrenos irregulares, con grandes diferencias de cota en su superficie.
- Permite dosificar el agua con una buena precisión.
- Su distribución sobre el material vegetal depende del viento, aunque a bajas velocidades es muy homogénea. (NOVAGRIC, NOVAGRIC, 2016)

### **Sensores**

Luego de conocer los diferentes tipos de estructuras y sistemas de riego que pueden ser implementados, se continuara con la sección de sensores, donde se dará un concepto amplio de cada uno de los dispositivos que se utilizaran en la elaboración del proyecto.

### **Sensor resistivo de humedad del suelo FC-28**

Un hidrómetro es un dispositivo que mide la humedad del suelo. Es empleado usualmente para sistemas de riego automatizados con el fin de mostrar cuando es necesario activar o desactivar el sistema de bombeo. El sensor de humedad resistivo tiene la capacidad de medir la humedad del suelo por la variación de su conductividad, cabe aclarar que no es un dispositivo con una precisión suficiente para realizar una medición precisa.

El sensor está construido sobre una placa de medición estándar la cual permite recolectar los datos de manera analógica o digital, cuando la humedad del terreno supera el umbral. Los valores captados por el pin analógico van desde 0 cuando el sensor está completamente sumergido en el agua, hasta 1023 cuando está en el aire.

A continuación, se describirá otro sensor de humedad, en este caso el dispositivo toma lecturas temperatura y humedad relativa. (N/A, Luis Llamas, 2016)

### **Sensor de temperatura y humedad relativa DHT22**

Es un sensor que permite captar datos de temperatura y humedad relativa de una manera precisa y simple. Está compuesto por un sensor capacitivo de humedad y también posee un termistor para la medición de aire circulante. El dispositivo entrega un dato digital, por ende, no requiere hacer uso de entradas analógicas. Este sensor puede ser implementado con plataformas como Arduino/Raspberry/Nodemcu es sencillo su uso a nivel de hardware y software. A nivel de software el dispositivo cuenta con una librería para trabajar con Raspberry (Adafruit\_DHT). (N/A, Luis Llamas, 2016)

### **Automatización de sistemas de riego**

Consiste en cambiar o sustituir las tareas de un proceso manual en un proceso con controladores automáticos. Son procesos que en este caso mejoran la productividad de la empresa, disminuyendo pérdidas y bajando los costos de producción de la misma. (N/A, Autómatas Programables, 2001)

## Control ON/OFF

Es comúnmente utilizado en procesos en los que no se requiere un control muy preciso. Este opera sobre una variable, manteniéndola estable dentro de un umbral deseado, considerando que no ofrece una solución de inmediato en caso de que se presente un dato fuera del umbral. La salida de este tipo de control tiene dos estados fijos activado (ON) y cerrado (OFF). El estado ON se usará cuando el dato de nuestro sensor este por debajo del umbral deseado y el estado OFF será usado cuando el dato este por encima del umbral. (Ogata, 2003)

A continuación, se observa el control ON/OFF en la Figura.3

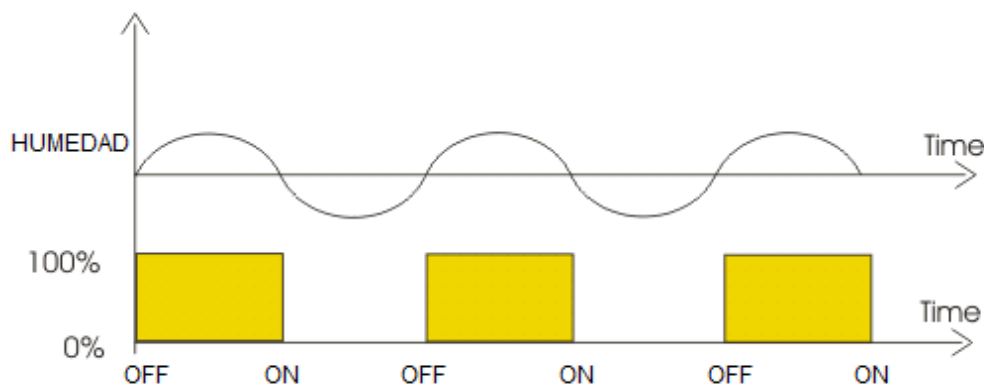


Figura 3 Comportamiento del control ON/OFF (Gutiérrez, 2011)

## Microcontroladores

El dispositivo central de procesamiento del proyecto será la Raspberry Pi3, la cual posee las siguientes características:

La Raspberry Pi3 es uno de las plataformas más elementales que podemos encontrar, debido a que su uso se facilita a cualquier persona; también es uno de los más comerciales de toda la historia informática, es de un tamaño similar al de una tarjeta de crédito, el cual puede ser conectado a un tv o un monitor de computador, y así ser usado con un mouse y un teclado.

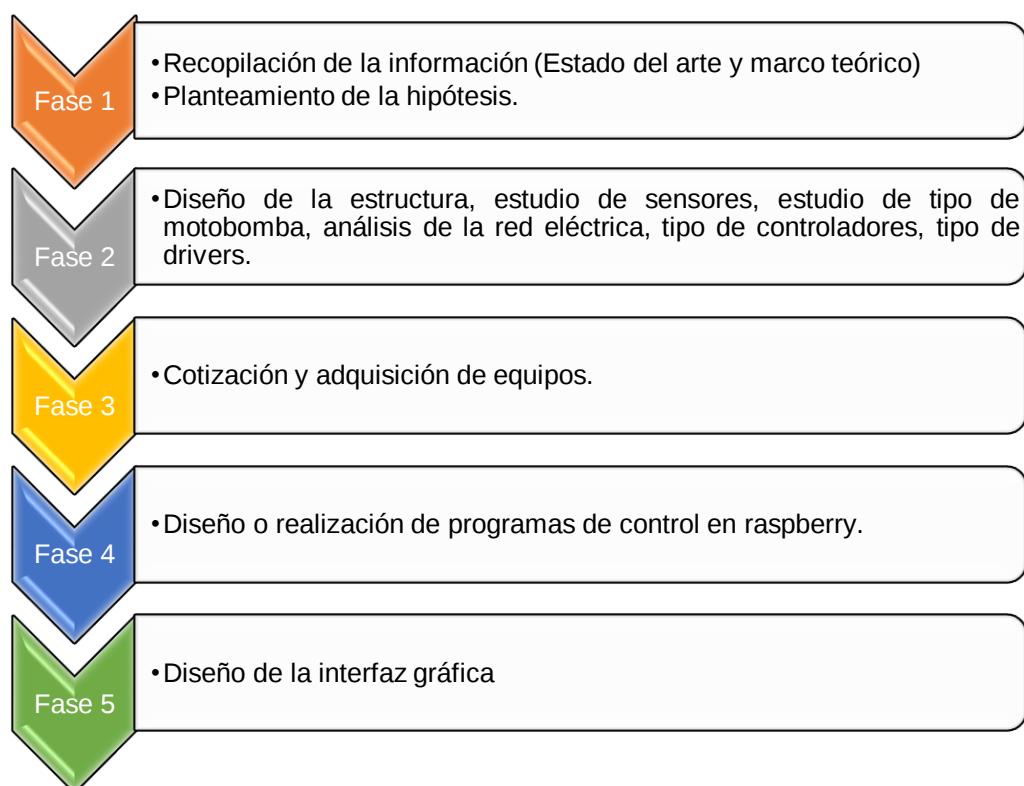
Es un mini computador que trabaja con un sistema operativo Linux, brindándole la oportunidad a todo usuario que desee, entrar en el mundo computacional y aprender a programar en lenguaje Python en los distintos entornos de desarrollo como lo son Geany, Phyton y/o Thonny. El dispositivo es apto para realizar funciones básicas de un computador de escritorio, desde reproducir un video, hasta reproducir juegos. (N/A, RaspberryPi, 2017)

## 5. DISEÑO METODOLÓGICO.

Para la ejecución del proyecto se cuenta con el apoyo financiero de \$5000 dólares por parte de Epics para la adquisición de equipos. De igual manera, se cuenta con el apoyo de IEEE (Usta Tunja), con \$4'000.000 destinados para la compra de la estructura (Invernadero) que se necesita para cumplir con la finalidad del proyecto.

Se hará uso de la investigación cuantitativa teniendo en cuenta el diseño y control del sistema que se busca implementar en el proyecto, con el fin de comprender y responder a la problemática planteada en la sección 2.1 de este documento, a partir del uso de algunas plataformas (Arduino y Raspberry en conjunto), las cuales permiten mantener un control numérico de las variables que puedan afectar en el procedimiento, como lo es el control del flujo de agua y su dispersión (Cantidades específicas).

La metodología que se implementará se divide en diez fases, las cuales están directamente relacionadas con cada uno de los objetivos anteriormente planteados como es evidente en los esquemas que se presentan a continuación.



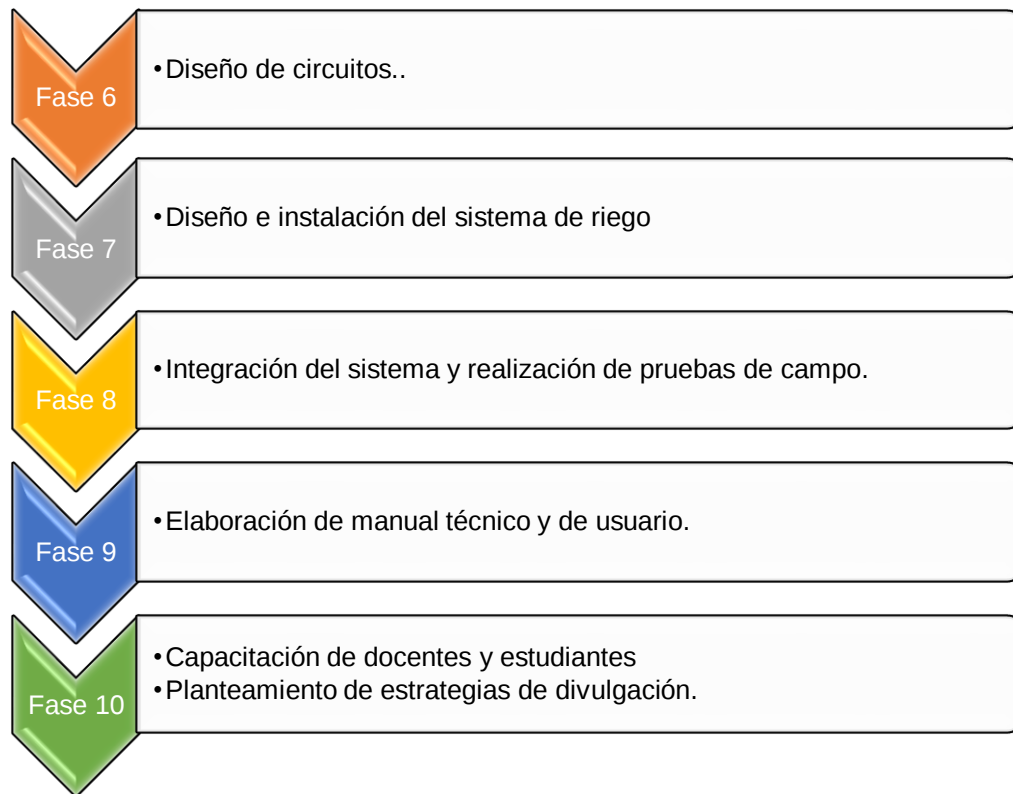


Figura 4 Esquema de fases del proyecto. (Autores)

Luego de conocer las fases del proyecto en el esquema que se muestra en la figura.4, se explicará a profundidad en qué consiste cada una de estas etapas, las cuales llevarán a la buena ejecución del proyecto.

### **Fase 1**

- **Recopilación de la información (Estado del arte y marco teórico):** Se realiza un análisis global del sector donde se implementará el sistema, poniendo a considerando los posibles dispositivos (Sensores y actuadores) que se podrían usar, las características del entorno donde se realizará el montaje, y a su vez, conocer a fondo cada una de las partes de la estructura base que harán parte del sistema.
- **Planteamiento de la hipótesis:** Con la implementación de los sistemas automatizados en la I.E. El Cruce, se espera que aumenten los niveles de producción por parte de los

cultivos y a su vez, conseguir que estos sean de gran calidad logrando que la institución pueda cumplir su principal objetivo de la mejor manera, el cual es brindar un enfoque agrícola a sus estudiantes y así mismo, con el producto final (resultados de los cultivos), obtener ingresos para la misma institución, demostrando que los procesos de automatización traen grandes beneficios y ventajas en el sector agropecuario.

## **Fase 2**

- Diseño de la estructura, análisis de la red eléctrica y la fuente hídrica: Debe conocerse a profundidad el espacio donde se realizará el montaje de la estructura, considerando que este debe ser un terreno de fácil manejo, de gran tamaño y de fácil acceso a una fuente hídrica y eléctrica. Todo lo anterior, para conseguir que el diseño de la estructura sea mucho más compacto y cómodo para su uso.
- Estudio de tipo de motobomba: Debe conocerse la capacidad que tendrá esta motobomba, ya que debe poder transportar la cantidad de agua necesaria para realizar los riegos en cada sector del invernadero sin excepción alguna.
- Estudio y selección de sensores, controladores y drivers: Se analizarán las diferentes características de los sensores con la finalidad de que los datos que se obtengan, sean lo más precisos posibles; de igual manera para la selección de controladores y drivers, se contempla, que al tener procesamiento de datos en gran magnitud y gran velocidad, se debe contar con un sistema que sea capaz de responder a cualquier alteración que presente el ambiente a través de los actuadores a partir de la información recolectada.

## **Fase 3**

- Cotización y adquisición de equipos: Se conoce la disponibilidad de presupuesto, y se adquieren los equipos según los análisis realizados en la fase 2 del proyecto.

#### **Fase 4**

- Diseño o realización de programas de control en Raspberry: Se realiza la programación necesaria en python3 buscando que se recolecten los datos de la mejor manera a partir de los sensores, y que los actuadores funcionen coherentemente con respecto a la información obtenida.

#### **Fase 5**

- Diseño de la interfaz gráfica: Se diseñará una interfaz que sea didáctica y fácil de comprender, considerando que se realizará para una Institución educativa donde los estudiantes y docentes harán uso de la misma facilitando el desarrollo de sus clases.

#### **Fase 6**

- Diseño de circuitos: Se deben diseñar los circuitos considerando la cantidad de dispositivos electrónicos que se necesitan para un funcionamiento correcto de los sistemas y de igual manera, deben considerarse las normas de protección para que los usuarios no causen daños en el sistema, o que se provoque algún daño que perjudique la integridad física de quien lo use.

#### **Fase 7**

- Diseño e instalación del sistema de riego: Con el diseño del sistema de riego, se busca que este tenga alcance a la totalidad de cada cultivo, y que a su vez el riego no genere ningún daño a la siembra que se encuentre dentro del invernadero.

#### **Fase 8**

- Integración del sistema y realización de pruebas de campo: Debe integrarse el sistema, considerando comodidad para que alguien pueda ingresar y circular sin complicaciones, que los sistemas se encuentren protegidos correctamente y/o aislados de cualquier riesgo.

## **Fase 9**

- Elaboración de manual técnico y de usuario: Este se realiza con la finalidad de explicar un poco más a fondo cada uno de los circuitos implementados, las fuentes de energización, saber de qué consta el sistema y de qué cuidados o requerimientos se deben tener para hacer uso del mismo.

## **Fase 10**

- Capacitación de docentes y estudiantes: Se hace uso de los manuales elaborados en la fase 9, dando a conocer a estudiantes y docentes cómo funciona cada parte del sistema, y a su vez, las consideraciones que deben tenerse al momento de usarlo.
- Planteamiento de estrategias de divulgación: Inicialmente, se publicará un artículo en el congreso que se realizará por parte de la facultad de Ingeniería electrónica en el periodo 2019-2. De igual manera, se hará uso de capacitaciones que se realizarán en la institución, y esta misma comunidad se encargará de divulgar por medio de sus estudiantes y docentes la implementación del sistema dentro de su institución.

Por otra parte, se hará uso de la Santoto Stereo (emisora online, perteneciente a la Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja) como medio de divulgación dentro del ambiente educativo.

## **6. DESARROLLO**

Inicialmente para el desarrollo del proyecto, se indagó acerca de los tipos de plantas que usualmente son cultivadas en la vereda Hacienda, perteneciente al municipio de Tutaboyacá; Luego de haber dialogado con personas que trabajan en ese sector, se concluyó que los cultivos que más se adaptan a las condiciones climáticas y al tipo de suelo que posee esta vereda, son los cultivos de papa, trigo y en su mayoría, hortalizas (En cultivos hidropónicos).

La sección 6.1 y 6.2 hacen referencia a las fases 1 y 2 de la metodología, ya que, se recolectó información acerca del tipo de invernadero, tipo de riego, controladores, sensores y actuadores, para así optar por los más adecuados para la implementación del proyecto.

### **6.1. SELECCIÓN DEL TIPO DE INVERNADERO Y DEL TIPO DE RIEGO.**

#### **6.1.1. Selección del tipo de invernadero**

Para poder obtener un nivel alto de producción es indispensable proteger los cultivos de factores externos que presenten riesgos para la producción. Para esta protección, existen diferentes opciones que aíslan al cultivo de este tipo de factores como lo son: animales, condiciones climáticas, enfermedades y plagas que puedan afectar la salud de los frutos. El tipo de invernadero que se instaló, fue un invernadero tipo capilla; Es la estructura más utilizada en la agricultura, debido a su notable resistencia a corrientes de aire y conservación de altas temperaturas, situación que lo establece como el más apto para cultivos de hortalizas. El invernadero consta de una nave de 15 metros de largo por 5 metros de ancho con un área total de 75 metros cuadrados.

El invernadero tipo capilla se construyó con tubos cilíndricos galvanizados, los cuales son de fácil traslado e instalación como se observa en la figura 5.



Figura 5 Estructura del invernadero (Autores).

#### **6.1.2. Selección del tipo de riego**

El riego por aspersión es una técnica que consiste en la distribución de agua de forma homogénea por medio de aspersores, los cuales producen gotas de agua de diferentes tamaños, imitando una precipitación natural. El sistema se adapta para cualquier tipo de cultivo gracias a la estructura, ya que esta permite la instalación del sistema sin necesidad de que la tierra se encuentre en condiciones de siembra. La distribución de la tubería debe ser uniforme en todo el cultivo para poder tener un aprovechamiento completo del área a trabajar.

El método de riego que se adecuó al proyecto, es el sistema de riego por aspersión, el cual cuenta con un área de riego por aspersor de 3 metros de diámetro. El sistema de riego funciona por bombeo, haciendo uso de una electrobomba de 1HP lo cual es suficiente para abastecer agua al área que se desee trabajar. La electrobomba se encuentra ubicada en un estanque de aproximadamente 114 metros cúbicos, el cual es el encargado de abastecer el agua para la instalación.

En la siguiente figura se observa la distribución que se utilizó para el sistema de riego.



Figura 6 Distribución del sistema de riego (Autores).

## **6.2. SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS.**

### **6.2.1. Controladores:**

Para el control del sistema de riego, el cual se encuentra bajo el monitoreo de variables como lo son la temperatura, la humedad y la humedad relativa, nace la necesidad de hacer uso de controladores que permitan recibir y enviar datos, enviar señales en alto para la activación de los actuadores y así mismo, que den la opción de generar interfaces gráficas, donde sea posible visualizar los datos monitoreados. Del mismo modo, se buscó que los controladores no manejaran un lenguaje de programación de uso general, ya que el sistema se implementó en un colegio y existía la necesidad de capacitar a algunas de las personas pertenecientes a la institución, brindándoles las bases necesarias para hacer un uso correcto del dispositivo.

Considerando lo anteriormente mencionado, un controlador apto para recibir señales análogas y digitales, que tiene un lenguaje de programación sencillo de comprender, es de hardware libre y su costo no es muy elevado, es el micro controlador Arduino; Este micro

controlador tiene diferentes modelos, pero para la implementación en este proyecto, se ve la necesidad de tener uno con gran cantidad de pines análogos y digitales y que a su vez, proporcione una alta velocidad de procesamiento de datos, por lo cual se opta por hacer uso del modelo Mega de esta misma plataforma.

Considerando que Arduino es una plataforma que no permite la creación de interfaces gráficas, fue necesario hacer uso de un nuevo controlador que cumpla el papel de Maestro, mientras que Arduino cumple el papel de Esclavo.

Siendo así, existe la plataforma Raspberry, que a diferencia de Arduino, tiene un mayor procesamiento de datos, permite crear interfaces gráficas a partir de su sistema operativo y así mismo cuenta con puertos HDMI que permiten visualizar la imagen como si fuera un computador normal, pero con la desventaja de que consta de pines de entrada y salida únicamente digitales. Este dispositivo también cuenta con diferentes versiones, considerando la velocidad de procesamiento mejora cada vez más en sus nuevas versiones, por lo cual se seleccionó la Raspberry pi4.

La selección de estos dos dispositivos, también se hizo efectiva, ya que cada una de estas plataformas cuenta con librerías aptas para las tareas que se requerían en el sistema de automatización y gracias a ello, era posible adaptarlas para trabajar como Maestro-Esclavo.

#### **6.2.2. Sensores:**

La implementación de los sensores en la industria moderna ha causado un enorme impacto, hay variedad de sensores en el mercado que están disponibles para uso inalámbrico de medición o sensado. Para la ejecución del proyecto se implementaron dos tipos de sensores, uno de temperatura y humedad relativa y dos de humedad del suelo.

A continuación, se explicarán detalladamente cada uno de los sensores que se utilizaron para el control y monitoreo del proyecto. Uno de los sensores empleados es el DHT22, es un dispositivo ya calibrado, que capta variables de temperatura y humedad relativa; es uno de los sensores usados en la implementación, ya que el monitoreo de estas variables son primordiales para el desarrollo de un cultivo debido a que el agricultor puede conocer el

momento indicado para abrir o cerrar cortinas, optimizando la conservación de la temperatura dentro del invernadero. El sensor DHT22 se conecta con la plataforma Raspberry ingresando señales digitales por los pines de la placa.

El monitorear el contenido de agua en el suelo es de gran ayuda a los agricultores para mejorar la producción tanto en cantidad como en calidad de sus cultivos, conservar agua, reducir los impactos ambientales y ahorrar dinero. El monitorear la humedad también permite al agricultor hacer cambios en la programación del riego, tales como el determinar la cantidad de agua a aplicar y cuando aplicarla.

Por otro lado, para el control de la humedad del suelo en el invernadero se utilizó el sensor FC-28 por su fácil acceso y costo bajo, a comparación de los sensores capacitivos, el sensor de humedad del suelo es el encargado de tomar medidas en diferentes puntos estratégicos del invernadero, enviando señales análogas al micro controlador (Arduino Mega), permitiendo el accionamiento de las electroválvulas y la electrobomba para el sistema de riego por aspersión.

El FC-28 es un dispositivo que capta la humedad del suelo por la variación de su conductividad. El sensor no tiene la precisión suficiente para realizar una medición absoluta de la humedad del suelo, por lo que el valor exacto depende del tipo de suelo y de la presencia de elementos químicos como los fertilizantes u otros suministros que se proporcionen al suelo. Cabe resaltar, que para el control del sistema de riego no es necesario obtener un valor fijo, pero si cercano a la realidad.

### **6.2.3. Actuadores:**

Para controlar la humedad del suelo teniendo en cuenta los datos obtenidos por los sensores, el sistema dispone de una herramienta básica para mantener esta variable en rangos deseados, este sistema posee componentes como lo son: dos electroválvulas y una electrobomba.

La automatización del control del sistema de riego por aspersión está diseñada mediante relés de estado sólido, electroválvulas y una electrobomba. Las señales de control del sistema son

enviadas desde el micro controlador Arduino hacia los relés, al momento en el que el suelo posea una determinada humedad que este por debajo del umbral deseado, se enviaran pulsos en alto (Señal de 5V) a los relés correspondientes a la electrobomba y electroválvulas permitiendo la activación de estas.

El relé de estado sólido el cual puede ser observado en la figura.8, al ser un dispositivo interruptor electrónico capaz de controlar voltajes como la red pública a partir de tensiones pequeñas aplicadas a su bobina. Básicamente la bobina que se encuentra en su interior genera un campo magnético que acciona el interruptor mecánico el cual permite el paso de los voltajes altos (red pública) y además de esto, se crea un circuito electrónico interno que permite aislar la sección de potencia de la de control.



Figura 7 Relé de estado sólido (Autores).

Las electroválvulas instaladas en el proyecto son cepex S390t 24vac (ON/OFF), los cuales son dispositivos electromecánicos, diseñados para controlar el paso de fluidos por un conducto o tubería, en este caso para el sistema de riego. La válvula, se acciona mediante la bobina solenoide y por lo general, posee solo dos posiciones (abierto/cerrado). Es un dispositivo que también puede ser utilizado de forma manual; este dispositivo se muestra en la figura.8.



Figura 8 Electroválvula 24vac (Autores).

El dispositivo de bombeo empleado en el proyecto fue una electrobomba sumergible TRUPER BOS-1SP es empleada en trabajos donde la sustancia es contaminada y poco filtrada, la electrobomba es alimentada por la red eléctrica (110 Vac); la activación de esta, se hace mediante un pulso enviado del Arduino a uno de los relés de activación, el cual permitirá el paso de la alimentación al equipo.

Se seleccionó esta electrobomba debido a sus ventajas para trabajos donde las condiciones de agua no son las mejores, como lo es el reservorio de la institución educativa. Es una bomba usualmente empleada en trabajos con agua sucia, sistemas de desagües domésticos, fuentes, aguas negras, aguas freáticas y líquidos que lleven sólidos de hasta 34mm. Unas de las características principales del motor es su potencia de 1HP, su salida de 1" (se adapta al sistema de riego), su flujo máximo es de 13.000L/h y posee un sistema de flotador automático, el cual funciona de la siguiente manera:

Al momento de bajar el nivel del agua a rangos menores a los de la altura de la bomba, esta no se encenderá o en caso de estar encendida, se apagará de inmediato. En la siguiente figura se observa el equipo anteriormente mencionado.



Figura 9 Electrobomba de 1HP (Autores).

A continuación, en la siguiente subsección (6.3), corresponde al desarrollo de la fase cuatro y cinco, en las cuales se realiza la programación de los controladores ya analizados en las anteriores subsecciones, y así mismo se realiza la programación y el diseño de la interfaz gráfica del sistema.

### **6.3. REALIZACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN PARA LOS CONTROLADORES SELECCIONADOS.**

Inicialmente, para la adaptación de los controladores como Maestro y Esclavo, como se mencionó en la sección 6.2.1 (Controladores), se investigó acerca de librerías que pudieran hacer más sencilla la conexión entre estos dos dispositivos. En Raspberry Pi, la librería base que se requirió para la adaptación del sistema, la cual recibe el nombre de “serial”, debía ser llamada en el código a partir de la función “import serial”, para que esta permitiera el envío y recibimiento de datos de un dispositivo a otro.

Luego de contar con la librería, se indagó sobre la forma de conexión entre los dos dispositivos, donde se observó que la conexión se realizaba de una manera muy sencilla mediante el puerto USB de la Raspberry Pi y del Arduino, como se evidencia en la figura.10.

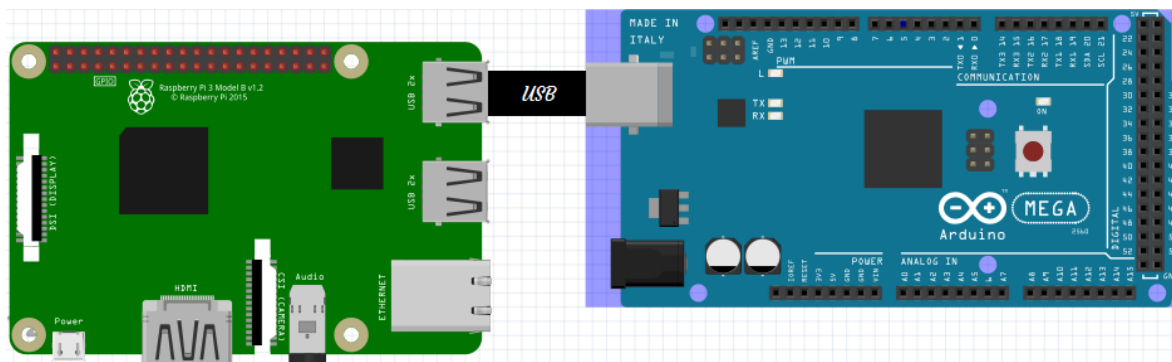


Figura 10 Conexión entre los dos micro controladores para la comunicación serial (Autores).

Después de conocer la forma de conexión entre las dos plataformas, se definió en qué controladores se realizaría la programación de los sensores que se buscaban implementar (Dos sensores de humedad y uno de temperatura y humedad relativa).

Continuando con la programación de cada controlador y los sensores, e iniciando con Arduino, debía tenerse en cuenta que los sensores de humedad FC-28 tienen salidas análogas, por lo cual, era necesario realizar la programación en esta plataforma. Para la programación de este sensor, primero que todo se definieron los pines de entrada de las señales pertenecientes a cada sensor de humedad (sensor de la sección 1 y sensor de la sección 2 del cultivo); Luego de recibir los datos, al obtener valores de 555 a 1023 por parte de estos sensores, se realizó una regla de tres para poder entregar los datos en porcentaje, donde el 0% se definió como el mínimo valor de humedad y el 100% como el máximo valor de humedad que puede captar el sensor.

Luego de ello, se realizó el envío de la trama de datos por medio del puerto serial de Arduino, con ayuda de la función “Serial.println (Trama de datos)”, con la intención de poder mostrar dichos datos en la interfaz que se planteó en los objetivos del proyecto. Al mismo tiempo, en esta plataforma se realizó la programación para la activación de las dos electroválvulas

pertenecientes a cada una de las secciones del invernadero y para la electrobomba que se encargaría de activar el flujo de agua.

De igual manera, se usaron los pines de entrada digitales para recibir datos de parte de la Raspberry (Lo cual se explicará más adelante, dentro de esta misma sección), para dar la posibilidad a los usuarios de escoger entre tres tipos diferentes de cultivos (Estos tres tipos de cultivos fueron seleccionados por la misma Institución Educativa), donde la humedad que debe controlarse, se encuentra en diferentes porcentajes. Siendo así, las electroválvulas de cada sección y la electrobomba, se activarán siempre y cuando las lecturas que realicen los sensores se encuentren por debajo de la humedad que debería tener dicho cultivo.

Por otra parte, continuando con la programación de la plataforma Raspberry, el sensor DHT22 (sensor de temperatura y humedad relativa) es un sensor de entrada digital que puede programarse a través de Python (Lenguaje de programación que se encuentra explicado en el marco teórico del presente documento) con ayuda de librerías que reducen el costo computacional al momento de procesar información. Es importante recalcar que el sensor tiene una precisión de  $\pm 5$  °C que pueden variar dependiendo del tipo de alimentación que esté recibiendo este sensor, ya sea 3.3v o 5v.

Considerando todo lo mencionado en el párrafo anterior, se hizo uso de la librería “Adafruit\_DHT”. Esta librería, también debió ser llamada en el código realizado en Python mediante la función “import Adafruit\_DHT”, la cual puede ser usada para la captura de los datos de sensores como el DHT11 y sensores DHT22. De la misma manera, se importó la librería “simplejson” para poder separar la trama de datos que llegaba de parte de Arduino por medio del puerto serial. También se agregó, la librería “Tkinter”, la cual permite el diseño de interfaces gráficas dentro del entorno de programación Python.

Luego de importar las librerías necesarias para la adquisición de datos y la creación de la interfaz gráfica, se continuó con el diseño de la ventana base, donde se realizaría el muestreo de los datos. Para ello, se hizo uso de una imagen con formato GIF, la cual fue llamada en el código realizado, a partir de la función “PhotoImage(File=\_)”. Así mismo se agregaron algunos textos sobre la imagen ya cargada, como lo son: El nombre del proyecto, el nombre de las lecturas que se están realizando y las opciones que se dan para la selección de cada

cultivo, haciendo uso de la función “Label” (esta función, da la opción de asignar un fondo de un color sólido para el texto y también permite asignar el color, el tamaño y el tipo de letra que se desee). Así mismo se debe seleccionar la posición en que se situarán cada uno de los textos que quieren ser visualizados, considerando que las posiciones de estas, son datos dados en pixeles, que también deben asignarse a partir de la resolución de la pantalla conectada a la plataforma Raspberry.

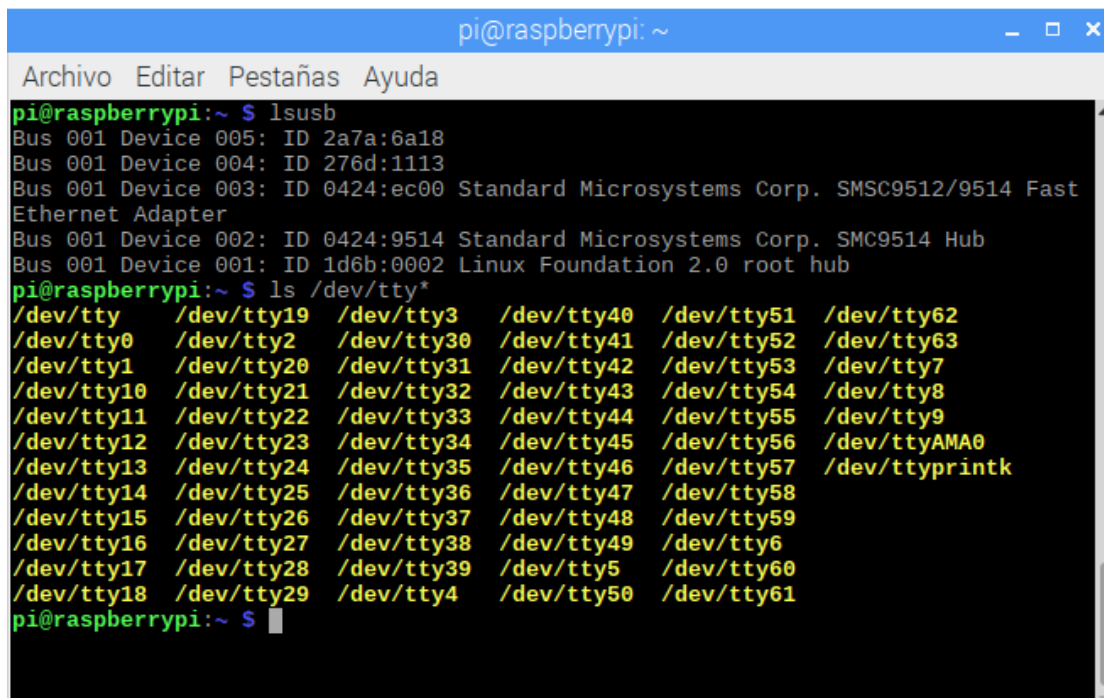


Figura 11 Creación y ubicación de los label en la interfaz (Autores).

Teniendo seleccionados los espacios donde se mostrarán los Label como se evidencia en la figura.11, se continúa con la obtención de los datos por el puerto serial, creando una función llamada “Sensor”, donde con ayuda de la librería “Adafruit\_dht”, la cual tiene una función definida como “dht.read\_retry(dht\_DHT22, Entrada Digital)” que permite la adquisición de las variables de temperatura y humedad relativa, las cuales deben almacenarse en variables, en este caso en variables de tipo Sting para luego poder ser visualizadas en la interfaz gráfica.

Al mismo tiempo, dentro de la función “Sensor” se realiza la adquisición de los datos del puerto serial, asignando una variable, la cual es igualada a la función “ser. Serial”, donde se le asigna el puerto detectado por parte de la Raspberry, el cual puede encontrarse con los

comandos que se visualizan en la figura.12. También se usa otra función, la cual se debe almacenar en una nueva variable, de la siguiente manera “NuevaVariable= variable.read ()”, siendo esta nueva variable la que almacena la trama de datos enviada desde Arduino y esta misma debe ser separada con la función “simplejson.loads (NuevaVariable)”, identificando y almacenando en diferentes variables cada valor de los sensores a partir de los espacios que lleva la trama de datos enviada desde Arduino.



```

pi@raspberrypi: ~
Archivo Editar Pestañas Ayuda
pi@raspberrypi:~ $ lsusb
Bus 001 Device 005: ID 2a7a:6a18
Bus 001 Device 004: ID 276d:1113
Bus 001 Device 003: ID 0424:ec00 Standard Microsystems Corp. SMSC9512/9514 Fast Ethernet Adapter
Bus 001 Device 002: ID 0424:9514 Standard Microsystems Corp. SMC9514 Hub
Bus 001 Device 001: ID 1d6b:0002 Linux Foundation 2.0 root hub
pi@raspberrypi:~ $ ls /dev/tty*
/dev/tty      /dev/tty19  /dev/tty3   /dev/tty40  /dev/tty51  /dev/tty62
/dev/tty0     /dev/tty2   /dev/tty30  /dev/tty41  /dev/tty52  /dev/tty63
/dev/tty1     /dev/tty20  /dev/tty31  /dev/tty42  /dev/tty53  /dev/tty7
/dev/tty10    /dev/tty21  /dev/tty32  /dev/tty43  /dev/tty54  /dev/tty8
/dev/tty11    /dev/tty22  /dev/tty33  /dev/tty44  /dev/tty55  /dev/tty9
/dev/tty12    /dev/tty23  /dev/tty34  /dev/tty45  /dev/tty56  /dev/ttyAMA0
/dev/tty13    /dev/tty24  /dev/tty35  /dev/tty46  /dev/tty57  /dev/ttyprintk
/dev/tty14    /dev/tty25  /dev/tty36  /dev/tty47  /dev/tty58
/dev/tty15    /dev/tty26  /dev/tty37  /dev/tty48  /dev/tty59
/dev/tty16    /dev/tty27  /dev/tty38  /dev/tty49  /dev/tty60
/dev/tty17    /dev/tty28  /dev/tty39  /dev/tty5   /dev/tty60
/dev/tty18    /dev/tty29  /dev/tty4   /dev/tty50  /dev/tty61
pi@raspberrypi:~ $

```

Figura 12 Comandos para consultar el puerto detectado en la ventana de comandos de Raspbian (Autores).

También se realiza el envío de pulsos hacia Arduino, por medio de los pines digitales de Raspberry definidos como salidas para asignar el tipo de cultivo al que se le quiere controlar su humedad; para el envío de estos datos, también fue necesario crear una nueva función llamada “imprimir()”, donde se crearon tres botones por medio de la función “Radiobutton”, la cual tiene la opción de asignar un valor fijo y relacionarla con alguna función creada como lo es en este caso la función “imprimir()”; el valor fijo se asigna para crear casos dentro de la misma función, dejando en HIGH (alto o generando una señal de 3.3v en este pin) el pin que pertenezca al cultivo seleccionado.

Estos botones también deben posicionarse dentro de la interfaz bajo los mismos parámetros que los label, considerando que al seleccionar algún cultivo aparecerá un texto en la interfaz, indicando cual cultivo fue seleccionado para su control.

La interfaz final, puede observarse en la figura.13, donde se encuentran los botones que pueden ser seleccionados para definir el tipo de cultivo y a su vez, se encuentran los label que muestran en qué parte de la interfaz, podrán observarse los datos recibidos por parte de los sensores.

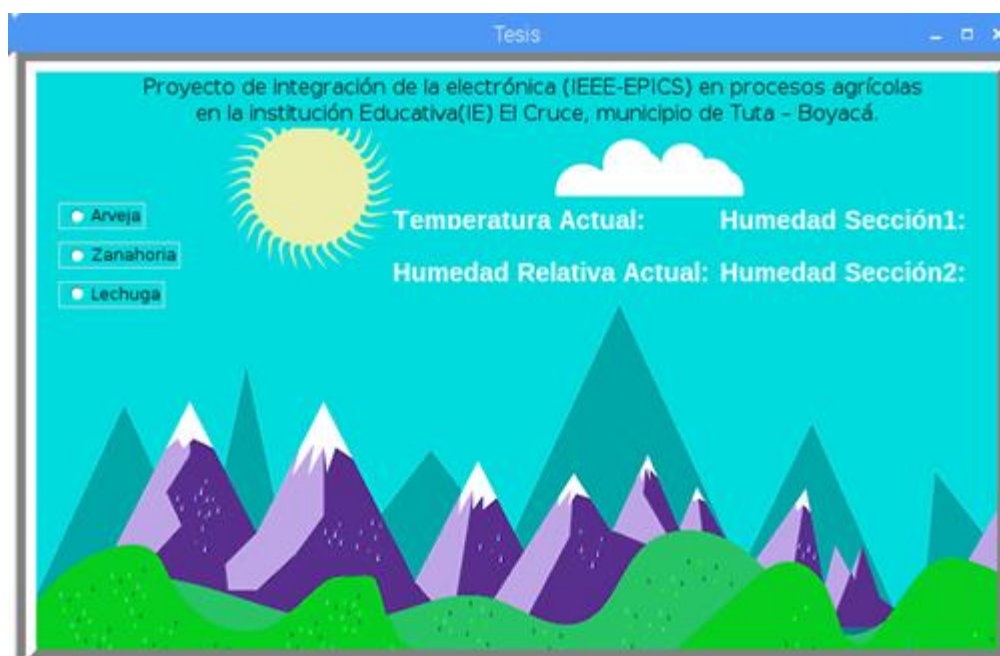


Figura 13 Interfaz gráfica final (Autores).

La sección 6.4 hace parte de la ejecución de la fase 6, 7 y 8 pertenecientes a la metodología, ya que luego de tener la programación necesaria para el correcto funcionamiento del sistema, es necesario realizar el diseño de la PCB para así poder unir cada parte perteneciente al prototipo para la realización de las pruebas de su funcionamiento como producto terminado.

#### 6.4. DISEÑO E INSTALACIÓN DEL PROTOTIPO

Inicialmente se debía considerar que el prototipo final debía ser un producto terminado, por lo cual se vio la necesidad de diseñar una Printed Circuit Board (PCB) para la adaptación de las señales recibidas por los sensores, así como también las señales de salida por parte del micro controlador. La placa cuenta con dos conexiones para sensores de humedad de suelo (FC-28) y dos conexiones para sensores de temperatura y humedad relativa (DHT22), dando la posibilidad de agrandar el sistema para cultivos con mayor área de trabajo. En las siguientes figuras se puede observar el diseño de la PCB y la distribución de sus componentes.

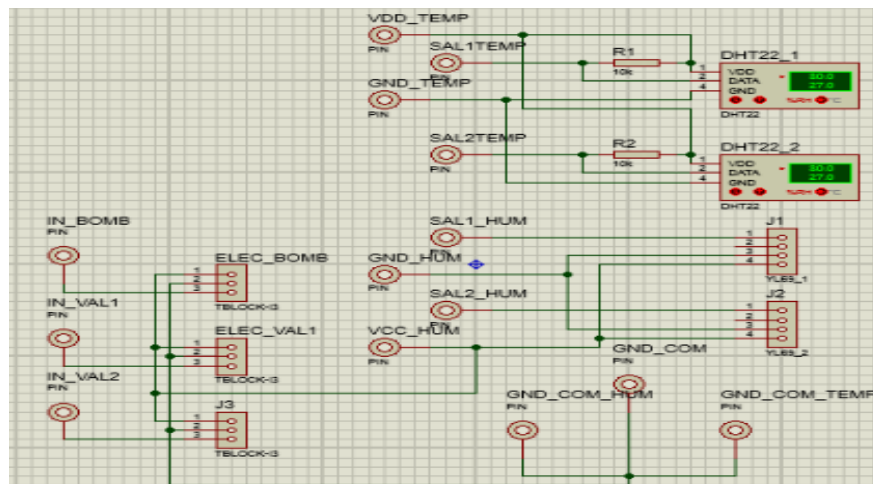


Figura 14 Diseño de circuito en proteus

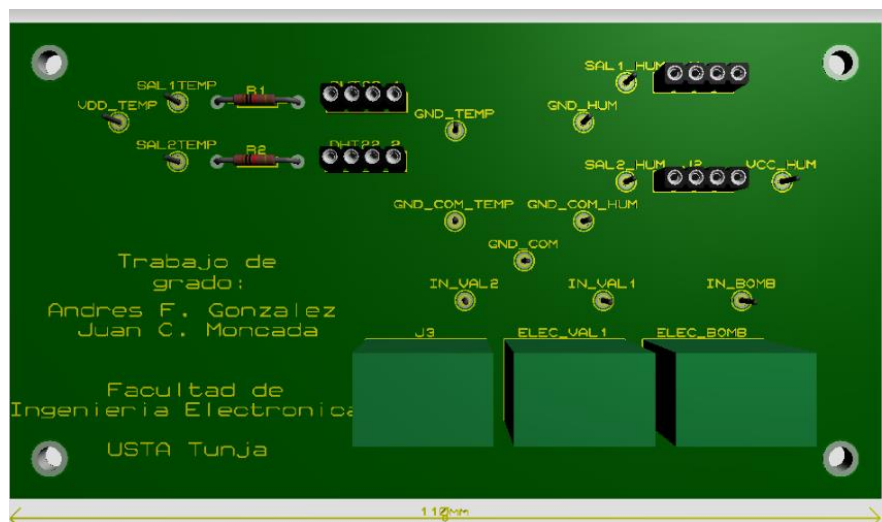


Figura 15 Vista 3D de la baquela final en proteus

Se realizó un prototipo de dimensiones de 50cm de largo por 30cm de ancho y con una altura 20cm, en él se encuentran: los dispositivos de control, la placa de conexión de sensores (PCB), circuito de activación de actuadores, sistema de visualización y la distribución de la red eléctrica para alimentación de los diferentes componentes.

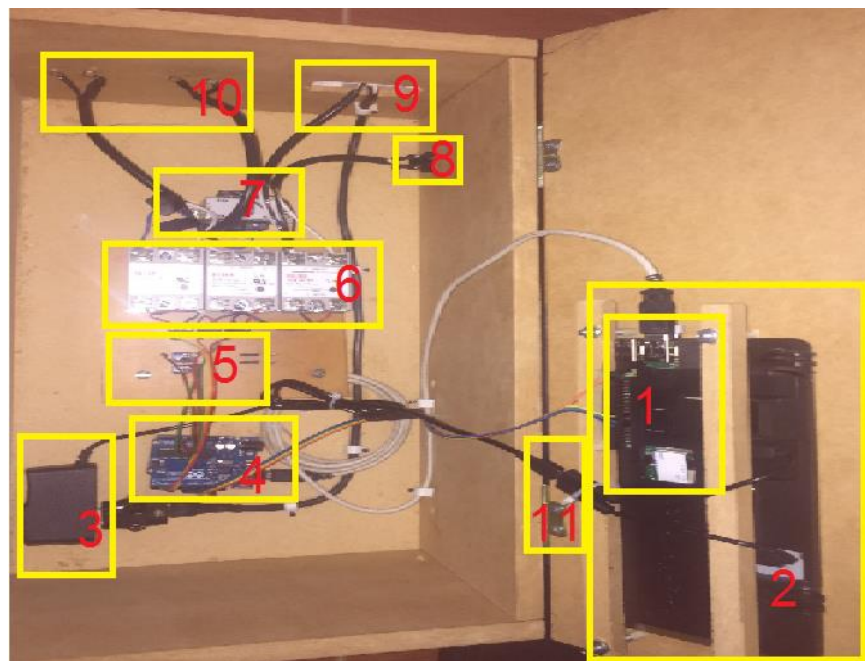


Figura 16 Dispositivo de control

En la figura.16, es posible observar la distribución de cada uno de los componentes; esta distribución se realizó con el fin de buscar comodidad para el uso y manejo de cada uno de los dispositivos que se nombran a continuación.

1. Raspberry
2. Pantalla Touch
3. Cargador para Raspberry y Touch
4. Placa Arduino
5. Módulos sensores de humedad
6. Relés de estado solido
7. Transformador 110 Vac a 24 Vac
8. Salida a electroválvula

9. Entrada RED publica
10. Salida electroválvulas
11. Adaptador de doble salida.

Para la instalación del prototipo en el invernadero, se buscó un sector donde la probabilidad de humedad fuera menor para la conservación y buen funcionamiento de los componentes electrónicos, el cual se encuentra a un costado de la puerta de ingreso. Se buscó esta ubicación con el fin de organizar la distribución de los componentes que van conectados al dispositivo, para evitar interrupciones y molestias al operario. En la siguiente figura, se puede observar la ubicación del dispositivo.



Figura 17 Ubicación del dispositivo de control (Autores).

Principalmente por parte de los directivos de la institución Educativa El Cruce se llegó a la conclusión de distribuir el invernadero en dos secciones, las cuales constan cada una de un sistema de riego independiente, así como también de un sensor de humedad de suelo para la

respectiva toma de datos. Todo esto con el fin de realizar una buena labor en el control del sistema de riego en toda el área a trabajar.

La distribución de los sensores fue de manera estratégica, buscando abarcar diferentes sectores del invernadero para poder notar los diferentes porcentajes de variación en la humedad, dando la oportunidad al operario de disponer de cada uno de estas dos secciones para cultivos diferentes. Esta distribución se puede observar en la siguiente figura.



Figura 18 Ubicación de los sensores de humedad

## 7. RESULTADOS

Luego de tener listo el prototipo final, se realizaron pruebas comparativas, en este caso para los datos obtenidos a partir del sensor DHT22. Se optó por ejecutar únicamente la parte perteneciente a la lectura y muestreo de los datos de este sensor en la interfaz, para hacer que las pruebas fueran mucho más eficientes al no tener un costo computacional tan alto. Luego de ello, inicialmente se hicieron pruebas en el municipio de Saboyá-Boyacá (Lugar de procedencia de uno de los autores del presente documento), haciendo uso de la aplicación del clima perteneciente a un dispositivo Apple, la cual trabaja con ayuda de una cadena televisiva estadounidense de pronóstico del tiempo, llamada “The Weather Channel”.

Luego de tener funcionando el sensor junto con la interfaz y a su vez, la aplicación del clima en el Smartphone, se consultó la temperatura y la humedad del ambiente actual en este municipio y así se realizó la comparación, como es evidente en la figura.19.

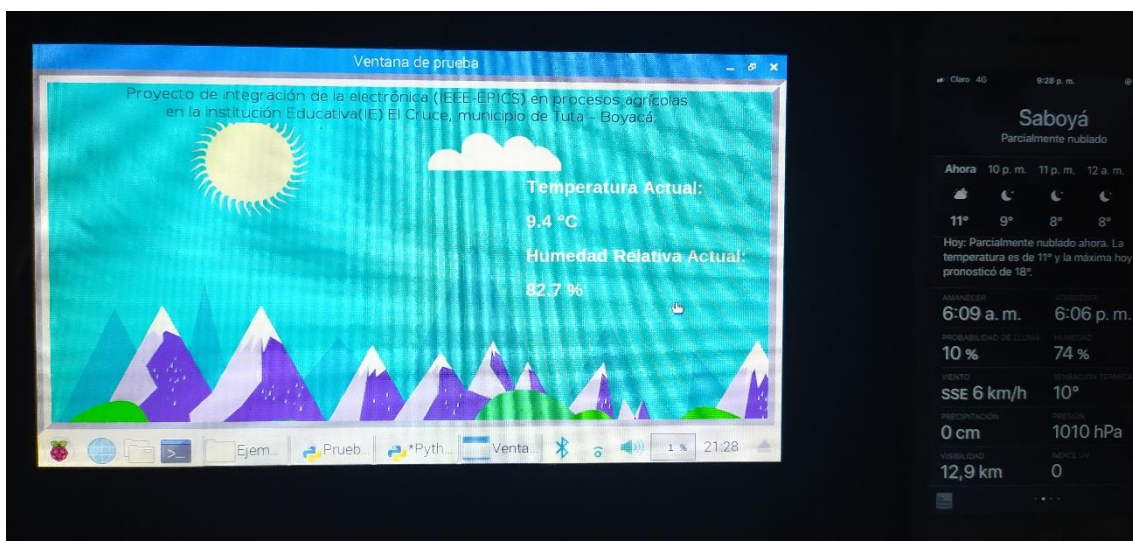


Figura 19 Comparación de datos de temperatura y humedad relativa.

Es posible observar, que por parte del DHT22 los datos obtenidos fueron de 9.4 °C y de 82.7% de humedad y por parte de la aplicación del clima, los datos obtenidos fueron de 10°C y de 74%, donde es evidente que la variación de temperatura es leve respecto al sistema avanzado que debe manejar The Weather Channel; Por parte de la humedad, es importante

resaltar que las mediciones no se realizaron en el mismo lugar; La medición del sistema realizado en el proyecto, fue realizado en la parte central del municipio (Zona urbana), mientras que el punto de medición por parte de The Weather Channel, se realiza a las afueras de la zona urbana del municipio de Saboyá como se evidencia en la figura.20.



Figura 20 Ubicaciones donde fueron tomados los datos por parte de la aplicación del clima y el sensor DHT22  
(The Weather Station, s.f.)

Luego de ello, se realizaron las pruebas de campo donde se verificaba que los actuadores realizaran las tareas asignadas correctamente a partir de los datos que estaban captando los sensores en esos momentos, así mismo, se verificaba que la interfaz estuviera mostrando y actualizando constantemente valores coherentes respecto a los datos captados, ya que al tener conectada la Touch y la Raspberry con un adaptador a un único cargador, la Raspberry logra calentarse un poco si tiene muchas aplicaciones ejecutándose al tiempo o si el bluetooth o el

wifi del dispositivo se encuentren encendidos sin ninguna necesidad, haciendo que la Raspberry se sature un poco y los datos se actualicen de forma más lenta.

Igualmente, se verificó que los botones que hacen parte de la interfaz, estén enviando los pulsos necesarios para mantener el control de la humedad dependiendo del tipo de cultivo seleccionado.

Todo lo mencionado en los dos párrafos anteriores, se resume en la figura.21, en la cual se ve la interfaz que observarán los usuarios, mientras el funcionamiento de todo el sistema se encuentre activo.

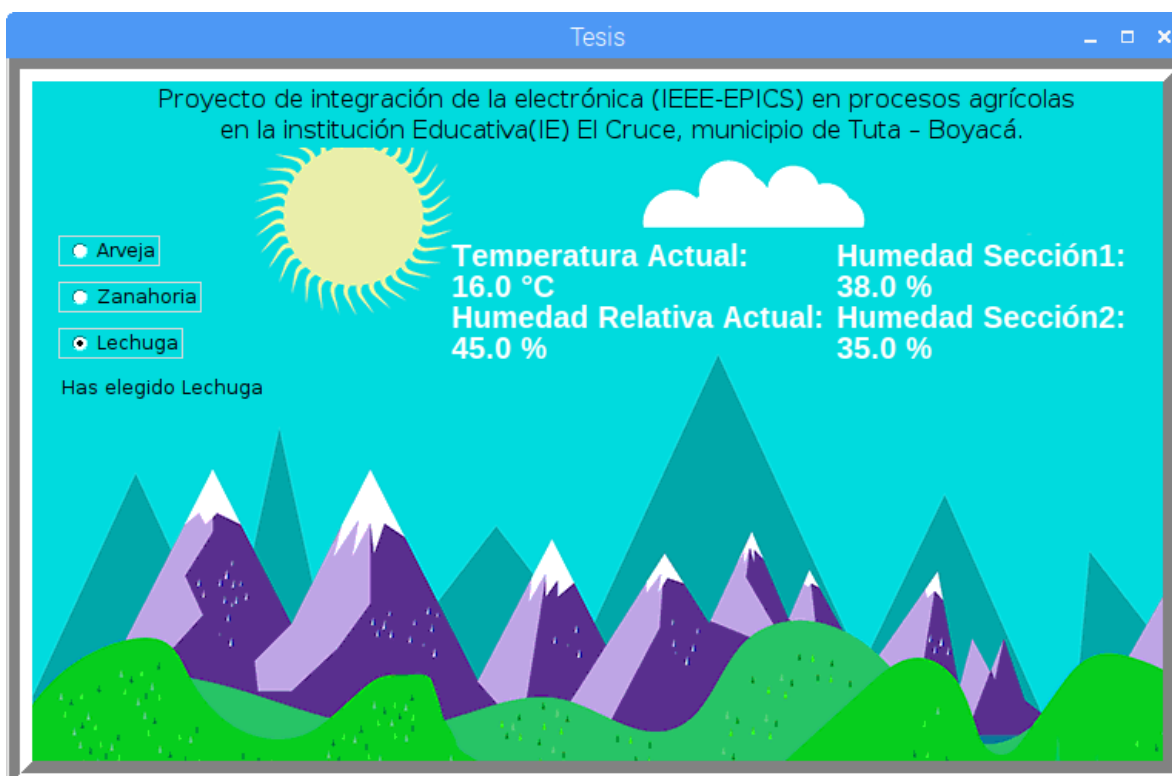


Figura 21 Interfaz gráfica final, activa.

Es importante resaltar que, si bien no fue posible realizar la toma de datos a un cultivo presente en el invernadero para comprobar los beneficios del sistema automatizado debido a que la institución educativa no contaba con el tiempo, ni los recursos necesarios para realizar la siembra de algún cultivo, fue posible respaldar y demostrar que el uso de la tecnología

genera grandes beneficios en el sector agrícola a partir de artículos que hablan de este tema en particular.

Javier San Martin, profesor de la EAE Business School, afirma que “Estas tecnologías permiten usar menos agua, herbicidas y fertilizantes, por lo tanto, hay un beneficio en términos de ahorro. Al mismo tiempo, proporcionan información más precisa y objetiva con datos sobre el momento de la recogida, de manera que la producción aumenta”. (SANDRI, 2019)

## **8. APORTES DERIVADOS DEL TRABAJO**

La implementación del proyecto en la institución educativa trae importantes aportes al sistema educativo institucional, gracias a los nuevos métodos implementados (Automatización) en el espacio agrícola de la misma. Uno de estos aportes, es que los docentes pueden dar un enfoque distinto a sus clases, un enfoque agrícola más innovador, considerando los avances tecnológicos que se están presentando en este sector y así mismo dar la posibilidad a sus estudiantes de realizar proyectos de investigación que traigan consigo, resultados más precisos.

También es un aporte de ideas para gran parte de la comunidad del municipio, ya que funciona como evidencia que, al hacer uso de sistemas automatizados, es posible generar productos de la misma o mayor calidad, pero con un mayor control sobre estos, evitando altos niveles de pérdidas y gran cantidad de tiempo que probablemente los productores podrían invertir en otras tareas para sus propios beneficios.

Por otra parte, los estudiantes de la USTA tendrán la opción de utilizar este invernadero para prácticas en los módulos que conllevan control de procesos industriales y/o agrícolas.

## 9. CONCLUSIONES

- Se diseñó un sistema que puede controlar los mecanismos del sistema de riego de un invernadero de manera automática. Dentro del proceso de investigación se pudo confirmar que la automatización de los invernaderos ayuda a agilizar los procesos agrícolas al tiempo que optimiza y controla factores climáticos que pueden ser considerados como posibles amenazas en el proceso de desarrollo del cultivo.
- Se puede concluir que al implementar el invernadero tipo capilla se logró obtener un resultado satisfactorio para el control de factores climáticos como lo son la temperatura, las lluvias y las corrientes de viento. A su vez se consideraron los cultivos que se acostumbran a ser trabajados en esta zona del municipio y se evidencio que este invernadero es el más apto para los cultivos de hortalizas.
- Fue posible realizar un sistema de monitorización efectivo para el invernadero a partir de la unión de controladores multiplataforma, considerando que los datos de temperatura, humedad del suelo y humedad relativa fueron coherentes al realizar comparaciones de datos con otros sistemas de monitoreo, como por ejemplo “The Weather Channel”, lo cual demuestra que es un sistema confiable para su implementación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Barroso García, A. (Junio de 2015). *AUTOMATIZACIÓN DE INVERNADERO EN CLIMA TEMPLADO*. MADRID. Recuperado el Octubre de 2019, de [http://oa.upm.es/36945/1/TESIS\\_MASTER\\_ANDRES\\_BARROSO\\_GARCIA.pdf](http://oa.upm.es/36945/1/TESIS_MASTER_ANDRES_BARROSO_GARCIA.pdf)
- Basoglu, M. E. (2012). *Design principles of and modelling self-sufficient green houses*. Nagasaki.
- Borrero, M. Á. (15 de Julio de 2019). Desaparición de cultivos, una alerta en el campo de Colombia. *EL TIEMPO*.
- CRECE-FEDERACIÓN, U. T. (Noviembre de 2013). *MADR Ministerio de Agricultura y desarrollo Rural*. (UNIÓN TEMPORAL CRECE-FEDERACIÓN) Recuperado el Septiembre de 2019, de [http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11438/7547/1/SIG-MUNICIPALES%20TUTA\\_BOYAC%C3%81.pdf](http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11438/7547/1/SIG-MUNICIPALES%20TUTA_BOYAC%C3%81.pdf)
- El Ministro de la Agricultura, A. I. (11 de Agosto de 2016). Los problemas del campo colombiano. *LA NACIÓN*.
- García, A. (23 de Enero de 2013). *PANAMAHITEK*. Recuperado el Octubre de 2019, de <http://panamahitek.com/arduino-mega-caracteristicas-capacidades-y-donde-conseguirlo-en-panama/>
- Gutiérrez, N. C. (21 de Agosto de 2011). *Punto Flotante S.A.* Recuperado el Octubre de 2019, de <http://www.puntoflotante.net/CONTROLONOFF.htm>
- Hanggoro, A. (2013). *Green house monitoring and controlling using Android mobile application*. Yogyakarta.
- Hemraj. (2014). *Power estimation and automation of green house using wireless sensor network*. Noida.
- Herrera, H. O. (10 de Junio de 2011). *Sistemas y Calidad Total*. Recuperado el Octubre de 2019, de <http://www.sistemasycalidadtotal.com/calidad-total/15-etapas-implementacion-sistema-gestion-de-calidad-iso-9001/>
- IDEAM. (2014). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. Recuperado el Octubre de 2019, de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/escenarios-cambio-climatico>
- Instruments, N. (11 de Junio de 2008). *openstax*. Recuperado el Octubre de 2019, de <https://cnx.org/contents/ul3tl2dl@1/Serial-Port-Communication>
- Jaime Andrés Muñoz Solarte, D. A. (2012). *Automarización de invernadero en clima templado*. Cali.

- Lopez, J. (05 de Noviembre de 2016). *Cajamar*. Recuperado el Octubre de 2019, de <http://www.publicacionescajamar.es/pdf/series-tematicas/centros-experimentales-las-palmerillas/evolucion-de-las-estructuras.pdf>
- Marin, J. (20 de Abril de 2012). *MundoJardinería*. Recuperado el Octubre de 2019, de <https://www.mundojardineria.com/preguntas/es-mejor-el-riego-con-manguera-o-el-riego-automatico>
- Minambiente. (23 de Febrero de 2020). *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible* . Recuperado el Febrero de 2020, de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/cambio-climatico>
- N/A. (Diciembre de 2001). *Autómatas Programables*. <http://www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/automatica/WebCQMH1/PAGINA%20PNCIPAL/Automatizacion/Automatizacion.htm>. Recuperado el Octubre de 2019, de <http://www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/automatica/WebCQMH1/PAGINA%20PNCIPAL/Automatizacion/Automatizacion.htm>
- N/A. (19 de Noviembre de 2003). *Desarrolloweb*. Recuperado el Octubre de 2019, de [desarrolloweb.com/articulos/1325.php](http://desarrolloweb.com/articulos/1325.php)
- N/A. (1 de Junio de 2003). *Teorema Ambiental*. Recuperado el Octubre de 2019, de <http://www.teorema.com.mx/legislacionambiental/la-importancia-de-la-tecnologia-en-los-agronegocios/>
- N/A. (23 de Septiembre de 2013). *DISTRITEC*. Recuperado el Octubre de 2019, de <http://www.distritec.com.ar/que-es-una-electrovalvula-y-para-que-sirve/>
- N/A. (07 de Mayo de 2014). El "top" 10 de los líos del campo. *Semana*.
- N/A. (9 de Abril de 2014). *Hortoinfo*. Recuperado el Octubre de 2019, de <http://hortoinfo.es/index.php/noticia/4433-app-invernadero-171214>
- N/A. (20 de Julio de 2015). *Seipasa*. Recuperado el Octubre de 2019, de <https://www.seipasa.com/es/blog/proteger-cultivo-calor-golpe-estres-hidrico-termico/>
- N/A. (29 de Noviembre de 2016). *EL UNIVERSO*. Recuperado el Octubre de 2019, de <https://www.eluniverso.com/tendencias/2016/11/29/nota/5928832/sistemas-riego-complementan-actividad-agricola>
- N/A. (19 de Enero de 2016). *Luis Llamas*. Recuperado el Octubre de 2019, de <http://www.luisllamas.es/arduino-humedad-suelo-fc-28/>
- N/A. (5 de Febrero de 2017). *Agropinos*. Recuperado el Octubre de 2019, de <http://www.agropinos.com/invernaderos-hidroponicos>

- N/A. (20 de Marzo de 2017). *Intelligence To Business*. Recuperado el Octubre de 2019, de <http://www.i2btech.com/blog-i2b/tech-deployment/para-que-sirve-el-scrum-en-la-metogologia-agil/>
- N/A. (25 de Marzo de 2017). *RaspberryPi*. Recuperado el Octubre de 2019, de <https://www.raspberrypi.org/>
- N/A. (02 de Noviembre de 2018). *ECOLOGIA HOY*. Recuperado el 2019 de Octubre, de <https://www.ecologiahoy.com/agricultura>
- NOVAGRIC. (5 de Diciembre de 2016). *NOVAGRIC*. (© 2016 Novedades Agrícolas S.A) Recuperado el Octubre de 2019, de <https://www.novagric.com/es/venta-invernaderos-novedades/tipos-de-invernaderos>
- NOVAGRIC. (5 de Diciembre de 2016). *NOVAGRIC*. (© 2016 Novedades Agrícolas S.A) Recuperado el Octubre de 2019, de <https://www.novagric.com/es/venta-invernaderos-novedades/materiales-y-estructuras/estructuras-invernaderos>
- NOVAGRIC. (5 de Diciembre de 2016). *NOVAGRIC*. (© 2016 Novedades Agrícolas S.A.) Recuperado el Octubre de 2019, de <https://www.novagric.com/es/riego/sistemas-de-riego/riego-por-aspersion>
- NOVAGRIC. (5 de Diciembre de 2016). *NOVAGRIC*. (© 2016 Novedades Agrícolas S.A.) Recuperado el Octubre de 2019, de <https://www.novagric.com/es/riego/sistemas-de-riego/riego-automatico>
- Ogata, K. (2003). *Ingeniería de Control Moderna*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN S.A.
- Perfetti, J. J. (Abril de 2013). *Políticas para el desarrollo de la agricultura en Colombia*. Bogota D.C.: © 2013 Fedesarrollo, Sociedad de Agricultores de Colombia (SAC), Incoder, Finagro, Banco Agrario. Recuperado el Octubre de 2019
- Rangan, K. (2010). *An Embedded systems approach to monitor green house*. Chennai.
- Rus, C. (24 de Junio de 2019). *Xataka*. Recuperado el Octubre de 2019, de <https://www.xataka.com/ordenadores/raspberry-pi-4-caracteristicas-precio-ficha-tecnica#targetText=Raspberry%20Pi%204%20es%20oficial,RAM%20y%20desde%2035%20d%C3%B3lares>
- SANDRI, P. M. (23 de Marzo de 2019). Los avances tecnológicos impulsan la productividad en las explotaciones agrícolas. *La Vanguardia*.
- Segarra, D. (23 de Noviembre de 2004). Mejor prevenir que fumigar. *El País*. Recuperado el Noviembre de 2019, de [https://elpais.com/diario/2004/11/23/salud/1101164401\\_850215.html](https://elpais.com/diario/2004/11/23/salud/1101164401_850215.html)
- Selvaraj, R. S. (2010). *Magnitude of Green House Effect and the contibution of carbon di oxide*. Chennai.

*The Weather Station.* (s.f.). Recuperado el 19 de Febrero de 2020, de  
<https://weather.com/es-CO/tiempo/mapas/interactive/l/5.70,-73.77>

TIEMPO, R. E. (13 de Febrero de 2017). Relevo generacional: La clave del sector agrícola.  
*EL TIEMPO.*