

UNIVERSIDAD CATÓLICA

DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y

AUTOMATISMO

TEMA:

Diseño e implementación de un sistema automatizado de monitoreo de variables, control de riego e iluminación RGB, aplicado a huertos urbanos verticales para la producción del rábano

AUTOR:

Garcés Moreira, Jordy Fabián

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de

INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO

TUTOR:

Ing. Tomás Gaspar Bastidas Cabrera, Mgs.

Guayaquil, Ecuador

27 de marzo del 2019



UNIVERSIDAD CATÓLICA

DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y

AUTOMATISMO

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por el Sr. **Garcés Moreira, Jordy Fabián**, como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO**.

TUTOR

f. _____

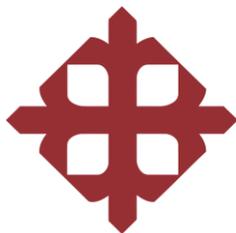
Ing. Tomas Gaspar Bastidas Cabrera, Mgs.

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Heras Sánchez, Miguel Armando, Msc.

Guayaquil, a los 27 días del mes de marzo del año 2019



UNIVERSIDAD CATÓLICA

DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y

AUTOMATISMO

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Garcés Moreira, Jordy Fabián**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, “**Diseño e implementación de un sistema automatizado de monitoreo de variables, control de riego e iluminación RGB, aplicado a huertos urbanos verticales para la producción del rábano**”, previo a la obtención del título de **Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 27 días del mes de marzo del año 2019

EL AUTOR

f. _____

Garcés Moreira, Jordy Fabián



UNIVERSIDAD CATÓLICA

DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y

AUTOMATISMO

AUTORIZACIÓN

Yo, Garcés Moreira, Jordy Fabián

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, “**Diseño e implementación de un sistema automatizado de monitoreo de variables, control de riego e iluminación RGB, aplicado a huertos urbanos verticales para la producción del rábano**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 27 días del mes de marzo del año 2019

EL AUTOR

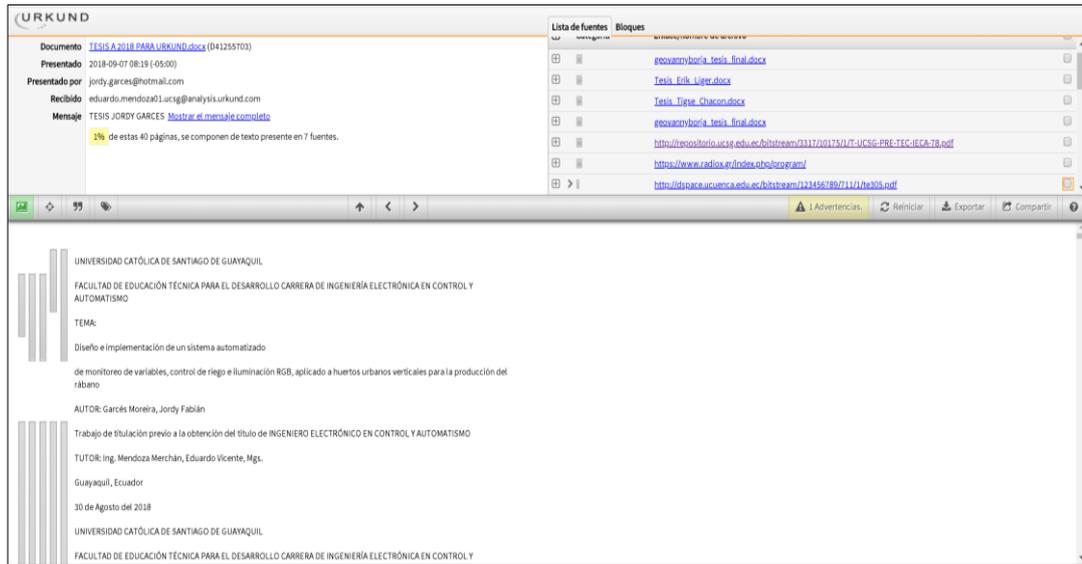
f. _____

Garcés Moreira, Jordy Fabián

REPORTE URKUND

TÍTULO: “Diseño e implementación de un sistema automatizado de monitoreo de variables, control de riego e iluminación RGB, aplicado a huertos urbanos verticales para la producción del rábano”

AUTOR: Garcés Moreira, Jordy Fabián.



The screenshot displays the URKUND interface. On the left, document details are shown: 'Documento: TESIS A 2018 PARA URKUND.docx (041255703)', 'Presentado: 2018-09-07 08:19 (05:00)', 'Presentado por: jordy.garces@hotmail.com', 'Recibido: eduardo.mendoza@ucsg.edu.ec', and 'Mensaje: TESIS JORDY GARCES Mostrar el mensaje completo'. A yellow box indicates '1% de estas 40 páginas, se componen de texto presente en 7 fuentes.' On the right, a 'Lista de fuentes' pane lists seven sources, including 'gocarm/borja_tesis_final.docx', 'Tesis_Frik_Lijer.docx', 'Tesis_Tigge_Chacón.docx', 'gocarm/borja_tesis_final.docx', 'https://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/20176/1/7-UICSG-PRG-TEC-IECA-78.pdf', 'https://www.radios.es/index.cfm/docoq.asp', and 'https://dypace.uce.edu.ec/bitstream/123456789/1/1/2e305.pdf'. The main content area shows the document's header: 'UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL', 'FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO', 'TEMA: Diseño e implementación de un sistema automatizado de monitoreo de variables, control de riego e iluminación RGB, aplicado a huertos urbanos verticales para la producción del rábano', 'AUTOR: Garcés Moreira, Jordy Fabián', 'Trabajo de titulación previo a la obtención del título de INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO', 'TUTOR: Ing. Mendoza Merchán, Eduardo Vicente, Mgs.', 'Guayaquil, Ecuador', '30 de Agosto del 2018', and 'UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO'.

El trabajo de titulación del estudiante: **GARCÉS MOREIRA JORDY FABIÁN**, observa un porcentaje del 1% de coincidencias con otros documentos encontrados en Internet.

DOCENTE-TUTOR:

f. _____
Ing. Tomás Gaspar Bastidas Cabrera, Mgs.

AGRADECIMIENTO

A Dios por ser el pilar más importante en mi vida, siendo su enseñanza el camino correcto a seguir; y mi guía para cumplir todas mis metas propuestas.

A mi esposa Katuska Álvarez, siendo la persona que Dios puso de compañera para fomentar en mi confianza, apoyo tanto sentimental y físico; y por tener una palabra de sabiduría y aliento.

A mi padre Fabián, por ser el sustento económico y formar en mí la cualidad de ser perseverante; a mi madre Gloria, por ser quien estuvo ahí en el hogar apoyando con los problemas cotidianos; a mi hermano Kevin; por su ayuda y conocimiento para el desarrollo de mis tareas y a mi hermana Stephanie y mi sobrino Santiago por sus consejos y enseñanzas.

A mi tutor Ing. Tomás Bastidas por sus consejos y ayuda durante el desarrollo de este proyecto.

Jordy Fabián Garcés Moreira

DEDICATORIA

A Dios porque sé que tiene planes perfectos para mi vida.

A mi mamita Ceci y mi abuelito Rodrigo porque fueron ellos quienes me enseñaron el significado de amor, y siempre están presentes en mi corazón; sus enseñanzas y consejos son la base que ayudaron a ser la persona que soy y lo seguirán siendo para mejorar cada día.

A mis tíos Fernando y Carlos, porque me brindan su amor y desde pequeño me hicieron conocer que para ellos soy especial e importante.

A mis tías Alicia y Olga, por su afectividad y amabilidad en cada momento en familia.

A mis primos Josué, Matías, Francisco y Sebastián porque construyen buenos momentos y los llevo en mi corazón.

Jordy Fabian Garcés Moreira



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
AUTOMATISMO

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

ING. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESÚS, Msc.

DECANO

f. _____

ING. MENDOZA MERCHAN, EDUARDO VICENTE, Msc.

COORDINADOR DE TITULACIÓN

f. _____

ING. NINO VEGA URETA, Mcs.

OPONENTE

ÍNDICE GENERAL

<i>Resumen</i>	XVI
<i>Abstract</i>	XVII
<i>Introducción</i>	2
Capítulo I Aspectos Generales	4
1.1. Planteamiento del Problema	4
1.2. Justificación	5
1.3. Delimitación	6
1.4. Objetivos	6
1.4.1. Objetivo general.	6
1.4.2. Objetivos específicos.	6
1.5. Hipótesis	7
1.6. Tipo de Investigación y Metodología de Investigación	7
Capítulo II Marco Teórico	9
2.1. Estado de Arte	9
2.2. Agricultura Urbana	18
2.2.1. Agricultura vertical.	19
2.2.2. Riesgos y oportunidades de la agricultura urbana.	20
2.3. Microcontroladores	20
2.3.1 Sistemas de Control Basados en Microcontroladores	21
2.4. Sensores Utilizados en Agricultura Urbana	22
2.4.1. Sensores de temperatura.	23
2.4.2. Sensores de humedad.	24
2.4.3 Sensores de iluminación.	25
2.5. Iluminación LED	25
2.5.1. La influencia de la luz en el desarrollo de las plantas.	26
Capítulo III Análisis y Diseño del Huerto Urbano Vertical Automatizado	28
3.1. Condiciones Generales del Sistema	28

3.1.1. Descripción del sistema. _____	28
3.1.2. Características del sistema. _____	31
3.1.3. Funciones del sistema. _____	33
3.2. Análisis de la Estructura Física del Huerto Urbano Experimental _____	33
3.2.1. Análisis de estructura física. _____	33
3.2.2. Análisis del recipiente, sustrato, nutriente y semillas. _____	37
3.2.2.1. Semillas de rábano. _____	40
3.3. Análisis del Sistema de Control del Huerto Urbano Experimental _____	41
3.3.1. Análisis del Sistema de control. _____	41
3.3.2. Análisis del Sistema de iluminación. _____	44
3.3.3 Análisis del Sistema de riego y temperatura. _____	48
3.4. Diseño del Sistema de Monitoreo _____	53
3.5. Diseño del Sistema de Control _____	55
3.6. Interfaz del Usuario _____	56
1.- Monitor _____	57
2. - Información _____	58
3.- Trabaje en modo manual _____	59
4.- Trabajar en modo Automático (programada por usuario) _____	60
3.6. Pruebas de Funcionamiento _____	61
3.6.1. Pruebas de rendimiento del sensor DHT11. _____	62
3.6.2. Pruebas de rendimiento del sensor FC-28. _____	65
3.6.3. Prueba de rendimiento del sistema de control de iluminación. _____	67
3.6.4. Prueba de funcionamiento del proceso de control de riego. _____	68
3.6.5. Prueba de funcionamiento del proceso de control de riego. _____	70
3.6.6. Prueba de funcionamiento del proceso de control de riego. _____	71
3.6.7. Proceso de control de ventilación. _____	72
Capítulo IV Presentación y Discusión de Resultados _____	74
4.1. Presentación de resultados _____	74
4.1.1. Resultados referentes al estado del arte. _____	74
4.1.2. Resultados de hardware. _____	74
4.1.3. Resultados de software. _____	75

4.1.4. Resultados de interfaz de usuario. _____	76
4.1.5. Resultados de las pruebas de prototipo. _____	77
4.1.6. Resultados generales del sistema: descripción, características y funciones. _____	78
4.2. Discusión de resultados _____	79
4.2.1. Análisis de las características y funciones del sistema _____	80
4.2.2. Cumplimiento de los objetivos. _____	80
4.2.2.1. Objetivo general. _____	80
4.2.2.2. Objetivos específicos. _____	81
4.2.3. Análisis de la metodología. _____	81
4.2.4. Análisis de la hipótesis. _____	81
4.2.5. Análisis de la solución del problema de investigación. _____	82
4.2.6. Discusión final. _____	82
<i>Capítulo V Conclusiones y Recomendaciones _____</i>	83
5.1. Conclusiones _____	83
5.2. Recomendaciones _____	83
5.3. Trabajos futuros _____	84
<i>Bibliografía _____</i>	86
<i>ANEXOS _____</i>	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Resultados de temperatura obtenidos por Sensor HT-9600 vs DHT11	63
Tabla 2	Resultados de humedad obtenidos por Sensor HT-9600 vs DHT11.....	64
Tabla 3	Valores obtenidos del sensor FC-28 en tierra seca y humedad.....	66
Tabla 4	Valores obtenidos en tiempo de respuesta del control de riego.	69
Tabla 5	Promedio obtenido del caudal en las pruebas del control de riego.....	71

ÍNDICE FIGURAS

<i>Figura 1. Instalaciones de Urban Crop Solutions.</i> -----	9
<i>Figura 2. Instalaciones de AeroFarms.</i> -----	10
<i>Figura 3. Instalaciones de Neofarms.</i> -----	10
<i>Figura 4. Prototipo de FarmBot Genesis XL.</i> -----	11
<i>Figura 5. Parques de la ciudad de Guayaquil.</i> -----	11
<i>Figura 6. Nuevo distrito sur de Amberes, Bélgica.</i> -----	18
<i>Figura 7. Equivalencia de granja vertical y horizontal.</i> -----	19
<i>Figura 8. Esquema general de un microcontrolador con sus elementos internos.</i> ---	21
<i>Figura 9. Iot Smart Industry Robot 4.0.</i> -----	21
<i>Figura 10. Variables que intervienen en el desarrollo vegetal.</i> -----	22
<i>Figura 11. Identificador de variables ambientales.</i> -----	23
<i>Figura 12. Sensor de temperatura y humedad del ambiente.</i> -----	24
<i>Figura 13. Sensor de temperatura, pH y humedad del suelo.</i> -----	24
<i>Figura 14. Sensor de iluminación LDR.</i> -----	25
<i>Figura 15. Instalaciones City Farms.</i> -----	26
<i>Figura 16. Espectro de la radiación visible y longitudes de onda asociadas al mismo.</i> -----	27
<i>Figura 17. Descripción del sistema de monitoreo y control aplicado a un huerto urbano.</i> -----	29
<i>Figura 18. Diagrama de flujo del sistema de monitoreo y control aplicado a un huerto urbano.</i> -----	30
<i>Figura 19. Diseño de la estructura física del proyecto.</i> -----	34
<i>Figura 20. Diseño del armazón del huerto vertical.</i> -----	35
<i>Figura 21. Vista frontal y lateral del armazón del huerto vertical.</i> -----	35
<i>Figura 22. Ensamble de la cubierta y colocación de puertas en el huerto vertical.</i> -	36
<i>Figura 23. Modificaciones en la cara superior y posterior</i> -----	36
<i>Figura 24. Maceteros marrones con forma trapezoide</i> -----	37
<i>Figura 25. Nutrientes requeridos por las plantas</i> -----	38
<i>Figura 26. Fórmula de composición materia orgánica N-P-K</i> -----	38
<i>Figura 27. Abono Orgánico Para Jardines</i> -----	39
<i>Figura 28. Mezcla entre Formula y Cultivo</i> -----	39
<i>Figura 29. Semillas de Rábano</i> -----	40

<i>Figura 30. Plantas de Rábano del Huerto Urbano Implementado</i>	41
<i>Figura 31. Arquitectura General del Sistema de Control de un Huerto Urbano Automatizado</i>	42
<i>Figura 32. Diagrama de flujo del sistema de control manual y automático</i>	43
<i>Figura 33. Rango de longitud de onda para estimular la pigmentación de la planta</i>	44
<i>Figura 34. Comparación entre Leds</i>	45
<i>Figura 35. Dimensiones del LED RGB 5050</i>	46
<i>Figura 36. Soporte para LED</i>	46
<i>Figura 37. Panel de iluminación LED RGB</i>	47
<i>Figura 38. Diagrama de flujo del sistema de iluminación</i>	48
<i>Figura 39. Diagrama de flujo del funcionamiento del sensor FC-28</i>	49
<i>Figura 40. Diagrama de flujo del funcionamiento del sensor de nivel de tanque</i>	50
<i>Figura 41. Sistema de riego implementado</i>	50
<i>Figura 42. Interior del Sistema de riego implementado</i>	51
<i>Figura 43. Diagrama de flujo del funcionamiento del sensor DHT11</i>	52
<i>Figura 44. Elemento de ventilación en funcionamiento</i>	52
<i>Figura 45. Diagrama de flujo del sistema de riego y ventilación</i>	53
<i>Figura 46. Diagrama del sistema de monitoreo del huerto urbano vertical</i>	54
<i>Figura 47. Diagrama del circuito del sistema de control del huerto urbano vertical</i>	55
<i>Figura 48. Diagrama de flujo de la interfaz del usuario</i>	56
<i>Figura 49. Panel de control del sistema implementado</i>	57
<i>Figura 50. Menú principal de la interfaz del usuario</i>	57
<i>Figura 51. Información contenida en opción monitor</i>	58
<i>Figura 52. Datos contenidos en opción información</i>	58
<i>Figura 53. Submenú contenido en la opción manual</i>	59
<i>Figura 54. Submenú contenido en la opción riego manual</i>	59
<i>Figura 55. Submenú contenido en la opción iluminación manual</i>	60
<i>Figura 56. Valores obtenidos en trabajo en modo automático</i>	60
<i>Figura 57. Mensaje mediante sincronización de luces.</i>	61
<i>Figura 58. Prototipo terminado.</i>	62
<i>Figura 59. Valores obtenidos de temperatura del huerto y cultivos.</i>	64

<i>Figura 60. Valores obtenidos de humedad del huerto y cultivos.</i>	65
<i>Figura 61. Valores obtenidos de humedad del suelo del huerto y cultivos.</i>	66
<i>Figura 62. Pruebas en el sistema de control de iluminación.</i>	67
<i>Figura 63. Pruebas de variación de la intensidad de luz emitida por los paneles.</i>	68
<i>Figura 64. Pruebas de tiempo de respuesta del sistema de riego.</i>	70
<i>Figura 65. Pruebas de volumen de agua suministrado por sistema de riego.</i>	71
<i>Figura 66. Obtención del volumen de agua por segundo.</i>	72
<i>Figura 67. Prueba de funcionamiento del sistema de ventilación.</i>	72
<i>Figura 68. Prueba de tiempo de respuesta del sistema de ventilación.</i>	73

Resumen

El presente proyecto está enfocado en la automatización y control de los procesos que se originan dentro de un huerto urbano vertical experimental, mediante el diseño e implementación de sistemas basados en microcontroladores, ubicado en la Facultad Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. El sistema presenta instrumentos electrónicos útiles para monitorear y controlar el desarrollo y conservación de las plantas con el objetivo de satisfacer sus necesidades en cuanto a temperatura, iluminación y riego. Será implementado en una estructura vertical elaborada de madera, basados en modelos de sistemas indoor; está conformada en tres secciones, las cuales son: bodega y dos cultivos que contienen plantas de rábano. Se diseñó un software que permite informar, monitorear y controlar de forma manual y automático, los procesos que se desarrollan dentro del huerto. Finalmente, los resultados obtenidos fueron satisfactorios en comparación al modelo tradicional, en cuanto al aprovechamiento de espacio, facilidades al usuario en el desarrollo y conservación del cultivo; además, el uso de microcontroladores facilita el manejo de los procesos automáticos, ajustándose a las exigencias y requerimientos de los procesos agrícolas, siendo más específico los procesos que se desarrollan dentro del huerto urbano vertical.

Palabras Claves: Microcontroladores, Sistema de Control en agricultura, Riego automático, Iluminación RGB LED en agricultura, Agricultura Urbana.

Abstract

The present project is focused on the automation and control of the processes that originate within an experimental vertical urban garden, through the design and implementation of systems based on microcontrollers, located in the Technical Faculty for the Development of the Catholic University of Santiago de Chile. Guayaquil. The system presents useful electronic instruments to monitor and control the development and conservation of plants in order to meet their needs in terms of temperature, lighting and irrigation. It will be implemented in a vertical structure made of wood, based on models of indoor systems; It is made up of three sections, which are: cellar and two crops that contain radish plants. A software was designed that allows to inform, monitor and control, manually and automatically, the processes that take place in the garden. Finally, the results obtained were satisfactory compared to the traditional model, in terms of the use of space, facilities for the user in the development and conservation of the crop; In addition, the use of microcontrollers facilitates the management of automatic processes, adjusting to the demands and requirements of agricultural processes, being more specific processes that take place within the vertical urban garden.

Keywords: Microcontrollers, Control System in agriculture, Automatic irrigation, LED lighting in agriculture, Urban Agriculture.

Introducción

Desde el inicio de los tiempos se ha practicado la agricultura como un conjunto de conocimientos y técnicas que utiliza el ser humano para obtener recursos del suelo, beneficiándolo de alimentos para subsistir en entornos desfavorables. Al paso del tiempo la tecnología ha llegado a industrializar la agricultura como una tecnificación en la producción masiva de alimentos.

La mala práctica agrícola y la producción desmesurada ha causado efectos sobre el medio ambiente, provocando pérdidas en la biodiversidad; así mismo, el uso de plaguicidas artificiales y fertilizantes químicos ocasionan la contaminación del aire y agua, la degradación del suelo, el aumento de temperatura, propagación de insectos e incrementación de la supervivencia de plagas.

En la actualidad, la agricultura urbana es considerada la práctica de cultivo dentro del perímetro urbano y ha mitigado varios de los problemas anteriormente mencionados, a través del uso de técnicas y modelos ecológicos. Uno de los modelos es la agricultura vertical, considerada un método efectivo para el aprovechamiento de espacios y el aumento de producción en áreas limitadas, teniendo varios beneficios hacia el medio ambiente, economizando recursos y reduciendo costos de inversión.

La agricultura ha dejado de ser un trabajo artesanal para convertirse en una práctica tecnificada, incluyéndola como un factor fundamental en la sostenibilidad económica de un país, debido a que se preocupa por la producción de alimentos para la población, considerando siempre el equilibrio del ecosistema. Todo esto parece confirmar que se necesita incorporar nuevas tecnologías e innovarse constantemente.

En cuanto a la ingeniería electrónica, la agricultura se ha beneficiado de soluciones tecnológicas que aportan a la sostenibilidad del planeta ya que permiten automatizar y controlar procesos industriales que mejoran la producción de sus cultivos.

Por tal razón, para mejorar e innovar los procesos agrícolas aplicados en las ciudades, se investigó practicas relacionadas a la agricultura urbana, por lo que se optó por desarrollar un sistema de control automatizado aplicado a un modelo de huerto urbano vertical basado en microcontroladores y sensores para el monitoreo de variables, a su vez, el uso de actuadores adaptables al cultivo, con el objetivo de realizar experimentos que nos ayuden a obtener un modelo óptimo para el cultivo de frutas y verduras.

Se usará un huerto vertical con el objetivo de cultivar rábanos en espacio reducidos y dentro de la ciudad; en este caso se usará esta hortaliza debido a sus beneficios en la salud humana, facilidad en la siembra y rapidez de la cosecha. Por otra parte, el rábano fue seleccionado para poner en funcionamiento los subsistemas propuestos en el proyecto, a su vez, estos son fundamentales para llevar a cabo desde la siembra hasta la cosecha de esta planta que no es cultivada en la ciudad de Guayaquil debido a que pertenece a lugares fríos o templados.

En definitiva, el presente proyecto pretende beneficiar al crecimiento de la agricultura de precisión y sea tomado como un modelo para futuros trabajos de investigación enfocados en la automatización de procesos agrícolas implementados en la ciudad de Guayaquil.

Capítulo I

Aspectos Generales

El presente capítulo es la base fundamental para la planificación del proyecto, debido a que se formula el problema de investigación, se define la delimitación, hipótesis y objetivos a lograr. A su vez, se especifican las metodologías que servirán de apoyo para llevar a cabo la investigación y se detalla el proceso a ejecutar.

1.1. Planteamiento del Problema

Hoy en día, la práctica de la agricultura urbana se ve perjudicada por varios factores ambientales que se presentan en las ciudades, los cuales afectan directamente sobre los procesos vegetativos de las plantas cultivadas en huertos verticales.

El exceso de radiación solar, las altas y bajas temperaturas, los cambios climáticos, la variación de las estaciones del año y la contaminación urbana, provocan estrés en las plantas causando un desequilibrio vegetativo y teniendo como resultado un crecimiento descontrolado, ya que el cultivo no se mantiene en el rango de temperatura adecuado para su desarrollo. La humedad del suelo también se ve perjudicada por estos cambios bruscos de temperatura, por lo que, se retiene agua en un solo sector, creando áreas con mayor densidad que obstaculizan el paso de las raíces de la planta, evitando su crecimiento. (Perilla & Trujillo, 2017)

A su vez, al tener sus cultivos en zonas rurales se incluyen costos y gastos indirectos como movilización al trasladar el producto. Otro problema presentado en el interior de los huertos urbanos es provocado por los sistemas de iluminación artificial empleados, debido a que están diseñados con lámparas de uso doméstico, presentando inconvenientes como: alto consumo de energía eléctrica, elevada radiación de calor y rangos de espectros de luz inadecuados; ocasionando problemas de aumento en la temperatura del ambiente, deficiencia de floración, falta de crecimiento en el tallo, las hojas y hasta la muerte del cultivo. (Ramos, 2015)

Hay que mencionar que el agricultor en la ciudad para aumentar la producción en sus cosechas busca alquilar u obtener terrenos con mayor espacio, los cuales, al estar ubicados en la ciudad, los costos son muy elevados; con respecto las zonas rurales. Estos costos deben de ser de cierta forma justificados, por lo tanto, esto implicaría una elevación sustancial del costo del producto final. Por tal razón, se hace necesario mejorar la productividad de los terrenos destinados a la agricultura, a través de la optimización de las variables que están relacionadas con el crecimiento de la planta y

su fruto. Por otra parte, de la literatura consultada en estas áreas del conocimiento, las soluciones propuestas están alejadas del uso adecuado de la automatización de los procesos, provocando que no se genere un beneficio suficiente como para amortizar los costos de producción; lo que se ve directamente afectado en una elevación exagerada del producto final. (Pardo, Hernández, & Rico, 2015)

Se ha mencionado en párrafos anteriores que la luz que incide en la plántula afecta directamente su crecimiento y lozanía, debido a un exceso o deficiencia de esta en la planta; los trabajos consultados en este aspecto no solucionan el problema de forma adecuada, pues no utilizan eficientemente las herramientas que existen en la actualidad para automatizar y proveer a la planta de la luz requerida en cantidad y frecuencia, el constante monitoreo, entre otros.

Por tales problemáticas, nace la siguiente interrogante de la investigación:

¿Se puede mejorar significativamente el desarrollo del rábano a través de la aplicación controlada de luz artificial led en cultivos urbanos?

1.2. Justificación

En la actualidad, la automatización es considerada una práctica indispensable para competir en los mercados más globalizados, siendo una herramienta que abarca un sin número de procesos y sistemas que requieren la mínima participación del ser humano.

A nivel mundial existen varias industrias que invierten en la implementación de huertos urbanos verticales que son realizados con tecnología de punta con la finalidad de obtener altos estándares de calidad y producción; sin embargo, los costos son muy elevados, lo que ha llevado a tener una baja acogida a nivel nacional.

A su vez, en el mercado ecuatoriano, circulan prototipos de sistemas embebidos que tratan una sola variable específica, estos son sistemas de riego automático; es decir, no existe un sistema integrado que contenga varios subsistemas de control para manipular varias variables en un mismo entorno. (El Comercio, 2013)

Por consiguiente, se optó por desarrollar un sistema automatizado utilizando componentes de bajo costo, capaz de monitorear y controlar los procesos vegetativos de las plantas cultivadas en huertos verticales, a su vez, mejorar el aprovechamiento de los espacios físicos, aumentar la productividad de los huertos urbanos y disminuir costos en la obtención de áreas grandes en la ciudad. Además, se busca facilitar la obtención de información, experimentación y aprendizaje de los docentes y estudiantes

de la Facultad Técnica Para el Desarrollo, de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.3. Delimitación

El desarrollo de este proyecto se enmarca en las áreas de electrónica, automatización y agricultura urbana, buscando dar solución a los problemas de crecimiento y desarrollo de las plantas presentadas en los huertos urbanos verticales y que son causados principalmente por alteraciones de temperatura y humedad del ambiente, falta de humedad en el suelo y falta de iluminación.

El presente trabajo de titulación se enmarca en el diseño e implementación de un sistema de control y monitoreo aplicado a un modelo de huerto urbano vertical, fabricado de madera de pino, el cual contenga componentes electrónicos que beneficien al usuario del estudio y análisis del comportamiento del sistema. Así mismo, una vez finalizado el proyecto, se pretende comparar los resultados del cultivo obtenido en relación con el método tradicional. Además, se debe considerar que las condiciones climáticas de la ciudad de Guayaquil presentan temperaturas ambientales mayores a los 20°C.

1.4. Objetivos

Los objetivos generales y específicos establecidos para obtener el desarrollo del proyecto se presentan a continuación.

1.4.1. Objetivo general.

Desarrollar un sistema de control basado en microcontroladores para automatizar la iluminación artificial y procesos vegetativos del rábano en huertos verticales, a través del uso de sensores y actuadores adaptables a este tipo de procesos.

1.4.2. Objetivos específicos.

- Diseñar el modelo de un sistema de control automatizado mediante microcontroladores, que permita, monitorear y controlar las variables que influyen en los procesos vegetativos de las plantas cultivadas en huertos urbanos verticales.
- Elaborar un sistema de iluminación artificial aplicado a los huertos urbanos verticales, a partir de luces LED RGB.
- Validar el funcionamiento del sistema de control implementado a una granja urbana vertical, a través de experimentos y pruebas realizadas a los subsistemas.

1.5. Hipótesis

Mediante el desarrollo de este sistema, se pretende obtener un modelo de huerto urbano automatizado que pueda adaptar un hábitat a las condiciones ambientales requeridas para el óptimo desarrollo del rábano, esperando tener un modelo de ambiente controlado en el cual se pueda establecer la intensidad de la luz y los colores necesarios para potenciar la fotosíntesis en la planta. Así mismo un sistema de ventilación y riego, que constantemente ofrezcan al cultivo un entorno conforme para su crecimiento. Gracias a la implementación de este sistema automático se pretende conservar el rábano en las condiciones óptimas en su desarrollo, logrando así demostrar mejoramiento en la calidad del cultivo dentro de ambientes controlados.

A su vez, se desea conseguir que el huerto urbano automatizado permita reducir en un 60% la asistencia humana y mantener en al menos el 80% el valor óptimo de las variables monitoreadas.

Al ser correlacional las hipótesis serían:

H1. Existe relación significativa entre el sistema de control basado en microcontroladores para automatizar la iluminación artificial y los procesos vegetativos del rábano en huertos verticales.

H0. No existe relación significativa entre el sistema de control basado en microcontroladores para automatizar la iluminación artificial y los procesos vegetativos del rábano en huertos verticales.

1.6. Tipo de Investigación y Metodología de Investigación

Actualmente, la automatización aplicada a diferentes procesos o técnicas agrícolas enfocadas en la producción de cultivos urbanos ha tenido gran relevancia dentro del estudio y experimentación de las universidades, siendo muy tratada en trabajos de grado o titulación.

El presente proyecto contiene un estudio de tipo correlacional y una investigación con enfoque cuantitativo. Además, pretende diseñar un sistema que permita tomar datos de las variables involucradas; con la finalidad de poder analizar el comportamiento de estas y conocer la relación que mantienen entre sí en un mismo ambiente; de manera que se pueda realizar ajustes, pruebas de funcionamiento y comparativas de diferentes algoritmos para exponer a luz artificial a cultivos dispuestos en condiciones iguales.

Para el desarrollo de la presente investigación se utilizará las metodologías experimentales y bibliográficas. La utilización de la metodología bibliográfica se llevará a cabo mediante la recopilación de información, tales como, documentos de sitios web, trabajos de titulación, tesis de grado y revistas científicas; con el objetivo de seleccionar, evaluar y analizar los contenidos para así obtener datos técnicos y conocimientos teóricos necesarios para el diseño e implementación del sistema.

En cuanto al empleo de la metodología experimental, se realizará pruebas de funcionamiento del sistema en el laboratorio de la facultad para comparar los datos obtenidos de las mediciones entre dos plantas cultivadas de diferente forma.

A partir de las metodologías mencionadas, se ha planteado el siguiente proceso que servirá como guía para la realización de este proyecto.

- Evaluar los problemas a investigar con sus posibles soluciones;
- Investigar la información vinculada con el tema del proyecto, en documentos de sitios web, trabajos de titulación, tesis de grado y revistas científicas;
- Determinar las características y funciones de las variables a controlar dentro del proceso vegetativo de las plantas cultivadas en huertos urbanos verticales;
- Puntualizar el proceso del sistema de automatización y los subsistemas a través de diagramas de flujo;
- Seleccionar y probar el funcionamiento de los sensores, actuadores y periféricos que comprenderán el sistema automatizado;
- Diseñar el sistema de control de ventilación, riego e iluminación;
- Desarrollar la programación del microcontrolador;
- Ejecutar y analizar las pruebas de funcionamiento del sistema diseñado;
- Implementar el sistema en el huerto urbano vertical;
- Demostrar el funcionamiento del sistema implementado;
- Calcular los gastos realizados en el proyecto;
- Discutir y analizar los resultados obtenidos;
- Concluir y recomendar mejoras.

Capítulo II

Marco Teórico

En el presente capítulo se analizará sobre los antecedentes y estudios realizados en base a tecnologías utilizadas para el desarrollo de los cultivos y la evolución de la agricultura urbana, así como conceptos y características indispensables en los sistemas de control inteligentes, aplicados en la automatización, domótica y agricultura de precisión.

2.1. Estado de Arte

Antes de examinar los avances científicos en el área de la agricultura urbana, es necesario conocer algunos proyectos que emprendedores de diferentes países han puesto en marcha, los cuales ayudarán a comprender como han utilizado la tecnología aplicada al control y automatismo en desarrollo de ambientes para el crecimiento vegetal.

En la figura número 1 se muestra las instalaciones de Urban Crop Solutions ubicada en la ciudad de California, donde se ha realizado la creación de sistemas agrícolas urbanos, conocidos como “indoor”, debido a que mantienen una estructura de granja vertical totalmente automatizada utilizando luces violáceas de lámparas compuestas por Diodos de Emisión de Luz (LED), trabajando en un hábitat controlada siendo alimentada a base de hidroponía, buscando así el crecimiento de rúculas y lechugas. El método de iluminación implementado es la luz violeta, que nace de la fusión entre los colores rojos y azules, muy usados porque genera menos calor que otros colores, a su vez, permite posicionar los diodos más cerca del cultivo y así reducir el estrés vegetal. (Urban Crop Solutions, 2018)



Figura 1. Instalaciones de Urban Crop Solutions.
Fuente: Urban Crop Solutions, 2018.

Otro modelo innovador de huertos verticales llevado a cabo en Norteamérica es mediante el cultivo de alimentos sin uso del suelo en las ciudades; tecnología capaz de controlar la iluminación, temperatura y humedad. En la figura número 2 se observa las instalaciones de AeroFarms, las cuales generan una productividad 400 veces mayor que cualquier forma de cultivo tradicional, cuenta con diseños holísticos y equipos modernos, siendo considerada la granja vertical más grande del mundo. (AeroFarms, 2018)



Figura 2. Instalaciones de AeroFarms.
Fuente: AeroFarms, 2018.

En Alemania e Italia se implementó un prototipo de huerto vertical con similares medidas a las de un armario de cocina, tal como se visualiza en la figura número 3, con la finalidad de que pueda utilizarse en espacios como supermercados, restaurantes y cocinas en general puedan contar con pequeñas granjas en su interior buscando mejorar la seguridad alimentaria a un menor costo. (NeoFarms, 2016)



Figura 3. Instalaciones de Neofarms.
Fuente: Neofarms, 2016.

En la figura número 4 se visualiza un sistema automatizado de huerto urbano, diseñado mediante la nueva tecnología aplicada al Internet de las Cosas (IOT) que permite monitorear y controlar tu huerto desde tu dispositivo móvil; cuenta con detección y eliminación de plantas dañinas, riego e iluminación automática. (FarmBot , 2011)



Figura 4. Prototipo de FarmBot Genesis XL.

Fuente: FarmBot, 2011.

En Ecuador, la Muy Ilustre Municipalidad de Guayaquil por medio de la Dirección de Acción Social y Educación (DASE) junto con el programa educativo Aprendamos, presentaron cursos gratuitos para la comunidad denominado huertos urbanos, programa dirigido a personas que opten por la agricultura aplicada en el hogar, además, cuentan con el deseo de aprender de una actividad saludable y provechosa, cultivando alimentos frescos y sanos durante todo el año, teniendo como propósito el mejorar continuamente la calidad de vida de los ciudadanos. (Muy Ilustre Municipalidad de Guayaquil, 2017). En la figura número 5 se puede observar a moradores de la ciudad de Guayaquil cultivando vegetales en el parque.



Figura 5. Parques de la ciudad de Guayaquil.

Fuente: Muy Ilustre Municipalidad de Guayaquil, 2017.

En cuanto a desarrollo sostenible, según la Organización de las Naciones Unidas (ONU), entre las opciones que se deberá de tomar para la erradicación de la hambruna en el mundo es pasar de un modelo de agricultura industrial a un crecimiento urbano ecológico; siendo considerada hoy en día como una alternativa fiable para la producción de alimentos. (News ONU, 2005)

A continuación, se presenta un resumen de los últimos avances científicos relacionados a la agricultura urbana vertical y su automatización, que permitirá acopiar ideas que contribuyan a un diseño óptimo que satisfaga plenamente los objetivos planteados y se oriente a solucionar el problema de investigación.

En el estudio “Desarrollo de un sistema de control para el riego y la iluminación en una granja vertical” implementan un sistema de iluminación artificial que induce al desarrollo de las plantas, el objetivo es generar el espectro de luz apropiado para que se realice la fotosíntesis. La metodología utilizada fue mediante la selección del LED donde el criterio importante era definir el ángulo de irradiación, color, luminosidad y longitud de la onda; siendo características necesarias para producir la pigmentación en la planta. Todo esto parece confirmar que el sistema de iluminación fue el apropiado, ya que la planta obtuvo la altura deseable en el tiempo asignado según datos relacionados con los obtenidos en un cultivo tradicional. Con respecto al sistema de riego, se realizó a través del control Proporcional, Integral y Derivativo (PID) utilizando la técnica de irrigación por chorros mediante agujeros en tubos elaborados con Policloruro de Vinilo (PVC). La desventaja de este método ocasiono el humedecimiento excesivo de la tierra, impidiendo el crecimiento del follaje en la planta, por lo que, concluyeron que este tipo de riego es desfavorable y así, recomendando el método de aspersión con válvulas o goteo. (Martínez & Pérez, 2017)

Por otra parte, en el proyecto titulado “Desarrollo de un sistema electrónico para la monitorización de variables ambientales en huertos urbanos” se enfoca en elaborar un sistema electrónico de bajo costo mediante el uso de microcontroladores y sensores; teniendo como objetivo monitorear las primordiales variables ambientales, tales como, la temperatura y humedad del suelo, del ambiente y radiación. Asimismo, posibilitar la medición mensual, diaria y horaria; permitiendo retener la información en una base de datos local con comunicación vía wifi y visualización de los datos mediante una plataforma IOT. En conclusión, se obtiene un trabajo con fundamentos que incide

positivamente en el monitoreo del proceso de crecimiento de las plantas y que sirva como base para futuros proyectos. (Suardiaz & Ochoa, 2015)

En el trabajo “Diseño e implementación de un sistema de control para maximizar la capacidad productiva de las plantas en granjas verticales por medio de luz artificial” implementa un sistema micro controlado, adaptado a un prototipo de granja vertical elaborado por el autor en su domicilio, permitiendo el monitoreo y efectuando acciones que produzcan una apropiada conducta de las variables que participan en el crecimiento de las plantas, con lo cual, se obtuvo un micro clima que esté completamente adaptado a la granja el cual maximice el proceso de fotosíntesis y el crecimiento de las plantas. Además, elabora un prototipo de iluminación artificial con el fin de emular la luz solar utilizando paneles LED y una fuente elevadora de tensión conocida como circuito boost como un convertidor de Corriente Continua (DC), planteando un sistema que produzca una forma de onda semejante a las ondas solares con la ayuda de un controlador que aumente la capacidad de producción vegetativa con menos recursos. Se concluyó que el sistema boost como elevador de tensión no es la mejor estrategia debido a que el consumo de energía eléctrica es muy elevado. (Ramos, 2015)

En la tesis “Sistema de monitoreo y control de huertos urbanos” diseña un sistema de administración de huertos urbanos que permita la conservación y aumento en la productividad del cultivo mediante el monitoreo de factores y la acción remota de un sistema de control de riego e iluminación. A su vez, ayude almacenar la información obtenida por los sensores en el huerto y posteriormente sea enviada vía wifi a un servidor web, el cual, mediante una interfaz gráfica le permita al usuario, en tiempo real, visualizar los datos históricos, alarmas, alertas y recomendaciones; además, generar órdenes e instrucciones sobre los actuadores con el objetivo de tener un completo control sobre todo lo que ocurre en su huerto sin necesidad de movilizarse al lugar de la implementación. Realizaron comparaciones de crecimiento con el método tradicional versus al sistema automatizado, se obtuvo que la masa del fruto del sistema propuesto fue mayor, la altura y el número de hojas fue similar, por consiguiente, demostraron que el cultivo automatizado genero mayor e igual productividad en hortalizas que el modelo tradicional. (Zapata, 2015)

En el estudio “Diseño de una red de sensores inalámbrica para agricultura de precisión” diseña e implementa una red inalámbrica de sensores como una solución a

la falta de información inmediata y fiable, ofreciendo un sistema en el cual, el modelo topológico de la red y el protocolo de diseño presenten la misma confiabilidad proporcionando información y utilizando un menor consumo. Además, mediante el estudio de las redes demuestra la facilidad de estas para adaptarse a cualquier aplicación como en este caso el monitoreo de cultivos agrícolas, logrando así un aporte a la agricultura de precisión, posibilitando medir variables que permitan el desarrollo del cultivo y presentar los datos obtenidos en un software amigoso que posibilite un sencillo análisis considerando que son los productores y agricultores quienes utilizaran el dispositivo. Surgió la idea de un protocolo diseñado por un grupo de redes sin hilos el cual demuestra ser eficiente en la entrega de información, pudiendo manejar infinitos nodos de manera jerárquica, además se utilizó el sensor EC-5 para monitorear la humedad del suelo, pero debido a la falta de documentos respecto a su uso y manejo de redes sin hilos, produjo una dificultad en el proyecto. (Daniel, 2011)

En la tesis “Automatización de los procesos de un huerto hidropónico para el control de variables, utilizando sistemas basados en microcontroladores” se implementó un sistema que cuenta con actuadores, el cual, realiza un control automatizado de la circulación del agua, también ejecuta la medición de las variables que afectan directamente al sistema mediante un software de monitorización remota que fue diseñado mediante un software gráfico denominado Banco de Trabajo de Ingeniería de Instrumentos Virtuales de Laboratorio (LabVIEW), utilizando herramientas de metodología como la experimental y la bibliográfica, importantes para conocer técnicas hidropónicas de la actualidad y dispositivos electrónicos que se implementen en procesos de automatización. Se obtuvo que la implementación realizada presenta una solución para mejorar y optimizar el tratamiento de las plantas dentro de cultivos hidropónicos mediante un control de riego recircular y el monitoreo de variables, lo que permite disminuir el recurso humano, por lo que, concluyeron que la adaptación de microcontroladores es óptima para los sistemas de automatizados gracias a su eficiencia, bajo costo y fiabilidad. (Chacón & Tigse, 2017)

En el proyecto “Sistema IOT para el monitoreo y control de fuentes de luz artificial aplicado a la agricultura de precisión” selecciona las herramientas para el desarrollo del software y el hardware utilizando tecnologías de un Software Libre y de Código Abierto (FLOSS). Para el hardware se elaboró una tarjeta electrónica partiendo de un circuito impreso diseñado por los autores, el cual, se encargue el ingreso de potencia

y el control de la fuente de iluminación. Para el software se elaboró una Interfaz Hombre Maquina (HMI) que sea amigable con el hardware y permita el monitoreo y control de la fuente de luz LED mediante un Modelo de Vista Controlada (MVC) en el que se visualicé la composición del color, la longitud de onda que predomina y generación de señales de Modulación de Ancho de Pulso (PWM) para controlar la intensidad en los diodos LED mediante el uso de un miniordenador Raspberry Pi. Se obtuvo un sistema que le permita al usuario controlar la irradiación en cada uno de los controladores de iluminación; asimismo, permite almacenar y visualizar los datos en tiempo real en una bitácora en la que se puede observar fecha, hora y la composición del color. En conclusión, el prototipo fue viable e innovador en el campo del conocimiento y aportó datos científicos sobre la Radiación Fotosintética Activa (RFA). (Mena, 2018)

En el trabajo de titulación “Estudio de viabilidad de una instalación solar fotovoltaica (huerto solar)” presenta un estudio económico que tiene como objetivo fomentar el uso de energías limpias, a través del estudio de la viabilidad de instalar paneles fotovoltaicos en huertos solares, utilizando como metodología el análisis Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas (DAFO) método sencillo y efectivo para la toma de decisiones, lo cual comprende en evaluar las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades para conocer la situación real en la que se encuentra este tipo de estrategia a futuro. Se concluyó, en la actualidad la energía fotovoltaica a pesar de la reducción de costos que ha sufrido, no es la más competitiva en el mercado en cuestión de precio con respecto a las demás energías renovables, pero continúa siendo rentable en instalaciones como huertos solares, tejados de naves industriales, casas privadas con la posibilidad de almacenar energía o venderla, debido a que es una fuente de energía inagotable y respetuosa con el medioambiente, ayudando en reducción de emisión de gases de efecto invernadero y teniendo apoyo de poderes gubernamentales y sociales- (Fernández, 2012)

En la tesis “Diseño e implementación de un sistema electrónico para el monitoreo, control de la helada y riego, en huertos de fresas por medio de redes de sensores inalámbricos con hardware libre” utilizó la tecnología de radiofrecuencia para la transmisión de información, el autor implementa un sistema electrónico de tres módulos para monitorear la temperatura, recepción de datos y el control de riego. Donde el primero, el módulo de supervisión monitorea la humedad relativa y temperatura del

suelo, los cuales son enviados y recibidos mediante los módulos de radiofrecuencia hasta una distancia de 65m; también se encuentra el módulo de recepción el cual contiene la interfaz del usuario, donde almacenan información; y el último, el módulo de control de riego es responsable de activar las bombas de agua por 15 segundos mediante un sistema de riego por goteo el cual, se activa dependiendo la humedad requerida por la plantación de fresas y un sistema por aspersión si el módulo de monitoreo detecta una helada en el huerto. El autor recomienda que los datos obtenidos en el proyecto sean compartidos en la web con el objetivo que especialistas analicen los datos y los comparen con ambientes de cultivo de fresas tradicional. (Vallejo, Guamán, & Guerra, 2017)

En el proyecto “Diseño de un sistema de riego automatizado para el cultivo de legumbres en un huerto ubicado en el campus de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (UCSG)” realiza un sistema de control de riego utilizando microcontroladores. El objetivo es monitorear variables que intervengan en el riego utilizando sensores y actuadores de fácil manejo, elaborando un prototipo programable que actúe de manera automatizada ante cambios de temperatura y humedad dentro del huerto, obteniendo respuestas de accionamiento automático. Demostró el uso positivo de los microcontroladores y otros dispositivos electrónicos en proyectos de supervisión y control agrícola mediante la optimización de los métodos tradicionales de irrigación y la disminución del impacto ambiental de este proceso en las grandes industrias. Los resultados obtenidos superaron las expectativas debido a que, los elementos mecánicos, los sensores y los actuadores trabajaron de manera eficaz y no presentaron anomalías durante el proceso. Como recomendaciones presentan el mantenimiento preventivo de los sensores y actuadores para no tener plagas por el exceso de agua. (Borja, 2018)

En la tesis “Automatización de un Cultivo de Pimentón Enmarcado en el Contexto de una Granja Urbana en un Sistema Embebido” los autores realizan la automatización del proceso de cultivo del pimentón aplicado a las granjas urbanas, donde implementan un sistema de supervisión de variables y varios sistemas de control como: riego, temperatura, iluminación, abono, revisión de crecimiento mediante sistemas embebidos. En su conclusión indica que en regiones donde la temperatura cambia de manera drástica, generalmente se presenta un exceso de radiación de luz solar y cambios bruscos de temperatura, quemando las hojas de las plantas y evitando la

absorción de nutrientes, ahogando la planta, permitiendo la proliferación de plagas. Adicional la humedad no se reparte de manera ideal, sino que las zonas que presentan mayor densidad tienen mayor absorción y retención líquido, por lo que cuando estas zonas son sometidas a cambios bruscos de temperatura, estas mantienen la humedad y las separan de las demás zonas dificultando el paso de agua a las raíces, evitando así el crecimiento de las plantas. (Perilla & Trujillo, 2017)

En el artículo científico “Computer Vision Techniques Applied in the Estimation of the Cocoa Beans Fermentation Grade” presenta los resultados de la aplicación de varios métodos de visión artificial en el proceso de fermentación de granos de cacao, así como la formación y clasificación de las imágenes en los granos de cacao en el proceso de fermentación, estos métodos han sido codificados en archivos de MATLAB y ha permitido estimar el nivel de fermentación del cacao a partir de la información del color en formato RGB con un 75% de certeza. Este trabajo se basa en la técnica de los perfiles sensoriales, utilizada empíricamente por los agricultores a cargo del cultivo del cacao. (Parra, Negrete, Llaguno, & Vega, 2018)

En el artículo científico “Didactic Equipment Developed with Embedded Systems for the Learning of Engineering” se presenta el desarrollo de una planta didáctica, de bajo coste, en la que se puede hacer prácticas de control clásico y avanzado. La variable para el control es la intensidad luminosa, este equipo pretende fortalecer el conocimiento práctico de las carreras de los estudiantes relacionados con el área de control industrial. La implementación cuenta con un circuito eléctrico, que posee un sensor inteligente, un sistema embebido, y como elementos actuadores diodos LED, una interfaz de monitorización y control ha sido desarrollo utilizando la herramienta Matlab Simulink. El equipo fue probado, aplicando un tipo PID controlador, lo que comprueba el nivel de factibilidad del uso de la planta como instrumento para comprobar algoritmos de control. (Parra, Martillo, & Vega, 2017)

En el artículo científico “Adaptive Control Implemented with Embedded Systems” se presenta un trabajo de investigación donde se describe la implementación de un algoritmo de control adaptativo para ganancias programadas, aplicadas a una señal de nivel de líquido. Dos modelos diferentes fueron obtenidos para la planta y el análisis de rendimiento de los dos modelos se llevó a cabo, en comparación con el rendimiento de la planta de ensayo. Finalmente, los diagramas y resultados obtenidos en él se

muestran en simulaciones, así como en la planta real. (Vega, Parra, Cordova, Andramuño, & Navarrete, 2018)

2.2. Agricultura Urbana

La Agricultura Urbana y Periurbana (AUP), es conocida comúnmente como las prácticas agrícolas dentro de la ciudad o sus alrededores, sin embargo, según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) no se ha designado una definición universal para este término. Este tipo de actividad está comprendido por pequeñas superficies como huertos, terrazas, solares, recipientes y márgenes; zonas ubicadas dentro de la ciudad (ver figura 6), las cuales son utilizadas para la cría de ganado o cultivo vegetal teniendo como objetivo, el consumo personal de alimentos o la comercialización en mercados de la urbe. (Muñoz, 2014).



Figura 6. Nuevo distrito sur de Amberes, Bélgica.
Fuente: Bdcnetwork, 2016.

Entre las ventajas del desarrollo de esta práctica encontramos:

- Decrecimiento de la carencia de alimentos;
- Aumento en la producción de áreas verdes;
- Explotación del suelo;
- Utilización de espacios excedentes;
- Mejora en la calidad de vida;
- Aprovechamiento de recursos
- Enriquecimiento del paisaje y espacio público.

Además, presenta varios aportes a la investigación como el desarrollo de nuevos cultivos, una mejor utilización del suelo ya que se evita la repartición, contaminación, devaluación de los terrenos y el mal aprovechamiento de los recursos. (Alarcón, 2016)

Existen diversas organizaciones a nivel mundial como la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en conjunto con el Programa de Gestión Urbana (PNUD) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), las cuales promueven la agricultura urbanística como un método para reforzar la colaboración comunitaria, la erradicación de la pobreza y la importancia de conseguir una mejor calidad de vida, coexistiendo la vida vegetal y el espacio urbano. (López & Hidrovo, 2012)

2.2.1. Agricultura vertical.

Este modelo de agricultura urbana es desarrollado en áreas verticales o inclinadas ya sea en edificios, domicilios u oficinas; lo peculiar de esta práctica moderna es que impulsa al agricultor a utilizar técnicas diferentes al método tradicional, donde en varios casos la luz solar es remplazada por la iluminación artificial la cual puede ser obtenida de fuentes de energía renovables. La ventaja de este método es que, si es desarrollado a gran escala, proporcionara la multiplicación del terreno cultivable sin tener que invertir en extensos solares y como es implementado en ciudades donde se estaría cercano a mercados, comerciantes y clientes, disminuiría los costos de logística y transporte. (Ramos, 2015). En la figura 7 se puede observar la equivalencia que existe entre una granja vertical y horizontal, donde nos indica que 9 acres cultivados en una superficie horizontal equivalen a 1 acre en un cultivo vertical.

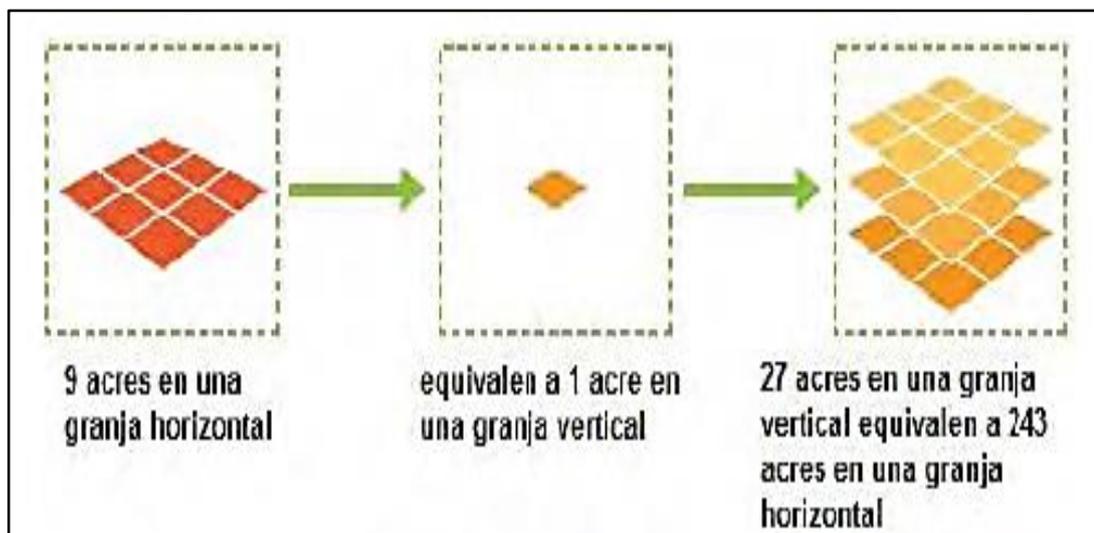


Figura 7. Equivalencia de granja vertical y horizontal.
Fuente: Y. F. Ramos, 2015.

2.2.2. Riesgos y oportunidades de la agricultura urbana.

En comparación con la agricultura rural, podemos tomar en cuenta diferentes circunstancias que se presenten como un riesgo o una oportunidad. Se considera como riesgo, las prácticas agrícolas poco convencionales que pongan en peligro la salud y el medio ambiente. (News ONU, 2005)

En cambio, se cree que esta actividad desarrolla oportunidades, tales como:

- Accesibilidad que tendrá en un mercado competitivo de consumo;
- Reducción o exclusión de transportar, envasar y almacenar;
- Generación del empleo y el impulso del microemprendimiento agrícola;
- Comercializar alimentos que antes no eran accesibles para los consumidores de escasos recursos;
- Producir y comercializar alimentos perecederos y frescos.
- Contar con clientes, proveedores y servicios más cercanos.

Según la Coordinadora de Organizaciones de Agricultores y Ganaderos (COAG), en los lugares remotos donde es deficiente la estructura rural y el transporte del cultivo, se considera el proceso inadecuado desde la explotación agrícola hasta llegar al mercado (Organización de las Naciones Unidas, 2000).

2.3. Microcontroladores

Los microcontroladores son circuitos integrados que operan de igual manera que un ordenador, pero en un menor tamaño, ya que poseen memoria, procesador y las unidades de entrada y salida. En la figura número 8 se aprecia sus elementos internos tales como el microprocesador, los periféricos y la memoria. El microprocesador posee unidad de control que está compuesta por los sistemas digitales, los registros que constituyen a todas las memorias principales del procesador y la Unidad Aritmética y Lógica (ALU) encargada de las operaciones matemáticas. Los periféricos son todas las unidades de entrada y salida que interactúan con el exterior, pudiendo disponer las salidas digitales y señales analógicas. Por último, la memoria está dividida en la memoria para el programa, datos y configuraciones. (Hetpro-store, 2017)

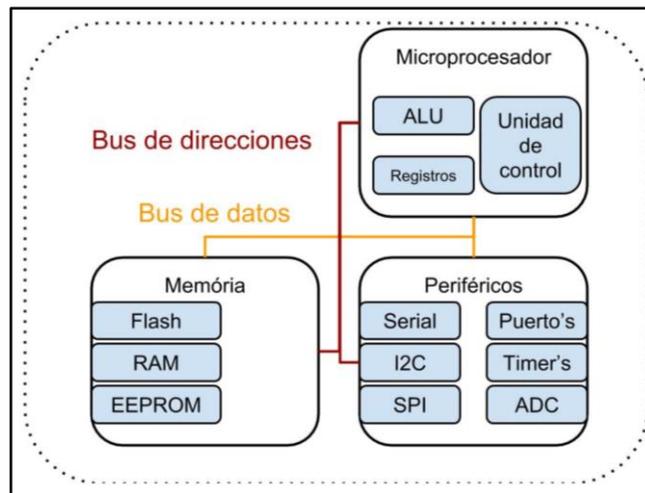


Figura 8. Esquema general de un microcontrolador con sus elementos internos.
Fuente: Hetpro-store, 2016.

2.3.1 Sistemas de Control Basados en Microcontroladores

La tecnología se ha vuelto una aliada del sector agroindustria ya que tiene como objetivo el buen cuidado y trato de los cultivos mediante el censo, análisis y control de las variables que lo rodean. (Innovation, 2018)

Hoy en día los microcontroladores presentan gran variedad de aplicaciones que son muy utilizados en los sistemas de control, su beneficio va desde herramientas pedagógicas, prototipos de monitoreo (ver figura 9), recolección de información, hasta sistemas de automatización industrial y domótica. Entre los ejemplos más sonados se encuentran las impresoras en Tercera Dimensión (3D), drones, robótica, plataformas IOT, prototipos aplicados en arte, marketing e industrial. (Heptro, 2017)



Figura 9. IoT Smart Industry Robot 4.0.
Fuente: Dreamtime, 2017.

Los microcontroladores permiten almacenar información de valores obtenidos de consumos eléctricos, humedad, temperatura, velocidad, presión, alarmas; con la oportunidad de utilizarlos en procesos de control basados en monitorización, comunicación, eficiencia energética, control remoto, avisos, automatización y

mantenimiento. Actualmente, los sistemas de control han explotado el campo de la domótica, porque busca optimizar el gasto energético y obtener una vivienda de confort, entre los más requeridos por los usuarios encontramos control de iluminación on-off, persianas, toldos, climatización, calefacción, riego automático, programación de horarios, ambientes y control de mando a distancia de equipos del hogar como televisores y aires acondicionados. (Perilla & Trujillo, 2017)

2.4. Sensores Utilizados en Agricultura Urbana

Existen en la naturaleza una gran cantidad de procesos químicos y físicos que el ojo humano no puede detectar, lo cual presenta un problema; ya que es primordial para los agricultores conocer exactamente en qué estado se encuentra su terreno. El uso de sensores en procesos agrícolas ha tenido un gran crecimiento, la tecnología día a día desarrolla sistemas de censado capaces de conocer cada milímetro del cultivo, a su vez, dar a conocer a los agricultores datos fiables que pueden ser de gran ayuda para la toma de decisiones; para aquello, existen sensores que son colocados dentro de la tierra (ver figura 10), agua e incluso el aire, con la ayuda de drones. (Bongiovanni, Mantovani, Best, & Roel, 2006)

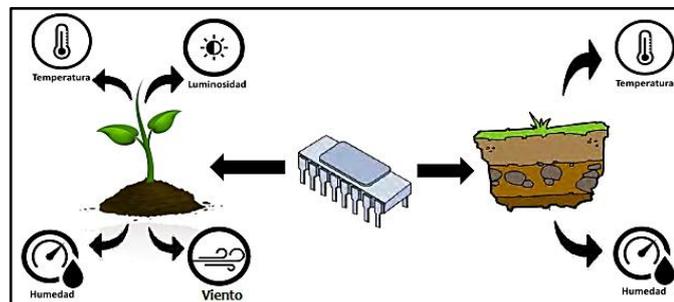


Figura 10. Variables que intervienen en el desarrollo vegetal.
Fuente: Martínez & Pérez, 2017.

Entre los más utilizados en la agricultura encontramos los sensores solares, capaces de detectar el espectro electromagnético, rayos infrarrojos, ultravioleta; además, posibilitan la recolección de información instantánea del campo y comparar datos con la actividad solar del cultivo, todos estos parámetros son muy importantes para que el agricultor pueda conocer las zonas más húmedas, más secas y pobres en nutrientes. Así mismo, los sensores de Potencial de Hidrogeno (PH) y humedad ayudan a evaluar el estado de los terrenos, variable de gran importancia ya que permite saber la acidez y controlar la medida de agua empleada en los sistemas de riego (ver figura 11). También encontramos los sensores de movimiento, los cuales monitorizan cualquier tipo de comportamiento de los animales, tiempos de sueño, actividad rutinaria, partos

y apareamiento; es de mucho beneficio conocer el comportamiento de los animales con el fin de detectar cualquier problema de salud. Entre los sistemas más innovadores encontramos sensores conectados inalámbricamente con estaciones meteorológicas, ayudando a los agricultores a mantener segura su cosecha en tiempos de sequía e inundaciones. (Imnovation, 2018)

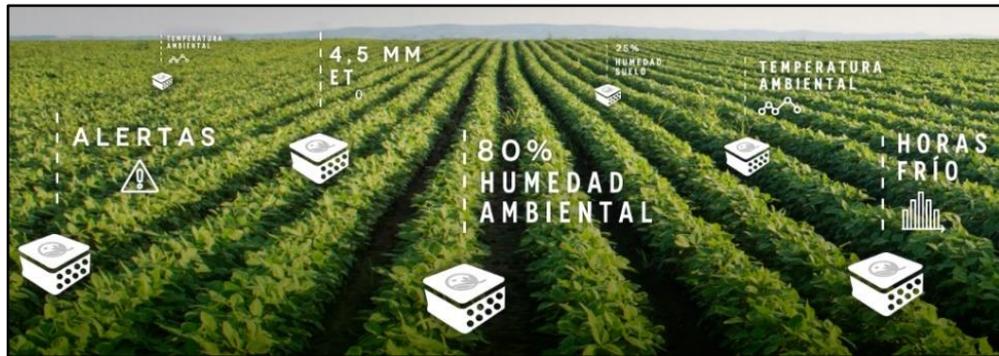


Figura 11. Identificador de variables ambientales.
Fuente: Qampo, 2018

Gracias a los sensores tenemos herramientas de monitoreo, debido a que se puede obtener información de la temperatura del ambiente y del suelo, radiación solar, pluviometría, humedad suelo y ambiente, luz solar, viento, gases y contaminación; con lo cual, se concluye que la utilización de estos dispositivos electrónicos en el sector agrícola mejora la explotación y la capacidad de utilizar mejor los recursos, evolucionando en la agricultura de precisión, preservando el medio ambiente y mejorando la calidad de los productos. (Qampo, 2018)

2.4.1. Sensores de temperatura.

Los sensores de temperatura se los puede observar en variedades de aplicaciones como la elaboración de alimentos, instrumentos de medicina, aparatos automotrices, etc. Su utilidad se basa en la medición de temperatura, operando con la ayuda de materiales conductores y semiconductores en su interior, que actúan variando la resistencia eléctrica de acuerdo a la temperatura del ambiente, este principio de funcionamiento es básico para cualquier tipo de sensor de temperatura; estos materiales semiconductores poseen coeficientes negativos, provocando que su resistencia disminuya cuando aumenta la temperatura del ambiente, así mismo otros poseen coeficientes positivos, causando que su resistencia aumente cuando disminuye la temperatura. Se los puede encontrar en tres grupos como: los termopares, termistores y Detector de Temperatura de Resistencia (RTD). (Mathas, 2011) En la actualidad

existen aplicaciones móviles donde se puede observar mediante graficas los datos obtenidos por los sensores, tal como se muestra en la figura a continuación.



Figura 12. Sensor de temperatura y humedad del ambiente.
Fuente: Alamy, 2018

2.4.2. Sensores de humedad.

Los sensores de humedad se encargan de calcular la humedad relativa que se encuentra en el aire, y son utilizados en sistemas de calefacción, bodegas de vino, oficina, coches, etc. También podemos encontrar sensores para medir la humedad y temperatura interna de la tierra que son colocados de manera perpendicular tal como se muestra en la figura número13. Este valor obtenido por los sensores es la humedad relativa expresada de manera porcentual y es un promedio el cual se obtiene entre la humedad real del ambiente adversamente a la temperatura, lo que implica que se vuelve directamente proporcional, ya que mientras más calor existe en el ambiente, más humedad existirá. Estos pueden ser analógicos o digitales. (Electronica-basica, 2016)

Los sensores de humedad analógicos calculan la humedad relativa del aire utilizando un sistema de condensadores, estos sensores son fabricados de cerámica o vidrio, y contienen un material aislador el cual absorbe o libera agua, según la humedad relativa del sector, provocando cambios en los niveles de carga. Por contrario, los digitales poseen microsensores que gradúan la humedad de una zona determinada, convirtiendo los datos en formato digital mediante una conversión analógico-digital. (Ecured, 2017)



Figura 13. Sensor de temperatura, pH y humedad del suelo.
Fuente: Grupo Fertiberia, 2018

2.4.3 Sensores de iluminación.

Este tipo de sensores responden a los cambios de iluminación y al recibir luz producen señales de salida con respecto a la cantidad detectada, además con la ayuda de un transductor fotoeléctrico convierten la luz en una señal eléctrica. Uno de los elementos más usados son las fotorresistencias o también denominados Resistencia Dependiente de la Luz (LDR), son instrumentos que presentan una resistencia interna la cual varía dependiendo a la cantidad de luz que recibe, mientras más alta es la luz que incide sobre esta menor es la resistencia que presenta, y cuando la luz empieza a decrecer, su resistencia aumenta. En la figura número 14 se puede observar que la resistencia interna varía entre 50Ω y $1M\Omega$, si está se encuentra debajo de una luz muy brillante su valor es de 50Ω , y si está en total oscuridad, su valor es de $1 M\Omega$. (como-funciona, 2017)

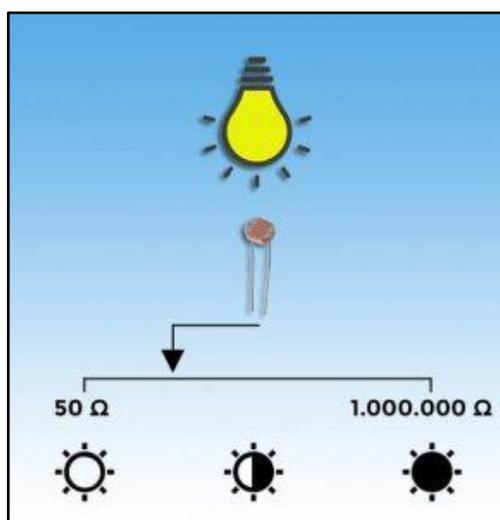


Figura 14. Sensor de iluminación LDR.

Fuente: Programar fácil, 2018

2.5. Iluminación LED

La tecnología de iluminación LED ha producido una evolución en el campo de la agricultura a nivel mundial (ver figura 15), la comparación de consumo entre la iluminación moderna como las lámparas LED de 120W y las luces tradicionales como los focos incandescentes de sodio de 400W permite un ahorro de energía de hasta el 70%. Pero no solo presenta una gran ventaja económica, sino que proporciona espectros de luz que las plantas necesitan para su desarrollo vegetal. (Alonso, 2017)



Figura 15. Instalaciones City Farms.
Fuente: Macrobacter, 2016.

Entre las ventajas de la iluminación LED encontramos lo siguiente: se puede llegar a controlar y manipular el color e intensidad de la luz dependiendo las necesidades del consumidor, bajo consumo de energía eléctrica, facilidad de instalación, apoyan el crecimiento de plantas más grandes y nutritivas, genera un ambiente de trabajo más saludable, promueven tecnología respetuosa con el medio ambiente. A pesar de su costo, generan rentabilidad al pasar los años en comparación con otros métodos de iluminación artificial y poseen gran demanda en los cultivos para interiores (Portilla, 2016)

2.5.1. La influencia de la luz en el desarrollo de las plantas.

Todas las plantas requieren de la iluminación para un crecimiento, por lo que debemos de considerar puntos importantes para conocer de qué manera afecta la luz en el desarrollo de las plantas, los cuales son la calidad, la duración y la cantidad de luz requerida. Las plantas requieren de este elemento para potenciar la fotosíntesis y generar carbohidratos para su alimentación; la rapidez de este procedimiento es directamente proporcional a la cantidad de iluminación, es decir la reacción de la fotosíntesis aumenta a medida que incrementa la radiación fotosintética activa, en otras palabras, a mayor cantidad de luz, mayor nivel de fotosíntesis. Sin embargo, presenta sus límites, tanto de compensación como de saturación. En algunas especies de plantas, la fotosíntesis puede iniciar su proceso sin requerir gran cantidad de iluminación, esta etapa es denominada punto de compensación de luz. También observamos el punto de saturación, etapa donde la velocidad máxima de la fotosíntesis no acelera su proceso, sino que lo mantiene. (Macrobacter, 2017)

La calidad de la iluminación se describe como la longitud de la onda o el color de la luz; la radiación solar emite ondas que van desde los 280 a 2800 nanómetros y las plantas ejecutan la fotosíntesis entre los 400 a 700 nanómetros, intervalo denominado

como radiación fotosintéticamente activa, la cual es absorbida por la clorofila, donde interactúan la luz roja (640 a 740 nanómetros) y azul (425 a 490 nanómetros), tal como se visualiza en la figura número 16. La luz azul ayuda al crecimiento vegetativo y al estiramiento de la planta; la roja regula el florecimiento, incrementa la magnitud del tallo, impulsa la ramificación y la generación del fruto; la luz roja lejana causa florecimiento y elongación en la planta. (Lopez, 2018)

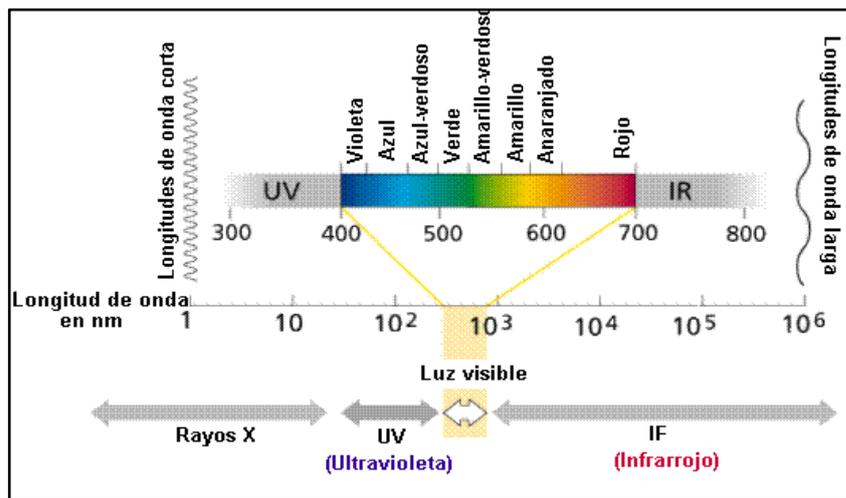


Figura 16. Espectro de la radiación visible y longitudes de onda asociadas al mismo. Fuente: Universidad Politécnica de Valencia, 2003.

Capítulo III

Análisis y Diseño del Huerto Urbano Vertical Automatizado

En el desarrollo de este capítulo se especificará las condiciones generales del sistema, a su vez, se analizará la estructura física, los subsistemas como ventilación, riego e iluminación. Finalmente, se explicarán la interfaz que manejará el usuario y los resultados obtenidos mediante las pruebas de funcionamiento.

3.1. Condiciones Generales del Sistema

Antes de abordar el diseño del proyecto, se puntualizará la descripción, características y funcionamiento del sistema en general, estos elementos constituyen la definición general del sistema y el punto de partida para el diseño de un sistema basado en microcontroladores.

3.1.1. Descripción del sistema.

En la figura número 17 podemos observar la descripción del sistema de monitoreo y control aplicado a un huerto urbano, donde se consideró el diseño e implementación de un sistema que permita al usuario el monitoreo constante de las variables que influyen en el crecimiento de la planta a través de dispositivos analógicos de entrada, tales como sensores de iluminación, temperatura y humedad; los cuales servirán para obtener datos y estos sean presentados por pantalla; siendo información necesaria para que el usuario conozca el estado del suelo y el ambiente del cultivo, a su vez, le permita tomar decisiones y corregir cualquier novedad desfavorable.

Mediante el uso de un microcontrolador se podrán ejecutar órdenes programadas por el usuario, las cuales, permitan controlar los actuadores con el objetivo de activar o desactivar los sistemas de ventilación, riego e iluminación y que estos puedan generar un efecto sobre la plántula.

Para el sistema de iluminación se utilizará luz artificial mediante paneles LED RGB, permitiendo al usuario escoger el color y la intensidad que requiera aplicar al cultivo. Por otra parte, el sistema de riego y ventilación servirá para refrescar el ambiente y humedecer la tierra. Además, se usará una alarma sonora con el objetivo de avisar al usuario cuando nivel de agua en el reservorio no contenga líquido suficiente, este dato será obtenido por un sensor de nivel.

El sistema no solo permite que el usuario pueda manipular las variables en el interior del huerto de forma manual, sino también de manera automática a través del

panel de control, donde pueda establecer por teclado los parámetros que su plántula necesite.

A continuación, se muestra un diagrama de contexto para comprender la descripción general del sistema:

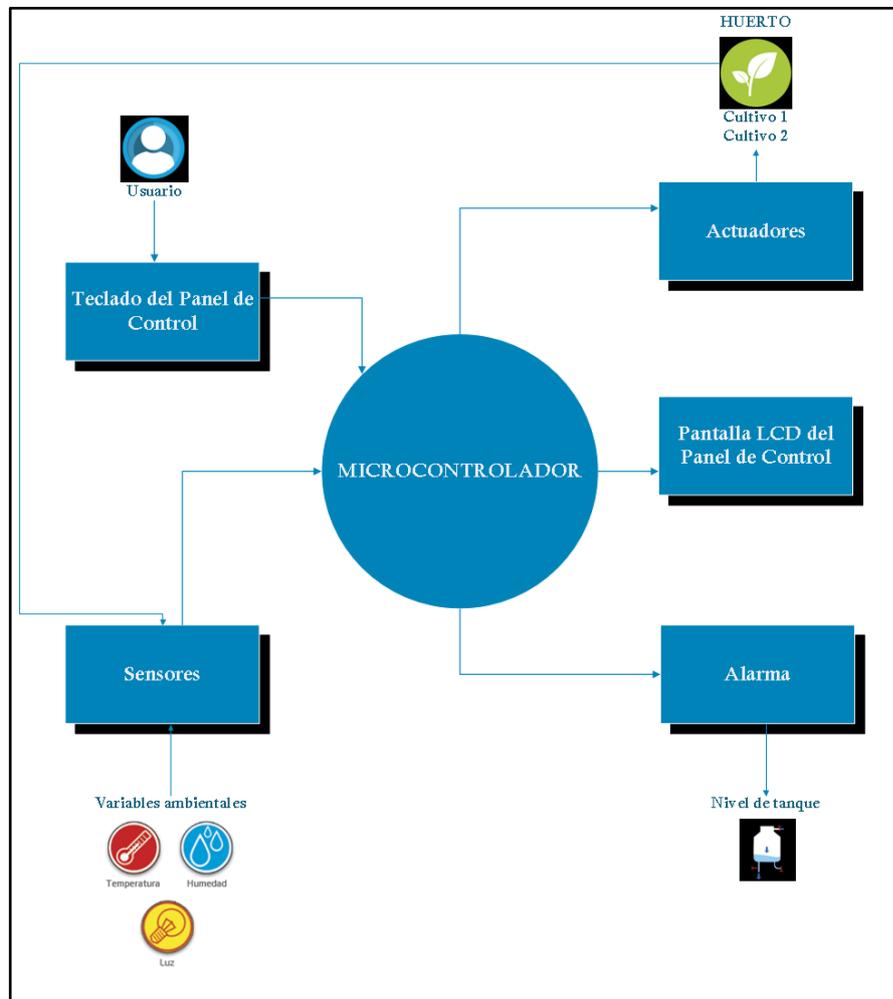


Figura 17. Descripción del sistema de monitoreo y control aplicado a un huerto urbano.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura número 18 podemos observar el diagrama de flujo del sistema de monitoreo y control aplicado a un huerto urbano, este sistema diseñado le permitirá al usuario monitorear los valores obtenidos de las variables por medio de los sensores, los cuales revelaran datos por pantalla; sabiendo el comportamiento de las variables, el usuario podrá elegir cada uno de los modos de trabajo que el sistema le permita para adecuar el hábitat de los cultivos a las condiciones que el usuario requiera, en donde el modo manual le permitirá encender y apagar de manera manual los sistemas de iluminación y riego; así mismo el modo automático le permitirá ingresar por teclado los rangos de temperatura y humedad del suelo, causando que constantemente los actuadores se enciendan cada vez que dichos rangos sean sobrepasados. También se debe mencionar que la iluminación de ambos paneles se podrá encender simultáneamente de acuerdo con un periodo de tiempo programado por software. Además, en el modo información se podrá visualizar si el reservorio tiene un bajo nivel de agua, y si los cultivos presentan o no presentan iluminación.

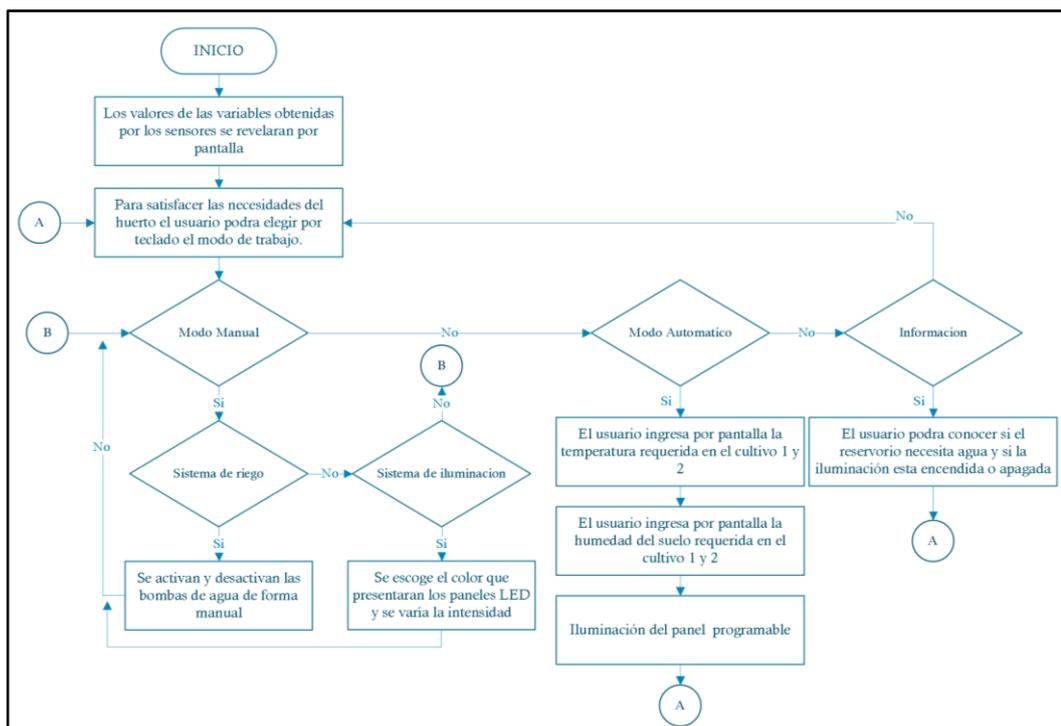


Figura 18. Diagrama de flujo del sistema de monitoreo y control aplicado a un huerto urbano. Fuente: Elaboración propia.

3.1.2. Características del sistema.

El modelo de huerto urbano, objeto de análisis, constará con las siguientes características:

La estructura vertical es de madera de pino y está comprendida de las siguientes dimensiones: 98cm de alto, 55cm de ancho y 41cm de profundidad. Además, se divide en 3 repisas o secciones de 32.67 cm de alto entre cada una.

Para desarrollar un sistema el cual sea gobernable por un controlador, se implementará la tarjeta Arduino mega que está constituida del microcontrolador Atmega2560, esta posee las siguientes características técnicas: voltaje de funcionamiento de 5 voltios, voltaje de entrada de 7 a 12 voltios, 54 pines digitales de entrada y salida, 16 entradas analógicas, memoria flash de 256kb, velocidad del reloj de 16Mhz. y Memoria de Solo Lectura Programable Eléctricamente Borrable (EEPROM) de 4kb.

Para suministrar de energía eléctrica al microcontrolador, la pantalla, el teclado y los sensores, se utilizará un adaptador de corriente que trabaje con entrada de 100VAC y salida de 5VDC al sistema. Para alimentar los actuadores de riego y ventilación se utilizará una batería de 12VDC, y además se implementará un adaptador de corriente de 12VDC que alimente únicamente a los paneles de iluminación: se dividió las fuentes de alimentación para evitar sobrecargas y que el sistema funcione de manera equilibrado.

El módulo de pantalla donde se desplegará la información al usuario es una LCD 4X20, la cual es de gran importancia en este proyecto debido a la su capacidad de información que puede mostrar por pantalla ya que dispone de cuatro líneas de veinte caracteres cada una, tensión de alimentación de 5 voltios, y puede operar bajo la modalidad de 8 o 4 bits para ahorrar pines en el microcontrolador. Además, se implementarán 1 potenciómetro de 5k con perilla giratoria que permita aumentar o disminuir el brillo de la pantalla.

El ingreso de los valores requeridos se realizará por medio de un teclado matricial 4X4 tipo membrana, que contiene 4 filas y 4 columnas con 16 botones, su voltaje operativo es de 5 voltios en Corriente Directa (DC).

Para determinar las medidas de humedad relativa y temperatura que se encuentra en el ambiente utilizaremos el sensor DTH11, dispositivo electrónico que internamente realiza la conversión analógica a digital ofreciendo señal de salida de datos de manera

digital, su tiempo de censado es cada 2 segundos. Asimismo, opera con voltaje de alimentación de 3.5V a 5V y su rango de medición de temperatura se encuentra entre 0°C a 50°C, con una precisión a 25 grados centígrados de $\pm 2^\circ\text{C}$. También permite calcular Humedad Relativa (HR) de 20% a 90% con una precisión entre 0°C y 50°C de $\pm 5\%$ RH.

Se empleará un higrómetro de suelo FC-28 el cual es un sensor utilizado para obtener la medida de humedad de la tierra según la variación de conductividad de sus terminales entregando resultados análogos entre los valores 0 y 1023; entre sus características presenta salida analógica y digital, voltaje de operación de 3.3V a 5V DC, sensibilidad ajustable por potenciómetro y posee un módulo de amplificación LM393 el cual se encarga de transformar la conductividad censada en valores analógicos pudiéndose leer por el microcontrolador.

La luz será detectada mediante un módulo sensor de fotorresistencia LDR, dispositivo que varía su resistencia dependiendo cuanta cantidad de luz perciba en su entorno, sus especificaciones técnicas son: voltaje de operación de 3.3V a 5V DC, una salida analógica y una digital que comprende dos estados activo y apagado, comparador LM393 y un potenciómetro para ajustar la sensibilidad.

Para iluminar cada uno de los cultivos, se diseñará dos paneles LED a partir de tiras led RGB donde cada uno de los paneles contendrán 75 unidades de led, pudiendo el usuario elegir entre los siguientes colores: rojo, verde y azul, además se usará un driver L298N que cuenta con entradas digitales para el control de la señal PWM con el cual se podrá aumentar o disminuir la intensidad de la iluminación en cada uno de los cultivos; además, cuenta con un disipador, el cual le permite alcanzar una corriente de salida de hasta 4 Amp.

Para el riego se contará con la medición de un sensor de nivel de tanque obtenido de una lavadora, dos bombas d agua de limpiaparabrisas de 12V DC con 2 amperios y potencia de 24W cada una, que puede bombear agua por chorro, una batería de 12V & 5Amp recargable, un reservorio de agua con capacidad de 3 litros y 2 metros de manguera de hule.

Se utilizarán tres módulos relé de 4 canales independientes cada una, con opto acoplador para protección, que trabaja con 5V de tensión y tiene contactos capaces de soportar un voltaje de hasta 30VDC y 220V en Corriente Alterna (AC) a una corriente

máxima de 10 amperios, también incorpora leds que indican cuando el relé está activado.

3.1.3. Funciones del sistema.

El sistema está diseñado para realizar las siguientes funciones:

- Ejecutar procesos de control de iluminación mediante el encendido y apagado manual y automático de paneles LED RGB donde se podrá elegir entre el color rojo, azul y verde; además de variar la intensidad.
- Ejecutar procesos de control de riego mediante el encendido y apagado manual y automático de una bomba de agua que por medio de mangueras distribuirá líquido a ambos cultivos.
- Ejecutar procesos de control ventilación a través del encendido y apagado manual y automático de ventiladores para ambos cultivos.
- Monitorear permanente de las variables ambientales, tales como, temperatura, y humedad del ambiente, iluminación y humedad del suelo.
- Visualizar en tiempo real, los valores obtenidos por los sensores mediante una pantalla LCD, la cual actuara como una interfaz visual.
- Emitir avisos/alertas de forma sonora y visual para conocer cuando el tanque no disponga de agua, escasez luz en el entorno, además de notificar el encendido y apagado de los dispositivos de riego e iluminación.

3.2. Análisis de la Estructura Física del Huerto Urbano Experimental

3.2.1. Análisis de estructura física.

El sistema está basado de dos estructuras fundamentales para el desarrollo del proyecto, las cuales son: el huerto vertical y el panel de control.

En la figura número 19 se detalla la estructura física del huerto vertical, la cual estará comprendido por 3 secciones: En la primera se encontrará la bodega donde se podrá almacenar todas las herramientas y los insumos que el huerto necesite, la segunda y tercera sección está conformado de dos cultivos experimentales, las cuales se llamarán: cultivo 1 y cultivo 2. En la parte trasera de la estructura se ubicará el reservorio de agua que ayudará a suministrar líquido al sistema de riego, el cual se ubicó de detrás para no tener que abrir constantemente el huerto y donde pueda ser llenado con facilidad.

El diseño fue realizado de esta forma porque se pretende que el usuario tenga una cómoda interacción con el panel de control y se encuentre a una altura similar.

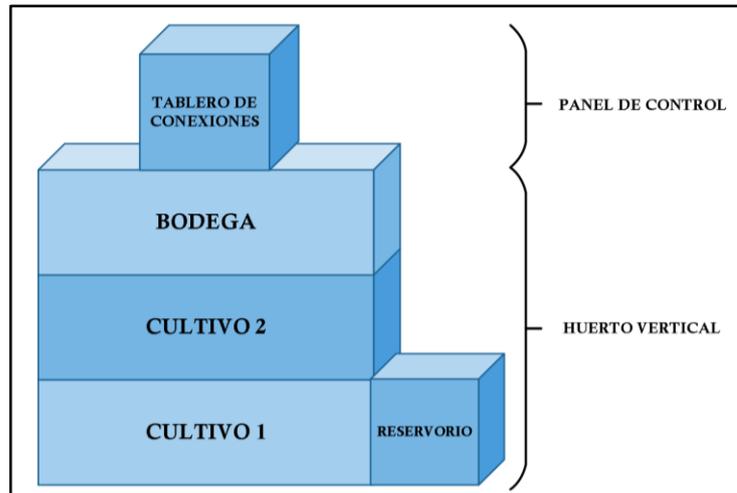


Figura 19. Diseño de la estructura física del proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

A su vez, en el panel de control, comprenderá en su interior de todas las conexiones eléctricas del microcontrolador, los módulos de relé, fuente de alimentación, batería y los potenciómetros que serán manipulados mediante las perillas. También, en su parte externa incluye la pantalla LCD, el teclado matricial y las perillas; este será la interfaz entre el usuario y la máquina.

El modelo de huerto urbano vertical automatizado será implementado en las instalaciones de la Facultad Técnica de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

En la figura número 19 se puede observar el armazón de la estructura, el cual fue construido de madera de pino debido a que es un material más económico que el vidrio, además, en comparación al metal, este tenía mejor apariencia. Tendrá dimensiones de 98cm de alto, 55cm de ancho y 41cm de profundidad, dividida 3 repisas de 32.67 cm de alto entre cada una; se escogió esa anchura ya que se compraron maceteros que poseen longitudes similares, a su vez, se consideró esa altura debido a que las plántulas deben tener una distancia entre 20 a 50 cm. (Almansa Espin, 2011)

La arquitectura del modelo del armazón responde a un huerto de estructura vertical, que, según la literatura revisada, permite aprovechar mejor el espacio físico ya que se puede obtener los mismos metros cuadrados terreno de forma vertical, a su vez, este modelo ayuda a manejar múltiples cultivos. A continuación, se muestra una figura del diseño del huerto vertical.

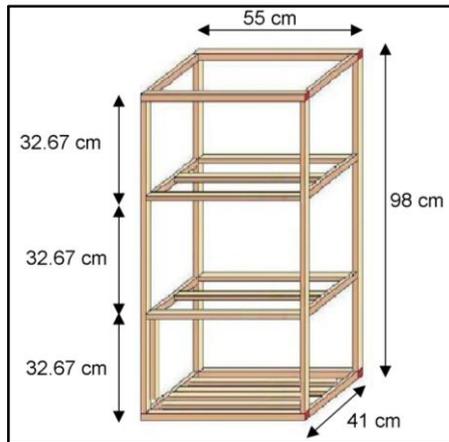


Figura 20. Diseño del armazón del huerto vertical.
Fuente: Elaboración propia.

Una vez esquematizado el huerto, posteriormente se empezó a buscar un proveedor que pueda construir el esqueleto y antes de la entrega del mismo se protegió la madera con una antitermitas para que estas plagas no aparezcan y luego puedan dañar el huerto. Dicho lo anterior, en la siguiente figura se muestran fotos reales del armazón en su lado frontal y lateral.



Figura 21. Vista frontal y lateral del armazón del huerto vertical.
Fuente: Elaboración propia.

Ya teniendo el armazón, se lo adecuó considerando los modelos de miniinvernaderos que fueron investigados, los cuales presentan dimensiones reducidas y cubiertas alrededor del cultivo, pudiendo ser fabricadas de vidrio, madera, policarbonato o plástico. Conociendo esto, se procedió a cerrar completamente la estructura, con el fin de crear un microclima que no se vea afectado por factores externos, cambios bruscos de temperatura y plagas; brindando protección al cultivo y serenidad al agricultor. La madera utilizada para el recubrimiento fue playwood,

escogida por su bajo costo. Además, en la parte frontal se ubicó unas bisagras para que la puerta sea abierta o cerrada, tal como se visualiza en la siguiente figura.



Figura 22. Ensamble de la cubierta y colocación de puertas en el huerto vertical.
Fuente: Elaboración propia.

Con el propósito de que todo el cableado de control y fuerza del panel descienda por todas las secciones del huerto, en la figura número 23 se muestra la elaboración de un agujero ubicado en la cara superior de toda la estructura, a su vez, se elaboró dos agujeros situados en la cara inferior de cada sección respectivamente. También, para ubicar los ventiladores de las últimas secciones, se realizó modificaciones en las caras posteriores, por lo que se ubicó un agujero cuadrado de $11 \times 11 \text{ cm}^2$ en ambas secciones.



Figura 23. Modificaciones en la cara superior y posterior
Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Análisis del recipiente, sustrato, nutriente y semillas.

Los rábanos son hortalizas que no necesitan ser cambiadas de suelo por lo que no necesitaremos trasplantarlas de un lugar a otro y se desarrollaran en el mismo contenedor hasta el día de su cosecha, la profundidad mínima a la que deben ser plantadas es de 10 cm y se deberá utilizar un sustrato que beneficie el buen drenaje, para el sembrío se debe realizar pequeños surcos de 1-1.5 cm de profundidad, esparcidas a voleo, luego se cubren de suelo o mezcla y se riegan inmediatamente. (Reynoso, 2015)

Conociendo las dimensiones que el cultivo necesita, se adquirió 2 maceteros de color marrón con forma trapezoide, tal como se muestra en la figura número 24 con dimensiones: 16cm altura, 17cm ancho, 40cm base pequeña y 46cm base grande; el recipiente se lo adquirió en base al parámetro de la altura ya que al ser una hortaliza necesita profundidad para que los rábanos puedan crecer, como se muestra en la siguiente figura.



Figura 24. Maceteros marrones con forma trapezoide
Fuente: Elaboración propia.

Todas las plantas necesitan nutrientes para crecer y sobrevivir, estos son absorbidos por las plantas del ambiente ya sea del aire, el suelo y el agua. La cantidad de nutrientes dependerá de la calidad del sustrato, la calidad del agua y el tipo de la planta; Hay dos tipos de nutrientes: los macronutrientes, necesarios en grandes cantidades, y los micronutrientes, necesarios en cantidades pequeñas. Estos nutrientes son indispensables para el crecimiento de las hojas, el tallo y las raíces además de brindar color a las hojas y evitar que se marchiten, (Worldagroforestry, 2017). La falta de estos

nutrientes los podemos ver reflejado en el aspecto y color de las hojas tal como se muestra en la siguiente figura.

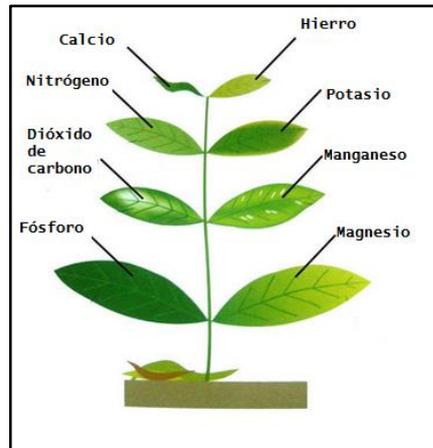


Figura 25. Nutrientes requeridos por las plantas
Fuente: Marvin Palma, 2015.

Sabiendo lo mencionado anteriormente se pretende que los recipientes contienen tierra rigurosamente seleccionada, libre de enfermedades y degradación de esta; estructurada con sustancias que poseen cantidades de nutrientes que permiten que las plantas se mantengan en buen estado y no se deterioren en poco tiempo en una masa sólida y pueda mantener un buen drenaje. Para lo cual se adquirió tierra preparada para el sembrado en jardines, tal como se visualiza en la figura número 26, esta tierra está producida con sustratos orgánicos categóricamente integrada con elementos esenciales como: Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K) y otros micros elementos como magnesio, manganeso, zinc, calcio y boro. La aplicación es para toda clase de pantas, césped, viveros, semilleros, maceteros, jardines, exteriores, interiores, huertos y todo tipo de cultivos. El contenido de la envoltura es alrededor de 8000cm³, por lo tanto, se utilizará 2000 cm³ para cada recipiente.



Figura 26. Fórmula de composición materia orgánica N-P-K
Fuente: Elaboración propia.

Además de la fórmula de composición materia orgánica N-P-K se mezclará con abono orgánico para jardines, Humus de lombriz Nácara tal como se visualiza en la figura número 27, el cual es obtenido mediante procesos biológicos naturales producto de la descomposición de materia prima previamente seleccionada y homogeneizada. Es un sustrato completamente orgánico que aporta la cantidad suficiente de nutrientes para plantas ornamentales, hortícolas, frutales y pasto; esta tierra fue cuidadosamente procesada, posee la cantidad equilibrada de macroelementos como Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K) y microelementos como zinc, boro, azufre, magnesio, manganeso en forma natural. El contenido del empaque es 2kg, se utilizará 1 kg para ambos recipientes.



Figura 27. Abono Orgánico Para Jardines
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, en la figura número 28 se muestra la mezcla entre fórmula de composición materia orgánica N-P-K y Humus de lombriz Nácara, estas se combinaron en un recipiente de plástico y luego fueron colocados en ambas macetas.



Figura 28. Mezcla entre Fórmula y Cultivo
Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.1. Semillas de rábano.

Por otra parte, se adquirió semillas de rábano tal como se visualiza en la figura 29, contenidas en una funda con 20gr de semillas con 99.90% pureza, se escogió esta hortaliza debido a su rápido crecimiento, también fue seleccionada esta planta porque crece en clima diferentes a la ciudad de Guayaquil, con el objetivo de demostrar la viabilidad del proyecto. Existen varias clases, pero el escogido a cultivar es el rabanito.



Figura 29. Semillas de Rábano
Fuente: Elaboración propia.

Se debe considerar que las mejores épocas para su cultivo son a finales de julio y agosto ya que prefiere climas templados, el ciclo del cultivo está entre los 25 a 50 días, todo esto dependerá de las condiciones climáticas, la temperatura óptima está entre los 18°C y 22°C, se acopla a todo tipo de suelo, aunque prefiere los suelos profundos, arcillosos y neutros.

El cultivo del rábano es a menudo ya que crece rápidamente y no puede ser trasplantada, la plántula emergerá aproximadamente a los 3 días de la siembra. Las primeras hojas, cotiledones, tendrán forma de corazón. Según investigaciones es necesario abonar las plantas a los 15 días de la siembra para proporcionar más nutrientes y fomentar su crecimiento. Siempre se debe mantener libre de malezas. Los riegos dependerán del clima, lo importante es que el suelo nunca debe perder su humedad ya que si el riego es en exceso se puede provocar enfermedades, pudrición o que el rábano se rompa, caso contrario, si los riegos son escasos su sabor será más picante. (Reinoso, 2015) A continuación una imagen de la plantas de rábano cultivadas en el modelo de huerto implementado.



Figura 30. Plantas de Rábano del Huerto Urbano Implementado
Fuente: Elaboración propia.

3.3. Análisis del Sistema de Control del Huerto Urbano Experimental

3.3.1. Análisis del Sistema de control.

El sistema de control constituye el mecanismo que se utiliza para controlar los procesos del huerto urbano de forma automática, utilizando dispositivos electrónicos programables denominados microcontroladores, que en la actualidad permiten reducir costos de forma considerable y ayudan a diseñar sistemas muy flexibles, eficientes y robustos.

Estará constituido por dos procesos fundamentales, el primero se encarga de la obtención de datos por los sensores en tiempo real; y el segundo, un sistema de actuación encargado de la activación de los actuadores. La comunicación entre estos dos sistemas se desarrollará a través de un microcontrolador, el cual se programará con el objetivo de monitorear la interacción de las variables ambientales, tales como la temperatura y humedad del suelo; temperatura y humedad en el ambiente y la intensidad lumínica para posteriormente realizar un control óptimo de temperatura, riego e iluminación; tal como se visualiza en la figura número 31.

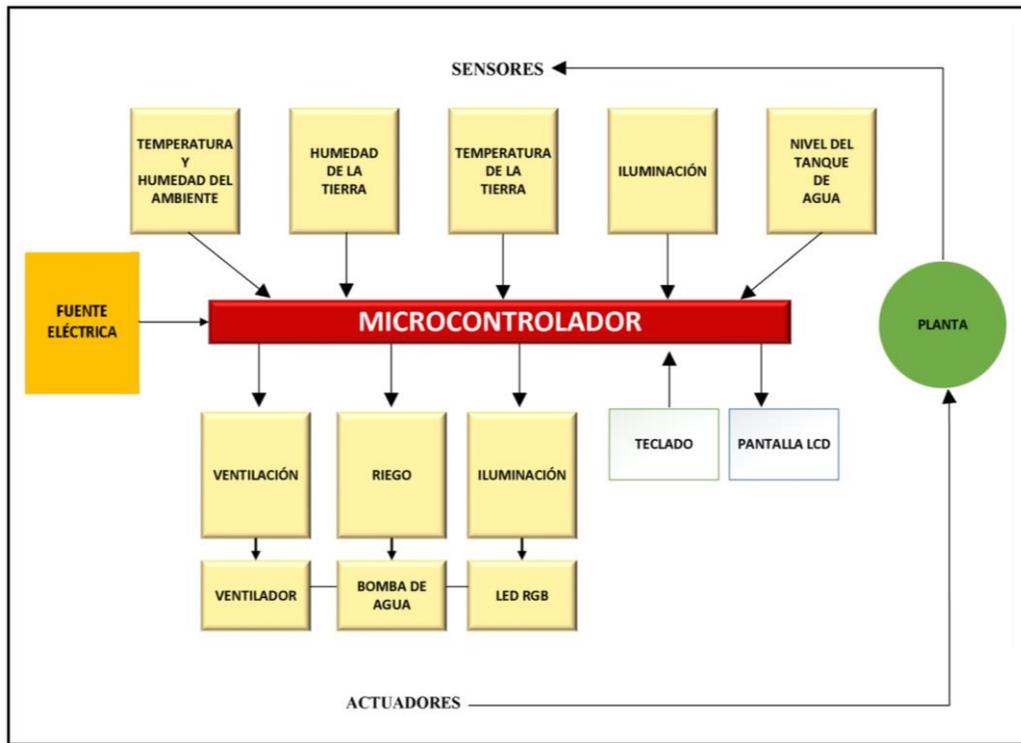


Figura 31. Arquitectura General del Sistema de Control de un Huerto Urbano Automatizado
Fuente: (Gonzalez, Morales, García, & Villarreal, 2018)

Para el constante monitoreo de estas variables se utilizarán sensores, los cuales obtendrán información en tiempo real sobre el cultivo y permitan el constante seguimiento de las variables mencionadas.

Los actuadores recibirán órdenes del microcontrolador para intervenir directamente sobre el entorno de las plantas con el fin de generar efectos y cambios ambientales que permitan la supervivencia y un óptimo crecimiento.

La comunicación con el usuario se desarrollará a partir de periféricos de salida, como un teclado matricial donde se podrá introducir de manera manual los valores deseados a mantenerse por el sistema, también se usarán perillas giratorias y una Pantalla de Cristal Líquido (LCD) que proveerá al usuario una constante lectura de las variables antes mencionadas. A continuación, se muestra el diagrama de flujo del sistema descrito anteriormente.

El sistema de control permitirá que el usuario pueda operar de forma manual y automática todos los subsistemas implementados, de manera que puedan trabajar tal como se muestra en la figura número 32. Al seleccionar el modelo manual y la opción sistema de iluminación el usuario podrá encender, apagar y variar la intensidad entre los colores rojo, azul y verde de ambos paneles. Al escoger la opción sistema de riego

se podrá activar y desactivar las bombas de riego de ambas secciones, además una alarma sonora se accionará cuando el tanque no tenga suficiente agua.

Al seleccionar el modelo automático el sistema verificara la temperatura del ambiente establecida por el usuario, y si esta es mayor, automáticamente se encenderán los ventiladores y se apagaran cuando el valor de temperatura sea igual o menor a la establecida; de igual manera el sistema verificara la humedad relativa del suelo y si esta es mayor a la establecida, automáticamente se encenderán las bombas de riego, y se apagaran cuando los valores sean iguales o menores al establecido.

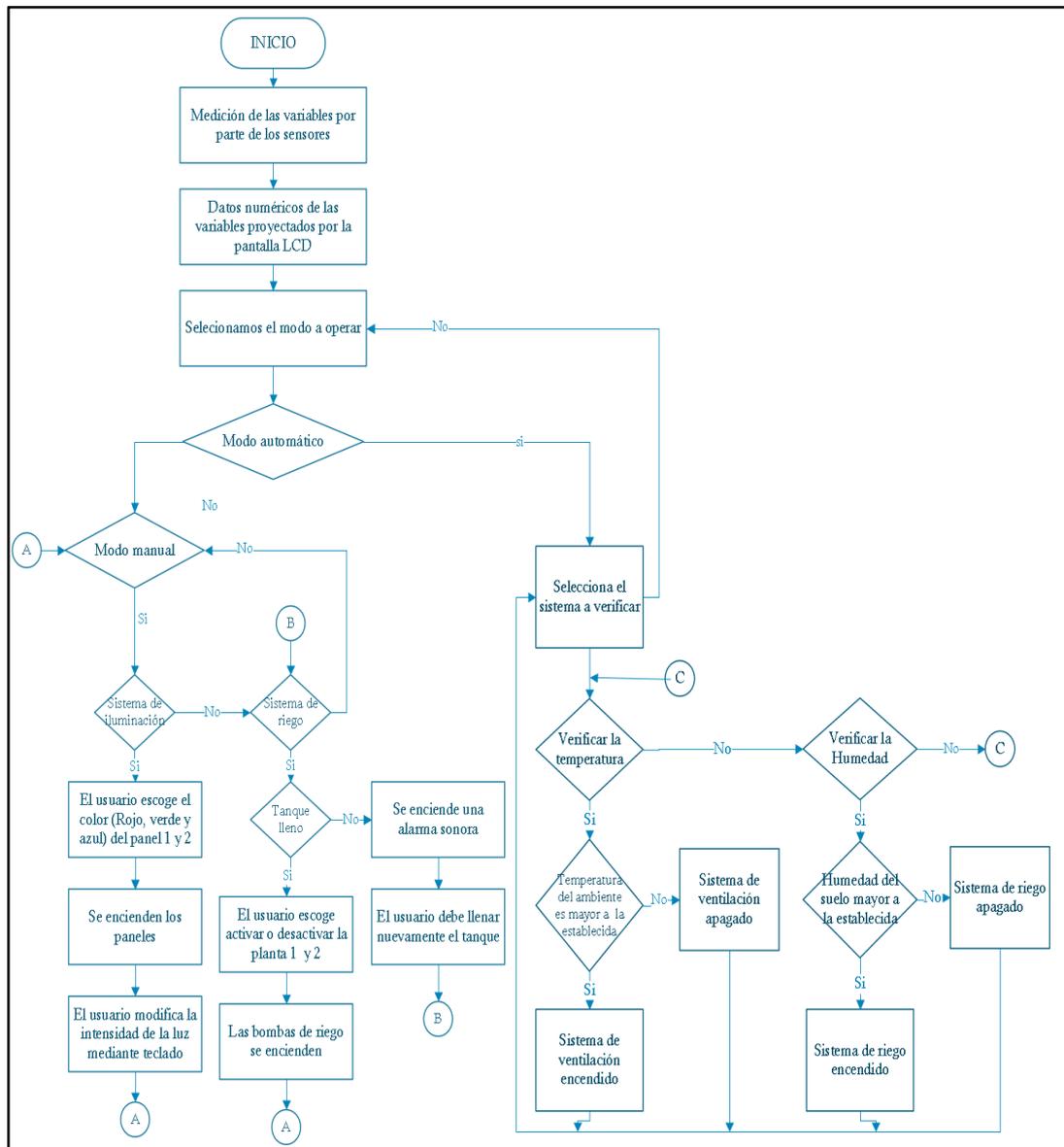


Figura 32. Diagrama de flujo del sistema de control manual y automático
Fuente: Elaboración propia.

3.3.2. Análisis del Sistema de iluminación.

La longitud de onda que emite el sol está entre los 280 y 2800nm, la cual se divide en tres regiones: Ultravioleta, luz visible e infrarroja; por otra parte, la clorofila, el pigmento verde de las hojas y el cual es el responsable de la energía de radiación fotosintéticamente activa, posee dos puntos críticos de absorción, la luz roja y azul. A su vez, las hojas absorben poca luz verde y lo reflejan de vuelta, motivo por el cual vemos el color verde de las hojas. El color azul, rojo y verde son divisiones de la luz visible. (López J. C., 2018)

Con el objetivo de suministrar al cultivo el espectro de luz óptimo para estimular su crecimiento vegetal, se diseñó un sistema de iluminación artificial, mediante el uso de diodos LED debido a su gran acogida en varias técnicas de agricultura para interiores, tal como se detalla en el estado del arte. Para lo cual, se seleccionó un dispositivo que cumpla con las características esenciales que debe mantener un sistema de iluminación, para satisfacer las necesidades de las plantas.

Una de las propiedades que deberá considerarse como fundamental es la longitud de onda, la cual debe poseer rangos entre los 400 a 500 nm y 600 a 700 nm, predominando los colores rojo y azul siendo estos dos puntos críticos de absorción. El azul hace más eficiente el proceso fotosintético, a su vez, es responsable del crecimiento vegetativo y de las hojas, y es importante para las semillas y las plantas jóvenes porque ayuda a reducir el estiramiento de la planta. También, la luz roja es importante en la regulación del florecimiento y la producción de frutos. Además, ayuda a aumentar el diámetro del tallo y estimula la ramificación; el fitocromo que es una foto receptora dentro de las hojas es más sensible a la luz roja por lo que responde a este color, tal como se visualiza en la siguiente figura. (Ledgrowlightshq, 2017)

Pigmento de la planta	UV	Azul	Verde	Yellow	Naranja	Rojo	Rojo profundo
Longitud de onda (nm)	280-400	400-495	495-570	570-590	590-620	620-710	710-850
Clorofila A		X				X	
Clorofila B		X				X	
Carotenoides		X					
Criptocromos	X	X					
Fototropinas	X	X					
Fitocromo rojo						X	
Fitocromo rojo profundo							X

Figura 33. Rango de longitud de onda para estimular la pigmentación de la planta
Fuente: Ledgrowlightshq, 2017.

A su vez, mediante en un estudio realizado con tratamiento de luz verde, se concluyó que este color contribuye a un incremento en la longitud media del hipocótilo que corresponde a la parte subterránea del tallo principal (Pardo, Hernández, & Rico, 2015).

Una vez puntualizadas las características que deberá tener el sistema de iluminación, se optó por conseguir en el mercado diodos LED que cumplan estas características. En la figura número 34 se elaboró una tabla de comparación de los LED que actualmente encontramos en el mercado; donde se analizó su color, longitud de onda, ángulo de incidencia, corriente de alimentación y tensión; por lo cual, se comparó entre los LED estándar y los LED RGB; concluyendo que los RGB son más adecuados para proyectos de agricultura en interiores ya que tienen un mayor ángulo de emisión de luz, manejo más versátil y poseen los tres colores en un solo diodo.

Tipos de diodos LED	Color	Longitud de onda	Ángulo	Corriente de alimentación	Tensión de alimentación
LED estándar de 3mm	azul	568nm	45 grados	20 mA	3.2 - 4V
LED de alta luminosidad de 3mm	azul	475nm	25 grados	20 mA	3.2 - 4V
LED de alta luminosidad de 10mm	azul	475nm	25 grados	20 mA	3.2 - 4V
5050-LED-RGB	azul	471nm	120 grados	2438mA	12V
LED estándar de 3mm	rojo	700nm	45 grados	20 mA	2 - 2.4V
LED de alta luminosidad de 3mm	rojo	630nm	40 grados	20 mA	2 - 2.8V
LED de alta luminosidad de 10mm	rojo	630nm	25 grados	20 mA	3.2 - 4V
5050-LED-RGB	rojo	625nm	120 grados	2438mA	12V
LED estándar de 3mm	verde	573nm	25 grados	20 mA	2.1-3V
LED de alta luminosidad de 3mm	verde	520nm	30 grados	20 mA	2.9 - 3v
LED de alta luminosidad de 10mm	verde	525nm	25 grados	20 mA	3.2 - 4V
5050-LED-RGB	verde	524nm	120 grados	2438mA	12V

Figura 34. Comparación entre Leds

Fuente: Elaboración propia.

Por consiguiente, al conocer que se trabajará con diodos LED RGB, se procedió a adquirir un rollo de 5 metros, la cual contiene 150 unidades LED RGB 5050 de alta calidad, las características son las siguientes:

- Los focos poseen una temperatura de funcionamiento -20°F a 120°F .
- El voltaje de trabajo es de 12V DC, con un consumo de 5.85W/m
- Corriente máxima de 2438mA por los 5m.
- Los diodos RGB poseen varios colores, con longitudes de ondas necesarias para el crecimiento de las plantas, tales como Rojo: 625nm, Verde: 524nm, Azul: 471nm;
- Los 5 metros tienen una intensidad total de aproximadamente de 2010 lúmenes

- El ángulo de haz de luz es de 120°
- Su vida útil es de 50,000 - 75,000 horas, llegando a perder el 50% del brillo
- La distancia entre los LED del centro es de 33.30 mm, entre borde a borde es de 100 mm y entre LED a LED es de 28.20mm, Además, hay que mencionar las dimensiones del diodo LED, tiene una altura es de 10mm, profundidad de 2mm; valores que podemos observar en la imagen a continuación.

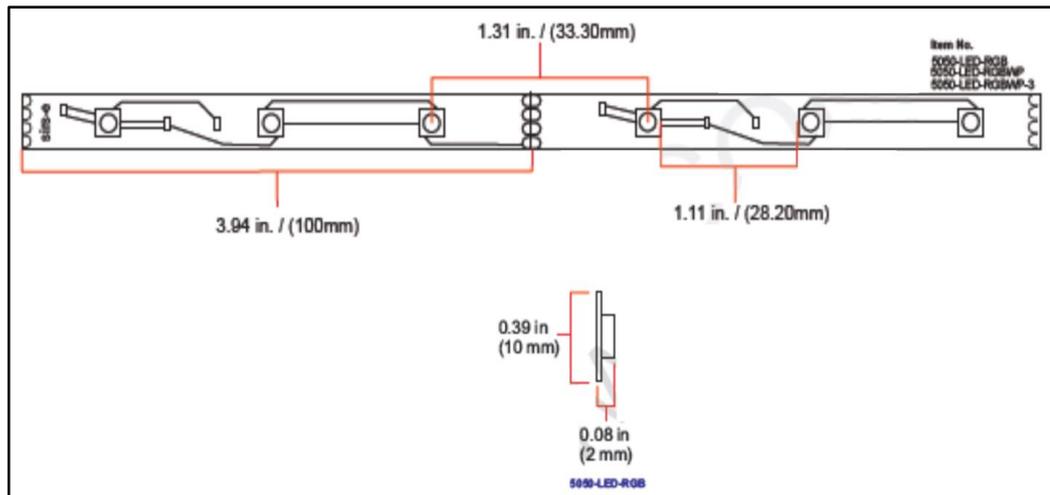


Figura 35. Dimensiones del LED RGB 5050
Fuente: (SIRS-E, 2015)

Con el objetivo de tener iluminación en ambas secciones del huerto, se procedió a elaborar dos paneles LED para cada una de ellas, se adquirió dos estructuras plásticas de 30cm de ancho las cuales se pueden observar en la figura número 36, la cual posee las siguientes dimensiones, 13cm de altura y 0.5cm de profundidad, las cuales servirán de soporte para las tiras LED y así obtener un prototipo de panel LED, los paneles se elaboraran con las medidas de acuerdo a las investigaciones realizadas de prototipos anteriores. (Ramos, 2015)

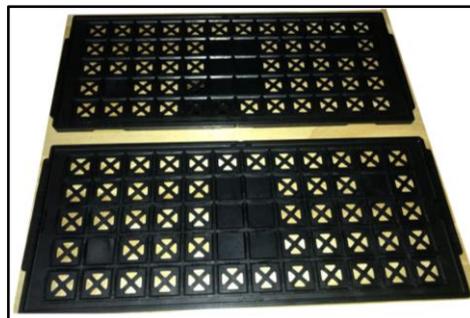


Figura 36. Soporte para LED
Fuente: Elaboración propia.

Para que cada panel posea el mismo número de diodos RGB, se dividió el rollo LED mencionado por la mitad; para lo cual se tendría los siguiente, si tenemos que la corriente que circula por los 5 metros de cable es de 2.438 Amperios en 150 focos, al dividirlo tendríamos 1.219 Amperios en los 75 focos de cada panel, sabiendo que el voltaje de operación es de 12 voltios en DC, el consumo de cada uno de nuestros paneles seria de 14.628Watts. Cada uno de los paneles se sujetará a las estructuras plásticas mediante silicón líquido y sujetadores, como se muestra a continuación.



Figura 37. Panel de iluminación LED RGB
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, en la figura número 38 se elaboró un Diagrama de flujo del sistema de iluminación donde se describe el funcionamiento del sistema de iluminación mediante un diagrama de flujo, el cual consiste en que el sistema al inicializar, el sensor de iluminación realiza la medición del nivel de luz detectado en ambos cultivos, reflejando por pantalla en la sección de información el estado de Ok (encendido) o NG (no hay luz adecuada), a su vez, el sistema permitirá que el usuario escoja la forma que desea trabajar ya sea manual o automático. En el caso de ejecutarlo en modo manual, se podrá elegir entre el color (rojo, verde o azul) que emitirán los diodos LED RGB hacia los cultivos, asimismo, se podrá escoger el porcentaje de intensidad, siendo 0 sin brillo y 255 el brillo al 100%; caso contrario, si se selecciona el modo automático, el sistema actuará de acuerdo a lo programado, esto es, las luces rojo, verde o azul podrán variar en relación a los periodos establecidos en la programación.

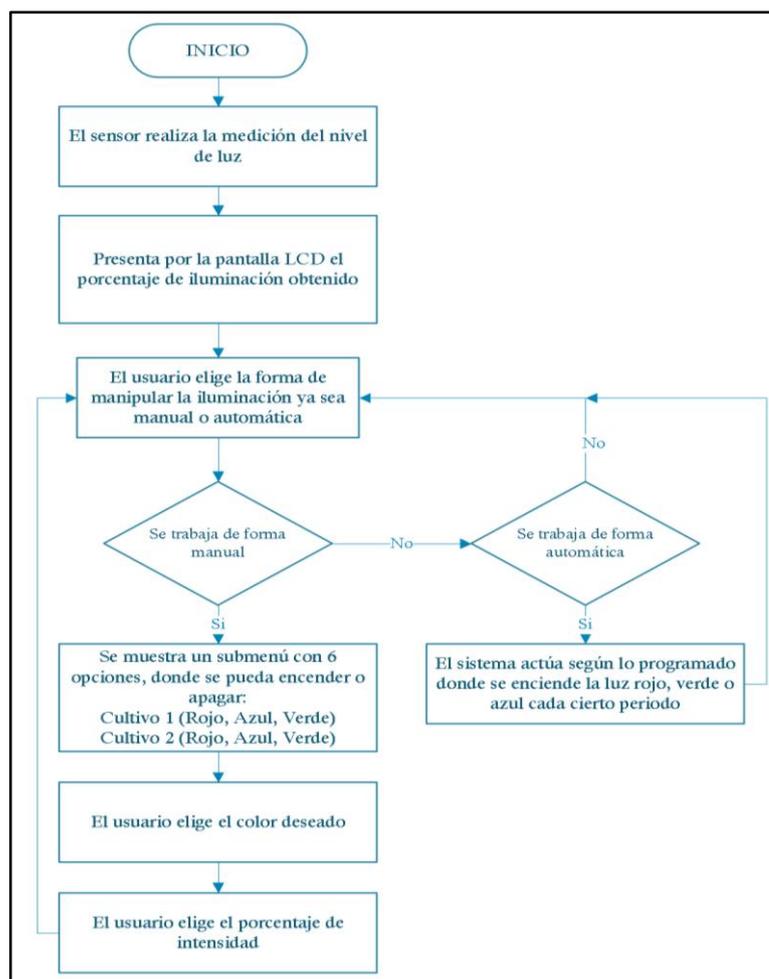


Figura 38. Diagrama de flujo del sistema de iluminación
Fuente: Elaboración propia.

3.3.3 Análisis del Sistema de riego y temperatura.

Para el diseño del sistema de riego se requiere mantener un constante regadío del terreno evitando secarlo y proveyéndole de agua continuamente, por lo cual se optará por utilizar la técnica de chorro que consiste en fluidos constantes, la cual se presenta como una técnica que no posee dificultad en adaptación a prototipos de sistemas de riego automatizados. (Sistemaagricola, 2016)

Además, para realizar un correcto control de la variable, se debe utilizar sensores que monitoreen la humedad que se presente en el interior de la tierra, la cual, según los datos obtenidos del proceso del cultivo de rábano, se deberá de mantenerse a una temperatura de entre un 20°C y 25°C, siendo un porcentaje de humedad relativa de 90% y 96%. (Infoagro, 2016)

Para obtener la humedad del suelo, utilizaremos dos higrómetros FC-28, uno para cada cultivo, los cuales se eligieron por su sencillez y bajo costo. Dicho sensor calculara la humedad del suelo dependiendo de su conductividad, es decir si la tierra

se encuentra muy húmeda, mayor será su conductividad y emitirá valores de hasta 1023, por otro lado, si la tierra está muy seca, su conductividad será menor, emitiendo valores de hasta 0. Tal como se muestra en el siguiente diagrama de flujo.

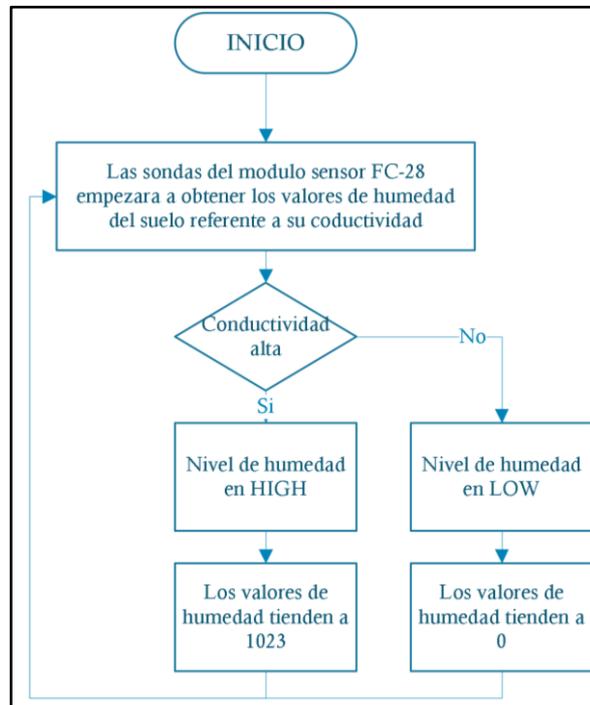


Figura 39. Diagrama de flujo del funcionamiento del sensor FC-28
Fuente: Elaboración propia.

Además, para mantener el reservorio de agua siempre lleno, se implementará un sensor de nivel de agua que trabaje de manera mecánica como un interruptor flotador, de tal manera que cuando el líquido del reservorio disminuya, una boya flotante incorporada en el sensor se deje caer, comportándose como un circuito abierto, pero si el agua aumenta, la bolla ascenderá comportándose como un circuito cerrado, detectando una señal de conmutación a cuál será enviada al microcontrolador. Para posterior emitir señales de alerta de manera sonora mediante un zumbador y proyectadas por pantalla cuando el nivel de agua ascienda y descienda; así el usuario conocerá cuando el tanque tenga poca agua y deba llenarlo nuevamente, tal como se muestra en el siguiente diagrama de flujo.

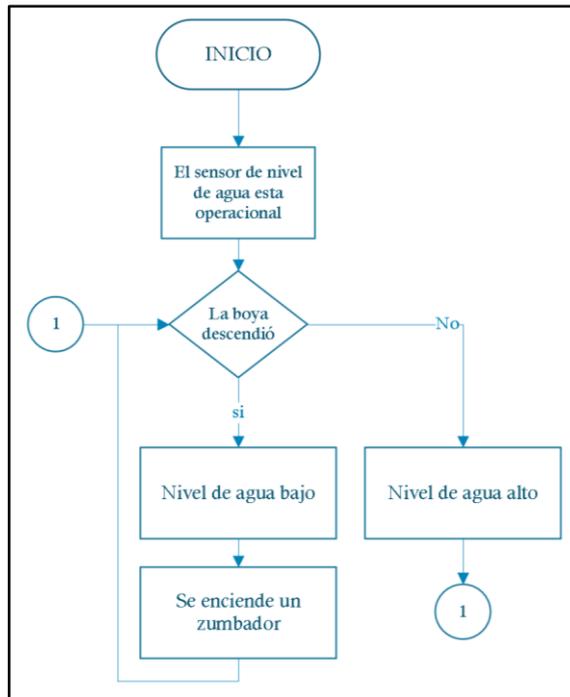


Figura 40. Diagrama de flujo del funcionamiento del sensor de nivel de tanque
Fuente: Elaboración propia.

El sistema de riego estará comprendido por un reservorio de plástico de 26cm de alto y 15cm de diámetro, que cuenta con capacidad de hasta 3 litros de líquido, al cual se le realizaron dos agujeros de 0.5 cm para que pueda acoplarse a dos bombas de 12 VDC cada una y estas a su vez con mangueras de hule de 100cm cada una, con la finalidad de transportar agua a ambos maceteros. Tal como se visualiza en la figura número 41 las bombas fueron adaptadas con silicona para evitar que se muevan y para que el fluido no se escape de la reserva.



Figura 41. Sistema de riego implementado
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, en la figura número 42, se incorporó un tubo de 15cm con respecto a la abertura, para que protegiera el cableado del sensor de nivel de tanque. El sensor o sonda de nivel de agua será colocada a una altura de 11 cm con respecto a la base del reservorio, con la finalidad de avisar al usuario de manera sonora y por un mensaje por pantalla cuando este se esté quedando con poca agua. La misma que será utilizada únicamente para abastecer a los dos cultivos, por ende, es de mucha importancia rellenar el contenedor cada vez que el sistema se lo indique.



Figura 42. Interior del Sistema de riego implementado
Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, para controlar la temperatura y humedad relativa del ambiente en que debe permanecer el cultivo se implementara un sistema de ventilación, que ayudaran a refrescar el interior del huerto, el cual según las propiedades del rábano deberá mantenerse entre los 20 y 25°C de temperatura ambiente.

El sensor que se utilizara para obtener la humedad y temperatura ambiental fue el DHT11, justificando la elección de este debido a que posee una señal digital calibrada y además presenta bajo costo, su rango de medición de temperatura trabaja entre 0°C a 50°C con precisión de $\pm 2^\circ\text{C}$ a 25°C. Así también presenta un rango de medición de humedad del 20% RH a 90% RH, y precisión del $\pm 5\%$ de humedad relativa, cuando opera entre una temperatura de 0°C y 50°C. El funcionamiento del sensor radica en obtener una señal analógica de la energía del ambiente y luego convertirla en formato digital, una vez que el sensor compruebe que los valores son correctos, dicha información enviará al microcontrolador en códigos binarios, para posteriormente presentarlos por pantalla, tal como se puede apreciar en el siguiente diagrama de flujo.

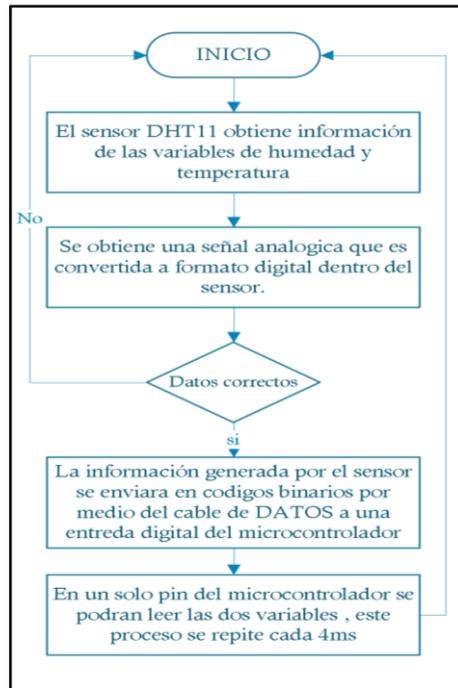


Figura 43. Diagrama de flujo del funcionamiento del sensor DHT11
Fuente: Elaboración propia.

Para el sistema de ventilación se optó por emplear dos ventiladores cooler de 12VDC y 0.20 Amp con un consumo de 2.4 Watts cada uno, que además contarán con un blue LED incorporado, que se encenderá al mismo tiempo que se mantengan encendido los ventiladores, estos ayudaran a refrescar el ambiente, disipando el calor, disminuyendo la temperatura y la humedad del ambiente. En la figura numero 44 se observa el ventilador en las pruebas de funcionamiento.



Figura 44. Elemento de ventilación en funcionamiento
Fuente: Elaboración propia.

Para concluir, en el proyecto implementado se pretende que los dos sistemas puedan ser activados y desactivados de manera manual y automática. De manera manual mediante el teclado matricial; y en modo automático funcionara de acuerdo con los valores ingresados por el usuario.

En la figura numero 45 encontramos el diagrama de flujo del sistema de riego y ventilación, donde seleccionando el modo automático los sensores empezaran a realizar la lectura constante de las variables, que a su vez presentaran los datos por pantalla, a continuación, el sistema verificara la temperatura del ambiente donde sí se encuentra que esta es mayor a la establecida encenderá el sistema de ventilación, y en caso de que esta sea menor apagara el sistema o simplemente lo mantendrá apagado. Luego se verificará la humedad de la tierra, donde si esta mayor a la establecida encenderá el sistema de riego, y en caso de que esta sea menor apagara el sistema de riego o simplemente lo mantendrá apagado.

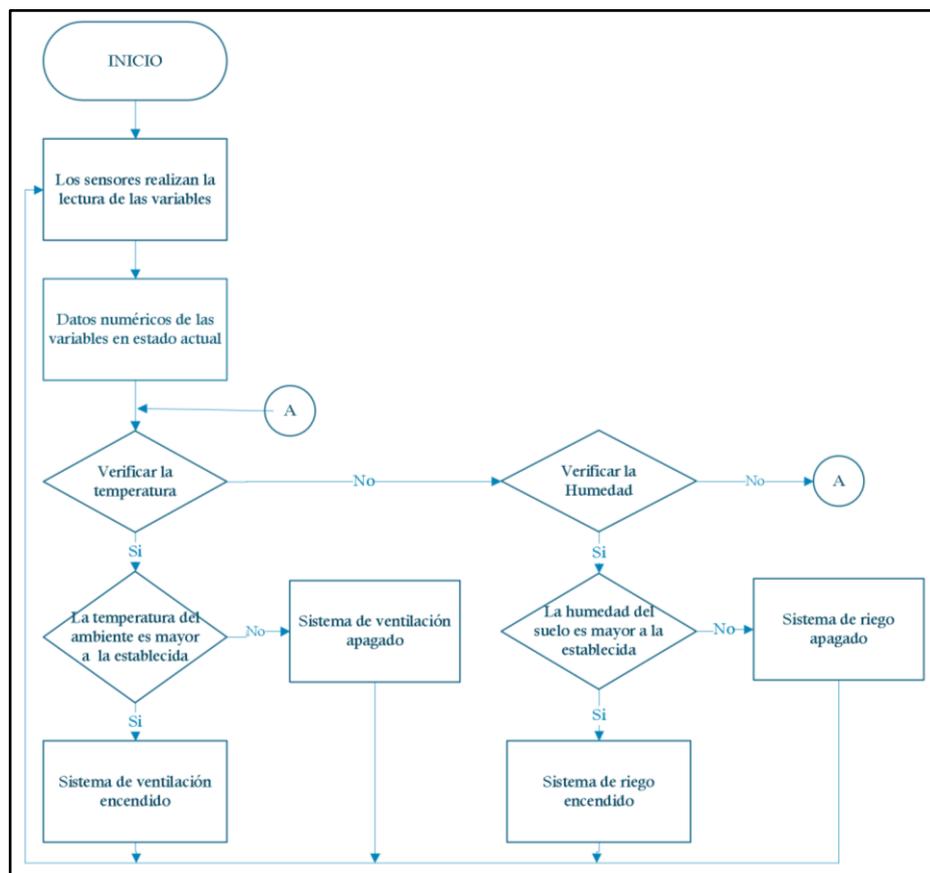


Figura 45. Diagrama de flujo del sistema de riego y ventilación
Fuente: Elaboración propia.

3.4. Diseño del Sistema de Monitoreo

En la figura número 46 se realiza un diagrama del circuito electrónico de monitoreo del huerto urbano vertical. Para el desarrollo del sistema se utilizó un microcontrolador Arduino Atmega 2560, el cual se alimentará externamente mediante el puerto USB por un adaptador de corriente que trabaje con entrada de 100VAC y salida de 5VDC al sistema, el cual se encargó de manejar todos los procesos a realizar dentro del huerto

donde están conectados los sensores de temperatura y humedad del ambiente, humedad del suelo, iluminación y nivel de agua.

Para medir la temperatura y la humedad relativa del aire que circula dentro del huerto se utilizó tres sensores DHT11, los cuales se alimentan del voltaje de 5V proveniente del Arduino, con los pines de datos en la entrada digital 22,23 y 24 respectivamente y la otra conexión a tierra; además, se conectó una resistencia de 5kΩ a cada una de las salidas digitales con la otra conexión al VCC; el sensor actuó partiendo de una señal analógica, la cual se transforma a digital para posterior envío de los datos al microcontrolador y que sean proyectados por pantalla.

Para calcular la humedad dentro de la tierra de ambos cultivos, se utilizó dos higrómetros FC-28, las cuales son placas que se conectan a sondas que se ubican perpendicularmente al cultivo y serán las encargadas de medir las variaciones de su conductividad; para lo cual, se conecta alimentando con 5v y GND los pines correspondientes del microcontrolador y para obtener los valores de lectura analógica se conecta el pin de datos con las salidas analógicas A0 y A1.

Para medir la intensidad de luz que existe en ambos huertos se usó un módulo sensor LDR, se alimenta de 5V y GND del microcontrolador y para obtener los valores de lectura analógica se conectó el pin de datos con las salidas analógicas A2 y A3.

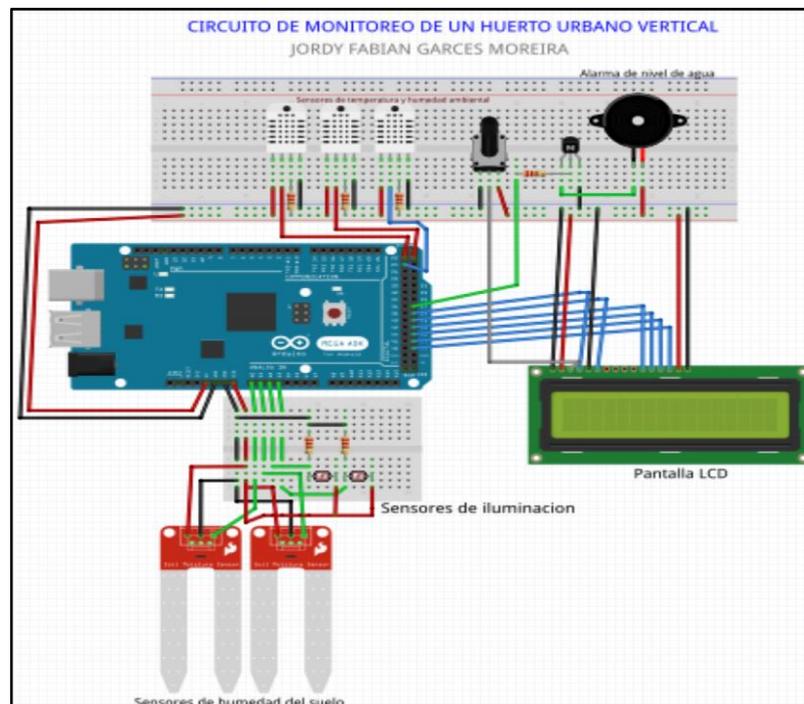


Figura 46. Diagrama del sistema de monitoreo del huerto urbano vertical
Fuente: Elaboración propia.

3.5. Diseño del Sistema de Control

Para el diseño del circuito de control se utilizó dos ventiladores, dos bombas de agua y dos paneles led. Cada uno de estos sistemas están conectados transistores relay; los cuales son los instrumentos más importantes dentro del sistema de control, estos dispositivos actúan como interruptores cuando reciben una señal eléctrica y ayudan a conmutar los actuadores antes mencionados.

Tal como se aprecia en la figura número 47, los relés se conectan entre los pines de salida 2 y 3 NA, también 2 y 4 NC con la bomba 1 y 2 en los pines 26 y 27; con los ventiladores en los pines 28 y 29; y con los paneles LED RGB1 y RGB2 en los pines 30,31,32,33,34,35 respectivamente de izquierda a derecha. Cuando se envía un valor de HIGH en el pin de control, provocará que el contacto cambie de posición, excitando la bobina del relay y dejando circular la corriente por actuadores, adicional se escuchará un clic; por otro lado, si se envía una señal de LOW en el pin de control el transistor impedirá el flujo. Todos estos instrumentos mencionados comprenderán los sistemas de control de temperatura, riego e iluminación.

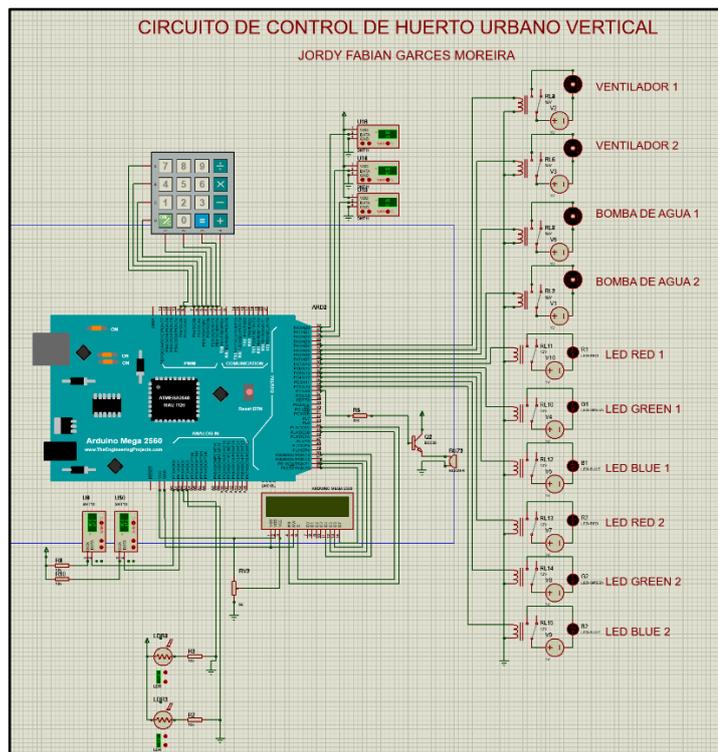


Figura 47. Diagrama del circuito del sistema de control del huerto urbano vertical
Fuente: Elaboración propia.

3.6. Interfaz del Usuario

Para una descripción breve del sistema, este empezará a funcionar cuando se suministre de energía eléctrica, de tal forma que los sensores comenzarán a obtener la información de cada una de las variables tales: como temperatura del ambiente, humedad relativa del ambiente, humedad del suelo, temperatura del suelo, nivel de agua y porcentaje de iluminación. Los datos obtenidos en tiempo real serán proyectados por pantalla de forma continua. Mediante la programación del microcontrolador el sistema será capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria tales como: emitir mensaje cuando el nivel de agua este alto o bajo; mostrar por pantalla cuando haya o no luz; activar o desactivar los diferentes sistemas como riego, iluminación y ventilación, estos podrán trabajar en modo manual y automático.

A continuación, en la figura número 48 se mostrará un diagrama de flujo, el cual explica las opciones que puede escoger el usuario dentro del sistema. Existen un menú con cinco opciones: Monitor, información, trabajar en modo manual y automático.

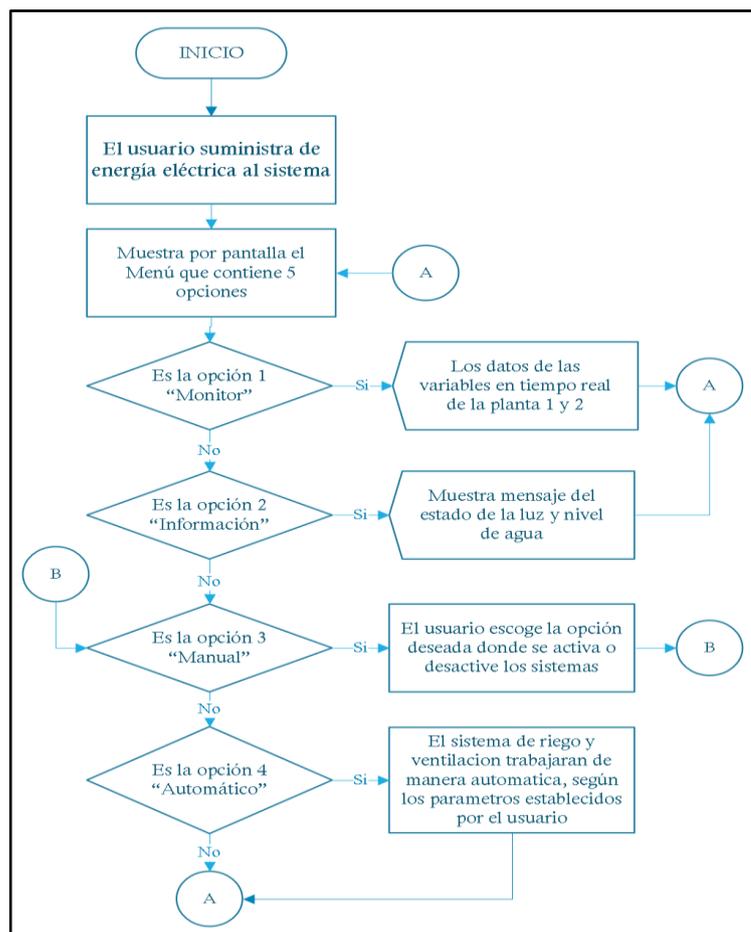


Figura 48. Diagrama de flujo de la interfaz del usuario
Fuente: Elaboración propia.

La interfaz con el usuario está conformada por una pantalla LCD4x20, teclado matricial 4x4 y una perilla de potenciómetros de 5k, tal como se muestra en la figura número 49 estos elementos estarán colocados en la parte externa del panel de control. El objetivo del diseño es que la interfaz trabaje de manera amigable con el usuario, y además puede interactuar con el sistema a través del teclado como se muestra en la siguiente imagen:



Figura 49. Panel de control del sistema implementado
Fuente: Elaboración propia.

Una vez que arranque el sistema, en el interior de la pantalla LCD se puede visualizar un menú el cual se visualiza en la figura número 50, que estará conformado con las siguientes opciones: Monitor, información, manual y automático. Los mismos que son diferentes modos en los que puede operar el sistema y que el usuario puede utilizar para experimentar con cualquiera de los dos cultivos.



Figura 50. Menú principal de la interfaz del usuario
Fuente: Elaboración propia.

1.- Monitor

Al presionar la tecla uno del teclado, en la pantalla LCD se despliega un submenú, donde el usuario puede visualizar toda la información en tiempo real de las variables, tal como se visualiza en la figura 51, dicha información ha sido obtenida por los sensores, dicha información se actualizará cada 2 segundos. En esta opción de Monitor el usuario podrá:

- Visualizar los datos obtenidos por los sensores.
- Regresar al menú principal mediante la tecla B (BACK)

- Ajustar el contraste de la luz de la pantalla mediante la perilla

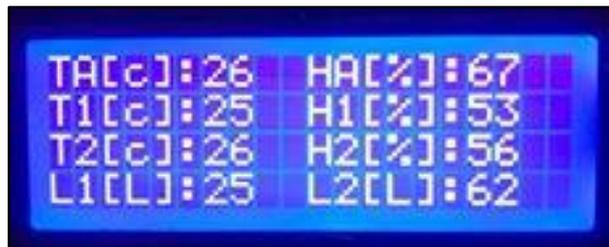


Figura 51. Información contenida en opción monitor
Fuente: Elaboración propia.

Donde:

TA: Temperatura ambiente del interior del huerto (centígrados)

HA: Humedad ambiente del interior del huerto (porcentaje de humedad)

T1: Temperatura ambiente de la planta 1 (centígrados)

H1: Humedad de tierra de la planta 1 (porcentaje de humedad)

T2: Temperatura ambiente de la planta 2 (centígrados)

H2: Humedad de tierra de la planta 2 (porcentaje de humedad)

L1: Iluminación de la planta 1 (porcentaje de iluminación)

L2: Iluminación de la planta 2 (porcentaje de iluminación)

2. - Información

Al presionar el botón 2 información, se mostrará el estado del reservorio de agua mediante un mensaje, “Nivel de agua alto” o “Nivel de agua bajo”, tal como se visualiza en la figura número 52. Además de presentar el mensaje por pantalla al usuario, emitirá una alerta sonora mediante un zumbador para indicar que el nivel de agua es bajo, por lo tanto, el tanque debe ser llenado nuevamente, el objetivo es que el sistema de riego este siempre suministrado de líquido.



Figura 52. Datos contenidos en opción información
Fuente: Elaboración propia.

El mensaje de Luz, “OK” y “NG” se proyectará por pantalla cuando el sensor de iluminación LDR capte o no luz dentro de la planta 1 y 2. Así también los mensajes de riego “ON” y “OFF” se proyectarán cada vez que se encienda o se apague las bombas de agua de ambos cultivos.

3.- *Trabaje en modo manual*

Al presionar el botón 3, el usuario podrá manejar de forma manual el sistema de riego e iluminación. Al seleccionar esta opción se desplegará el siguiente submenú que podemos apreciar en la figura número 53.

- Riego Manual (Presionar botón 1)
- Iluminación Manual (seleccionar botón 2)
- Regresar o Back (Seleccionar botón B)

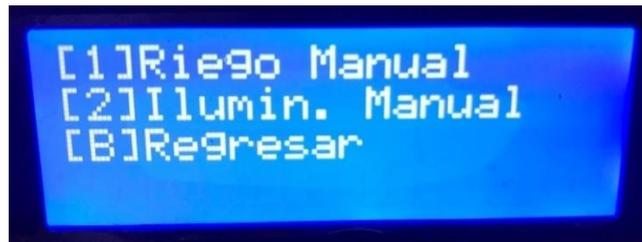


Figura 53. Submenú contenido en la opción manual
Fuente: Elaboración propia.

a) Riego Manual

Al seleccionar riego manual, se abrirá un submenú que permite activar o desactivar el sistema de riego al presionar los botones 1, 2, 3 o 4 tal como se visualiza en la figura número 54, esto podrá darse para ambos cultivos.

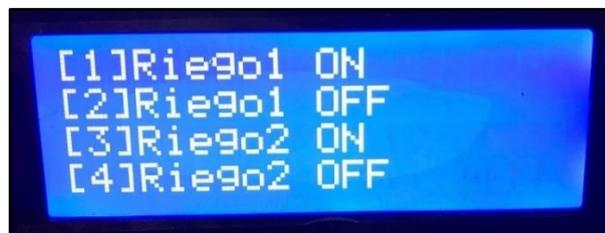


Figura 54. Submenú contenido en la opción riego manual
Fuente: Elaboración propia.

Donde:

[1]: Encender bomba de riego en la planta 1

[2]: Apagar bomba de riego en la planta 1

[3]: Encender bomba de riego en la planta 2

[4]: Apagar bomba de riego en la planta 2

b) Iluminación Manual

Mediante el sistema de iluminación LED RGB se podrá cambiar el color de la luz a rojo, verde y azul de los paneles ubicados en el cultivo 1 y 2; estos colores son necesarios para desarrollo vegetativo. Al seleccionar esta opción, aparecen en pantalla

nuevas opciones, las cuales pueden ser escogidas al presionar los botones del 1 al 6, tal como se visualiza en la figura número 55; además, se podrá variar la intensidad de la luz mediante el uso de las siguientes teclas: Tecla 0, se apagan todas las luces; C y D sirve para aumentar o disminuir la intensidad de la luz en ambos cultivos, * se prenderá la luz a su máxima intensidad, la cual es de 255. A continuación, se muestra una figura donde expresa lo anteriormente descrito.



Figura 55. Submenú contenido en la opción iluminación manual
Fuente: Elaboración propia.

Donde:

- [1]: Selección de color rojo en la planta 1
- [2]: Selección de color verde en la planta 1
- [3]: Selección de color azul en la planta 1
- [4]: Selección de color rojo en la planta 2
- [5]: Selección de color verde en la planta 2
- [6]: Selección de color azul en la planta 2
- PWMC [%]: Intensidad de la luz

4.- Trabajar en modo Automático (programada por usuario)

En la figura número 56 podemos observar los valores obtenidos en el modo automático, el cual permitirá al usuario plantear los valores establecidos dependiendo del tipo de planta que se desea cultivar. En este caso, se ha seleccionado el rábano. Según las características de esta hortaliza no debe superar los 25°C de temperatura ambiente, este parámetro será establecido en TP1 y TP2 correspondiente a cada cultivo, asimismo, el porcentaje de humedad debe mantenerse entre el 95 a 97 % Humedad Relativa, este parámetro se establece en HP1 y HP2 para ambos cultivos.



Figura 56. Valores obtenidos en trabajo en modo automático
Fuente: Elaboración propia.

Dónde:

TA: Temperatura del ambiente interno del huerto (centígrados)

HA: Humedad del ambiente interno del huerto (porcentaje de humedad relativa)

TP1: Temperatura programada de la planta 1 (centígrados)

HP1: Humedad programada de la planta 1 (porcentaje de humedad)

TP2: Temperatura programada de la planta 2 (centígrados)

HP2: Humedad programada de la planta 2 (porcentaje de humedad)

En el caso de que la temperatura y humedad este por encima de los valores programados, se accionarán automáticamente el sistema de riego y ventilación, con la finalidad de que el ambiente este contralado. Adicional, mediante la programación en Arduino se podrá sincronizar los colores de las luces durante un periodo de tiempo considerado por el usuario, en la pantalla se mostrará un mensaje como lo muestra la siguiente figura.



Figura 57. Mensaje mediante sincronización de luces.
Fuente: Elaboración propia.

3.6. Pruebas de Funcionamiento

En este apartado se realizarán diferentes pruebas en el prototipo que permitan verificar el funcionamiento del sistema de monitoreo y control implementado, para aquello se realizarán pruebas en los sensores para establecer el rango de error y exactitud, a su vez, se elaborará pruebas en los actuadores para determinar si están trabajando según lo programado. Todo esto se realiza con el fin de lograr el objetivo propuesto en el presente proyecto, a continuación, en la figura número 58, se muestra la estructura física terminada.



Figura 58. Prototipo terminado.
Fuente: Elaboración propia.

3.6.1. Pruebas de rendimiento del sensor DHT11.

Objetivo de la prueba: Determinar la precisión del sensor de humedad y temperatura.

Variables que intervienen: temperatura, humedad del ambiente y tiempo.

Desarrollo del experimento: Para el desarrollo de esta prueba se utilizó el sensor capacitivo DHT11 para obtener datos de la temperatura y humedad del aire circundante dentro del huerto en general, cultivo #1, cultivo # 2; esta información será comparada con los datos obtenidos por un termómetro digital portátil HT-9600. La recopilación fue durante 1 día, con intervalos de 1 hora.

Análisis de resultados: Se obtuvieron los valores de temperatura y humedad del interior del huerto durante 24 horas, luego se procedió a obtener el promedio de la

temperatura del sensor HT-9600, DHT11 del huerto, DHT11 cultivo 1 y DHT11 cultivo 2. Para conocer el error que existe en el sensor DHT11, se le restó el promedio del sensor HT-9600 en valor absoluto, esto se realizó con el objetivo de conocer el error que existe en cada sensor. Finalmente, para saber el porcentaje de error, se dividió el error obtenido para el promedio de los datos del sensor HT-9600, los cuales se pueden observar en las siguientes tablas.

Temperatura

Tabla 1

Resultados de temperatura obtenidos por Sensor HT-9600 vs DHT11

Tiempo (horas)	SENSOR HT-9600	SENSOR DHT11 Huerto	SENSOR DHT11 Cultivo 1	SENSOR DHT11 Cultivo 2
04:00 a.m.	22	23	20	23
05:00 a.m.	22	23	20	23
06:00 a.m.	23	23	21	24
07:00 a.m.	22	25	22	23
08:00 a.m.	23	25	22	24
09:00 a.m.	24	25	23	24
10:00 a.m.	25	25	25	25
11:00 a.m.	27	25	26	27
12:00 p.m.	28	25	27	27
13:00 p.m.	29	25	29	28
14:00 p.m.	30	29	29	29
15:00 p.m.	29	26	29	29
16:00 p.m.	29	27	29	29
17:00 p.m.	28	25	28	28
18:00 p.m.	27	25	26	28
19:00 p.m.	26	25	25	28
20:00 p.m.	25	23	25	26
21:00 p.m.	25	23	25	25
22:00 p.m.	25	23	25	25
23:00 p.m.	23	25	22	24
00:00 a.m.	24	25	23	25
01:00 a.m.	24	25	24	25
02:00 a.m.	23	25	23	24
03:00 a.m.	24	25	24	25
PROMEDIO	25.29	24.79	24.67	25.75
 Error 		0.50	0.63	0.46
% Error		1.98%	2.47%	1.81%

Nota: Elaboración propia.

En la tabla número 1 se puede apreciar los valores de temperatura obtenidos en las mediciones, las cuales presentan un porcentaje de error de 2,47% siendo el más alto y el más bajo de 1,81% con respecto a los valores obtenidos del termómetro digital. Además, se observa en la figura número 59 en la siguiente gráfica, que el sensor trabaja con mayor precisión cuando es expuesto a una temperatura de 25°C.

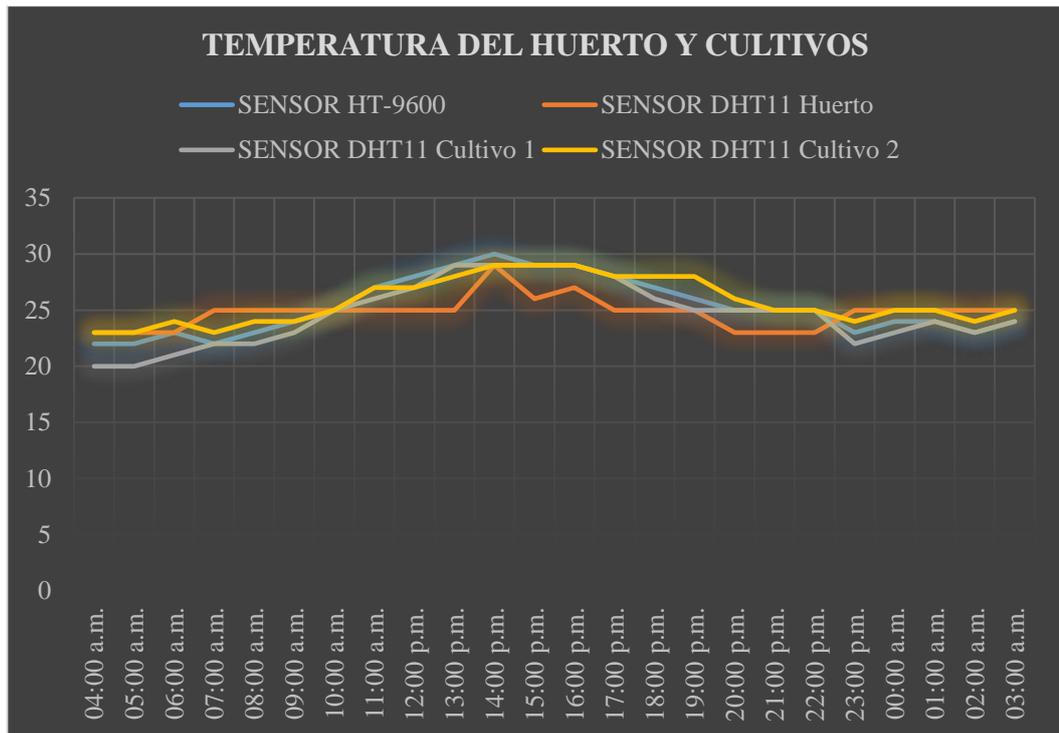


Figura 59. Valores obtenidos de temperatura del huerto y cultivos.
Fuente: Elaboración propia.

Así mismo, tomamos valores de la humedad del ambiente en el interior del huerto durante 24 horas, y se los expuso en la siguiente tabla.

Tabla 2

Resultados de humedad obtenidos por Sensor HT-9600 vs DHT11

Tiempo (horas)	SENSOR HT-9600	SENSOR DHT11 Huerto	SENSOR DHT11 Cultivo 1	SENSOR DHT11 Cultivo 2
04:00 a.m.	69	70	67	67
05:00 a.m.	71	70	68	68
06:00 a.m.	73	71	70	70
07:00 a.m.	75	73	72	71
08:00 a.m.	77	75	76	76
09:00 a.m.	77	76	76	76
10:00 a.m.	76	76	77	75
11:00 a.m.	71	74	73	73
12:00 p.m.	66	68	67	68
13:00 p.m.	62	64	65	65
14:00 p.m.	58	60	62	62
15:00 p.m.	55	56	53	52
16:00 p.m.	55	56	53	52
17:00 p.m.	55	54	52	52
18:00 p.m.	55	56	53	52
19:00 p.m.	56	55	53	52
20:00 p.m.	59	57	56	55
21:00 p.m.	62	66	64	64
22:00 p.m.	63	66	64	63
23:00 p.m.	63	66	64	63
00:00 a.m.	72	70	69	68
01:00 a.m.	69	67	64	64
02:00 a.m.	67	66	65	65
03:00 a.m.	67	66	65	65
PROMEDIO	65.54	65.75	64.50	64.08
 Error 		0.21	1.04	1.46
% Error		0.32%	1.59%	2.23%

Nota: Elaboración propia.

Los valores de humedad relativa obtenidos en las mediciones presentan un porcentaje de error siendo el más alto de 2,23% y el más bajo de 0,32% con respecto a los valores obtenidos del termómetro digital.

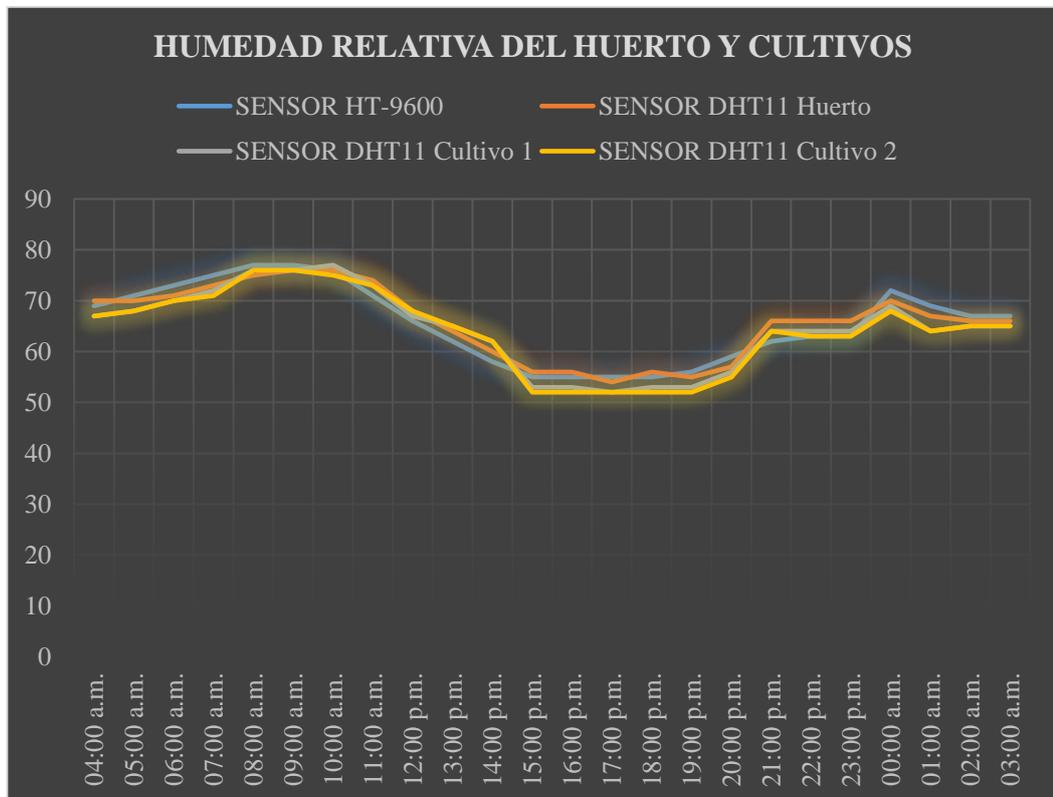


Figura 60. Valores obtenidos de humedad del huerto y cultivos.
Fuente: Elaboración propia.

Estos porcentajes de error pueden darse debido a que el sensor que utilizamos es de bajo costo y de versión genérica, en comparación al HT-9600 que cuenta con una precisión de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$.

3.6.2. Pruebas de rendimiento del sensor FC-28.

Objetivo de la prueba: Determinar el funcionamiento y porcentaje de error del sensor fc-28

Variabes que intervienen: Humedad del suelo, tiempo y temperatura de la cámara.

Desarrollo del experimento: Para validar el funcionamiento de los sensores de humedad que contiene el huerto, se colocarán las sondas dentro de tierra seca y humedad, donde según sus características, este instrumento medirá la conductividad del suelo, si este se encuentra muy húmedo la conductividad será mayor y si se encuentra muy seco, será menor. Las mediciones deberán entregar resultados análogos entre los valores 0 cuando el suelo está demasiado seco y 1023 cuando el suelo es demasiado húmedo.

Tabla 3

Valores obtenidos del sensor FC-28 en tierra seca y humedad

	Tierra Seca	Tierra Humeda
Estimado	0	1023
Cultivo 1	75 - 102	955 - 976
Cultivo 2	73 - 100	956 - 977

Nota: Elaboración propia.

Análisis de resultados: Los datos obtenidos por el cultivo 1, cuando la tierra se encuentra seca fueron de 75 a 102; y cuando la tierra estaba húmeda de 955 a 976. Asimismo, en el cultivo 2 se obtuvieron valores de 73 a 100 y cuando la tierra estaba húmeda de 956 a 977. Según los resultados obtenidos en los cultivos, cuando el suelo está seco comprendería un 0.7 a 10 % Humedad Relativa y cuando el suelo este húmedo comprendería un 95 a 97 % Humedad Relativa, como se observa en la siguiente gráfica.

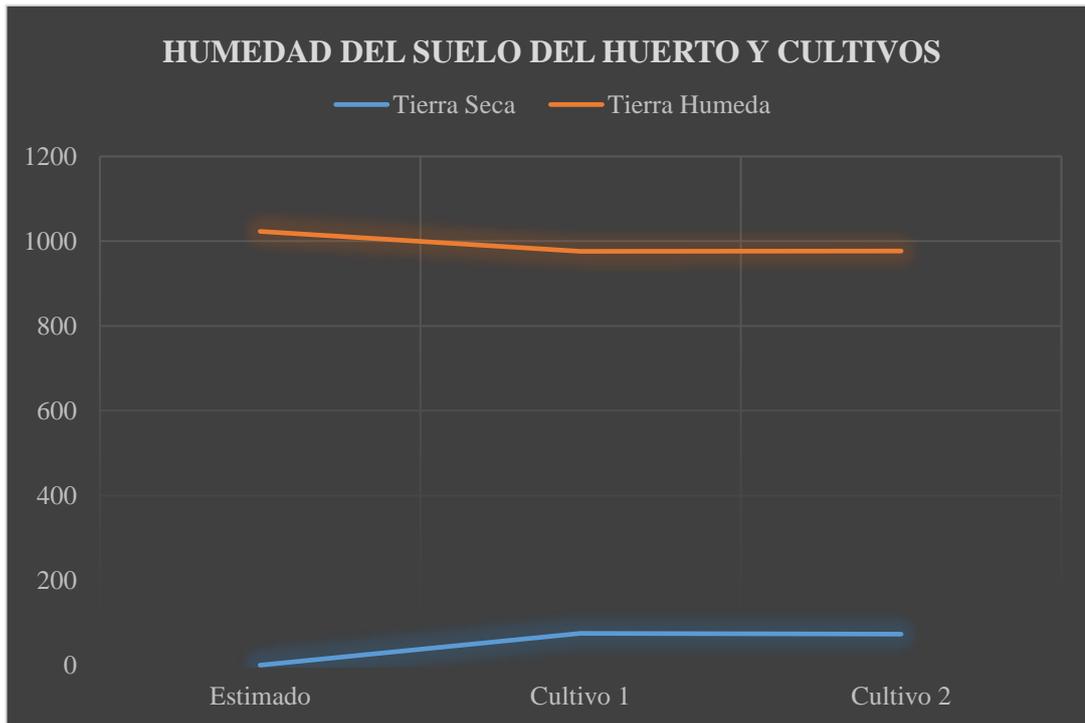


Figura 61. Valores obtenidos de humedad del suelo del huerto y cultivos.

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos obtenidos se puede deducir que cuando la tierra esta seca se calcula un 10% de humedad relativa y cuando la tierra esta mojada, se obtiene un valor de 97% de humedad relativa, sabiendo esto se puede decir que el sensor se comporta de manera correcta y proporciona datos esperados.

3.6.3. Prueba de rendimiento del sistema de control de iluminación.

Objetivo de la prueba: Verificar el funcionamiento del panel de iluminación artificial LED RGB

VARIABLES QUE INTERVIENEN: Luz artificial.

Desarrollo del experimento: Para comprobar el funcionamiento del sistema de iluminación se procederá a encender los paneles LED RGB de manera manual, presionando los botones del 1 al 6 para cambiar al color rojo, verde y azul; los cuales encenderemos y apagaremos constantemente para comprobar el funcionamiento y detectar errores en cuanto a falta de iluminación, apagones en el sistema, falta de sincronización y baja respuesta.

Se puede observar que en el momento que seleccionamos los botones mencionados, se escucha como se acciona el relay, el cual por órdenes del microcontrolador dejará pasar energía eléctrica de la batería al panel LED, que se encenderá permanentemente hasta que se accione otro color; en la siguiente imagen podemos observar las tres tonalidades que se puede generar dentro del huerto.



Figura 62. Pruebas en el sistema de control de iluminación.

Fuente: Elaboración propia.

Además, para comprobar el funcionamiento de la modulación por ancho de pulso, se accionarán los botones C y D, que incrementarán y decrecerán respectivamente la intensidad que tendrán los paneles; se debe recordar que esta técnica permite modificar el ciclo de trabajo de una señal periódica, con el fin de que pueda ser controlada la cantidad de energía a enviar a una carga. Mediante el Arduino enviaremos señales de 0 a 5 voltios a una frecuencia de hasta 500mhz a los paneles LED, esta variación de

intensidad será representada de 0 a 255 donde 0 es totalmente apagado y 255 es totalmente encendido, en la siguiente imagen se puede visualizar las intensidades que se pueden generar dentro del huerto.



Figura 63. Pruebas de variación de la intensidad de luz emitida por los paneles.
Fuente: Elaboración propia.

Análisis de resultados: Se puede concluir que el sistema de control de iluminación responde efectivamente en cuanto se accionan las órdenes por teclado, con un tiempo de respuesta bastante rápido. Además, se realizó la prueba manual mediante el encendido y apagado constante de cada uno de los paneles, sin presentar ningún inconveniente en cuanto a su funcionamiento, también la prueba de intensidad se realizó con la sincronización a la que fue programada y no presento ningún problema.

3.6.4. Prueba de funcionamiento del proceso de control de riego.

Objetivo de la prueba: Verificar el funcionamiento y tiempo de respuesta del sistema de riego.

Variables que intervienen: Humedad y temperatura.

Desarrollo del experimento: Para comprobar el funcionamiento del sistema de riego se procederá a encender las bombas de agua de manera manual, presionando los botones del 1 al 4; por consiguiente, se encendieron y apagaron constantemente los relay para verificar el funcionamiento y detectar errores; hay que añadir que las bombas de agua fluían constantemente desde que son accionadas y solo se apagaron

cuando se presionaron los botones de OFF. Por otro lado, se comprobó el funcionamiento del sistema de manera automática, utilizando el sensor FC-28 que obtenga valores analógicos de humedad y se programó el sistema de riego, el cual active las bombas de agua de manera automática siempre que el sensor obtenga valores menores al establecido.

Además, para obtener el tiempo de respuesta del sistema de riego, se ejecutó 3 pruebas para cada bomba, donde el sistema en ambos casos tardó milisegundos en accionarse desde el presionó la tecla ON (riego encendido). El tiempo de respuesta del sistema de riego en el cultivo 1 es menor al del cultivo 2, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 4

Valores obtenidos en tiempo de respuesta del control de riego.

	Sist Riego 1	Sist Riego 2
1era Prueba	26	46
2da Prueba	30	47
3era Prueba	31	43
PROMEDIO	29	45

Nota: Elaboración propia.

Análisis de resultados: El comportamiento del sistema de riego de manera manual se realizó correctamente y no presento ningún inconveniente. Por otro lado, cuando se trabaja de manera automatizada, el sistema respondió positivamente ya que las bombas se activaron constantemente hasta que el valor del sensor indique que la humedad de la tierra sobrepasa a la humedad programada.

En cuanto al tiempo de respuesta del cultivo 1 fue de 29ms siendo mejor en comparación al cultivo 2 con 45ms, esto ocurre debido a que el primer cultivo está ubicado en la sección inferior, por lo tanto, se colocó una manguera más corta; siendo lo contrario para el cultivo 2. Por consiguiente, se puede apreciar que, al tener menor distancia, el tiempo de respuesta fue más rápido.

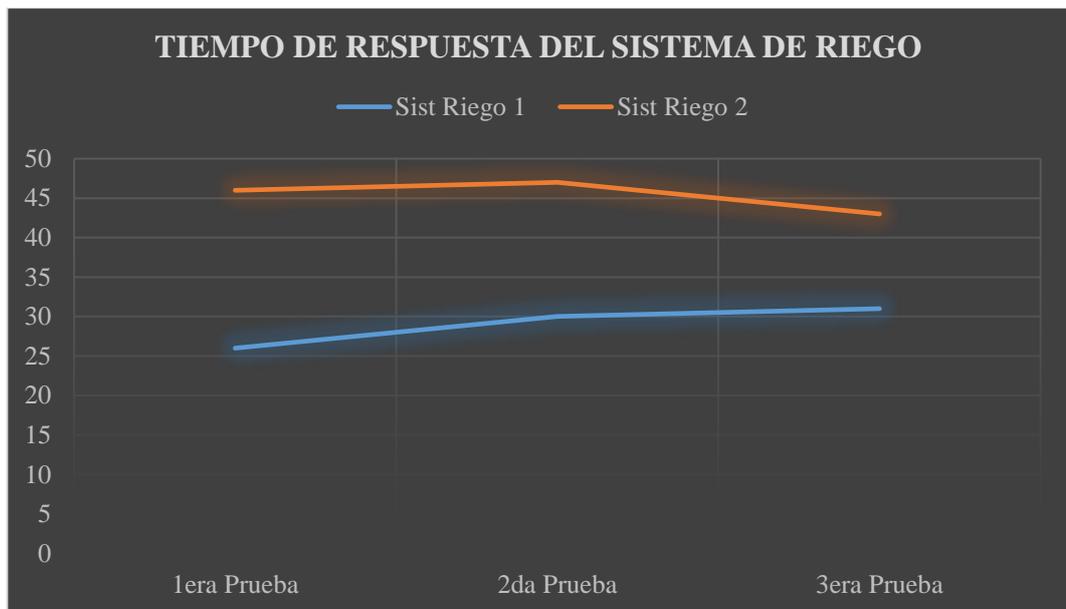


Figura 64. Pruebas de tiempo de respuesta del sistema de riego.
Fuente: Elaboración propia.

3.6.5. Prueba de funcionamiento del proceso de control de riego.

Objetivo de la prueba: Obtener el volumen de agua en cada chorro y medir el tiempo en que fluye.

Variables que intervienen: Humedad y tiempo.

Desarrollo del experimento: Se procedió a ubicar el sensor de humedad FC-28 en tierra completamente seca ubicada en el cultivo 1, con el objetivo de activar el sistema de riego automático; en el momento en que se encendió e impulsó el primer chorro de agua, se calculó el tiempo en el que fluye el líquido y se midió el volumen obtenido, esta medición fue a través de un vaso precipitado de plástico y un cronometro digital. El mismo procedimiento se dio para saber el volumen de agua del sistema de riego 2.

	Sist Riego 1	Sist Riego 2
Mililitros	25	24

Análisis de resultados: Con esta prueba se puede conocer la cantidad de líquido por chorro que se entrega al cultivo, el cual se encuentra entre unos 24 a 25ml durante 50ms, por lo tanto, el caudal obtenido será 490ml/s, todo este análisis es en modo automático.

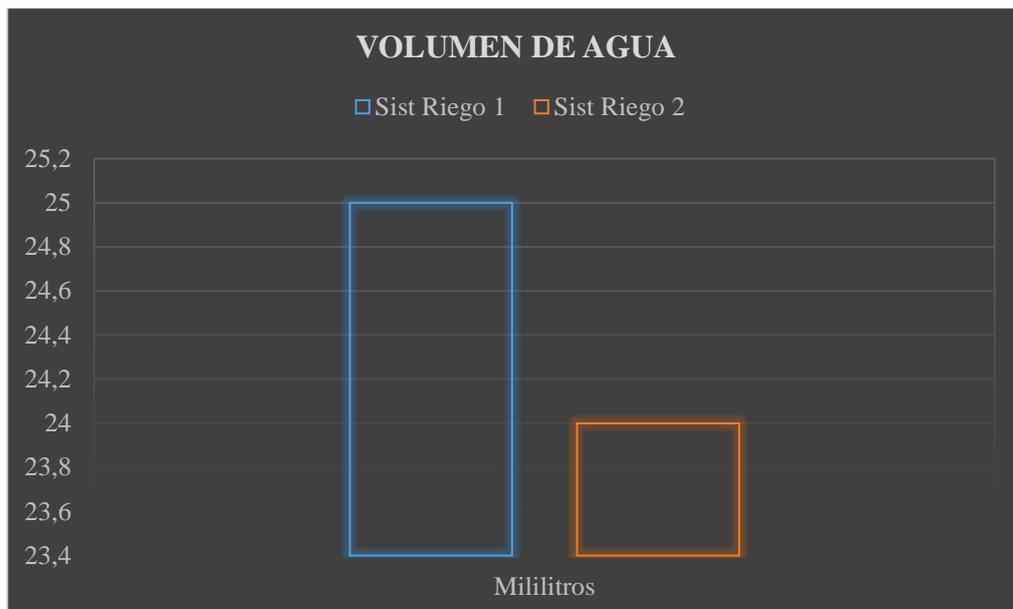


Figura 65. Pruebas de volumen de agua suministrado por sistema de riego.
Fuente: Elaboración propia.

3.6.6. Prueba de funcionamiento del proceso de control de riego.

Objetivo de la prueba: Obtener el caudal por segundo en modo manual

Variables que intervienen: Humedad y tiempo

Desarrollo del experimento: Se procedió a escoger la opción riego manual, luego se activaron las bombas de ambos cultivos en un periodo de 1 segundo, con la finalidad de conocer el caudal de agua entregado y compararlo con los datos del valor ideal. Se realizaron 3 pruebas con cada una de las bombas de agua obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 5

Promedio obtenido del caudal en las pruebas del control de riego.

Caudal (ml/s)	Bomba 1	Bomba 2	Ideal
1era Prueba	60	65	45
2da Prueba	61	63	45
3era Prueba	50	63	45
PROMEDIO	57	64	45

Nota: Elaboración propia.

Análisis de resultados: Con esta prueba se puede conocer que el caudal generado por ambas bombas de agua supera al valor ideal entregado por el fabricante, tal como se muestra en la siguiente gráfica.

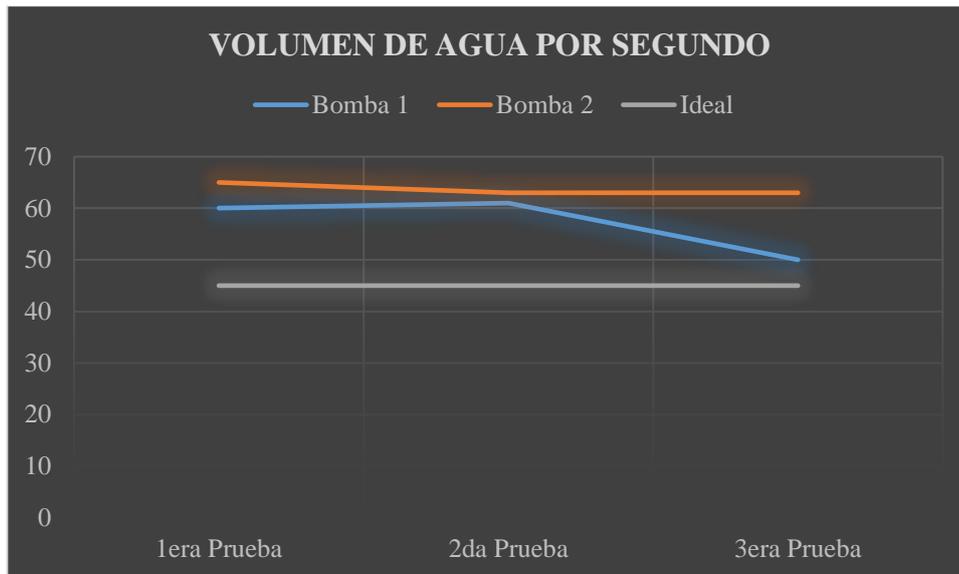


Figura 66. Obtención del volumen de agua por segundo.
Fuente: Elaboración propia.

3.6.7. Proceso de control de ventilación.

Objetivo de la prueba: Verificar el funcionamiento y tiempo de respuesta de los ventiladores.

Variables que intervienen: Humedad, temperatura y calor.

Desarrollo del experimento: Se trabajará en el modo automático, donde se establecerá un rango de temperatura menor a la que se encuentre los cultivos en ese momento, con el fin de observar cómo influye el actuador dentro de la temperatura y humedad del huerto.



Figura 67. Prueba de funcionamiento del sistema de ventilación.
Fuente: Elaboración propia.

Para determinar el tiempo de reacción de los ventiladores se estableció una temperatura de 25°C la cual es menor a la que se encontraba el cultivo, 1 y 2 que era de 26°C. Se realizó la medición durante 6 minutos, obteniendo que la temperatura del cultivo 1 descendió al minuto; en cambio, la temperatura del cultivo 2 bajó al tercer

minuto. Ambos cultivos subieron sus temperaturas al minuto 3 y 4 pero estas se equilibraron a la establecida desde el minuto 9, como se muestra en la siguiente imagen.

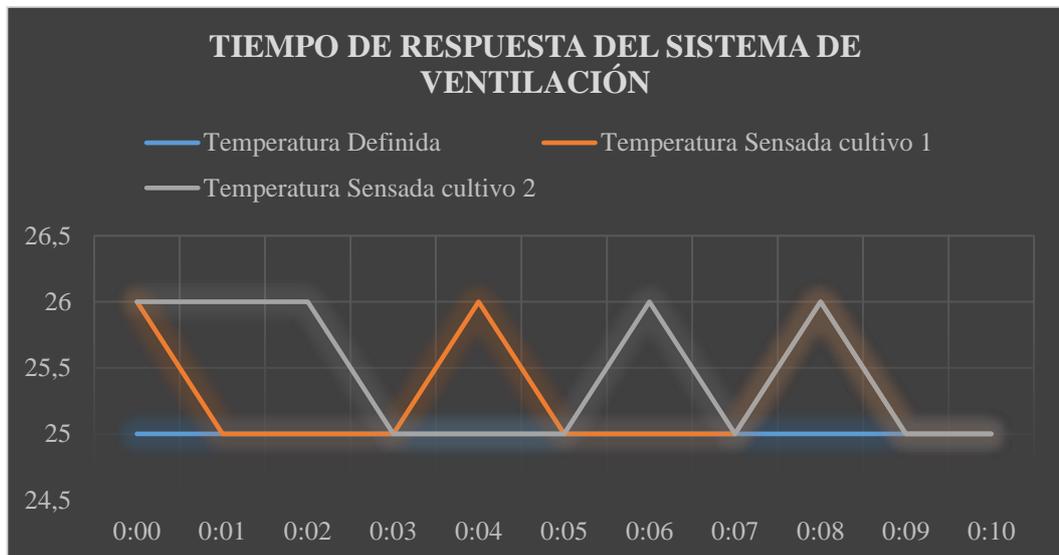


Figura 68. Prueba de tiempo de respuesta del sistema de ventilación.
Fuente: Elaboración propia.

Análisis de resultados: Gracias a las pruebas establecidas, se pudo determinar que el sistema de ventilación requiere un mínimo 3 min y máximo de 9 min para que la temperatura requerida se pueda establecer, además se pudo determinar que, si el clima del exterior supera los 30°C, el sistema de enfriamiento no tiene repuesta alguna debido a que el aire que ingrese por el ventilador será caliente. Por otro lado, si el ventilador recibe aire frío, su tiempo de actuación será el indicado anteriormente.

Capítulo IV

Presentación y Discusión de Resultados

El presente capítulo tiene como objetivo presentar los resultados obtenidos del diseño e implementación del sistema propuesto, para así, analizarlos y discutirlos. A su vez, indicar si se aceptan o no las hipótesis establecidas.

4.1. Presentación de resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en cuanto a las referencias al estado del arte, hardware, software, la interfaz con el usuario, las pruebas realizadas al prototipo y los resultados generales del sistema.

4.1.1. Resultados referentes al estado del arte.

En el estado del arte se examinó modelos de sistemas de control implementados en los procesos de agricultura urbana vertical, de esos trabajos se obtuvo que mediante sistemas indoor totalmente automatizados e iluminación artificial LED, se puede emular la luz solar buscando un efecto de luz que pueda ser el apropiado para desarrollar la fotosíntesis, además es posible controlar la temperatura y humedad de un hábitat, reduciendo así problemas presentados en el desarrollo de las plantas, como el mejoramiento de su calidad y el aumento de su productividad.

4.1.2. Resultados de hardware.

Se diseñó un panel de control que cuenta con una interfaz gráfica e interactiva, que le permita al usuario por medio de un teclado matricial enviar órdenes al microcontrolador y una pantalla LCD, poder visualizar dichas órdenes y observar los datos que el sistema obtiene de las variables. La desventaja fue que al utilizar el teclado se puede obtener problemas de respuesta, si se presionan varias teclas a la vez. La ventaja es que el formato de pantalla de 20 caracteres por 4 líneas se puede apreciar y comprender de mejor manera toda la información proyectada.

Se utilizó un tablero de conexiones de 40x30cm del cual se aprovechó totalmente su espacio debido a las dimensiones de los instrumentos, ya que al ser dispositivos electrónicos no poseen gran grosor y pueden ser colocados en su interior con facilidad. El microcontrolador y los módulos relé se ubicaron al fondo y en sus laterales se ubicó las distintas fuentes de alimentación.

Para poder alimentar cada uno de los elementos del sistema mencionado, se optó por dividir las cargas de la siguiente manera, el microcontrolador se abastecerá mediante un adaptador de corriente que pueda entregar el valor ideal de 5V DC y el

cual a su vez alimenta los elementos externos, tales como los sensores, la pantalla y el teclado; por otra parte, los paneles LED se abastecerán de un solo adaptador que presente 12V DC, por último para alimentar los ventiladores y las bombas de riego se empleó una batería de 12V DC recargable, se trabajó de esta manera para evitar que en caso que la batería se descargue, la iluminación pudiese continuar normalmente. Además, para la comunicación y alimentación de los sensores y actuadores se utilizó cables de 40 a 90 cm ya que se ubicaron alrededor de todo el huerto y debajo del tablero de conexiones. Se utilizó mini protoboards para poder llegar a cada uno de ellos.

Es de gran importancia la utilización módulos relé ya que utilizó como un interruptor que mediante señales eléctricas recibidas por el microcontrolador nos habilite la conexión y desconexión de nuestros actuadores, también es de gran ayuda como elemento de protección ya que nos permitió aislar el circuito de potencia y control.

El sistema de bombeo fue ubicado en la parte trasera del huerto, debido a que cuando el sensor de nivel de tanque indique que el nivel de agua está descendiendo, el usuario se acerque a llenarlo nuevamente. Para lo cual, si estuviese adentro, tendría que abrir el huerto continuamente, por lo que, la puerta no es independiente para cada sección y esto alterará el ambiente de los cultivos.

4.1.3. Resultados de software.

Para la elaboración del software se utilizó la plataforma Arduino, la cual posee código abierto si necesidad de licencias ni permisos; debido a su fácil manejo y adaptación con nuestra tarjeta se la utilizara para programar el microcontrolador y así controlar cada una de las entradas y salidas.

Se establecieron las librerías necesarias para iniciar la programación, luego se determinaron las constantes que ayudan a dibujar el teclado capaz de captar el número del botón que se presione. Además, se nombraron todas las variables y estas se igualan a cero, a su vez, se establece el estado inicial de las variables de riego y ventilación.

La programación inicial empezó con la función serial, la cual sirve para comunicar el Arduino con el computador, iniciar la pantalla e indicar todos los pines del Arduino en un estado de salida ya que van a emitir un voltaje y accionarán los relés, en cambio para determinar el apagado de los pines se pondrá en alto. Luego se mostrará por pantalla el menú de 4 opciones. Para esto, el usuario debe presionar la opción y mientras varios ciclos se ejecutará la escogida; en la opción 1, monitor, se leerán los

sensores y los datos obtenidos se mostrarán por pantalla. En la opción 2, información, se usarán varias condicionales para conocer el estado del nivel de agua y presentar por pantalla, a su vez, se presenta una alarma sonora. También, lee el sensor de iluminación para conocer si existe o no luz; además, el estado de la salida del relé para saber si el riego este encendido y apagado. A su vez, se utiliza limpiar, para una limpieza de pantalla y evitar que los caracteres sigan apareciendo en las siguientes opciones.

Cuando el usuario escoge la opción 3, manual, se abrirá otro ciclo que permita presentar un submenú que mediante condicionales se podrá activar o desactivar el sistema de riego; de igual forma actúa la opción de iluminación manual. Cuando se trabaja en modo automático, lee los datos de potenciómetro y se lleva a una escala de 50 tanto del ambiente y temperatura de ambos cultivos mediante una lectura analógica, luego de esto interviene el sensor, quien se iguala con los datos obtenidos anteriormente para así mediante un condicional accionar o desactivar los ventiladores y el riego de los 2 cultivos. Todo esto se muestra por pantalla.

Finalmente, se utiliza un ciclo que al presionar el botón 5 mostrará por pantalla un mensaje de que indique que el sistema se encuentra trabajando y es ahí donde mediante la función de escritura digital se activarán los paneles y cambiarán su color según el tiempo programado.

4.1.4. Resultados de interfaz de usuario.

Se elaboró una interfaz amigable para el usuario, la cual contiene un menú con 4 opciones a escoger, tales como monitor, información, manual y automático. Cada una de estas posee un submenú necesario para que el usuario pueda ejecutar órdenes.

- **Monitor:** El usuario puede conocer la información en tiempo real que poseen las variables, los cuales fueron obtenidos por los sensores. Las variables por observar son: temperatura y humedad del ambiente, temperatura y humedad de la tierra y luminosidad.
- **Información:** El usuario conoce el estado de la luz en ambos cultivos, además, saber si el riego se encuentra activado o desactivado. A su vez, muestra mensajes cuando el nivel de agua del reservorio está bajo incluyendo una alarma sonora.
- **Manual:** Permite activar o desactivar el sistema de riego en ambos cultivos, además, escoger entre el color rojo, verde y azul que emitirán los paneles

LED. Cabe mencionar que es posible graduar la intensidad que estos presenten.

- Automático: Ayuda a establecer la temperatura máxima a la cual deben de estar los cultivos, en el caso de que la temperatura censada sea mayor a la establecida, el sistema de ventilación se acciona hasta que la temperatura sea controlada. Además, permite accionar los riegos cuando la tierra se encuentra muy seca.
- Finalmente, el prototipo presenta la opción de luces programadas durante intervalos de tiempo, todo esto se da presionando el botón 5 del teclado.

4.1.5. Resultados de las pruebas de prototipo.

Se realizaron siete pruebas a los sistemas que posee el trabajo propuesto. Los cuales las describiremos a continuación.

Ejecución de pruebas de rendimiento del sensor DHT11 donde se encontró que los valores de temperatura obtenidos en las mediciones presentan un porcentaje de error de 2,47% siendo el más alto y el más bajo de 1,81%. Así también los valores de humedad relativa obtenidos en las mediciones presentan un porcentaje de error siendo el más alto de 2,23% y el más bajo de 0,32% con respecto a los valores obtenidos del termómetro digital. Las pruebas de rendimiento del sensor FC-28 resultaron satisfactorias, ya que con los datos obtenidos se puede deducir que cuando la tierra esta seca se calcula un 10% de humedad relativa y cuando la tierra esta mojada, se obtiene un valor de 97% de humedad relativa, sabiendo esto se puede conocer que el sensor se comporta de manera correcta y proporciona datos esperados.

También, se evaluó el rendimiento del sistema de control de iluminación donde se pudo concluir que el sistema de control de iluminación responde efectivamente en cuanto se accionan las órdenes por teclado, con un tiempo de respuesta bastante rápido. Además, se realizó la prueba manual mediante el encendido y apagado constante de cada uno de los paneles, sin presentar ningún inconveniente en cuanto a su funcionamiento, también la prueba de intensidad se realizó con la sincronización a la que fue programada y no presento ningún problema.

Para el control de riego, se desarrollaron tres tipos de pruebas. La prueba de funcionamiento del proceso de control de riego donde se evaluó el comportamiento del sistema de riego de manera manual, el cual se realizó correctamente y no presento ningún inconveniente. Por otro lado, cuando se trabaja de manera automatizada, el

sistema respondió positivamente ya que las bombas se activaron constantemente hasta que el valor del sensor indique que la humedad de la tierra sobrepasa a la humedad programada. En cuanto al tiempo de respuesta del cultivo 1 fue de 29ms siendo mejor en comparación al cultivo 2 con 45ms, esto ocurre debido a que el primer cultivo está ubicado en la sección inferior, por lo tanto, se colocó una manguera más corta; siendo lo contrario para el cultivo 2. Por consiguiente, se puede apreciar que, al tener menor distancia, el tiempo de respuesta fue más rápido. También se realizó una prueba para obtener el volumen de agua en cada chorro y medir el tiempo en que fluye, donde se pudo conocer la cantidad de líquido por chorro que se entrega al cultivo, el cual se encuentra entre unos 24 a 25ml durante 50ms, por lo tanto, el caudal obtenido será 490ml/s, todo este análisis es en modo automático. Además, con la prueba para obtener el caudal en modo manual se obtuvo que el caudal generado por ambas bombas de agua supere al valor ideal entregado por el fabricante.

Por último, con la prueba para verificar el funcionamiento y tiempo de respuesta de los ventiladores, se pudo determinar que el sistema de ventilación requiere un mínimo 3 min y máximo de 9 min para que la temperatura requerida se pueda establecer, además se pudo determinar que, si el clima del exterior supera los 30°C, el sistema de enfriamiento no tiene repuesta alguna debido a que el aire que ingrese por el ventilador será caliente. Por otro lado, si el ventilador recibe aire frío, su tiempo de actuación será el indicado anteriormente.

4.1.6. Resultados generales del sistema: descripción, características y funciones.

Se realizó el diseño e implementación de un sistema que permita al usuario el monitoreo constante de las variables que influyen en el crecimiento de la planta a través de sensores de iluminación, temperatura y humedad, los cuales mediante el uso de un microcontrolador permita ejecutar órdenes programadas por el usuario, controlando así los sistemas de ventilación, riego e iluminación y que estos puedan generar un efecto sobre la plántula. El sistema de iluminación se realizará mediante paneles LED RGB, permitiendo al usuario escoger el color y la intensidad que requiera aplicar al cultivo. Por otra parte, el sistema de riego y ventilación servirá para refrescar el ambiente y humedecer la tierra.

El usuario podrá elegir cada uno de los modos de trabajo que el sistema le permita para adecuar el hábitat de los cultivos a las condiciones que lo requiera, en donde el

modo manual le permitirá encender y apagar de manera manual los sistemas de iluminación y riego; así mismo el modo automático le permitirá ingresar por teclado los rangos de temperatura y humedad del suelo, causando que constantemente los actuadores se enciendan cada vez que dichos rangos sean sobrepasados, además en el modo información se podrá visualizar si el reservorio tiene un bajo nivel de agua, y si los cultivos presentan o no presentan iluminación.

El modelo de huerto urbano constará con las siguientes características: La estructura vertical posee dimensiones: 98cm de alto, 55cm de ancho y 41cm de profundidad. Además, se divide en 3 repisas o secciones de 32.67 cm de alto entre cada una. El panel de control empleara varios dispositivos que permitan las comunicaciones con él usuario, entre ellos un microcontrolador Atmega2560, LCD 4X20, teclado matricial 4X4; entres los sensores utilizaremos DTH11 para calcular la temperatura y humedad relativa del ambiente, un higrómetro de suelo FC-28 para determinar la humedad de la tierra, un módulo sensor de fotorresistencia LDR que perciba el porcentaje de iluminación, dos ventiladores de 12V y 0,5A. Dos paneles LED RGB y un controlador L298N para el control de las luces y la señal PWM. Para el riego se contará con un sensor de nivel de tanque, dos bombas de agua de limpiaparabrisas de 12V DC con 2 amperios y potencia de 24W cada una, que puede bombear, un reservorio de agua con capacidad de 3 litros y 2 metros de manguera de hule.

Entre las funciones encontramos la ejecución de procesos de control mediante el encendido y apagado manual y automático de: dos ventiladores, dos paneles LED RGB donde se podrá elegir entre el color rojo, azul y verde; además de variar la intensidad, dos bombas de agua que por medio de mangueras distribuirá líquido por chorros a ambos cultivos. Además, se podrá monitorear permanente las variables ambientales mediante una pantalla LCD, la cual actuara como una interfaz visual, por último, se podrá emitir alertas de forma sonora y avisos para conocer cuando el tanque no disponga de agua, escasez luz en el entorno, además de notificar el encendido y apagado de los dispositivos de riego e iluminación.

4.2. Discusión de resultados

A continuación, se discuten los resultados obtenidos desde diferentes perspectivas que fueron necesarias para desarrollar el presente trabajo, los análisis a realizar serán de las características y funciones del sistema, el cumplimiento de sus objetivos, metodología, hipótesis, la solución del problema de investigación y la discusión final.

4.2.1. Análisis de las características y funciones del sistema

La estructura física del modelo del huerto vertical se lo diseñó de tal manera que en su interior tenga un ambiente propio y en el caso de verse afectado, se pueda controlar mediante el sistema planteado. La distancia entre cada sección se estableció debido a la altura mínima que debe posicionarse un panel artificial para no afectar a las hojas de las plantas. El sistema posee una interfaz visual e interactiva que utilizará el usuario para comunicarse con el microcontrolador, el mismo que le permitirá ejecutar las órdenes que requiera.

Los sensores estarán ubicados en el interior del huerto, cada sección contendrá un sensor de humedad y temperatura del aire, estos estarán colocados en un extremo; asimismo, en el interior del terreno del cultivo se ubicó un sensor de humedad del suelo e iluminación. Por otro lado, el sensor de nivel de tanque de agua está colocado en el reservorio, a una altura menor al sugerido.

Entre las funciones encontramos la ejecución de procesos de control mediante el encendido y apagado ya sea de forma manual y automático de: dos ventiladores, dos paneles LED RGB donde se podrá elegir entre el color rojo, azul y verde; además de variar la intensidad, dos bombas de agua que por medio de mangueras distribuirá líquido por chorros a ambos cultivos. Además, se podrá monitorear permanente las variables ambientales mediante una pantalla LCD, la cual actúa como una interfaz visual, por último, se podrá emitir alertas de forma sonora y avisos para conocer cuando el tanque no disponga de agua, escasez luz en el entorno, además de notificar el encendido y apagado de los dispositivos de riego e iluminación.

4.2.2. Cumplimiento de los objetivos.

A continuación, se detalla si el presente trabajo cumplió o no los objetivos tanto generales como específicos.

4.2.2.1. Objetivo general.

Se logró desarrollar un sistema que permita monitorear y controlar los procesos vegetativos en el interior de un huerto urbano vertical de forma manual y automática, el cual está constituido por dos procesos; el primero monitoreo, que se encarga de obtener información de las variables tales como la temperatura y humedad del suelo; temperatura y humedad en el ambiente, la intensidad lumínica y el nivel de agua, por los sensores en tiempo real. El segundo control es el encargado de la activación de subsistema que comprenden actuadores de ventilación, riego e iluminación LED RGB.

La comunicación entre estos dos sistemas se desarrolló a través de un microcontrolador Atmega2560.

4.2.2.2 *Objetivos específicos.*

Para cumplir los objetivos de nuestro proyecto, se diseñó el modelo del sistema de control y monitoreo con ayuda de varios softwares de diseños electrónicos como Proteus 8 y Fritzing que ayudaron a verificar el funcionamiento y la comunicación del sistema planteado. Así también, se diseñó un sistema de iluminación artificial aplicado a los huertos urbanos verticales, mediante la elaboración de paneles LED RGB, los cuales respondieron efectivamente en cuanto se accionaron las órdenes por teclado, sin presentar problemas, además, gracias a las características de los diodos, se puede obtener un mayor ángulo de emisión de luz cubriendo gran parte del cultivo.

Por otro lado, para validar el funcionamiento del sistema de control implementado a una granja urbana vertical, se realizaron experimentos y pruebas a los subsistemas, obteniendo muy buenos resultados en las pruebas de control manual y automático.

4.2.3. Análisis de la metodología.

El presente proyecto fue de tipo correlacional con enfoque cuantitativo, para aquello se usaron dos metodologías. El primer método utilizado fue el bibliográfico, el cual sirvió para la recopilación de información y datos técnicos necesarios para el diseño e implementación del sistema. Una vez diseñado, se puso en marcha el método experimental a través de las pruebas de funcionamiento del sistema en el laboratorio de la facultad, llegando a comparar los datos obtenidos de las plantas cultivadas en diferentes condiciones.

4.2.4. Análisis de la hipótesis.

Una vez analizados los resultados obtenidos, se puede concluir que si existe una relación significativa entre el sistema propuesto y la automatización de iluminación y procesos vegetativos; por lo tanto, la hipótesis a aceptar es:

H1. Existe relación significativa entre el sistema de control basado en microcontroladores para automatizar la iluminación artificial y los procesos vegetativos del rábano en huertos verticales.

Ya que la hipótesis fue comprobada gracias a las pruebas de funcionamiento y el cultivo de la hortaliza, se pudo lograr un modelo de huerto urbano automatizado que permitió controlar las variables ambientales que benefician el crecimiento del rábano; es decir, ofrece un entorno a una temperatura adecuada, constante humedad en la tierra,

variar la intensidad de la luz y emitir los colores necesarios para su desarrollo, fotosíntesis y entre otros procesos vegetativos para conservar el rábano en condiciones óptimas.

Finalmente, se logró reducir un 60% la asistencia humana y mantener en al menos el 85% el valor óptimo de las variables monitoreadas.

4.2.5. Análisis de la solución del problema de investigación.

Mediante el desarrollo del sistema propuesto, se puede solucionar el problema suscrito en el primer capítulo, ya que se logró controlar la temperatura, humedad del ambiente y suelo para evitar variaciones que provocan estrés y desequilibrio a los procesos vegetativos del rábano.

También, se logró un sistema de iluminación adecuado, siendo un factor importante porque es uno de los grandes inconvenientes en los huertos urbanos porque el uso de lámparas domesticas provocan deficiencia de floración, falta de crecimiento en tallo, las hojas y hasta la muerte del cultivo.

Además, se consiguió aprovechar el espacio para sembrar varios cultivos de forma vertical, de esta forma el agricultor podrá tener más metros cuadrados y así disminuir el alquiler u obtención de terrenos con mayor espacio, por lo tanto, reducir el costo del producto final.

Por otra parte, se obtuvo un huerto automatizado de bajo costo que sirve para que cualquier persona pueda cultivar sus hortalizas, verduras, frutas desde la comodidad de su hogar, a su vez, reduce la presente del recurso humano.

4.2.6. Discusión final.

Los objetivos planteados en el presente proyecto llegaron a cumplirse completamente, por lo tanto, se logra imitigar los problemas descrito en ápices anteriores, al diseñar e implementar un sistema de control.

El sistema implementado puede ser puesto en marcha en cualquier zona y sembrar plantas que son cultivadas en otras regiones, a su vez, puede ser usado por cualquier persona que le interese plantar para uso domestico o comercial. Asimismo, reduce el espacio a requerir y disminuir uso del recurso humano.

El sistema obtuvo respuestas favorables en las pruebas de funcionamiento e implementación, por lo que se atreve a decir que puede ser establecido en un proyecto mucho más grande.

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

Una vez finalizado el presente proyecto, se puede concluir:

- Mediante el uso de microcontroladores, se logró automatizar los procesos agrícolas que intervienen en un huerto urbano vertical, de tal manera que estos resulten económicos y eficientes;
- Los huertos urbanos verticales presentan procesos manuales y rutinarios que fácilmente se pueden sustituir por sistemas automáticos, disminuyendo gastos y mejorando su calidad y productividad;
- Se comprobó que los sensores de uso genérico, dentro de los procesos agrícolas, funcionan de manera correcta y con una precisión aceptable; a su vez, son económicos, lo que reduce el costo del sistema implementado;
- La elaboración de un panel de control y el diseño de una interfaz resulta un método apropiado para que el usuario pueda comunicarse con el sistema, pudiendo comprender los datos obtenidos por los sensores y ejecutar órdenes on-off a los subsistemas implementados;
- La implementación de un sistema de iluminación automática le permite al usuario parametrizar la elección de los colores, la intensidad y el tiempo de ejecución de cada uno de ellos;
- El uso de diodos led RGB permitió utilizar varios colores los cuales influyen de manera positiva al desarrollo de las plantas. Además, presenta un amplio ángulo de irradiación de luz que ayudó a abarcar una mayor área del cultivo, evitando así el desarrollo del cultivo de manera desigual;
- El desarrollo del sistema de iluminación artificial mediante leds, presentan un ahorro energético en comparación a los focos tradicionales;
- Se logró reducir un 60% la asistencia humana y mantener en al menos el 85% el valor óptimo de las variables monitoreadas.

5.2. Recomendaciones

A continuación, se detallan las diferentes recomendaciones a considerar:

- Aplicar técnicas de cableado estructurado y la utilización de canaletas para evitar posibles accidentes;

- Utilizar un reservorio de agua de mayores dimensiones, para evitar el llenado continuo y fatigar al usuario;
- Usar materiales que me permitan sellar herméticamente la estructura del huerto con el fin de crear un ambiente que evite ser perturbado por cambios externos;
- Revisar periódicamente las conexiones de la bomba de agua y el interior de las mangueras para evitar obstrucciones, además aislar el sistema de riego para evitar filtraciones de líquido;
- Realizar pruebas de funcionamiento a los relés, debido al tiempo limitado de actuaciones.
- Realizar pruebas de funcionamiento a las lámparas led, ya que al pasar del tiempo varían su intensidad.

5.3. Trabajos futuros

Para mejorar el desarrollo del sistema de monitoreo y control, se debería realizar los siguientes trabajos:

- Profundizar en la investigación de más variables que afecten directamente al desarrollo de la planta con el objetivo de añadir más sensores y poder monitorear su comportamiento;
- Adicionar actuadores que satisfagan completamente las necesidades de la plántula, con el objetivo de crear un hábitat totalmente controlada y poder obtener un producto de calidad;
- Implementar un sistema de drenado para evitar excesos de humedad;
- Crear una página web que permita visualizar por medio de graficas todo el historial del cultivo, una base de datos;
- Monitorear y controlar el cultivo mediante una aplicación remota que funcione con wifi;
- Incorporar un sistema fotovoltaico que trabaje de manera autónoma y que pueda optimizar el uso de varias fuentes de alimentación;
- El sistema de ventilación se podría remplazar por un sistema de refrigeración, que elimine el calor del interior del huerto y lo expulse al exterior;

- Finalmente, para mejorar la tecnificación del sistema de riego se debería implementar válvulas de aspersión o goteo.

Bibliografía

- AeroFarms. (2018). *AeroFarms*. Obtenido de Sistema de Cultivo Aeropónico:
<http://aerofarms.com>
- Alarcón, J. (31 de 10 de 2016). *Asvita Grow Blog*. Recuperado el 01 de 06 de 2018,
de <https://asvitaegrowblog.wordpress.com/2016/10/31/agricultura-vertical/>
- Almansa Espin, E. (2011). *Universidad de Granada*. Obtenido de Sistema Híbrido de
Iluminación para el Desarrollo de Plantas Aplicados a Invernaderos:
<https://hera.ugr.es/tesisugr/20688039.pdf>
- Alonso, A. M. (2017). *Sistemas Fotovoltaicos*. Obtenido de <http://api.eoi.es>
- bdcnetwork. (2016). *Edificios Agritectura*. Obtenido de www.bdcnetwork.com
- Bongiovanni, Mantovani, Best, & Roel. (2006). *Agricultura de presicion*. Obtenido de
<http://www.gisandbeers.com>
- Borja, H. G. (12 de 03 de 2018). *Repositorio Digital de la Universidad Católica de
Santiago de Guayaquil*. Obtenido de Diseño de un sistema de riego
automatizado para el cultivo de legumbres en un huerto ubicado en el campus
de la UCSG: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/10175>
- Chacón, & Tigse. (20 de 03 de 2017). *Repositorio de la Universidad Católica de
Santiago de Guayaquil*. Obtenido de Automatización de los procesos de un
huerto hidropónico para el control de variables, utilizando sistemas basados en
microcontroladores.: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/7734>
- como-funciona. (12 de 24 de 2017). *como-funciona*. Obtenido de como-funciona:
<http://como-funciona.co/una-fotorresistencia/>
- Daniel, V. V. (09 de 05 de 2011). *Pontífica Universidad Católica del Perú*. Obtenido
de Diseño de una red de sensores inalámbrica para agricultura de precisión:
<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/266>
- dreamstime. (2017). *dreamstime*. Obtenido de Iot smart Industry Robot:
www.dreamstime.com

- Ecured. (8 de 5 de 2017). *Ecured*. Obtenido de Ecured: https://www.ecured.cu/Sensor_de_Humedad
- El Comercio. (01 de 01 de 2013). *La tecnología en Ecuador aún tiene una pobre inversión*. Obtenido de <https://www.elcomercio.com/tendencias/tecnologia-ecuador-pobre-inversion.html>
- Electronica-basica. (13 de 15 de 2016). *Electronica-basica*. Obtenido de Electronica-basica: <http://www.electronica-basica.com/sensor-de-humedad.html>
- electronicaestudio. (2015). *Ingeniería electrónica y proyectos PIC*. Obtenido de <http://www.electronicaestudio.com>
- Energcity. (2018). *Energcity*. Obtenido de <http://www.panelessolares.ec/>
- FarmBot . (2011). *Granja desde cualquier lugar*. Obtenido de Granja desde cualquier lugar: <https://farm.bot>
- Fernández. (25 de 10 de 2012). *Universidad Politécnica de Valencia*. Obtenido de Energías renovables: estudio de viabilidad de una instalación solar fotovoltaica (huerto solar): <https://riunet.upv.es/handle/10251/27871>
- Gonzalez, J., Morales, I., García, A., & Villarreal, V. (11 de 2018). *ResearchGate*. Obtenido de Generación Ambiente Controlados para Semilleros de Huerto: https://www.researchgate.net/publication/328662867_Generacion_de_un_ambiente_controlado_para_semilleros_de_huertos_urbanos_con_freertos_y_arduino_Generation_of_a_controlled_environment_for_seeds_of_urban_gardens_with_feertos_and_arduino
- goteocorp. (21 de 11 de 2013). *goteocorp*. Obtenido de Sistema control Domótica Arduino: <http://www.goteo.org/project/sistema-control-domotica-arduino?currency=GBP>
- Hetro. (12 de 11 de 2017). *HETPRO*. Obtenido de Microcontrolador: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/microcontrolador/>
- Hetro-store. (11 de 11 de 2017). *Hetro-store*. Obtenido de Hetro-store: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/microcontrolador/>

- Innovation. (2018). *5 tipos de sensores inteligentes para la agricultura urbana*. Obtenido de 5 tipos de sensores inteligentes para la agricultura urbana: <https://www.imnovation-hub.com>
- Infoagro. (7 de 4 de 2016). *Infoagro*. Obtenido de Infoagro: <http://infoagro.com/hortalizas/rabano.htm>
- Iván, P. S. (21 de 09 de 2017). *Repositorio Digital de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil*. Obtenido de Estudio e implementación de un Sistema automatizado para el control de: iluminación, climatización y seguridad, utilizando autómatas programables.: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/9089>
- Ledgrowlightshq. (2017). *Ledgrowlightshq*. Obtenido de Ledgrowlightshq: <http://www.ledgrowlightshq.co.uk/chlorophyll-plant-pigments/>
- López, & Hidrovo, S. (2012). *Repositorio de la Universidad San Francisco de Quito*. Obtenido de Agricultura Urbana comunidad agrícola.: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/1820>
- López, J. C. (18 de 01 de 2018). *Jardinería del Hogar*. Obtenido de La influencia de la luz en el crecimiento del cultivo: <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-influencia-de-la-luz-en-el-crecimiento-del-cultivo/>
- Lopez, J. C. (2018). *La influencia de la luz en el crecimiento del cultivo*. Obtenido de <https://www.pthorticulture.com>
- Macrobacter. (2017). *Todo lo que debes saber sobre iluminación LED en la agricultura*. Obtenido de <https://macrobacter.com>
- Martínez, & Pérez. (27 de 09 de 2017). *Repositorio Educativo Digital de la Universidad Autónoma de Occidente*. Obtenido de Desarrollo de un sistema de control para el riego y la iluminación en una granja vertical: <http://red.uao.edu.co>
- Mathas, C. (27 de 10 de 2011). *www.digikey.com*. Obtenido de www.digikey.com: <https://www.digikey.com/es/articles/techzone/2011/oct/temperature-sensors-the-basics>

- Mena. (07 de 02 de 2018). *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*. Obtenido de Sistema Iot para el Monitoreo y Control de Fuentes de Luz Artificial Aplicado a la Agricultura de Precisión.: <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/7991>
- Mheducación. (2018). *mheducacion*. Obtenido de <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>
- Muñoz. (13 de 03 de 2014). *AGROHUERTO*. Obtenido de La Agricultura Urbana según la FAO: <https://www.agrohuerto.com/la-agricultura-urbana-segun-la-fao-2/>
- Muy Ilustre Municipalidad de Guayaquil. (16 de 10 de 2017). *Huertos Urbanos*. Obtenido de Huertos Urbanos: <http://www.guayaquil.gob.ec>
- NeoFarms. (2016). *Huerto vertical dentro de la cocina*. Obtenido de Huerto vertical dentro de la cocina: <https://www.neofarms.com>
- News ONU. (03 de 06 de 2005). *Noticias ONU*. Obtenido de Agricultura urbana impulsa seguridad alimentaria: <https://news.un.org/es/story/2005/06/1057611>
- Organización de las Naciones Unidas. (29 de 01 de 2000). *FAO*. Obtenido de LA AGRICULTURA URBANA Y PERIURBANA: <http://www.fao.org/unfao/bodies/COAG/COAG15/X0076S.htm>
- Pardo, G., Hernández, C., & Rico, F. (29 de 05 de 2015). *Efecto de la luz LED de alta intensidad*. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-27682015000200013
- Parra, Martillo, & Vega. (2017). *Didactic Equipment Developed with Embedded Systems for the Learning of Engineering*. Guayaquil.
- Parra, Negrete, Llaguno, & Vega. (2018). *Computer Vision Techniques Applied in the Estimation of the Cocoa Beans Fermentation Grade*. Guayaquil.
- Perilla, & Trujillo. (29 de 7 de 2017). *Automatización de un Cultivo de Pimentón Enmarcado en el Contexto de una Granja Urbana en un Sistema Embebido*.

Obtenido de Automatización de un Cultivo de Pimentón Enmarcado en el Contexto de una Granja Urbana en un Sistema Embebido: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/6310/1/PerillaHern%C3%A1ndezCarlosAndr%C3%A9s2017.pdf>

Portilla, P. (3 de 3 de 2016). *Diseño y construcción de un sistema de automatización para huerto doméstico con tecnología aeropónica*. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/15073>

Qampo. (2018). *Herramientas para la agricultura de precisión*. Obtenido de <https://qampo.es>

Quetzal Ingeniería. (2018). *Placas solares*. Obtenido de <https://www.quetzalingeneria.es>

Quiminet. (2016). *Sistemas Fotovoltaicos*. Obtenido de <https://www.quiminet.com>

Ramos, Y. F. (13 de 10 de 2015). *Repositorio Educativo Digital de la Universidad Autónoma de Occidente*. Obtenido de Diseño e implementación de un sistema de control para maximizar la capacidad productiva de las plantas en granjas verticales por medio de luz artificial: <http://red.uao.edu.co:8080/handle/10614/8557?mode=full>

Reinoso, V. (31 de 08 de 2015). *Vía Orgánica*. Obtenido de Cómo Cultivar Rábano: <https://viaorganica.org/rabano-un-cultivo-rapido-para-pequenos-espacios/>

Reynoso, V. (31 de 08 de 2015). *Viaorganica*. Obtenido de Viaorganica: <https://viaorganica.org/rabano-un-cultivo-rapido-para-pequenos-espacios/>

Sector solar. (7 de 6 de 2018). *Energía fotovoltaica*. Obtenido de www.osetorsolar.com

SIRS-E. (2015). *LED LIGHTING AND DMX CONTROL*. Obtenido de 5050 LED Datasheet: <https://sirs-e.com/general/5050-led-datasheet/>

Sistemaagricola. (19 de 10 de 2016). *Sistemaagricola*. Obtenido de Sistemaagricola: <http://sistemaagricola.com.mx/blog/tecnicas-de-riego/>

- smartlighting. (2018). *La tecnología de iluminación LED genera un tipo de luz óptima para el crecimiento de las plantas*. Obtenido de <https://smart-lighting.es>
- Suardiaz, & Ochoa. (10 de 01 de 2015). *Repositorio Digital de la Universidad Politécnica de Cartegana*. Obtenido de Desarrollo de un sistema electrónico para la monitorización de variables ambientales en huertos urbanos: <http://repositorio.upct.es/handle/10317/4391>
- Universidad Politecnica de Valencia. (2010). *La Fotosíntesis*. Obtenido de <http://www.euita.upv.es>
- Urban Crop Solutions. (2018). *Sistema de Cultivo Vertical*. Recuperado el 15 de 06 de 2018, de <https://urbancropsolutions.com>
- Vallejo, Guamán, & Guerra. (01 de 06 de 2017). *Repositorio Institucional de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*. Obtenido de Diseño e implementación de un sistema electrónico para el monitoreo, control de la helada y riego, en huertos de fresas por medio de redes de sensores inalámbricos con hardware libre.: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/7592>
- Vega, Parra, Cordova, Andramuño, & Navarrete. (2018). *Adaptive Control Implemented with Embedded Systems*. Guayaquil.
- WORDPRESS. (de 2017). *Aplicaciones de Arduino*. Obtenido de Aplicaciones de Arduino: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/tag/aplicaciones-arduino/>
- Worldagroforestry. (2 de 7 de 2017). *Worldagroforestry*. Obtenido de Worldagroforestry: <http://www.worldagroforestry.org/NurseryManuals/CommunityESP/LosNutrientes.pdf>
- Zapata. (14 de 12 de 2015). *Repositorio Universidad de los Andes*. Obtenido de Sistema de monitoreo y control de huertos urbanos: <http://repositorio.uniandes.edu.co/xmlui/handle/1992/4363>

ANEXOS

Anexo A. Tabla de costos del sistema implementado.

Elementos	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Estructura de madera	1	\$ 30.00	\$ 30.00
Microcontrolador Atmega2560	1	\$ 18.00	\$ 18.00
Adaptador de corriente de 100VAC a 5VDC	1	\$ 3.00	\$ 3.00
Batería recargable de 12VDC	1	\$ 12.00	\$ 12.00
Pantalla LCD 4X20	1	\$ 10.00	\$ 10.00
Potenciómetros de 5k	1	\$ 1.00	\$ 1.00
Teclado matricial 4X4	1	\$ 2.00	\$ 2.00
Sensor DHT11	3	\$ 2.00	\$ 6.00
Higrómetro de suelo FC-28	2	\$ 2.00	\$ 4.00
Sensor de fotorresistencia LDR	2	\$ 2.00	\$ 4.00
Tira LED RGB 5050 DE 150 diodos	1	\$ 9.00	\$ 9.00
Driver L298N	1	\$ 4.00	\$ 4.00
Sensor de nivel de agua	1	\$ 2.00	\$ 2.00
Bomba de agua 12V DC con 24W	2	\$ 5.00	\$ 10.00
Reservorio de agua de 3litros	1	\$ 4.00	\$ 4.00
Manguera de hule	1	\$ 1.00	\$ 1.00
Modulo Rele de 4 canales	3	\$ 6.00	\$ 18.00
Zumbador	1	\$ 1.00	\$ 1.00
Envase de 100 Jumpers	1	\$ 6.00	\$ 6.00
Tablero 40x30cm	1	\$ 25.00	\$ 25.00
Macetero	2	\$ 1.00	\$ 2.00
Tierra de sembrío	1	\$ 1.00	\$ 1.00
Abono de humus	1	\$ 1.00	\$ 1.00
Semillas de rabano	1	\$ 1.00	\$ 1.00
Soporte para panel LED	1	\$ 1.00	\$ 1.00
Ventilador	2	\$ 6.00	\$ 12.00
TOTAL			\$ 188.00

Anexo B Crecimiento de la planta de rábano.





**Presidencia
de la República
del Ecuador**



**Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes**



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Garcés Moreira, Jordy Fabián**, con C.C: # **0952054096** autor/a del trabajo de titulación: **Diseño e implementación de un sistema automatizado de monitoreo de variables, control de riego e iluminación RGB, aplicado a huertos urbanos verticales para la producción del rábano** previo a la obtención del título de **Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, **27 de marzo de 2019**

f. _____

Nombre: **Garcés Moreira, Jordy Fabián**

C.C: **0952054096**



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TEMA Y SUBTEMA:	Diseño e implementación de un sistema automatizado de monitoreo de variables, control de riego e iluminación RGB, aplicado a huertos urbanos verticales para la producción del rábano.		
AUTOR(ES)	Garcés Moreira, Jordy Fabián		
REVISOR(ES)/ TUTOR(ES)	Ing. Tomás Gaspar Bastidas Cabrera, Mgs.		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Carrera de Ingeniería Electrónica en Control y Automatismo		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	27 de marzo de 2019	No. DE PÁGINAS:	112
ÁREAS TEMÁTICAS:	Automatización, Sistemas de control, Iluminación LED		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Microcontroladores, Sistema de Control en agricultura, Riego automático, Iluminación RGB LED en agricultura, Agricultura Urbana.		
RESUMEN/ABSTRACT: El presente proyecto está enfocado en la automatización y control de los procesos que se originan dentro de un huerto urbano vertical experimental, mediante el diseño e implementación de sistemas basados en microcontroladores, ubicado en la Facultad Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. El sistema presenta instrumentos electrónicos útiles para monitorear y controlar el desarrollo y conservación de las plantas con el objetivo de satisfacer sus necesidades en cuanto a temperatura, iluminación y riego. Será implementado en una estructura vertical elaborada de madera, basados en modelos de sistemas indoor; está conformada en tres secciones, las cuales son: bodega y dos cultivos que contienen plantas de rábano. Se diseñó un software que permite informar, monitorear y controlar de forma manual y automático, los procesos que se desarrollan dentro del huerto. Finalmente, los resultados obtenidos fueron satisfactorios en comparación al modelo tradicional, en cuanto al aprovechamiento de espacio, facilidades al usuario en el desarrollo y conservación del cultivo.			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTORES:	Teléfono: +593982621518	E-mail: Jordy.garces@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Ing. Mendoza Merchán, Eduardo Vicente, Mgs.		
	Teléfono: +593985086815		
	E-mail: eduardo.mendoza01@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			