

UNIVERSIDAD PANAMERICANA

Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Licenciatura en Sistemas y Tecnologías de la Información y la Comunicación



Automatización de microinvernadero para la producción de tomate riñón a través de sensores, placa reducida y monitoreo del clima

(Tesis de Licenciatura)

Michael Alexander Martín Martínez

Guatemala, noviembre de 2022

Automatización de microinvernadero para la producción de tomate riñón a través de sensores, placa reducida y monitoreo del clima
(Tesis de Licenciatura)

Michael Alexander Martín Martínez

Ing. Carmen Fabiola Morales Pérez (Asesora y Revisora)

Guatemala, noviembre de 2022

Autoridades de la Universidad Panamericana

M. Th Mynor Augusto Herrera Lemus

Rector

Dra. Hc. Alba Aracely de González

Vicerrectora Académica

M.A. César Augusto Custodio Cobar

Vicerrector Administrativo

EMBA. Adolfo Noguera Bosque

Secretario General

Autoridades de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas

M. Sc., MBA. César Augusto Cuevas Guerra

Decano

M.A. Mónica Lissette Alcázar Serralde

Coordinadora

Carta de Responsabilidad de Derechos de Autor

En la ciudad de Guatemala, en el departamento y municipio de Guatemala
a los 28 días del mes de Noviembre de 2022

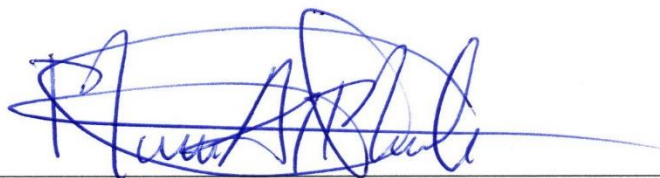
Por medio de la presente YO Michael Alexander Martín Martínez y en lo sucesivo “LA PERSONA AUTORA” hago constar que soy el único titular intelectual de la obra denominada “Automatización de microinvernadero para la producción de tomate riñón a través de sensores, placa reducida y monitoreo del clima” en lo sucesivo “LA OBRA”, en virtud de lo cual autorizo Universidad Panamericana de Guatemala, “EL ORGANISMO” para que efectúe resguardo físico y/o electrónico mediante copia digital e impresa con la finalidad de garantizar su disponibilidad, divulgación, comunicación pública, distribución, transmisión, reproducción, así como digitalización de la misma sin fines de lucro y con el objetivo de divulgarla.

“LA PERSONA AUTORA” autoriza a “EL ORGANISMO” y/o a la Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas de la mencionada casa de estudios “LA OBRA” de forma exclusiva en los términos y condiciones aquí expresados, sin que ello implique que se le concede licencia o autorización alguna o algún tipo de derecho distinto al mencionado respecto a la “propiedad intelectual” de la misma obra; incluyendo todo tipo de derechos patrimoniales sobre obras y creaciones protegidas por derechos de autor y demás formas de propiedad industrial o intelectual reconocida o que lleguen a reconocer las leyes correspondientes.

Al reutilizar, reproducir, transmitir y/o distribuir “LA OBRA” se debe reconocer y dar crédito de autoría de la obra intelectual en los términos especificados por el autor, y el no hacerlo implica el término de uso de esta licencia para los fines estipulados. Nada en esta licencia menoscaba o restringe los derechos patrimoniales y morales de “LAPERSONA AUTORA”.

De la misma manera, se hace manifiesto que el contenido artístico y/o intelectual de cualquier parte de “LA OBRA” son responsabilidad de “LA PERSONA AUTORA”, por lo que se deslinda

a “EL ORGANISMO” por cualquier violación a los derechos de autora o autor, de acuerdo con lo establecido en la Ley Guatemalteca y/o tratados internacionales, así como cualquier responsabilidad relacionada con la misma frente a terceros.

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and a long horizontal stroke extending to the right.

Michael Alexander Martín Martínez



UNIVERSIDAD
PANAMERICANA

"Sabiduría ante todo, adquiere sabiduría"

Guatemala, 06 de junio de 2024

Ref. FICA-057/2024

Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Campus Central, Guatemala

De acuerdo con el dictamen rendido por la Ingeniera Carmen Fabiola Morales Pérez, asesora de la tesis denominada **Automatización de Micro Invernadero para la Producción de Tomate Riñón a través de Sensores de Placa Reducida y Monitoreo del Clima**, presentado por el estudiante **Michael Alexander Martín Martínez** quien se identifica con ID **000041934** y, habiendo optado el alumno por la opción de egreso por maestría, en la Escuela de Alto Nivel – ENAN –; se **AUTORIZA LA IMPRESIÓN**, previo a conferirle el título de Licenciado en Ingeniería en Sistemas y Tecnologías de la Información y la Comunicación.



Ing. César Augusto Cuevas Guerra
Decano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Ingeniero César Augusto Cuevas Guerra M. Sc., MBA

Decano

Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas



Guatemala, 13 de junio de 2024

Ref. FICA-058/2024

Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas

Campus Central, Guatemala

CARTA DE ACUSE

Por este medio hago constar que previo a la otorgársele el grado académico de Licenciado en Ingeniería en Sistemas y Tecnologías de la Información y la Comunicación, el estudiante *Michael Alexander Martín Martínez* quien se identifica con ID *000041934*, ha desarrollado el Proyecto de Tesis denominado "*Automatización de Micro Invernadero para la Producción de Tomate Riñón a través de Sensores de Placa Reducida y Monitoreo del Clima*".

Aunado a ello, posterior a la lectura del informe de Licenciatura, se hace constar que el trabajo realizado por el estudiante en mención reúne las cualidades necesarias de un trabajo profesional universitario de Licenciatura.

Por tanto,

En calidad de Decano de Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas se emite **DICTAMEN FAVORABLE** para que continúe con los trámites de rigor.



Ing. César Augusto Cuevas Guerra
Decano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas



Ingeniero César Augusto Cuevas Guerra M. Sc., MBA

Decano

Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas



DICTAMEN DEL ASESOR DE TESIS

Nombre del estudiante: Michael Alexander Martín Martínez

Título de la tesis: Automatización de Micro Invernadero para la Producción de Tomate Riñón a través de Sensores de Placa Reducida y Monitoreo del Clima

Asesora de la tesis: Inga. Carmen Fabiola Morales Pérez

Considerando,

Primero: Que previo a la otorgársele el grado académico de Licenciado en Ingeniería en Sistemas y Tecnologías de la Información y la Comunicación el estudiante **Michael Alexander Martín Martínez** quien se identifica con ID **000041934**, ha desarrollado el trabajo de Tesis denominado "**Automatización de Micro Invernadero para la Producción de Tomate Riñón a través de Sensores de Placa Reducida y Monitoreo del Clima**".

Segundo: Que la profesional Ingeniera Carmen Fabiola Morales Pérez, ha leído el informe de tesis donde consta que el trabajo de investigación realizado por el estudiante en mención reúne las cualidades necesarias de un trabajo profesional universitario de Licenciatura.

Por tanto,

En su calidad de asesor del proyecto de tesis se emite **DICTAMEN FAVORABLE** para que continúe con los trámites de rigor.



Ingeniera Carmen Fabiola Morales Pérez
Asesora de Contenido de Tesis

Guatemala, 06 de junio de 2024

DICTAMEN DEL REVISOR DE FORMA DE LICENCIATURA

Nombre del estudiante: Michael Alexander Martín Martínez

Título de la Tesis: Automatización de microinvernadero para la producción de tomate riñón a través de sensores, placa reducida y monitoreo del clima

Revisor de forma de Tesis: Luis Alberto Mendoza Pérez

Considerando,

Primero: Que previo a la otorgarsele el grado académico de Licenciatura en Sistemas y Tecnologías de la Información y la Comunicación, el estudiante **Michael Alexander Martín Martínez** quien se identifica con ID **00041934**, ha desarrollado el trabajo de Tesis denominado **“Automatización de microinvernadero para la producción de tomate riñón a través de sensores, placa reducida y monitoreo del clima”**.

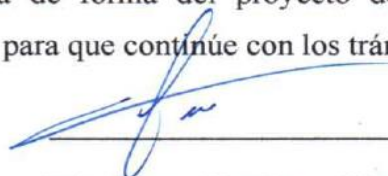
Segundo: Que he leído el trabajo de Tesis, donde consta que el estudiante en mención realizó el proyecto investigativo de egreso atendiendo a un método y técnicas propias de esta modalidad académica.

Tercer: Que ha realizado todas las correcciones de redacción y estilo que le fueron planteadas en su oportunidad.

Cuarto: Que dicho trabajo reúne las calidades necesarias de un trabajo de licenciatura.

Por tanto,

En su calidad de revisora de forma del proyecto de Tesis de licenciatura se emite **DICTAMEN FAVORABLE** para que continúe con los trámites de rigor.



Luis Alberto Mendoza Pérez
Revisor Metodológico de Licenciatura

- A Dios:** Mi eterno agradecimiento a mi buen Dios, por darme las fuerzas y sabiduría para seguir adelante a pesar de las grandes dificultades que me ha tocado enfrentar en la vida y a mi Señor por darme el regalo de la Salvación.
- A mis amados padres:** Miguel Martín y Manuela Martínez, que ya descansan en el Señor, viviré eternamente agradecido con ellos porque a pesar de las condiciones tan precarias en las que vivieron, siempre nos dieron lo mejor, inculcándonos los principios, valores morales y sobre todo temor de Dios que siempre les caracterizaban.
- A mis queridos hermanos:** Juana Martín, María Martín, Olga Martín, Esdras Martín y Cindy Martín por esa gran unidad y apoyo que me han demostrado a lo largo de mi vida.
- A mis compañeros:** Mateo Juan y Osman Castañeda gracias por esa unidad que siempre nos caracterizó y que nos ha ayudado a llegar hasta este punto de la carrera universitaria.
- A mi profesor:** Ing. Juan Ramón Herradora Vanegas, por haber sido mi inspiración y mentor en la adolescencia para iniciar el sueño de cursar una carrera universitaria en la facultad de ingeniería.
- A mis docentes:** Ing. Almeida Mérida e Ing. Juan José Rodríguez, por haberme dado las bases sólidas y necesarias en la rama de las matemáticas y la programación.
- A mi asesora:** Inga. Carmen Fabiola Morales Pérez por el apoyo y paciencia que ha tenido para guiarnos en este proceso académico.

A la Universidad:

Gracias por ser el medio para formarme como profesional con principios y valores, pero sobre todo por llevar hasta lugares tan lejanos como Santa Cruz Barillas, Huehuetenango la oportunidad de iniciar sueños personales a personas que no tienen la oportunidad de migrar a otros departamentos.

Tabla de Contenidos

Resumen.....	i
<i>Abstract</i>	ii
Introducción	iii
Capítulo I	1
Marco Contextual.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Pregunta de investigación	3
1.3 Planteamiento del Problema	3
1.4 Justificación	4
1.5 Importancia de la Investigación	5
1.6 Objetivos.....	6
1.6.1 Objetivo General.....	6
1.6.2 Objetivos Específicos.....	6
1.7 Alcances y Límites.....	6
Capítulo II.....	8
Marco Teórico.....	8
2.1 Antecedentes	8
2.2 Generalidades del cultivo del tomate riñón	9
2.2.1 Taxonomía del cultivo	9
2.2.2.1 Tallo	10
2.2.2.2 Hoja.....	10
2.2.2.3 Fruto	11
2.2.3 Etapas fenológicas del cultivo	11
2.2.3.1 Establecimiento de la planta joven	11
2.2.3.2 Crecimiento vegetativo	12
2.2.3.3 Floración e inicios del cuaje de la fruta	12
2.2.3.4 Inicio del desarrollo de la fruta	12
2.2.4 Condiciones agroecológicas del cultivo.....	12
2.2.4.1 Temperatura	12

2.2.4.2 Humedad Relativa.....	13
2.3 Sensores	14
2.3.1 Función de los sensores	14
2.3.2 Tipos de sensores	14
2.3.2.1 Digitales	14
2.4 Dispositivos electromagnéticos	15
2.4.2 Válvula solenoide.....	15
2.4.1 Relé	16
2.5 Placa reducida	16
2.5.1 Arquitectura de las placas reducidas.....	17
2.5.2 Tipos de placas reducidas	17
2.5.2.1 <i>Raspberry Pi</i>	17
2.5.3 Sistemas operativos para placa reducida.....	19
2.5.3.1 <i>Raspberry Pi OS</i>	19
2.5.4 Lenguaje de programación para placa reducida.....	20
2.5.4.1 <i>Python</i>	20
2.6. Glosario.....	20
2.7. Cronograma de actividades.....	22
2.7.1 Cronograma de aplicación	22
Capítulo III.....	23
Marco Metodológico.....	23
3.1 Tipo de Investigación.....	23
3.2 Sujetos de Investigación	23
3.3 Procedimiento	23
3.3.1 Enfoque cuantitativo	23
3.4 Universo / Población.....	23
3.4.1 Tipo de población	23
3.4.2 Población.....	24
3.5 Muestra	24
3.6 Plan de recolección de datos	24
3.6.1 Técnica de la encuesta	24
3.6.1.1 Instrumento cuestionario.....	24

3.7 Validez y confiabilidad	25
3.8 Metodología de desarrollo del Aplicativo.....	25
3.8.1 Definición de requerimientos del producto.....	25
3.8.1.1 Requerimientos Funcionales	25
3.8.1.2 Requerimiento no funcionales	26
3.8.2 Equipos de trabajo y roles.....	26
3.8.3 Metodología ágil Scrum.....	27
3.8.4 Producto	30
Capítulo IV.....	31
Resultados de la Investigación.....	31
4.1 Presentación de Resultados.....	31
4.2 Desarrollo del sistema automatizado	37
4.2.1 Fases del Desarrollo.....	37
4.2.2 Análisis	38
4.2.2.1 Situación Actual.....	38
4.2.2.2 Situación optimizada.....	38
4.3 Planificación	39
4.3.1 Cronograma.....	39
4.3.2 Cronograma de desarrollo.....	40
4.4 Desarrollo.....	40
4.4.1 Arquitectura de <i>hardware</i>	40
4.4.2 Arquitectura de <i>software</i>	41
4.4.2.1 <i>Front End</i>	41
4.4.2.2 <i>Backend</i>	41
Capítulo V.....	43
Discusión y análisis de Resultados	43
5.1 Discusión de Resultados	43
5.2 Utilidad de la Aplicación	45
Conclusiones.....	46
Recomendaciones	47
Referencias.....	48
Anexos	50

Lista de Tablas

Tabla No 1. Clasificación del cultivo	9
Tabla No 2. Cuadro comparativo placas reducidas	17
Tabla No 3. Características <i>Raspberry Pi 3 B+</i>	18
Tabla No 4. Cuadro comparativo sistema operativos	19
Tabla No. 5 Cronograma de actividades	22
Tabla No. 6 Diagrama de Gantt de desarrollo.....	40
Tabla No 7. Componente de hardware	40
Tabla No 8. Interpretación encuesta post implementación	45

Lista de Gráficos

Gráfica 1. Automatización de invernadero	31
Gráfica 2. Dificultada para implementación de sistema automatizado.....	32
Gráfica 3. Tiempo de activación manual de riego	32
Gráfica 4. Importancia de sistema de ventilación	33
Gráfica 5. Importancia de monitoreo del clima	33
Gráfica 6. Beneficio esperado de la implementación	34
Gráfica 7. Mejora posterior a la implementación	34
Gráfica 8. Uso de plataforma <i>thingspeak</i>	35
Gráfica 9. Monitoreo de sistema automatizado de riego	35
Gráfica 10. Eficiencia del sistema de ventilación	36
Gráfica 11. Eficiencia del monitoreo del clima	36
Gráfica 12. Beneficio del sistema automatizado	37

Lista de Figuras

Figura No 1.....	10
Figura No 2.....	10
Figura No 3.....	11
Figura No 4.....	15
Figura No 5.....	15
Figura No 6.....	16
Figura No 7.....	28
Figura No 8.....	28
Figura No 9.....	29
Figura No 10.....	29

Resumen

El tomate riñón es una de las verduras con más demanda en el mercado gastronómico debido a su gran versatilidad en la creación de alimentos, sin embargo, el cultivo de esta verdura de manera tradicional presenta grandes retos y dificultades, las altas temperaturas pueden provocar que se sequen los cultivos, la humedad no controlada puede crear un ambiente propicio para la proliferación de plagas y enfermedades, es por ello que se opta por realizar el cultivo de este producto por medio de invernaderos en los cuales se pueda tener un ambiente controlado. Debido a la alta demanda que existe en el mercado acerca de este vegetal y sus métodos de cuidado es que este producto tiene un alto costo.

El presente proyecto tiene como propósito diseñar un prototipo de automatización de microinvernadero para la producción de tomate riñón a través de sensores, monitoreo del clima y placa reducida, los sensores principalmente tendrán el objetivo de tomar la lectura tanto de temperatura como de humedad relativa para que por medio de estos indicadores y una placa reducida se pueda activar en primer lugar un sistema de riego para mantener la humedad en el nivel adecuado y en caso de que exista una alta temperatura en el ambiente se activará un sistema de ventilación con el propósito de regular la temperatura, esta solución se ha planteado con el objetivo de ser escalable para que pueda ser implementada y utilizada por pequeños productores de la región y así poder mejorar sus márgenes de productividad de tomate riñón.

Palabras clave: automatización; microinvernadero; tomate riñón.

Abstract

The Solanum lycopersicum is one of the most demanded vegetables in the gastronomic market due to its great versatility in the creation of food, however, the cultivation of this vegetable in a traditional way presents great challenges and difficulties, high temperatures can cause the crops to dry, uncontrolled humidity can create an environment conducive to the proliferation of pests and diseases, which is why the cultivation of this product is done through greenhouses in which you can have a controlled environment. Due to the high demand that exists in the market for this vegetable and its care methods, this product has a high cost.

The purpose of this project is to design a prototype of automation of a microgreenhouse for the production of kidney tomato through sensors, climate monitoring and reduced plate, the sensors will mainly have the objective of taking the reading of both temperature and relative humidity so that by means of these indicators and a reduced plate an irrigation system can be activated first to maintain the humidity at the appropriate level and in case there is a high temperature in the environment, a ventilation system will be activated with the purpose of regulating the temperature, This solution has been proposed with the objective of being scalable so that it can be implemented and used by small growers in the region to improve their kidney tomato productivity margins.

Keywords: *automation; microgreenhouse; Solanum lycopersicum.*

Introducción

El presente trabajo académico de informe de práctica, denominado: “Automatización de microinvernadero para la producción de tomate riñón a través de sensores, placa reducida y monitoreo del clima”, consta de cinco capítulos.

El primer capítulo, “Marco Contextual”, detalla los antecedentes y problemáticas que presenta el fenómeno investigado con el fin de darle una solución, de las cuales se resaltan regular la humedad relativa para evitar la proliferación de plagas y enfermedades tales como el mildiú polvoriento un hongo que crea un polvo blanco en las hojas, *fusarium* o *verticillium* dos hongos que pueden causar marchitez en las plantas de tomate. Además, regular la temperatura es fundamental para evitar que los cultivos se sequen, dichas causas permiten definir el objetivo general el cual consiste en automatizar un microinvernadero para la producción de tomate riñón a través de sensores y placa reducida.

En el segundo capítulo, “Marco Teórico”, se desglosan cada uno de los temas relevantes dentro de la investigación como lo son las tecnologías utilizadas para la automatización, la teoría que existe acerca del tomate riñón y su método de producción.

En el tercer capítulo, “Marco Metodológico”, se describe el plan de recolección de datos a través de técnicas e instrumentos de investigación, así también el tipo de enfoque de la investigación que en este caso es cuantitativo.

En el cuarto capítulo, “Resultado de la investigación”, se presentan los resultados de la investigación y se realiza un análisis de campo del área donde se implementará el proyecto y como la ejecución de este contribuirá con mejorar la producción del tomate riñón, el proceso se ve reflejado también a través de un cronograma.

Como quinto y último capítulo, “Discusión y análisis de resultados”, en este apartado se contará con los resultados obtenidos de la investigación y si estos cumplen satisfactoriamente con los

objetivos establecidos, así mismo se interpretan los resultados de la recolección de datos que apoyaron la investigación.

Capítulo I

Marco Contextual

1.1 Antecedentes

El municipio de Santa Cruz Barillas, Huehuetenango es una región sumamente fructífera; en la actualidad ha habido un gran crecimiento de producción de cultivos para satisfacer la demanda de productos agrícolas a nivel local como también a nivel noroccidente de Huehuetenango. Debido a esta alta demanda los agricultores se han visto en la necesidad de tecnificar sus siembras, esto para aumentar sus márgenes de producción, el cultivo que más se ha tecnificado ha sido el tomate riñón ya que este producto es bastante susceptible a los cambios de temperatura y humedad. Una de las primeras formas en las que han tecnificado el cultivo de tomate riñón es a través de la creación de invernaderos en los cuales se pueda tener el control del clima y humedad, sin embargo, debido a la gran extensión de los invernaderos se hace difícil tener el control de cada uno de los cultivos que en ellos se encuentra, por tal motivo la automatización de los invernaderos surge como una solución viable para este problema.

Como antecedente a este proyecto de automatización podemos hacer referencia a la tesis titulada “Automatización de bajo costo utilizada en la producción agrícola en invernaderos y huertos caseros” desarrollada por Ashley Acosta y Aliana Aguilar ambas estudiantes de la Universidad Tecnológica de Panamá (2015), cuyo objetivo fue desarrollar un prototipo de plataforma de automatización a bajo costo que pudiera ser implementado y accesible para huertos de pequeña escala y familiares.

La solución presentada en este trabajo está basada en la placa reducida Arduino ya que esta placa según cuadro comparativo, presentado por las estudiantes es la más económica frente a las demás alternativas del mercado y cumple con el objetivo de la tesis el cual fue presentar una alternativa de bajo costo en cuanto a la automatización. El proyecto concluyó en que la plataforma basada en la tecnología Arduino, es capaz de monitorear las variables ambientales en el interior de un invernadero, así también permite controlar, en tiempo real, mecanismos de riego instalados.

El siguiente antecedente es una investigación titulada “Automatización de invernadero para la producción agrícola con tecnología de punta a bajo costo” desarrollada por Ingeniero Paulo Rincón, Ingeniero Jesús Silva e Ingeniero Alejandro Torres para la revista de investigación agroempresariales de Colombia (2016). En dicho proyecto se buscó automatizar la producción agrícola a través de la implementación de energía renovable, componentes electrónicos y equipos tecnológicos.

Dentro de las principales conclusiones podemos resaltar que los agricultores podrán implementar y tecnificar sus cultivos haciendo uso de las tecnologías de bajo costo y fáciles de manejar tales como sensores de humedad, temperatura y módulo Arduino. Por medio de estos sistemas automatizados se podrá aumentar el nivel de productividad de los diferentes cultivos que se deseen cosechar.

Como último antecedente podemos referirnos al artículo titulado “Diseño de un *software* de automatización de propósito general basado en *Raspberry Pi*” este proyecto fue desarrollado por el Ingeniero Randy Piñero Aguilar representante del departamento de Automática y Computación de la universidad Tecnológica de la Habana “José Antonio Echeverría”, Cuba (2020), para el “Congreso Argentino de Sistema Embebidos”, el objetivo de este proyecto consistió en automatizar la obtención de una aplicación de control para procesos industriales, de laboratorio o domótica.

La conclusión a la que llego el artículo es que el concepto de las tecnologías libre y el trabajo de la amplia comunidad de colaboradores, ha reducido el costo y el tiempo de la implementación de soluciones en el terreno de la automatización.

1.2 Pregunta de investigación

¿Qué impacto tiene la automatización del proceso de medición de temperatura, humedad relativa y monitoreo del clima en la producción del tomate riñón?

1.3 Planteamiento del Problema

América Latina se encuentra entre las regiones del mundo que más alimentos produce, pero irónicamente gran parte de la población padece de hambre y desnutrición, según el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia por sus siglas en inglés UNICEF en el año 2,020 lamentablemente se llegó a la cifra de 59,7 millones de personas con hambre, este es el punto más alto desde el 2000. debido a esta problemática la Organización de las Naciones para la Agricultura y la Alimentación (FAO) se ha propuesto dotar a los gobiernos de América Latina con recursos y mecanismos que permita garantizar la seguridad alimentaria en la población. Una de las estrategias impulsadas en esta iniciativa ha sido la creación de invernaderos y huertos caseros, esta iniciativa ha sido un recurso valioso para el sustento de las familias de áreas rurales y urbanas.

En “Centroamérica” la solución implementada a través del cultivo por medio de invernaderos ha dado una luz de esperanza para poder recuperar la seguridad alimentaria, “Centroamérica” a pesar de ser una región con poca emisión de gases invernadero ha sufrido grandemente las inclemencias del tiempo debido a las altas temperaturas que el cambio climático ha provocado.

En Guatemala la producción de cultivos por medio de hortalizas ha tenido gran relevancia, siendo el tomate riñón y el chile los cultivos que más se han producido a través de hortalizas, la producción mayormente de tomate riñón ha logrado cubrir el mercado nacional y se ha logrado exportar a países como el Salvador y Estados Unidos entre otros.

Huehuetenango al ser un departamento que alberga diversidad de climas, en los últimos años ha ido aumentando su producción de tomate riñón, específicamente el municipio de Santa Cruz Barillas se ha caracterizado por ser una región de producción agrícola con diferentes tipos de

cultivos y climas en la región, muchos de los agricultores realizar el proceso de cultivo de manera tradicional.

A través de programas de capacitación por parte de diversas instituciones como el Ministerio de Agricultura Ganaría y Alimentación (MAGA) se han creado invernaderos para cultivar tomate riñón, los invernaderos son utilizados para aumentar el rendimiento, la calidad y el proceso de producción. Estos proyectos aportan grandes beneficios para los agricultores tales como el control de factores ambientales, plagas y enfermedades mejorando así la productividad, los agricultores controlan las condiciones de humedad y temperatura del invernadero abriendo periódicamente las llaves para el sistema de riego por goteo o aperturando las pestañas para regular la temperatura, sin embargo, este control carece de precisión debido a que no hay un sistema por el cual pueda verificarse el nivel de temperatura o humedad, si no que los agricultores realizan la regulación de estos factores ambientales de manera empírica.

Debido a que los agricultores realizan el monitoreo de los factores de temperatura y humedad de manera empírica sigue existiendo las siguientes problemáticas:

- Al no controlarse de manera correcta el nivel de humedad en el suelo, puede haber proliferación de plagas o enfermedades que hagan que se echen a perder los cultivos de tomate riñón.
- Sin una herramienta que pueda medir con exactitud el nivel de temperatura dentro del invernadero pueden secarse los cultivos, provocando así márgenes de producción menores a los esperados y como consecuencia haciendo menos rentable la producción.

1.4 Justificación

El presente proyecto está versado en los cuidados que se debe de tener en cuanto a la producción de tomate riñón uno de los cultivos que mayormente se cosechan en ambientes controlador por medio de invernaderos entre los factores a estudiar está, el nivel de humedad relativa adecuada para así evitar la proliferación de plagas y enfermedades, otro de los factores de este proyecto es poder conocer los niveles de temperatura adecuados para el cultivo de este producto y así evitar que este se seque por las altas o bajas temperatura en el ambiente.

Debido a que los agricultores realizan el monitoreo de los factores de temperatura y humedad de manera empírica, como parte de la solución para estas problemáticas se ha propuesto implementar un prototipo de automatización de microinvernadero para la producción de tomate riñón cuyo propósito será medir la humedad relativa y temperatura del ambiente por medio de sensores los cuales estarán integrados a un sistema automatizado que dará apertura de un sistema de goteo para conservar los nivel de humedad adecuado, así mismo el sistema de riego por goteo estará controlado por el porcentaje de humedad del clima que exista en la región en donde se está realizando el cultivo y en caso que exista una elevación o disminución de los niveles de temperatura en el ambiente se podrán activar un sistema de apertura o cierre de pestañas que recubren el microinvernadero.

Estos sistematizados de microinvernaderos cobran gran relevancia debido a la necesidad de aumentar los niveles de producción para poder así satisfacer las demandas del mercado en cuanto al producto de tomate riñón.

1.5 Importancia de la Investigación

Al implementar un sistema automatizado para micro invernadero se cubrirá la problemática de no contar con un indicador exacto de nivel de humedad relativa ya que esta lectura se tomará por medio de un sensor de humedad relativa, así mismo el nivel de temperatura se podrá medir con exactitud por medio de un sensor de temperatura ambos indicadores contribuirán a mantener el control adecuado de temperatura en el ambiente y nivel de humedad relativa del microinvernadero.

La automatización de un microinvernadero presenta grandes beneficios para el agricultor entre ellos se puede destacar la reducción de costos, si bien la implementación implica un costo extra para el agricultor posterior a ello se podrá reducir los costos debido a que ya no será necesario una gran cantidad de empleados para poder monitorear los cultivos y activar manualmente los sistemas de riego y la apertura de las pestañas del microinvernadero,

Otra de las ventajas que presenta la implementación de este proyecto es el poder elevar los niveles de producción, atendiendo así de mejor manera la gran demanda de tomate riñón que existe en el mercado local.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General

Diseñar un sistema automatizado en un microinvernadero para mejorar la producción de tomate riñón a través de sensores, placa reducida y monitoreo del clima.

1.6.2 Objetivos Específicos

- Analizar los niveles de temperatura y humedad relativa para la producción de tomate riñón
- Diseñar el programa a través del cual la placa reducida interpretará los indicadores de temperatura y humedad relativa de los sensores para la automatización del microinvernadero
- Proponer una solución factible para la automatización de microinvernadero
- Diseñar la integración de los módulos electrónicos del sistema automatizado

1.7 Alcances y Límites

El proyecto versara directamente sobre el cuidado del cultivo del tomate riñón, no tomando en cuenta otros cultivos que se den en la región del municipio de Santa Cruz Barillas, Huehuetenango.

El proyecto se limitará a tomar lectura de los niveles de temperatura ambiente y humedad relativa, niveles como el Co₂ u otros indicadores no se tomarán en cuenta para este proyecto.

El proceso de automatización se realizará a nivel de comandos directamente en la placa reducida (*backend*), y contará con una interfaz de usuario por medio de la plataforma *thingspeak*.

El microinvernadero será únicamente un prototipo funcional para uso de pruebas de este proyecto de automatización.

Todo el equipo electrónico será alimentado a través de energía convencional y no se hará uso de otro tipo de energía.

El sistema de ventilación se activará cuando la temperatura sea mayor a 30 grados centígrados dentro del microinvernadero.

El sistema de riego se activará cuando la humedad relativa disminuya al 60%.

El sistema de ventilación se activará cuando la temperatura sobrepase los 30 grados centígrados.

Se tendrá un encendido programado entre las 7 y 8 de la mañana durante un tiempo de 15 minutos.

Capítulo II

Marco Teórico

2.1 Antecedentes

Debido a que actualmente ha aumentado la población en las áreas urbanas y rurales de Santa Cruz Barillas, Huehuetenango, la demanda en cuanto a la provisión de alimentos a crecido exponencialmente haciendo que los cultivos sean tecnificados para una mayor producción, entre los cultivos que más se han tecnificado podemos resaltar el tomate riñón el cual es un vegetal sumamente sensible a factores ambientales tales como la humedad de relativa la cual si no es controlada esta puede provocar que existan plagas y enfermedades en el cultivo, otro de los factores ambientales que más afectan a este cultivo es las altas o bajas temperaturas las cuales pueden hacer que la planta se seque y por consecuencia haya una pérdida del producto, debido a estos factores antes mencionados es que el cultivo de tomate riñón se ha tecnificado para que pueda ser cultivado en un ambiente controlado a través de invernaderos.

Sí bien la tecnificación a través de invernaderos para el cultivo de tomate riñón a representado una mejorar en cuanto a los márgenes de producciones, siempre existe un margen de pérdidas del producto debido a falta de exactitud en la medición de factores como la humedad relativa o la temperatura dentro del invernadero es por ellos que surge la idea de poder tecnificar aún más la producción a través de implementar un prototipo de invernadero automatizado que a través de sensores y una placa reducida pueda realizar de manera autónoma el control y monitoreo de los de estos factores ambientales dentro de un microinvernadero.

Como antecedente principal como respaldo de este proyecto se hace referencia al artículo titulado “Diseño de un *software* de automatización de propósito general basado en *Raspberry Pi*” el cual es un trabajo del Ingeniero Randy Piñero Aguilar representante del Departamento de Automática y Computación de la universidad Tecnológica de la Habana “José Antonio Echeverría”, Cuba (2020), para el “Congreso Argentino de Sistema Embebidos”, el objetivo de este proyecto consistió en automatizar la obtención de una aplicación de control para procesos industriales de laboratorio o domótica.

Sí bien el enfoque del trabajo de investigación fue dirigido a un ámbito como lo es la automatización industrial de laboratorio o domótica, el principio de automatización es el mismo que se presenta en este proyecto el cual es a través de una placa reducida y la integración de sensores y otros sistemas pueda llevarse a cabo la automatización de un espacio de trabajo. Este proyecto está enfocado a la agricultura y más específicamente en la producción de tomate riñón.

2.2 Generalidades del cultivo del tomate riñón

El nombre científico para referirse al tomate riñón es *Solanum lycopersicum*, originalmente este cultivo se da en la región andina, abarcando desde el sur de Colombia hasta el norte de Chile, probablemente desde ahí fue trasladado a “Centroamérica”, donde se domesticó (Monardes, 2009) (INTA, 2016)

2.2.1 Taxonomía del cultivo

La clasificación de este cultivo se puede ver reflejado en la siguiente tabla:

Tabla No 1. Clasificación del cultivo

Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliophyta</i>
Subclase	<i>Asteridae</i>
Orden	<i>Solanales</i>
Familia	<i>Solanaceae</i>
Género	<i>Solanum</i>
Especie	<i>Lycopersicum</i>

Fuente: Semillaría, 2015

2.2.2 Características botánicas

“El tomate riñón pertenece a la familia *Solanaceae*, es una planta dicotiledónea y herbácea perenne, es cultivada en forma anual para el consumo de sus frutos” (Semillaría, 2015) (INTA, 2016). Dentro de las características del tomate riñón podemos mencionar su tallo, hojas y flor.

2.2.2.1 Tallo

“Es grueso, pubescente, anguloso y de color verde. Mide entre 2 y 4 cm de ancho y es más delgado en la parte superior. En el tallo principal se forman tallos secundarios, nuevas hojas y racimos florales. (Monardes 2009).” (INTA, 2016)

Figura No 1



Fuente: Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), Costa Rica, 2016

2.2.2.2 Hoja

“Presenta de siete a nueve folíolos peciolados que miden 4-60 mm x 3-40 mm, lobulados y con borde dentado, alternos, opuestos y por lo general, de color verde glanduloso-pubescente por el haz y ceniciento por el envés. (Monardes 2009).” (INTA, 2016)

Figura No 2



Fuente: Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), Costa Rica, 2016

2.2.2.3 Fruto

“Es una baya bilocular, subsférica globosa o alargada, que puede alcanzar un peso entre unos 600 g. En estado inmaduro es color verde y cuando madura es color rojo (EDIFORM 2006).” (INTA, 2016) A pesar de que comúnmente el tomate maduro se asocia al color rojo, sin embargo, pueden existir variedades color amarillo, rosado, morado, naranja, verde, entre otros.

Figura No. 3



Fuente: Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA), Costa Rica, 2016

2.2.3 Etapas fenológicas del cultivo

“La fenología está determinada por la variedad y las condiciones climatológicas de la zona donde se establece el cultivo. Las etapas se pueden dividir en cinco periodos (Haifa Chemicals 2014).” (INTA, 2016)

2.2.3.1 Establecimiento de la planta joven

En esta etapa se desarrollan las partes aéreas de la planta a este proceso se le conoce como semillero, en esta etapa de la cosecha, el cultivo debe mantener una estricta supervisión ya que de

esta etapa depende el éxito de la producción, mientras mayor sea el éxito en esta etapa, la probabilidad de obtener una producción de mejor calidad es alta.

2.2.3.2 Crecimiento vegetativo

Esta etapa abarca un periodo de cuarenta y cinco días después de los cuales la planta inicia el proceso de desarrollo continuo, posterior a esta etapa le siguen cuatro semanas consideradas de crecimiento rápido.

2.2.3.3 Floración e inicios del cuaje de la fruta

Esta etapa abarca un periodo que comprende desde la floración hasta finalizar con el ciclo de crecimiento de la planta.

2.2.3.4 Inicio del desarrollo de la fruta

En el clímax en la etapa del cultivo se puede apreciar la germinación del fruto el cual ocurre luego de la polinización. Después de iniciado el crecimiento la fruta suele empezar a caerse y perder rastros de la floración. Como último punto el fruto pasa a dos o tres grados de maduración.

2.2.4 Condiciones agroecológicas del cultivo

2.2.4.1 Temperatura

Díaz (2007) afirma

La temperatura óptima de desarrollo del cultivo oscila entre 20 °C y 30 °C durante el día y entre 10 °C y 17 °C durante la noche. Temperaturas superiores a los 30 °C reducen la fructificación y la fecundación de los óvulos, afectan el desarrollo de los frutos y disminuyen el crecimiento y la biomasa de la planta. Las plantas de tomate se desarrollan

mejor con temperaturas de entre 18 °C y 24 °C. Temperaturas diurnas inferiores a 12-15 °C pueden originar problemas en el desarrollo de la planta, mientras que temperaturas diurnas superiores a 30 °C e inferiores a 12 °C afectan la fecundación.

Debido a que se tienen rangos de temperatura específicos e ideales para el cultivo de tomate riñón el proceso de automatización cobra gran relevancia ya que por medio de la implementación de sensores dentro un invernadero se podrá mantener en niveles adecuados la temperatura para la óptima producción de tomate riñón.

2.2.4.2 Humedad Relativa

Infoagro *Systems* S.L. (2007) afirma

La humedad relativa (HR) óptima, que se ubica entre 60 % y 80 %, favorece el desarrollo normal de la polinización y garantiza una buena producción. El exceso o déficit de HR produce desórdenes fisiológicos y favorece la presencia de enfermedades. Una humedad relativa superior al 80 % favorece la permanencia de enfermedades aéreas, el agrietamiento del fruto y dificulta la fecundación, ya que el polen se humedece y hay aborto floral. Una alta humedad relativa y una baja iluminación reducen la viabilidad del polen y pueden limitar la evapotranspiración, disminuir la absorción del agua y los nutrientes, generar déficit de elementos como el calcio e inducir desórdenes fisiológicos. Una humedad relativa menor al 60 % dificulta la polinización.

Al igual que la temperatura el cultivo del tomate riñón tiene características específicas sobre el nivel de humedad que debe de existir para un cultivo óptimo, es por eso por lo que la alternativa de automatizar la medición de este factor de humedad por medio de sensores contribuirá en gran medida a mantener en niveles adecuados la humedad relativa evitando así la proliferación de plagas y por consecuencia la pérdida de producto.

2.3 Sensores

“Dispositivo que detecta una determinada acción externa, temperatura, presión, etc., y la transmite adecuadamente.” (Real Academia Española, 2022). Un sensor es la herramienta ideal para poder hacer lectura de las variables externas como lo son la temperatura y humedad.

2.3.1 Función de los sensores

Un sensor puede detectar los cambios en el entorno tales como la presión, humedad o temperatura, estos datos pueden ser recogidos y trasladados a otros dispositivos. Un sensor convierte los fenómenos físicos en un voltaje analógico o una señal digital, estos datos pueden ser de suma utilidad para poder medir con exactitud algún fenómeno estudiado.

2.3.2 Tipos de sensores

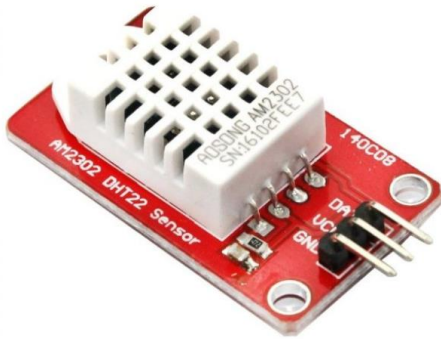
Los sensores se dividen en dos importantes categorías las cuales son sensores analógicos y digitales el primero de ellos traduce los valores de las variables a tensión y el segundo oscila entre los valores 0 y 1.

2.3.2.1 Digitales

- Sensor DHT22

Este sensor toma las variables de temperatura y humedad en una sola placa, es compatible con la placa *raspberrypi* y puede proporcionar valores precisos, la precisión es un factor clave ya que para la automatización es necesario tener una lectura adecuada tanto de temperatura como de humedad para mantener las condiciones del micro invernadero en condiciones óptimas. A continuación, se presenta las especificaciones y características de este sensor:

Figura No. 4



Especificaciones técnicas:

- Sensor digital
- Dimensiones: 40 * 23 mm
- Peso: 4g
- Voltaje: 5V
- Puerto: bus único digital de dos vías
- Rango de temperatura: $-40-80 \pm 0.5$
- Rango de humedad: 20-90% HR $\pm 2\%$ HR
- Plataforma: MCU

Fuente: Electrónica Tetssa Guatemala

2.4 Dispositivos electromagnéticos

2.4.2 Válvula solenoide

La válvula de solenoide se cierra por gravedad, por presión o por la acción de un resorte; es abierta por el movimiento de un émbolo manipulado por la acción magnética de una bobina energizada eléctricamente, o viceversa. Para fines de este proyecto la válvula solenoide es utilizada para la apertura del paso de agua que alimenta el sistema de riego del invernadero.

Figura No. 5



Especificaciones técnicas:

- Voltaje de operación: 12V
- DCCorriente: 0.6A DC
- Presión: 0.8MPa o 116 PSI
- Temperatura máxima del fluido: -5°C a 60°C
- Modo de operación: Normal cerrado
- Resorte de cierre: Sí
- Diámetro interno de tubería: 0.57"
- Diámetro nominal de tubería: 1/2"

Fuente: La Electrónica Guatemala

2.4.1 Relé

Es un dispositivo que funciona como interruptor controlado por un circuito eléctrico, por medio de una bobina y un electroimán permite abrir y cerrar otros circuitos, este relé es útil dentro del proyecto para poder mandar la señal de apertura o cierre de los servomotores a través de controlar el paso de corriente, así mismo contribuirá a activar el sistema de paso de agua para el sistema de riego, estas son las especificaciones y características.

Figura No. 6



Especificaciones técnicas:

- Voltaje de Operación: 5V DC
- Señal de Control: TTL (3.3V o 5V)
- N° de Relays (canales): 2 CH
- Modelo Relay: JQC3F-5VDC-C
- Capacidad máx: 10A/250VAC, 10A/30VDC
- Corriente máx: 10A (NO), 5A (NC)
- Tiempo de acción: 10 ms / 5 ms
- Para activar salida NO: 0 Voltios (Low Trigger)
- Entradas Optoacopladas
- Indicadores LED de activación

Fuente: Electrónica Tettsa Guatemala

2.5 Placa reducida

“Están diseñados para conectarse a un soporte o placa base y están formados, generalmente, por un pequeño módulo procesador con una CPU y capacidad de Entrada/Salida estándar.” (Amir Sherman, 2015). A partir de esta definición podemos decir que las placas reducidas son miniordenadores que nos ofrecen la capacidad de conectar diversos dispositivos periféricos en su mayoría las placas reducidas.

2.5.1 Arquitectura de las placas reducidas

La arquitectura de las placas reducidas está basada en la arquitectura RISC desarrolladas por ARM, la arquitectura RISC permite ejecutar un número reducido de instrucciones el cual permite operar con mayor velocidad, otra de las ventajas es que se requiere menos cantidad de *hardware* esto permite una mayor flexibilidad en su construcción.

2.5.2 Tipos de placas reducidas

En el mercado electrónico podemos encontrar diversidad de placas reducidas entre las que podemos mencionar Ordroid, *Raspberry Pi* y Arduino sin embargo para el desarrollo del presente proyecto se utilizó la placa reducida *Raspberry Pi* en su versión 3, la selección se realizó basados en la siguiente tabla.

Tabla No 2. Cuadro comparativo placas reducidas

	Ordroid	<i>Raspberry Pi</i>	Arduino
Disponibilidad en el mercado	0	3	5
Soporta Sistema Operativo	5	5	0
Permite integración con sensores	5	5	5
Costo accesible	3	3	3
	13	16	13

Fuente: elaboración propia

2.5.2.1 *Raspberry Pi*

Leticia Calvo (2022) afirma

Las *Raspberry PI* son microordenadores que han tenido un crecimiento exponencial desde su creación. Su tamaño, su precio y las funcionalidades que ofrece son los factores que han propiciado este auge. Una *Raspberry PI* es un ordenador del tamaño de una tarjeta de

crédito. La primera *Raspberry* PI surgió de la mano de un grupo de investigación de la Universidad de Cambridge capitaneado por Eben Upton. De esta manera, se fundaría *Raspberry Pi Foundation*.

Debido a las características mencionadas anteriormente la placa *Raspberry* Pi es una de mejores alternativas del mercado debido a su gran versatilidad y capacidad de cómputo a un bajo costo, la versión 3B+ que fue utilizada para este proyecto tiene las siguientes características:

Tabla No 3. Características *Raspberry* Pi 3 B+

	<i>Raspberry</i> Pi 3 Model B+
Procesador	Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC
Frecuencia de reloj	1,4 GHz
GPU	VideoCore IV 400 MHz
Memoria RAM	1GB LPDDR2 SDRAM
Conectividad inalámbrica	2.4GHz / 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac Bluetooth 4.2, BLE
Conectividad de red	Gigabit Ethernet over USB 2.0 (300 Mbps de máximo teórico)
Puertos	GPIO 40 pines HDMI 4 x USB 2.0 CSI (cámara <i>Raspberry</i> Pi) DSI (pantalla tácil) Toma auricular / vídeo compuesto Micro SD Micro USB (alimentación) Power-over-Ethernet (PoE)

Fuente: xataka.com

2.5.3 Sistemas operativos para placa reducida

“Programa o conjunto de programas que realizan funciones básicas y permiten el desarrollo de otros programas.” (Real Academia Española, 2022). Para poder hacer uso de las diferentes funciones de una placa reducida es primordial contar con un sistema operativo, la fundación *Raspberry Pi* ha desarrollado su propio sistema operativo para sus placas reducidas el sistema en mención es denominado *Raspberry Pi OS* el cual se utilizó para el desarrollo de este proyecto, la selección se realizó basado en la siguiente tabla.

Tabla No 4. Cuadro comparativo sistema operativos

Criterio	<i>Raspberry OS</i>	<i>Windows 10 IoT</i>	<i>Ubuntu Desktop</i>
Adecuación funcional	5	4	5
Eficiencia de desempeño	5	4	4
Compatibilidad	5	5	4
Usabilidad	5	5	5
Fiabilidad	5	4	5
Seguridad	5	3	5
Mantenibilidad	4	3	4
Portabilidad	5	5	5
	39	33	37

Fuente: ISO 25000

2.5.3.1 *Raspberry Pi OS*

Anteriormente el sistema operativo oficial para la placa *Raspberry Pi* era llamado *Raspbian* sin embargo el sistema operativo oficial ahora es denominado *Raspberry Pi OS* este sistema operativo está basado en Linux específicamente en la distribución *Debian*. *Raspberry Pi OS* utiliza un entorno de escritorio denominado *LXDE* el cual brinda una interfaz muy ligera y un consumo de memoria muy bajo, la arquitectura de este sistema operativo es de 32 bits.

2.5.4 Lenguaje de programación para placa reducida

“Un lenguaje de programación es un lenguaje de computadora que los programadores utilizan para comunicarse y para desarrollar programas de *software*, aplicaciones, páginas webs, *scripts* u otros conjuntos de instrucciones para que sean ejecutadas por los ordenadores.” (*Wild Code School*, 2021). Para poder llevar a cabo la ejecución de una serie de instrucciones dentro de un ordenador con parámetros y condiciones específicas es necesario hacer uso de un lenguaje de programación, para este proyecto el lenguaje utilizado para poder llevar a cabo la automatización es *Python*.

2.5.4.1 *Python*

Es un lenguaje de programación de propósito general, es orientado a objetos y para usos prácticos de este proyecto fue el lenguaje con el cual se programó una serie de instrucciones que fueron ejecutados por el sistema automatizado. El lenguaje fue elegido debido a su amplia documentación y que en el sistema operativo *Raspberry OS* viene optimizado ya para el uso de este lenguaje de manera nativa.

2.6. Glosario

- *Backend*: El backend es la parte del desarrollo web que se encarga de que toda la lógica.
- Botánica: campo de la Biología que estudia los vegetales
- Taxonomía: es una ciencia que agrupa ordenadamente a los organismos vivos de acuerdo con lo que se presume son sus relaciones naturales, partiendo de sus propiedades más generales a las más específicas.
- Agroecología: aporta una solución para preservar nuestros recursos naturales y el medio ambiente, restablecer los ciclos del planeta, de tal forma que se puedan producir alimentos sanos, nutritivos, de calidad y accesibles.

- Interfaz: Conexión o frontera común entre dos aparatos o sistemas independientes.
- Circuito: es una interconexión de componentes eléctricos que transportan la corriente eléctrica a través de una trayectoria cerrada.
- Relé: es un dispositivo electromagnético que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico.
- Prototipo: Primer ejemplar que se fabrica de una figura, un invento u otra cosa, y que sirve de modelo para fabricar otras iguales, o molde original con el que se fabrica.
- Microcontrolador: es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria.
- Voltaje: es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos.
- Corriente: flujo de partículas cargadas, como electrones o iones, que se mueven a través de un conductor eléctrico o un espacio.

2.7. Cronograma de actividades

2.7.1 Cronograma de aplicación

Tabla No. 5 Cronograma de actividades

ACTIVIDADES	Meses	Agosto				Septiembre					Octubre			
	Semanas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Establecer tecnologías y componentes electrónicos necesarios para el proyecto														
Cotización y adquisición de componentes electrónicos														
Ensamble de componentes electrónicos														
Codificación de criterios y condicionales para la automatización														
Implementación de automatización en microinvernadero														
Realizar pruebas de campo del funcionamiento de la implementación														
Recolección de resultados de prueba de campo														

Fuente: elaboración propia

Capítulo III

Marco Metodológico

3.1 Tipo de Investigación

Debido a la naturaleza de este proyecto el tipo de investigación es descriptiva abordándola desde un método mixto, en el cual se utilizó el enfoque cualitativo y cuantitativo. El enfoque cuantitativo constó de utilizar la herramienta de recolección de datos por medio de un cuestionario el cual nos proporcionó datos numéricos que posteriormente se graficaron.

3.2 Sujetos de Investigación

La presente investigación tendrá como sujeto de investigación a los agricultores que cuenten con invernaderos para la producción de tomate riñón del casco urbano de Santa Cruz Barillas, Huehuetenango.

3.3 Procedimiento

3.3.1 Enfoque cuantitativo

- Se selecciona a través del muestreo no probabilista bola de nieve a los agricultores
- Se realizó la encuesta por medio de *Google forms*
- Se realizó el análisis de los resultados
- En base a los resultados obtenidos se realizó modificaciones para poder optimizar de mejor manera el proyecto.

3.4 Universo / Población

3.4.1 Tipo de población

Se utilizó una población finita, la cual consta de agricultores que cuenten con invernaderos para la producción de tomate riñón del casco urbano de Santa Cruz Barillas, Huehuetenango.

3.4.2 Población

La población se conforma de 30 agricultores que cuenten con invernaderos para la producción de tomate riñón del casco urbano de Santa Cruz Barillas, Huehuetenango.

3.5 Muestra

Debido a las características específicas de nuestro sujeto de estudio se utilizó el muestreo no probabilístico “bola de nieve” el cual consiste en encuesta a los primeros sujetos que tengamos a nuestro alcance y al finalizar la encuesta poder solicitarles referencias de otras personas que cuenten con las mismas características de nuestro sujeto de estudio.

3.6 Plan de recolección de datos

3.6.1 Técnica de la encuesta

Para el enfoque cuantitativo se utiliza la técnica de la encuesta la cual se implementó al total de nuestra población que a su vez es nuestra muestra, debido al reducido número de personas, es posible implementar esta técnica a toda nuestra población.

3.6.1.1 Instrumento cuestionario

Para poder llevar a cabo la técnica de la entrevista se utilizó la herramienta de la encuesta la cual es muy efectiva para poder cuantificar los datos de manera mucho más objetivo para nuestros datos estadísticos.

3.7 Validez y confiabilidad

Dentro del margen de validez tomada para la muestra de 30 personas se estima una confianza del 95% y realizando los cálculos respectivos se tiene un error muestral de más o menos 1%.

3.8 Metodología de desarrollo del Aplicativo

La metodología implementada para este proyecto es una metodología ágil tipo scrum ya que esta es bastante flexible y ágil; las características de esta metodología nos permiten ser más productivos y eficientes en proyectos de corta duración ya que por medio de su tablero de tareas se puede saber lo que se tiene que hacer en cada momento. Otra de las ventajas es que las metodologías ágiles permiten adaptar la aplicación a las necesidades que vayan surgiendo en el camino, facilitando así la construcción y aplicación funcional. La herramienta utilizada para implementación de la metodología ágil scrum es Azure DevOps de Microsoft.

3.8.1 Definición de requerimientos del producto

Los requerimientos de un producto son las necesidades de los *Stakeholders* que el aplicativo deba de cumplir de manera satisfactoria. En este aspecto se definen los requerimientos funcionales y no funcionales que la aplicación será capaz de realizar sobre las entradas para producir una salida.

3.8.1.1 Requerimientos Funcionales

“Los requerimientos funcionales son las descripciones explícitas del comportamiento que debe tener una solución de *software* y que información debe manejar.” (*Business Analysis Body of Knowledge*, 2022). En base a la anterior definición podemos definir nuestros requerimientos funcionales como los siguientes:

- El sistema tomara lectura de los indicadores de humedad relativa y temperatura ambiente por medio de los sensores.

- El sistema controlará la llave electrónica instalada en el sistema de riego
- El sistema controlará los servomotores para la apertura y cierre de las pestañas del invernadero.

3.8.1.2 Requerimiento no funcionales

Representan las características generales y restricciones de la aplicación o sistema que se esté desarrollando, en otras palabras, son los requisitos que no se refieren directamente a las funciones específicas del sistema, sino a las propiedades del sistema, para este proyecto se definieron los siguientes requerimientos no funcionales:

- Es necesario que se cuente con energía eléctrica para alimentar a cada uno de los componentes electrónicos.
- El sistema automatizado deberá de medir con exactitud los niveles de temperatura y humedad en el ambiente.
- Los parámetros para el control de humedad y temperatura serán manipulados únicamente por el programador.
- El sistema será desarrollado en una placa *Raspberry Pi*

3.8.2 Equipos de trabajo y roles

La metodología ágil con scrum es utilizada por empresas de desarrollo de *software* y *freelances*. El objetivo de esta metodología es presentar avances en cada uno de los sprint estipulados e ir realizando las modificaciones y adaptaciones necesarias en cada uno de los *sprints*, las tareas de *product owner*, *scrum master* y *scrum team* recaerán en una persona quien es el autor de esta tesis,

el *stakeholders* será la persona beneficiada con la implementación de este proyecto quien es un agricultor del casco urbano de Santa Cruz Barillas.

3.8.3 Metodología ágil Scrum

Scrum es un marco de trabajo el cual es utilizado para desarrollo ágil de aplicaciones, es un proceso en el cual se aplican de manera regular un conjunto de buenas prácticas para trabajar colaborativamente, en equipo y obtener el mejor resultado posible. En este marco de trabajo podemos resaltar los siguientes elementos:

- Planificación de *sprint*: en esta etapa de planificación se definen las funcionalidades (historias de usuario), objetivos, riesgos del *sprint*, plazos de entrega, entre otros.
- Etapa de desarrollo: se estipula un tiempo de desarrollo por medio de un *sprint*, se debe de asegurar que no habrá cambios de último momento que pueda afectar el tiempo estimado para el *sprint*.
- Revisión del *sprint*: al finalizar un *sprint* se analiza y evalúan los resultados, por medio del análisis se definen los cambios deben ser necesarios.
- Retroalimentación: se realiza una entrega para un *feedback* de los profesionales que evalúan el proyecto y de ser posible del cliente final.

En el primer *sprint* que abarca una semana, en primer lugar, se carga el sistema operativo a la placa reducida así mismo se realizaron las pruebas de sensores y el relé, en la siguiente imagen se detallan cada una de las tareas.

Figura No. 7

29 de agosto - 4 de septiembre
5 work days

Taskboard Backlog Capacity Analytics + New Work Item Column Options ... Sprint 1

Order	Title	State	Assigned To	Rema...
1	Contar con un sistema operativo en placa reducida	New	Michael Alexa...	
	Descargar Rapberry OS	Done	Michael Alexa...	
	Cargar Rasperry OS a Raspberry Pi 3b+	Done	Michael Alexa...	
2	Lectura de temperatura y humedad	New	Michael Alexa...	
	Prueba sensor de humedad y temperatura DHT22	Done	Michael Alexa...	
+ 3	Registrar datos de temperatura y humedad	New	Michael Alexa...	
	Programar código para registrar data de sensor de temperatura y humedad	Done	Michael Alexa...	

Fuente: elaboración propia

En el segundo sprint de una semana, se realizan pruebas de interrupción de corriente por medio de relés y se realizan la integración de todos los componentes electrónicos, en la siguiente imagen se detallan cada una de las tareas.

Figura No.8

5 de septiembre - 11 de septiembre
5 work days

Taskboard Backlog Capacity Analytics + New Work Item Column Options ... Sprint 2

Order	Title	State	Assigned To	Rema...
1	Crear maqueta	New	Michael Alexa...	
	Crear estructura de madera	In Progress	Michael Alexa...	
	Realizar cableado	To Do	Michael Alexa...	
2	Interrumpir la corriente del sistema de riego	New	Michael Alexa...	
	Prueba interrupción de corriente con relé	To Do	Michael Alexa...	
	Codificar automatización por medio de relej	To Do	Michael Alexa...	
	Prueba interrupción de corriente con relé	To Do		
3	Interrumpir la corriente para del sistema de ventilación	New	Michael Alexa...	
	Prueba interrupción de corriente con relé	To Do	Michael Alexa...	
	Codificar automatización por medio de relé	To Do	Michael Alexa...	
+ 4	Integrar componentes electrónicos en uno solo	New	Michael Alexa...	
	Realizar conexión por medio de un protoboard	In Progress		

Fuente: elaboración propia

En el tercer sprint de una semana, se realizó la codificación para la automatización del sistema de riego por medio de establecer los valores óptimos de humedad, en la siguiente imagen se detallan cada una de las tareas.

Figura No. 9

AUTOMATIZACIÓN DE MICROINVERN... 12 de septiembre - 18 de septiembre
5 work days

Taskboard Backlog Capacity Analytics + New Work Item Column Options ... Sprint 3

Order	Title	State	Assigned To	Rema...
1	Configurar ambiente de thingspeak	New		
	Enlazar API de thingspeak al sistema automatizado	To Do		
2	El sistema pueda reconocer los valores óptimos de humedad	New		
	Codificar rango de variables óptimas de humedad	To Do		
3	Automatizar sistema de riego	New		
	Codificar activación de sistema de riego por medio de variables de humedad	To Do		
	Establecer tiempos de censo de datos	To Do		
4	Conexión a API de monitoreo del clima	New	Michael Alexa...	
	Busqueda de API para monitoreo del clima	To Do	Michael Alexa...	
	Integrar datos del clima a sistema de riego	To Do	Michael Alexa...	
5	Integrar automatización de sistema de riego a thingspeak	New		
	Crear modulos para historial de monitoreo de valores de humedad	To Do		
	Crear modulo para historial de monitoreo del clima	To Do		

Fuente: elaboración propia

En el último sprint de una semana, se realizó la codificación para la automatización del sistema de ventilación por medio de establecer valores óptimos de temperatura, en la siguiente imagen se detallan cada una de las tareas.

Figura No. 10

AUTOMATIZACIÓN DE MICROINVERN... 19 de septiembre - 25 de septiembre
5 work days

Taskboard Backlog Capacity Analytics + New Work Item Column Options ... Sprint 4

Order	Title	State	Assigned To	Rema...
1	Conexión de fuente de energía	New		
	Realizar conexiones de panel solar a batería e inversor de 500 w	To Do		
2	El sistema puede reconocer los valores óptimos de temperatura	New		
	Codificar rangos óptimos de temperatura	To Do		
3	Automatizar sistema de ventilación	New		
	Codificar activación de sistema de ventilación por medio de variables de temperatura ópti...	To Do		
	Establecer tiempos de censo de datos	To Do		
4	Integrar automatización de sistema de ventilación a thingspeak	New		
	Crear modulos para historial de monitoreo de valores de temperatura	To Do	Michael Alexa...	
5	Configuración de conexión a internet	New		
	Configurara gateway de conexión	To Do		
	Configurar dispositivo de recepción de señal	To Do		

Fuente: elaboración propia

3.8.4 Producto

En cuanto al producto final se espera un sistema automatizado para el control de temperatura, humedad relativa dentro de un microinvernadero y el monitoreo del clima con el propósito de obtener datos para el adecuado uso del sistema de riego por goteo y el sistema de ventilación.

Capítulo IV

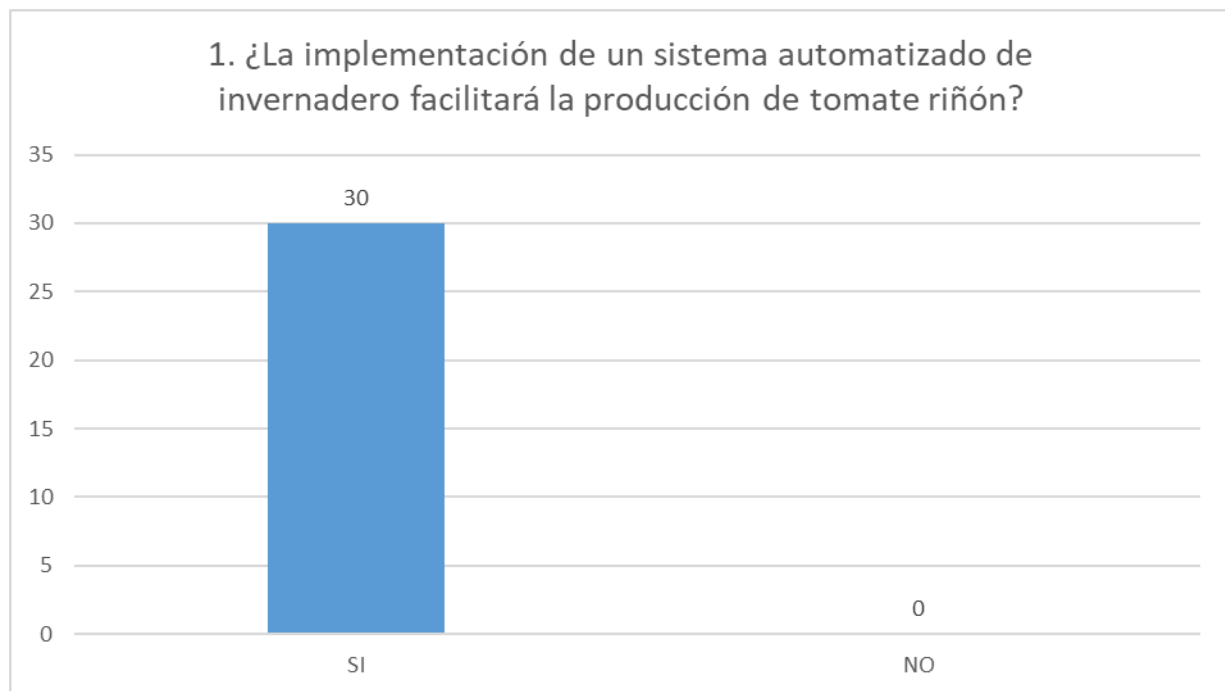
Resultados de la Investigación

4.1 Presentación de Resultados

Como parte del grupo de muestra se encuestaron a 30 agricultores que cuentan con cultivos de tomate riñón, del casco urbano de Santa Cruz Barillas, Huehuetenango, los agricultores respondieron dos tipos de encuesta, la primera encuesta fue realizada previo a la implementación del sistema automatizado y la segunda fue realizada posterior a la implementación, a continuación, se presentan los resultados de dichas encuestas.

Gráfica No. 1

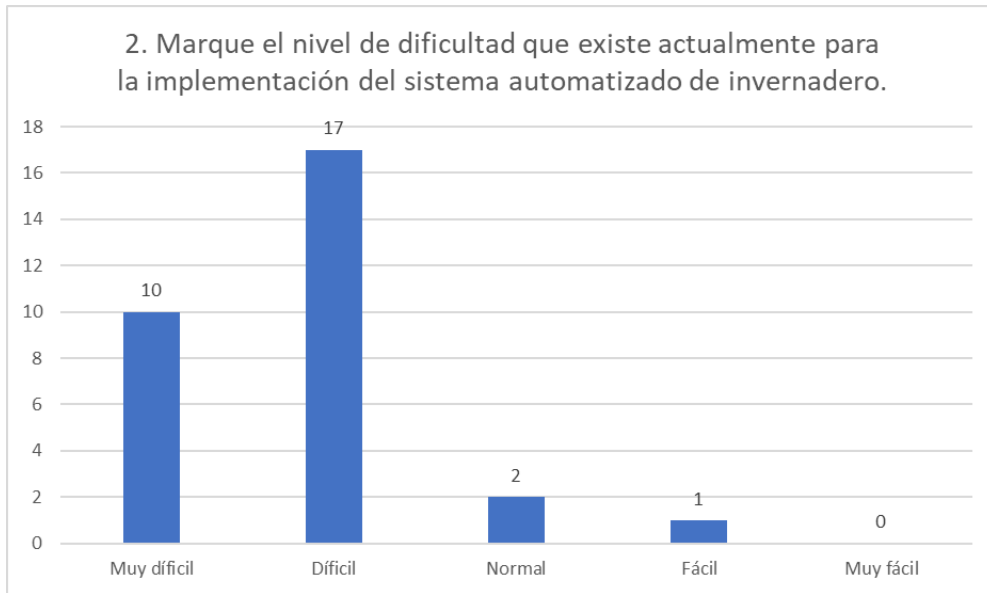
Automatización de invernadero



Fuente: elaboración propia

Gráfica No. 2

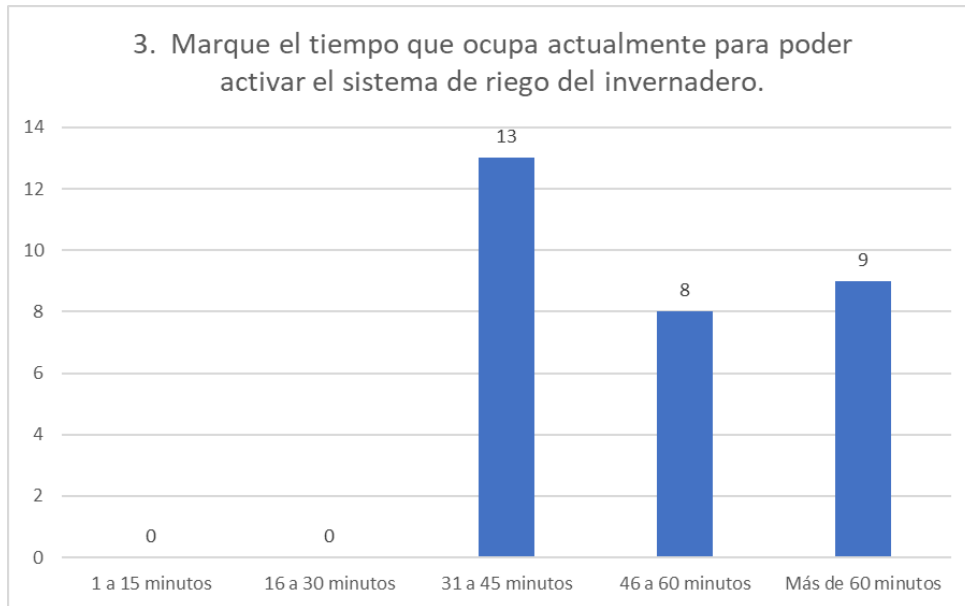
Dificultada para implementación de sistema automatizado



Fuente: elaboración propia

Gráfica 3

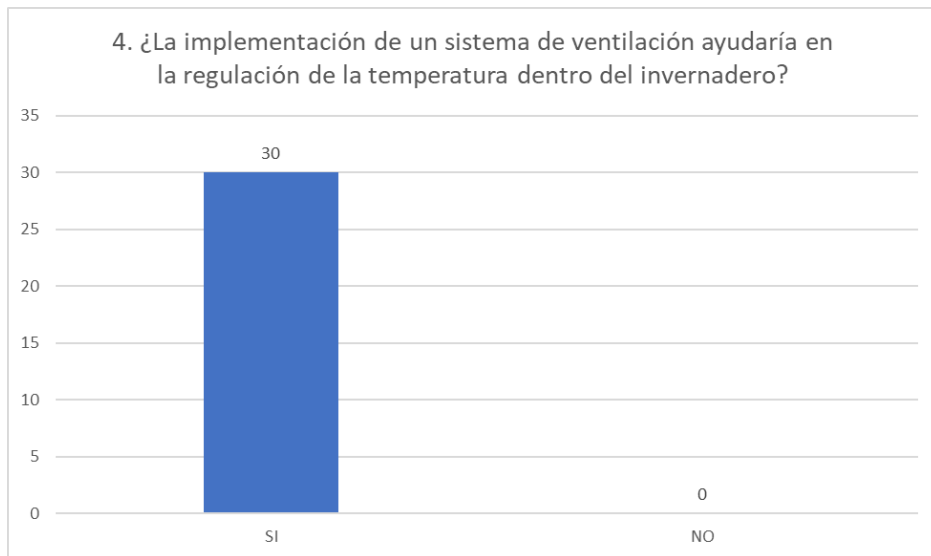
Tiempo de activación manual de riego



Fuente: elaboración propia

Gráfica No. 4

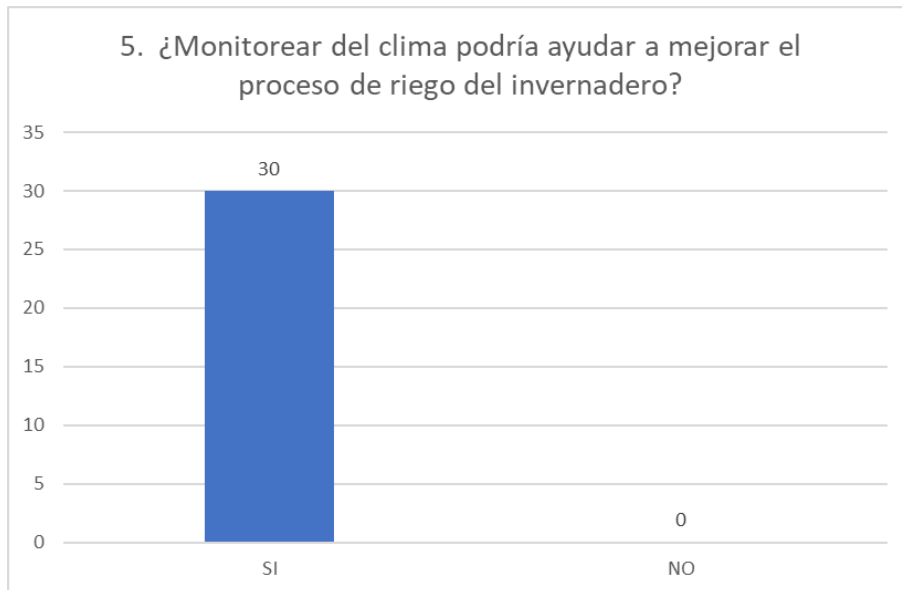
Importancia de sistema de ventilación



Fuente: elaboración propia

Gráfica No. 5

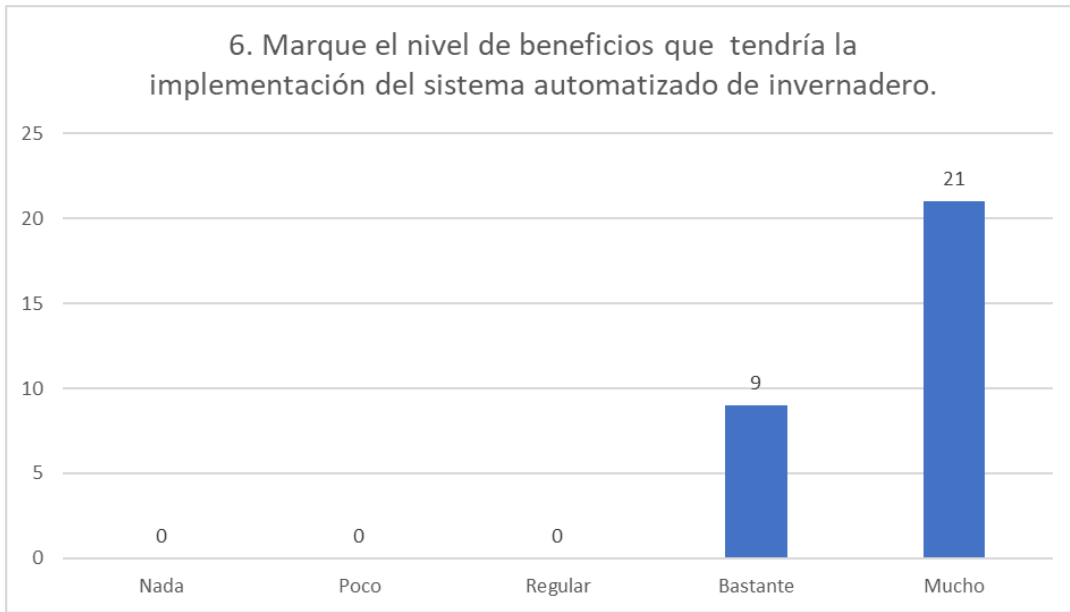
Importancia de monitoreo del clima



Fuente: elaboración propia

Gráfica No. 6

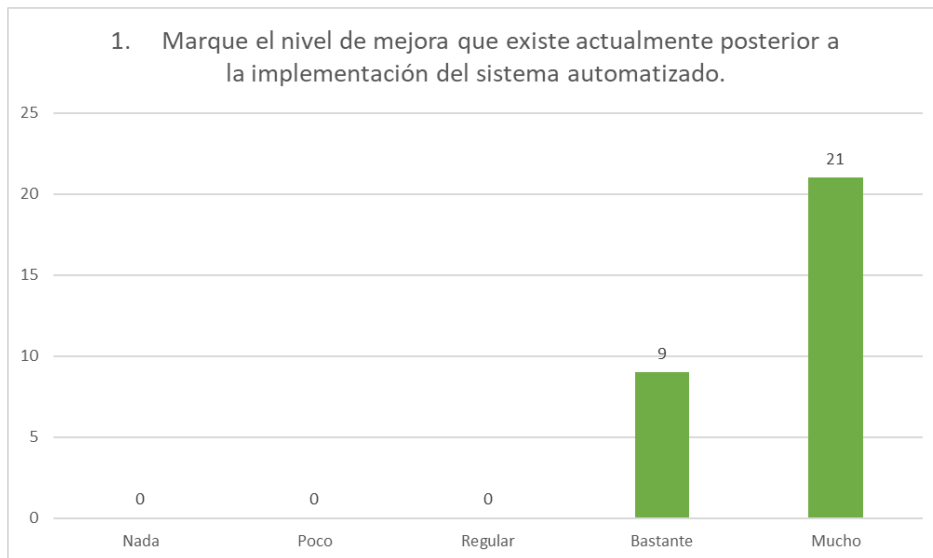
Beneficio esperado de la implementación



Fuente: elaboración propia

Gráfica No. 7

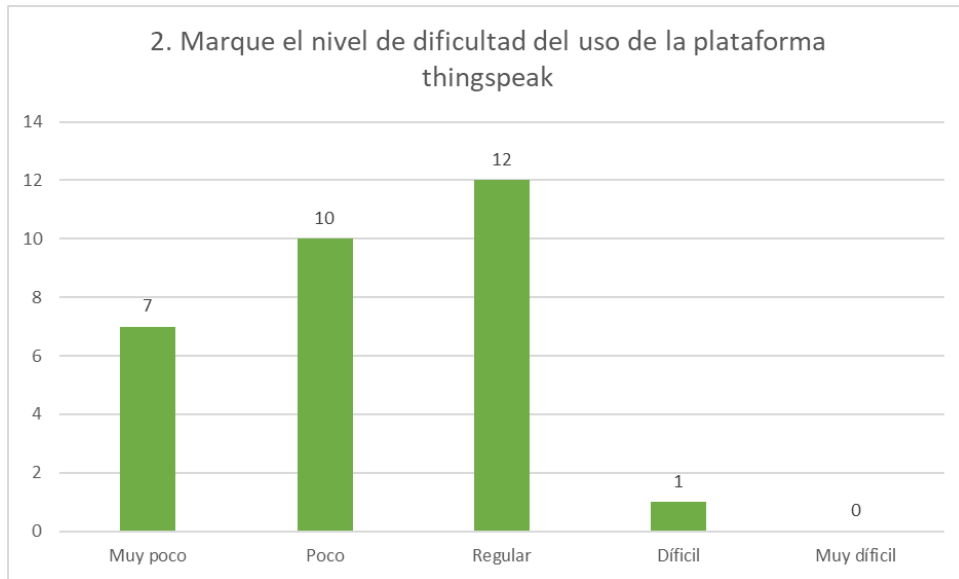
Mejora posterior a la implementación



Fuente: elaboración propia

Grafica No. 8

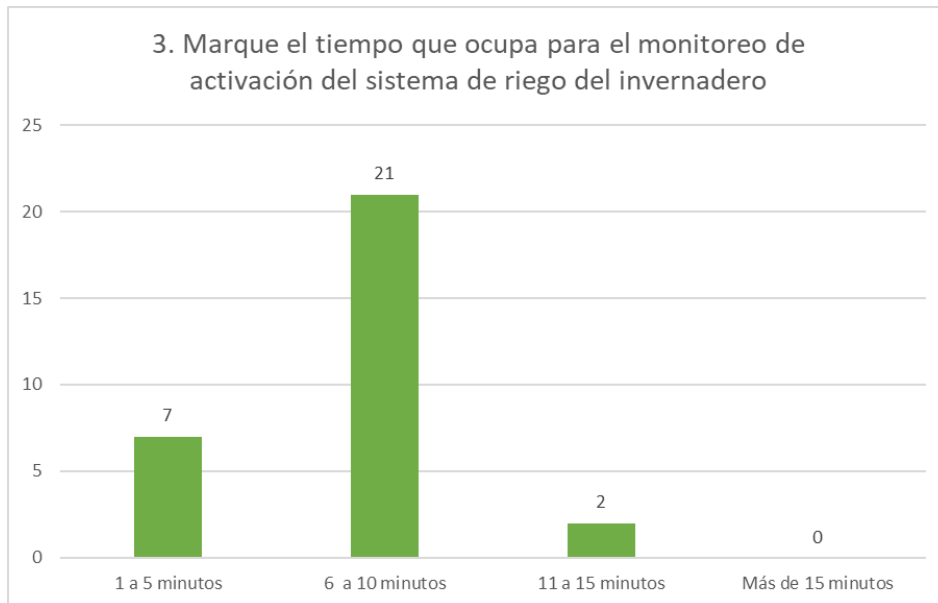
Uso de plataforma *thingspeak*



Fuente: elaboración propia

Gráfica No. 9

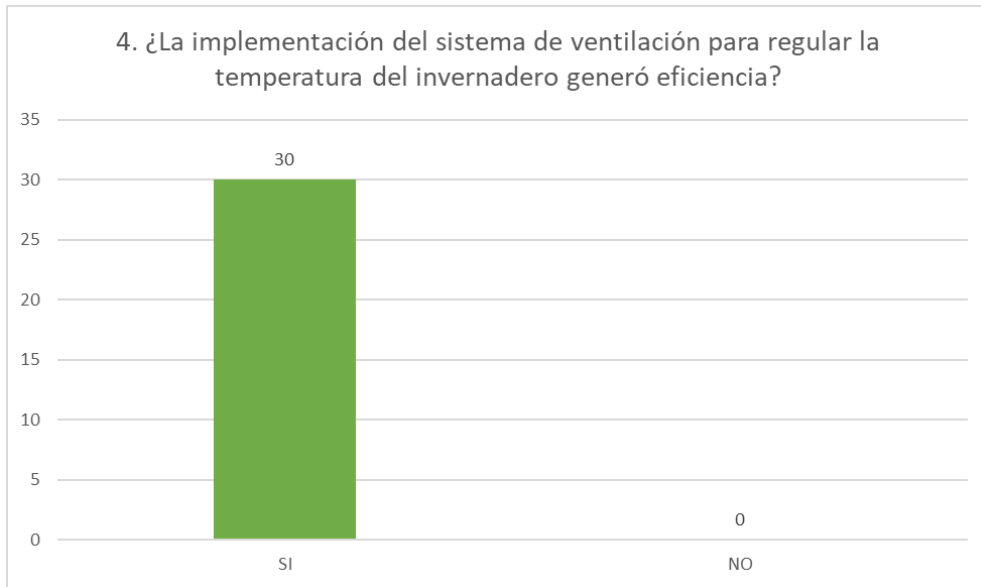
Monitoreo de sistema automatizado de riego



Fuente: elaboración propia

Gráfica No. 10

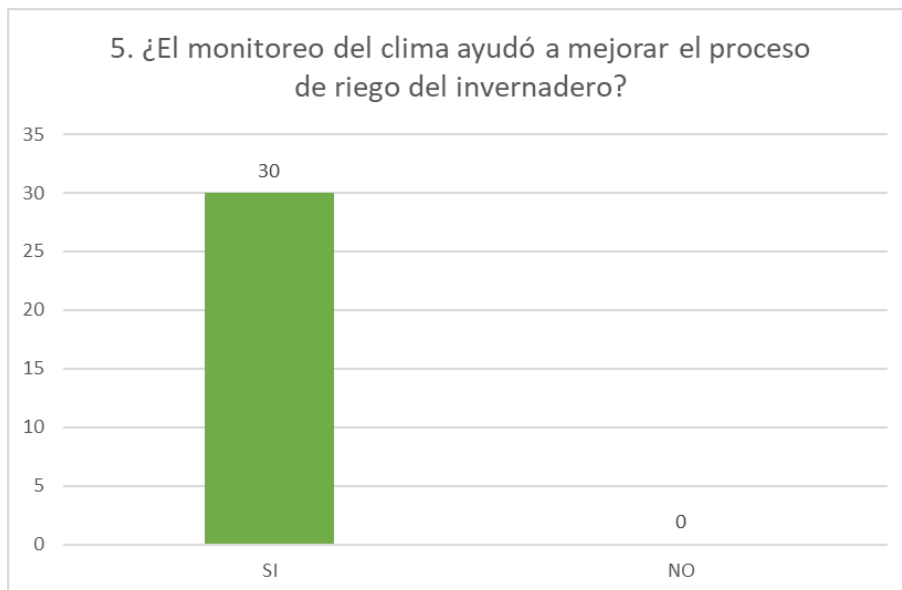
Eficiencia del sistema de ventilación



Fuente: elaboración propia

Gráfica No. 11

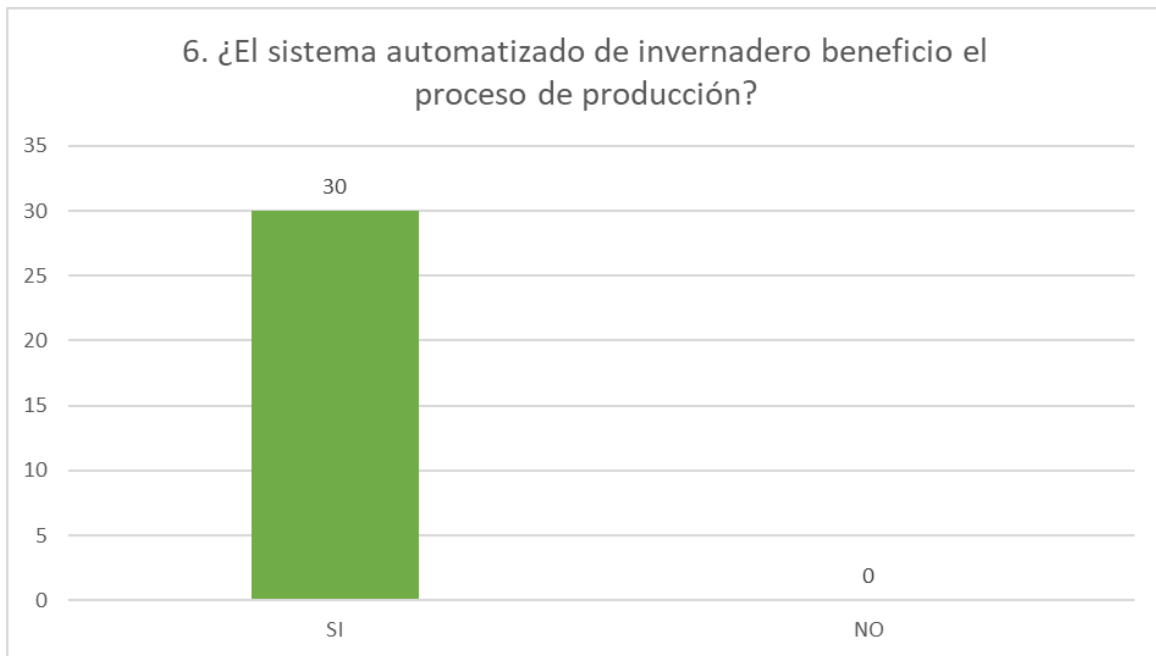
Eficiencia del monitoreo del clima



Fuente: elaboración propia

Gráfica No. 12

Beneficio del sistema automatizado



Fuente: elaboración propia

4.2 Desarrollo del sistema automatizado

A continuación, se detallan las herramientas tecnológicas, lenguaje de programación y diagramas los cuales fueron útiles para el desarrollo del proyecto, como también se describe el uso de algunas tecnologías integradas en el sistema para facilitar el monitoreo del sistema automatizado.

4.2.1 Fases del Desarrollo

En cuanto a la fase de desarrollo se realizó un análisis tanto de la situación actual en la que se encontraba el invernadero sin la implementación del sistema automatizado como también la situación optimizada en la cual el sistema automatizado se encuentra funcionando.

4.2.2 Análisis

Se realiza una visita de campo en el invernadero localizado en la zona 6 del municipio de Santa Cruz Barillas para poder evaluar los retos y dificultades en cuanto a la implementación y así poder desarrollar un plan de implementación.

4.2.2.1 Situación Actual

El invernadero en donde se realiza la implementación no cuenta con energía eléctrica, por lo tanto, se debe de buscar una alternativa para poder alimentar de energía eléctrica a todo el circuito del sistema.

Por medio de la encuesta realizada previa a la implementación pudimos constatar que el grupo de mujeres tarda un tiempo de 45 minutos en la activación manual del sistema de riego, así mismo debido al trayecto que deben de transitar para llegar al invernadero muchas de las mujeres han dejado de activar manualmente el sistema de riego.

Al momento de realizar la visita de campo se pudo evaluar que dentro del invernadero existe una temperatura bastante alta la cual afecta el ciclo del crecimiento del tomate haciendo que este se reseque y estrese.

Como último punto se observa que en días lluviosos el agua se filtra en el invernadero haciendo que haya bastante humedad dentro del mismo, por tal motivo es de suma importancia que se pueda monitorear el clima para evitar saturar el suelo de humedad.

4.2.2.2 Situación optimizada

Con la implementación del sistema automatizado de microinvernadero se obtuvieron las siguientes mejoras:

- La colocación de sensores ayudo a obtener valores precisos de la temperatura y humedad relativa dentro del invernadero.

- La activación del sistema de riego de manera automática ayudo a mantener la humedad en los niveles adecuados dentro del invernadero.
- El monitoreo del clima permitió optimizar el sistema de riego automatizado.
- La activación del sistema de ventilación de manera automática ayudo a mantener la temperatura en los niveles adecuados dentro del invernadero.
- Reducción del tiempo de supervisión del sistema de riego, de un tiempo anterior de 45 minutos a un promedio de 10 minutos.
- La colocación de paneles solares para suministrar de energía eléctrica a los diferentes sistemas electrónicos ayudo a la reducción costos energéticos.

4.3 Planificación

4.3.1 Cronograma

Para poder llevar a cabo este proyecto se tuvo a bien realizar un cronograma de desarrollo del mismos en el cual se detallaban cada uno de los avances que se estarían realizando en el transcurso de la ejecución del proyecto.

4.3.2 Cronograma de desarrollo

Tabla No. 6

Diagrama de Gantt de desarrollo

ACTIVIDADES	Meses	1			
	Semanas	1	2	3	4
Instalar sistema operativo en placa reducida					
Configurar sistema sensor DHT22					
Códificar código para registro de humedad					
Códificar para registro de temperatura					
Configurar relé					
Códificar para activación sistema de riego					
Códificar para activación sistema de ventilación					
Codificar conexión de sistema con api web de monitoreo del clima					
Códificar activación de sistema de riego automático entre 7 y 8 a.m.					
Codificar conexión de sistema con api web Thingspeak					
Realización de pruebas funcionales					
Integración de todo el sistema					

Fuente: elaboración propia

4.4 Desarrollo

4.4.1 Arquitectura de *hardware*

Como parte de la arquitectura del *hardware* fue necesario contar con los siguientes componentes:

Tabla No 7. Componentes de *hardware*

No.	Componente
1	1 placa reducida con arquitectura ARM, <i>Raspberry Pi 3 B</i> +
2	2 sensores de temperatura y Humedad DHT22
3	2 relé
4	1 válvula solenoide
5	2 paneles solares de 180 watts
6	1 inversor de onda pura de 500 watts
7	1 batería de 12 volts
8	2 ventiladores de 12 volts
9	1 router LTE

Fuente: elaboración propia

Cada uno de estos componentes fueron utilizados en primer lugar para poder suministrar de energía eléctrica a los componentes electrónicos así también para poder crear el sistema automatizado.

4.4.2 Arquitectura de *software*

Para el desarrollo es necesario contar con el sistema operativo Raspberry OS instalado en la placa reducida, el lenguaje a utilizar para el desarrollo es Python, se utilizaron las librerías `time`, `sys`, `Adafruit_DHT`, `requests`, `RPi.GPIO` y `data time`.

4.4.2.1 *Front End*

Para el monitoreo del sistema automatizados se realizó la conexión a un *software* de código abierto llamado *thingspeak* el cual tiene alojamiento en la nube y permite graficar los datos enviados a la plataforma

4.4.2.2 *Backend*

En cuanto a la lógica de la programación de datos se utilizó el lenguaje de programación Python en conjunto con las librerías `time`, `sys`, `Adafruit_DHT`, `request`, `RPi.GPIO` y `data time`, así mismo se utilizó una API de *software* de código abierto (*thingspeak*) el cual se utilizó para enviar datos de los valores de temperatura y humedad relativa, estos datos se enviaron a través de la librería `request`, la API `weatherstack` se utilizó para solicitar la humedad relativa con la que cuenta la zona de Santa Cruz Barillas, esta solicitud se realizó a través de la librería `request`.

Para poder ejecutar el sistema de riego, se codificó una condicional, dicha condicional permite a través de la librería “`datatime`” solicitar la hora actual de manera constante, a las 7:00 am siendo la hora establecida dentro de la condicional, el sistema de riego activa de manera automática la válvula solenoide para permitir el paso del agua durante 15 minutos, posteriormente, el sistema censa los valores de humedad relativa, que al identificar que la humedad relativa disminuyó por debajo 60%, el sistema evalúa el clima en tiempo real y si la humedad relativa es mayor al 60%,

el sistema de riego se activa a durante 30 segundos, caso contrario, el sistema se activa durante 60 segundos.

Como parte del control de la temperatura se monitoreo la temperatura del invernadero y en caso la temperatura sobrepase los 30 grados el sistema dará paso de corriente por medio del relé para la activación del sistema de ventilación durante 5 minutos, evitando así que la planta se estrese por el calor dentro del invernadero.

Por último, todos estos datos de activación del sistema se guardan en variables que posteriormente son enviados por medio de la API al *software* de código abierto thingspeak para que este pueda graficar cada uno de los datos enviados desde la plataforma.

Capítulo V

Discusión y análisis de Resultados

5.1 Discusión de Resultados

Actualmente la automatización en Guatemala se encuentra inmersa en diferentes sectores económicos, tales como la fabricación de alimentos, productos sanitarios, productos químicos, las industrias gráficas, telecomunicaciones y el sector de las materias primas, sin embargo, hay otro sector de la población el cual representa un gran porcentaje de la producción de Guatemala y es el sector agrícola, en este sector son pocos los proyectos de automatización que se han implementado esto quizá por el alto costo de la implementación de estos proyectos y así mismo la mano de obra agrícola es bastante económica, sin embargo debido a la demanda creciente que existen de diferentes productos agrícolas entre ellos el tomate riñón es de suma importancia que profesionales de la tecnología volteen a ver al sector agrícola y busquen soluciones tecnológicas que puedan facilitar la producción de productos tales como el tomate.

En el siguiente apartado se presenta el análisis de datos obtenidos de las encuestas realizadas a 30 agricultores del casco urbano de Santa Cruz Barillas, Huehuetenango, los cuales tienen conocimiento y practica en el cultivo de tomate riñón.

Tabla No 8. Interpretación encuesta post implementación

No.	Pregunta	Interpretación
1	Marque el nivel de mejora que existe actualmente posterior a la implementación del sistema automatizado.	De acuerdo con los datos obtenidos de 30 encuestados, el 70% (21) respondieron que es mucha la mejora, 30% (9) de los encuestados respondieron que fue bastante la mejora, con estos resultados podemos deducir que la implementación ha sido satisfactoria para los agricultores.

2	Marque el nivel de dificultad del uso de la plataforma thingspeak.	Según la información recopilada de 30 encuestados, 23.33% (7) respondieron que es muy poco difícil, 33.33% (10) de los encuestados respondieron que es poco difícil, 40% (12) de los encuestados respondieron que es de dificultad regular, 3.33% (1) de los encuestados respondió que es difícil, con estos resultados podemos deducir que el uso de la aplicación thingspeak para el monitoreo es de dificultad muy baja.
3	Marque el tiempo que ocupa para el monitoreo de activación del sistema de riego del invernadero	Basándonos en los datos recabados de 30 encuestados, 23.33% (7) respondieron que, de 1 a 5 minutos, 70% (21) de los encuestados respondieron que, de 6 a 10 minutos, 6.67 (2) de los encuestados respondieron que, de 11 a 15 minutos, con estos resultados podemos deducir que se ha reducido considerablemente el tiempo que ocupan los agricultores para el monitoreo del cultivo de tomate riñón.
4	¿La implementación del sistema de ventilación para regular la temperatura del invernadero generó eficiencia?	Según los resultados obtenidos de 30 encuestados, el 100% (30) de nuestra muestra indican que el sistema de ventilación sí contribuyó a regular la temperatura del invernadero, con estos resultados podemos deducir que un sistema de ventilación dentro del invernadero es positivo para el cultivo de tomate riñón.
5	¿El monitoreo del clima ayudó a mejorar el proceso de riego del invernadero?	De acuerdo con la información recogida de 30 encuestados, el 100% de nuestra muestra indican que el monitoreo del clima sí contribuyó a mejorar el proceso de riego del invernadero, con estos resultados podemos deducir que el monitoreo del

		clima para mejorar el proceso de riego es positivo para el cultivo de tomate riñón.
6	¿El sistema automatizado de invernadero beneficio el proceso de producción?	Basándonos en los resultados obtenidos de 30 encuestados, el 100% de nuestra muestra indican que el sistema automatizado de invernadero sí beneficio a mejorar el proceso de producción, con estos resultados podemos deducir que la automatización en los procesos de producción de cultivo de tomate riñón es bástate beneficioso.

Fuente: elaboración propia

5.2 Utilidad de la Aplicación

En el aspecto de la utilidad del sistema automatizado los agricultores manifiestan que la automatización del invernadero ha sido de bastante utilidad ya que les ha permitido mantener en los rangos adecuados las variables de humedad relativa y temperatura, y que gracias al monitoreo del clima se aprovechara mejor la distribución del agua necesario para el invernadero, así mismo por medio de la aplicación *thingspeak* se podrá optimizar el tiempo para monitorizar el cultivo y la activación de los sistemas de riego y ventilación.

Conclusiones

Como parte final, posterior a realizar la implementación del sistema automatizado de invernadero, a continuación, se presentan las conclusiones con el objetivo general y objetivos específicos ya preestablecido al inicio de esta investigación.

Con los resultados obtenidos mediante la implementación del proyecto de automatización de microinvernadero se pudo comprobar que se logró cumplir con el objetivo general “Diseñar un sistema automatizado en un microinvernadero para mejorar la producción de tomate riñón a través de sensores, placa reducida y monitoreo del clima.”, ya que el proyecto contribuyo a mejorar el cultivo del tomate riñón, optimizando así el sistema de riego por medio de los sensores y monitoreo del clima y a su vez regulando la temperatura con la implementación del sistema de ventilación.

Así mismo se logró dentro de los objetivos específicos lo siguiente:

- Se cumplió con el análisis de los niveles de temperatura y humedad relativa para la producción de tomate riñón.
- Se logró diseñar el programa por medio del cual la placa reducida interpretaría los indicadores de temperatura y humedad relativa para la automatización del micro invernadero.
- Se logró idear una solución factible para la automatización de microinvernadero.
- Se cumplió con la integración de los módulos electrónicos del sistema automatizado.

Recomendaciones

A través de este apartado se establecen las siguientes recomendaciones que puedan contribuir a trabajos futuros que sean similares o afines a este proyecto titulado “Automatización de microinvernadero para la producción de tomate riñón a través de sensores, placa reducida y monitoreo del clima.”, así mismo algunas recomendaciones puntuales a diferentes actores implicados en el marco del proyecto:

- Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas: a la facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas de la Universidad Panamericana de Guatemala. A motivar a los estudiantes en la implementación de más proyectos enfocados a automatización en el sector agrícola ya que la economía de Guatemala se basa en su mayoría en la producción agrícola.
- A los actuales profesionales de la tecnología: a que busquen autoformarse en las diferentes áreas de la automatización que puedan aportar valor a la sociedad y que a su vez sean factibles para implementarse en territorio guatemalteco. Al momento de desarrollar un proyecto de automatización en el sector agrícola es de suma importancia realizar visitas de campo y entrevistas con los agricultores para conocer de primera mano las necesidades que se deben cubrir.
- Al gobierno de la República de Guatemala: llevar a cabo propuestas de ley que puedan facilitar la introducción de nuevas tecnologías que puedan contribuir en la automatización de diversos sectores y así poder mejorar la economía del país.
- Al pueblo en general de Guatemala: a que no se resistan al cambio, sino que vean en el cambio una oportunidad de poder mejorar y optimizar los diferentes recursos con los que cuenta nuestra bella Guatemala.
- Una recomendación puntual para desarrollar un proyecto de investigación acción como el que se presenta, es que el investigador se involucre más con el objeto de estudio ya que esto proporciona una perspectiva más completa de las necesidades que se buscarán cubrir en el proyecto que se está desarrollando.

Referencias

- A. Acosta, A. Aguilar (2015) *Automatización de bajo costo utilizada en la producción agrícola en invernaderos y huertos*. Recuperado de:
[https://ridda2.utp.ac.pa/bitstream/handle/123456789/4886/AUTOMATIZACI%
c3%93N%20DE%20BAJO%20COSTO%20UTILIZADA%20EN%20LA%20PRODUCCI%
c3%93N%20AGR%c3%8dCOLA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://ridda2.utp.ac.pa/bitstream/handle/123456789/4886/AUTOMATIZACI%c3%93N%20DE%20BAJO%20COSTO%20UTILIZADA%20EN%20LA%20PRODUCCI%c3%93N%20AGR%c3%8dCOLA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- A. Rodríguez (2015, 25 de noviembre) *Sistemas en módulos y ordenadores de placa reducida: hacer o comprar*. Recuperado de:
<https://www.industriaembebidahoy.com/sistemas-en-modulos-y-ordenadores-de-placa-reducida-hacer-o-comprar/>
- H. Gómez, U. Dávalos, R. Martínez, N. Bautista, M. Jiménez (2018) *Computadoras de placa reducida Raspberry Pi 3 y Asus Tinker Board*. Recuperado de
<https://www.researchgate.net/publication/327351870> Computadoras de placa reducida Raspberry Pi 3 y Asus Tinker Board Reduced plate computers Raspberry Pi 3 and Asus Tinker Board
- J. Pastor (2018, 16 de abril) *Raspberry Pi 3 Model B+, análisis: más potencia y mejor WiFi para un miniPC que sigue asombrando*. Recuperado de:
<https://www.xataka.com/ordenadores/raspberry-pi-3-model-b-analisis-mas-potencia-y-mejor-wifi-para-un-minipc-que-sigue-asombrando>

Marinelli, M., Lombardo, G., Horacio, K., Wurn, G., Urquijo, R., Gonzalez, V. (2018) Implementación de sistemas de control automático para cultivos hidropónicos en invernaderos de la provincia de misiones. *Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*, 128 - 132

P. Rincón, J. Silva, A. Torres (2016) *Automatización de invernadero para la producción agrícola con tecnología de punta a bajo costo*. Recuperado de: <https://revistas.sena.edu.co/index.php/riag/article/view/1419/1523>

Real Academia Española (2022) *Definiciones*. Recuperado de <https://www.rae.es/>

R. Piñero (2020) *Diseño de un software de automatización de propósito general basado en Raspberry Pi*. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Martin-Menendez-6/publication/354693004_Automatizacion_del_analisis_y_la_generacion_de_codigo_de_sistemas_de_enclavamiento_en_FPGA/links/6147e0973c6cb310697e0a54/Automatizacion-del-analisis-y-la-generacion-de-codigo-de-sistemas-de-enclavamiento-en-FPGA.pdf#page=48

Rincón Vieda, P., Silva Plazas, J., Torres Camacho, A. (2017) Manual técnico del cultivo de tomate. *Programa Regional de Investigación e Innovación por Cadenas de Valor Agrícola*, 13 – 36

Anexos

Fotos de evidencia de presentación del proyecto a grupo de mujeres agricultoras



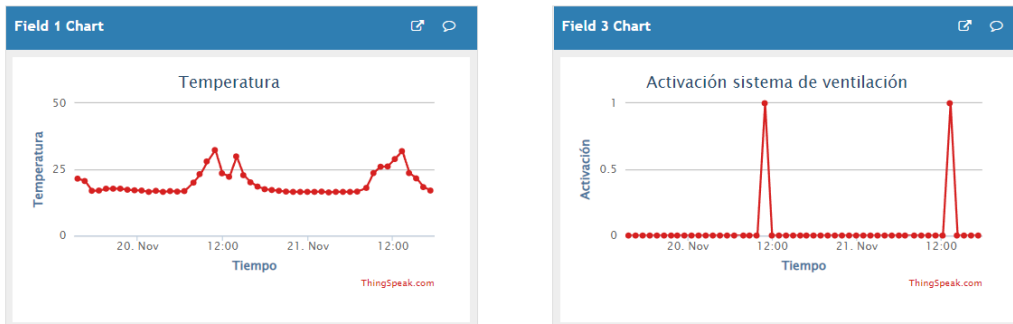


Imagen de conexión a la API de thingspeak.

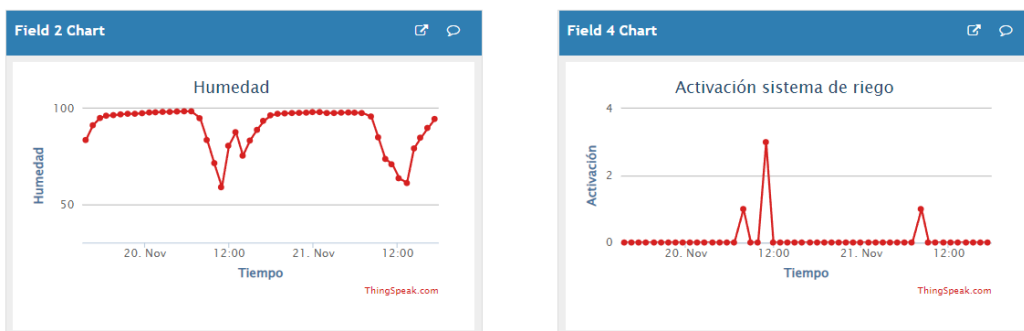
```
enviar = requests.get("https://api.thingspeak.com/update?api_key=B72IGVDN7MRM53Qw&field1="+str(temperatura)+"&field2="+str(humedad)+"&field3="+str(Activacion_ventilacion)+"&field4="+str(Activacion_riego))
```

Fuente: elaboración propia

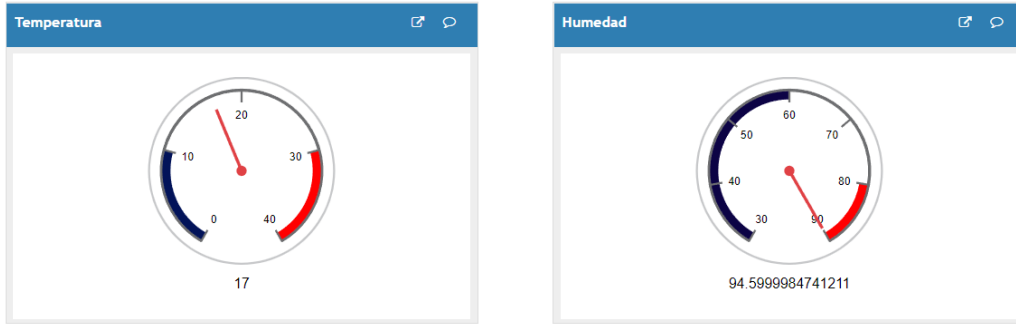
En la siguiente imagen podemos apreciar la interfaz de usuario que nos ofrece este *software* de código abierto.



Fuente: Thingspeak.com

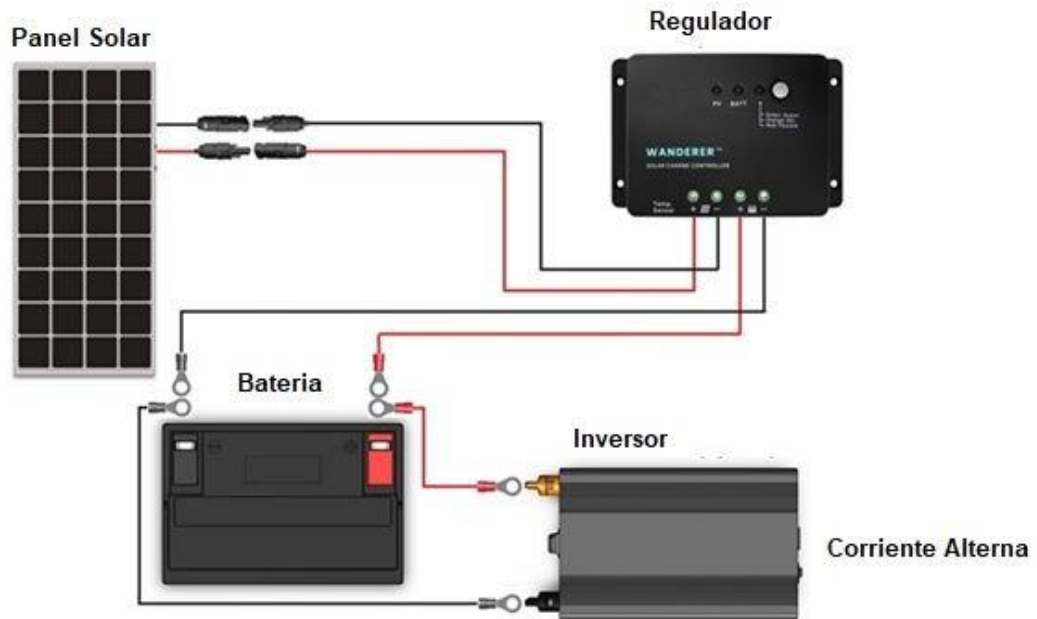


Fuente: Thingspeak.com



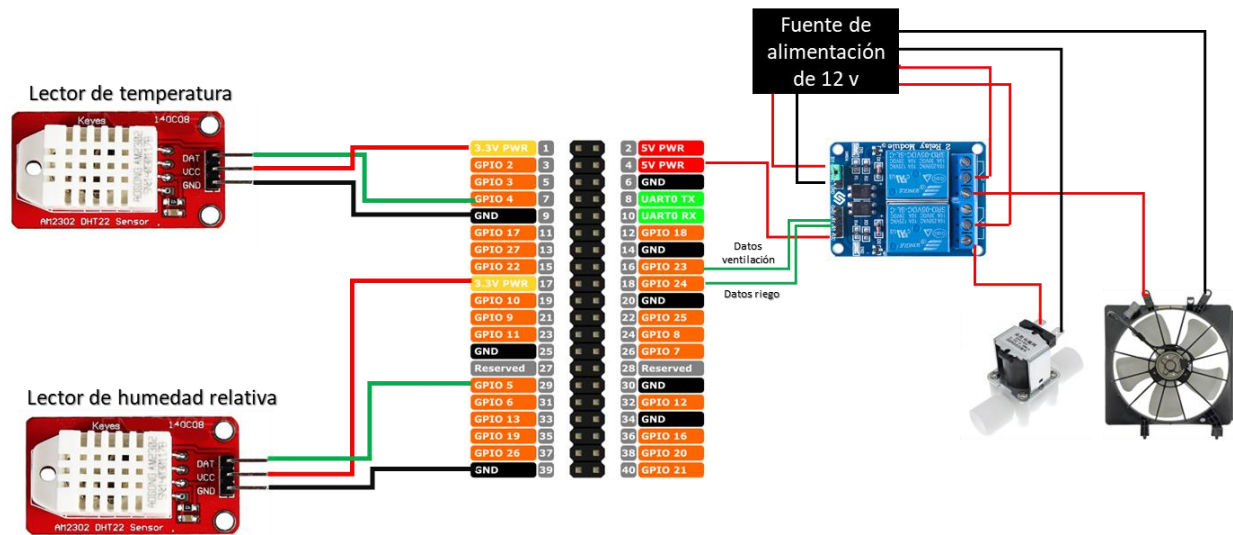
Fuente: Thingspeak.com

Diagrama de ensamblaje del suministro de energía eléctrica por medio de panel solar



Fuente: areatecnológica.com

Diagrama de ensamblaje de componentes del sistema automatizado



Fuente: elaboración propia