



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

Centro Universitario UAEM ECATEPEC

**“Desarrollo de un prototipo de sistema
de riego automático para el cultivo
de tomates rojos:
Caso San Pedro Apóstol Oaxaca”**

T E S I S

**Que para obtener el título de:
Ingeniero en Computación**

Presenta:

C. Jessica Sánchez Arrazola

Asesor:

MCC. Enrique José Tinajero Pérez

Revisores:

Dr. en C. Rodolfo Zola García Lozano

M. EN I.S.C. Cuauhtémoc Hidalgo Cortes



Ecatepec de Morelos, Estado de México. Enero 2017



CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

El (la) que suscribe JESSICA SÁNCHEZ ARRAZOLA Autor del trabajo escrito de evaluación profesional en la opción de MEMORIA DE EXPERIENCIA LABORAL con el título “DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA DE RIEGO AUTOMÁTICO PARA EL CULTIVO DE TOMATES ROJOS: CASO SAN PEDRO APOSTOL OAXACA” por medio de la presente con fundamento en lo dispuesto en los artículos 5, 18, 24, 25, 27, 30, 32 y 148 de la Ley Federal de Derechos de Autor, así como los artículos 35 y 36 fracción II de la Ley de la Universidad Autónoma del Estado de México; manifiesto mi autoría y originalidad de la obra mencionada que se presentó en el Centro Universitario UAEM Ecatepec para ser evaluada con el fin de obtener el Título Profesional de INGENIERÍA EN COMPUTACIÓN.

Así mismo expreso mi conformidad de ceder los derechos de reproducción, difusión y circulación de esta obra, en forma NO EXCLUSIVA, a la Universidad Autónoma del Estado de México; se podrá realizar a nivel nacional e internacional, de manera parcial o total a través de cualquier medio de información que sea susceptible para ello, en una o varias ocasiones, así como en cualquier soporte documental, todo ello siempre y cuando sus fines sean académicos, humanísticos, tecnológicos, históricos, artísticos, sociales, científicos u otra manifestación de la cultura.

Entendiendo que dicha cesión no genera obligación alguna para la Universidad Autónoma del Estado de México y que podrá o no ejercer los derechos cedidos.

Por lo que el autor da su consentimiento para la publicación de su trabajo escrito de evaluación profesional.

- a) Texto completo
- b) Por capítulo
- c) Solamente portada y tabla de contenido

Se firma presente en la ciudad de Ecatepec de Morelos, Estado de México, a los 15 días del mes de Diciembre del 2016.

JESSICA SÁNCHEZ ARRAZOLA



UAEM | Universidad Autónoma
del Estado de México

Ecatepec de Morelos, Edo. De Méx., a 30 de Noviembre de 2016

ASUNTO: VOTO APROBATORIO DE ASESOR

LIA. ADRIANA MORALES LICONA
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE TITULACION DEL
CENTRO UNIVERSITARIO U.A.E.M ECATEPEC
P R E S E N T E

Por éste conducto me permito informarle que la pasante **Jessica Sánchez Arrazola** con el número de cuenta **1125560** de la carrera **Ingeniería en computación**, ha concluido el desarrollo de su **Tesis**, con el título:

“Desarrollo de un prototipo de sistema de riego automático para el cultivo de tomates rojos: caso San Pedro Apóstol Oaxaca.”

Manifiesto que el borrador del trabajo escrito reúne las características necesarias para ser revisado por la Comisión especial nombrada para tal efecto.

603

ASESOR: MCC. Enrique José Tinajero Pérez
NO. DE CÉDULA PROFESIONAL: 9683968

PATRIA, CIENCIA Y TRABAJO
“2016, Año del 60 Aniversario de la Universidad Autónoma del Estado de México”
“2016 Año de Leopoldo Flores Valdés”



www.uaemex.mx

Av. José Revueltas no. 17 Col. Tierra Blanca, C.P. 55020, Ecatepec, Estado de México.
Tels: 5.787.36.26 Fax: 5.787.35.10



UAEM | Universidad Autónoma
del Estado de México

Ecatepec de Morelos, Edo. De Méx., 13 de Diciembre de 2016

ASUNTO: VOTO APROBATORIO DE REVISORES

LIA. ADRIANA MORALES LICONA
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE TITULACION
DEL CENTRO UNIVERSITARIO UAEM ECATEPEC
P R E S E N T E

Nos es grato comunicarle que el trabajo de **Tesis** titulado:

**"Desarrollo de un prototipo de sistema de riego automático para el cultivo de tomate rojo
caso: San Pedro Apóstol Oaxaca."**

Que para obtener el título de: **Ingeniero en Computación.**

Presentan lapasante: **Jessica Sánchez Arrazola.**

Con números de cuenta: **1125560**

Cumplen con los requisitos teóricos-metodológicos suficientes para ser aprobada, pudiendo continuar con los trámites correspondientes para su impresión.

REVISORES

Dr. en C. Rodolfo Zola García Lozano
CÉDULA PROFESIONAL: 2706467

M. EN I.S.C. Cuauhtémoc Hidalgo Cortes
CÉDULA PROFESIONAL: 4797107



PATRIA, CIENCIA Y TRABAJO

"2016, Año del 60 Aniversario de la Universidad Autónoma del Estado de México"
"2016 Año de Leopoldo Flores Valdés"



www.uaemex.mx

Av. José Revueltas no.17 Col. Tierra Blanca, C.P. 55020, Ecatepec, Estado de México.

Tels: 5.7.87.36.26 Fax: 5.7.87.35.10



UAEM | Universidad Autónoma
del Estado de México

Ecatepec de Morelos, Edo. De México., a 15 de Diciembre del 2016
ASUNTO: IMPRESIÓN DE TRABAJO ESCRITO

C. JESSICA SANCHEZ ARRAZOLA
PASANTE DE LA INGENIERIA EN COMPUTACION
PRESENTE

Por este medio le comunico a usted que al haber cubierto los trámites correspondientes al desarrollo del trabajo escrito bajo la modalidad **TESIS** con el fin de obtener el Título Profesional, se le aprueba la **IMPRESIÓN DE SU TRABAJO** con el título:

"DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA DE RIEGO AUTOMATICO PARA EL CULTIVO DE TOMATES ROJOS: CASO SAN PEDRO APOSTOL OAXACA"

Con el objetivo de establecer la fecha de Evaluación Profesional, le recuerdo que la presentación final del trabajo escrito es de su completa responsabilidad.

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

PATRIA, CIENCIA Y TRABAJO
"2016, Año del 60 Aniversario de la Universidad Autónoma del Estado de México"
"2016 Año de Leopoldo Flores Valdés"

LIA. ADRIANA MORALES LICONA
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE TITULACION
DEL CENTRO UNIVERSITARIO UAEM ECATEPEC



CENTRO UNIVERSITARIO U.A.E.M
ECATEPEC
TITULACION



www.uaemex.mx

Av. José Revueltas no. 17 Col. Tierra Blanca, C.P. 55020, Ecatepec, Estado de México.
Tels: 5.7.87.36.26 Fax: 5.7.87.35.10

Agradecimientos

A Dios:

Por haberme guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizaje.

A Mis Padres:

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una mejor persona, pero más que nada por todo su amor.

A Mi Hermana:

Por su gran amor y ser parte importante de mi vida, por estar conmigo en mis triunfos y fracasos.

A Mi Novio:

Por haberme apoyado y motivado en todo momento, sobre todo por su paciencia y su amor.

A Mis Amigos:

Por haber hecho de mi etapa universitaria un trayecto de vivencias que nunca olvidaré.

A Mi Asesor:

Que sin su dirección y apoyo no hubiera sido posible este trabajo.

A Mis Tíos

Por todo el apoyo incondicional que me han brindado.

Resumen

El presente trabajo de tesis pretende crear un prototipo automatizado de riego y medición de temperatura, humedad relativa y humedad del suelo del invernadero del Sr. Hugo Pérez, que se encuentra en el Estado de Oaxaca, San Pedro Apóstol, para que pueda tener una buena cosecha.

Uno de los principales objetivos de este trabajo fue el dar una solución a los problemas que tiene el Sr. Hugo Pérez con su invernadero, específicamente se centró en el problema de la irrigación, ya que se gasta mucha agua y energía eléctrica, además que también se podrá llevar un mejor control sobre el cultivo.

Se utilizó Arduino uno porque es una placa fácil de programar, los sensores que se usaron son el DHT11 que obtiene la temperatura y la humedad relativa del ambiente y el HL-69 o también conocido como YL69 que mide la humedad del suelo. Se diseñó un programa que recaba los datos de temperatura, humedad relativa, humedad del suelo; se presenta al usuario como una gráfica y como un archivo de Excel.

En el capítulo 1 se mencionan los antecedentes del proyecto, donde se describe el municipio de San Pedro Apóstol, Oaxaca, su localización geográfica, su clima, su flora y fauna. También se describe el planteamiento del problema, preguntas de investigación, variables de investigación, delimitación, justificación, objetivos y objetivos específicos.

En el capítulo 2 se encuentra el marco teórico, la metodología de investigación que es la MSF (Microsoft Solutions Framework) en la cual se explica todas sus fases, también se habla sobre los tipos de invernadero que existen y la tecnificación de los invernaderos en México.

En el capítulo 3 se desarrollan los pasos de la metodología de desarrollo de sistemas MSF aplicada al proyecto.

En el capítulo 4 se da una conclusión del proyecto y los trabajos a futuro.

Abstract

This thesis aims to create an automated irrigation and measurement prototype of the systems of temperature, relative humidity and soil moisture of the greenhouse of Mr. Hugo Pérez, located in the State of Oaxaca, San Pedro Apóstol, for the sake of a good harvest.

One of the main objectives of this work was to give a solution to the problems that Mr. Hugo Pérez has with his greenhouse, specifically focused on the problem of irrigation, since a lot of water and electric energy is spent, and also to bring a better control over the crop can be carried out.

Arduino was used because it is easy to program, the sensors used are the DHT11 that obtains the temperature and relative humidity and the HL-69 or also known as YL69 that draws moisture from the soil.

Chapter 1 describes the background of the project, which describes the municipality of San Pedro Apóstol, Oaxaca, its geographical location, its climate, its flora and fauna. It also describes the problem approach, research questions, research variables, delimitation, justification and objectives.

In Chapter 2 is the theoretical framework, the research methodology that is the MSF (Microsoft Solutions Framework) in which all phases are explained, also talks about the types of greenhouse that exist and the technification of greenhouses in Mexico.

Chapter 3 develops the steps of the MSF development methodology used on the project.

Chapter 4 gives a conclusion of the project and future works.

Índice

<i>Capítulo 1</i>	1
<i>Fundamentos del proyecto</i>	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Planteamiento del problema.....	4
1.3 Pregunta de investigación	5
1.4 Variables de investigación.....	6
1.5 Delimitación.....	6
1.6 Justificación.....	6
1.7 Objetivos	7
1.8 Objetivos específicos	7
<i>Capítulo 2</i>	8
<i>Marco teórico</i>	8
2.1 Metodología de desarrollo	8
2.1.1 Visión /Alcance aprobados	10
2.1.2 Planificación.....	12
2.1.3 Desarrollo	13
2.1.4 Estabilización.....	14
2.1.5 Implementación.	15
2.2 El invernadero	16
2.2.1 Tipos de invernaderos	16
2.2.1.1 Invernadero-túnel	16
2.2.1.2 Invernadero capilla (a dos aguas)	18
2.2.1.3 Invernaderos en dientes de sierra.....	20
2.2.1.4 Invernaderos tipo capilla modificado	21
2.2.1.6 Invernadero tipo “parral” ó “almeriense”	24
2.2.1.7 invernadero tipo venlo (Holandés).....	26

2.2.1.8 Estructuras especiales	27
2.2.1.9 Invernadero torre.....	29
2.2.2 La tecnificación de los invernaderos en México.....	30
2.3 Arduino.....	31
2.3.1 Tipos de Arduino.....	31
2.3.1.1 Nivel de entrada	31
2.3.1.2 Funciones mejoradas	32
2.3.1.3 Internet de las Cosas	32
2.3.1.4 Usable	32
2.3.2 Programación del AT MEGA 328/P	33
2.3.3 Sensores.....	34
2.3.3.1 Modulo HL -69 : Sensor de humedad de suelo	34
2.3.3.2. Sensor DHT11.....	35
2.4. Requerimientos climáticos del cultivo del jitomate.	36
2.4.1 Balance térmico. Ecuación general	37
2.4.2. Humedad relativa y de suelo	39
<i>Capítulo 3</i>	<i>43</i>
<i>Metodología</i>	<i>43</i>
3.1 Visión.....	43
3.2 Planificación	44
3.3 Desarrollo	50
3.4 Estabilización	70
3.5 Implementación	74
<i>Conclusiones</i>	<i>76</i>
<i>Trabajos futuros.....</i>	<i>78</i>

Índice de Figuras

Figura 1. Mapa de la república mexicana que resalta el estado de Oaxaca.....	1
Figura 2. San Pedro Apóstol.....	2
Figura 3. Invernadero.....	3
Figura 4. Modelo MSF.	9
Figura 5 Invernadero tipo túnel.	17
Figura 6. Invernadero capilla a dos aguas	19
Figura 7 Invernadero diente de sierra.	20
Figura 8. Invernadero tipo capilla modificado	22
Figura 9. Invernadero con techumbre curva	23
Figura 10. Invernadero tipo parral.....	25
Figura 11. Invernadero tipo venlo	26
Figura 12. Invernadero hinchable	28
Figura 13. Invernadero torre	29
Figura 14. AT MEGA.....	33
Figura 15. Amplificador	34
Figura 16. Sensor HL- 69.....	35
Figura 17. Sensor de humedad y temperatura DTH11.	35
Figura 18 Coloración del fruto.....	36
Figura 19. Radiación térmica	37
Figura 20. Flor del jitomate	39
Figura 21. Enfermedad Phytophthora	40
Figura 22. Sistema de riego.....	41
Figura 23 Sistema de riego y acolchonado	42
Figura 24. Diagrama de flujo.....	45
Figura 25 Diagrama de flujo de Arduino	47
Figura 26. Caso de uso.....	49
Figura 27 Interfaz para programar Arduino.....	50
Figura 28. Menús de Arduino.....	51
Figura 29 Conexión del DHT11.....	52
Figura 30 Imagen de la librería	53

Figura 31 Valores del Sensor DHT11	55
Figura 32 Conexión del sensor HL-69	56
Figura 33. Datos de sensor del suelo	57
Figura 34 Imágenes del LCD	60
Figura 35 Programa de censado de datos.....	62
Figura 36. Botones del sistema.....	63
Figura 37 . Humedad relativa vs tiempo.	64
Figura 38 Tiempo en horas, minutos, segundos.	65
Figura 39 Grafica	65
Figura 40 Exportar los datos a Excel	66
Figura 41 Archivos de Excel	66
Figura. 42 Datos de los sensores.	67
Figura 43 Cableado del Circuito.....	68
Figura 44 Prueba del proyecto.....	69
Figura 45(a) Grafica de temperatura vs tiempo	71
Figura 45(b) Grafica de humedad del suelo vs tiempo	71
Figura 45(c) Grafica de humedad relativa vs tiempo	71
Figura 46 Organización de los sensores.....	75

Índice de tablas

Tabla 1. Ventajas y desventajas del invernadero tipo túnel	18
Tabla 2. Ventajas y desventajas del invernadero capilla a dos aguas	19
Tabla 3. Ventajas y desventajas del invernadero en diente de sierra	21
Tabla 4. Ventajas y desventajas del invernadero tipo capilla modificado	22
Tabla 5. Ventajas y desventajas del invernadero con techumbre curva.	24
Tabla 6. Ventajas y desventajas del invernadero con techumbre curva	24
Tabla 7. Ventajas y desventajas del invernadero tipo “parral” ó “almeriense”. .	26
Tabla 8. Ventajas y desventajas del invernadero tipo Venlo (Holandés)	27
Tabla 9. Valores de la humedad del suelo.	58

Capítulo 1

Fundamentos del proyecto

1.1 Antecedentes

Localización geográfica

Oaxaca se ubica al sur de México, en el extremo suroeste del istmo de Tehuantepec. Colinda con Guerrero al oeste, con Puebla al noroeste, Veracruz hacia el norte, Chiapas al este y hacia el sur posee casi 600km de costa en el océano Pacífico. (Wikipedia, 2016).

En la Figura 1 se muestra un mapa de la República Mexicana donde se ubica el estado de Oaxaca. En la Figura 2 se muestra una imagen satelital del municipio de San Pedro Apóstol y se muestra su ubicación en los valles centrales.



Figura 1. Mapa de la república mexicana que resalta el estado de Oaxaca.

Fuente: https://www.google.com.mx/search?q=mapa+oaxaca&espv=2&biw=819&bih=777&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjznuW-tHNAhVU-mMKHZA7CQoQ_AUIBygC&dpr=1#imgrc=Mdl7b3zBsJrH5M%3A.

El estado de Oaxaca tiene 570 municipios del cual el estudio que se pretende realizar es en el Municipio de San Pedro Apóstol, ya que en éste se localiza el invernadero del Sr. Hugo Pérez. San Pedro Apóstol se localiza en la parte central del estado, en la región de los Valles Centrales, pertenece al distrito de Ocotlán. Se ubica en las coordenadas 96°43' de longitud oeste y los 16°44' de latitud norte, a una altura de 1,500 metros sobre el nivel del mar (H. Ayuntamiento de San Pedro Apóstol, 2014).

Clima: Su clima es templado con veranos cálidos, lluvias poco abundantes en verano y principios de otoño. (H. Ayuntamiento de San Pedro Apóstol, 2014).

Ecosistema

Flora: La vegetación comprende una asociación de pastizal con plantas semidesérticas y un chaparral bajo en el que predomina el mezquite, el guaje y el casaguate. (H. Ayuntamiento de San Pedro Apóstol, 2014).

Fauna: Las principales especies de la fauna silvestre existentes en este municipio son el zorrillo, el tlacuache, conejo, venado, coyote, víbora de cascabel, águila, paloma, armadillo, pato mexicano y zopilote. (H. Ayuntamiento de San Pedro Apóstol, 2014).



Figura 2. San Pedro Apóstol.
Fuente: <https://www.google.com.mx/maps>.

En San Pedro Apóstol hay invernaderos que algunos pobladores de la región han construido y sirven para cosechar tomate rojo, como lo es el caso del Sr. Hugo Pérez.

Su invernadero se ubica casi en las afueras de San Pedro Apóstol, cerca de San Pedro Mártir, sobre la Av. 5 de Febrero.



Figura 3. Invernadero

Fuente: <https://www.google.com.mx/maps/place/Oaxaca,+Oax./@16.7302932,-96.7165424,863m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s085c72249df26d9b1:0xac88a77657dff3b!8m2!3d17.0594169!4d-96.7216219>.

Como se observa en la Figura 3 en la imagen satelital, el lugar es árido por lo cual para tener una buena cosecha se necesita de un invernadero.

Los invernaderos son estructuras de distintas formas y tamaños, estos tienen la capacidad de generar las condiciones de temperatura y humedad ideales para cultivar plantas durante todo el año.

El invernadero es una estructura, habitualmente de manera semicilíndrica, que está protegida externamente por plástico o vidrio, de esta forma protege a las plantas del frío y la lluvia, ya que en su interior las condiciones climáticas son mucho más cálidas.

1.2 Planteamiento del problema

Actualmente el invernadero del Señor Hugo Pérez se utiliza para cultivar tomate rojo. Pero tiene ciertas condiciones las cuales hacen que la producción no sea la esperada. Uno de los factores que afecta es la temperatura, ya que en las tardes hace mucho calor y el estado de Oaxaca llega a tener temperaturas entre 28°C y 35°C la cual afecta a los trabajadores ya que estar en un lugar cerrado y con temperaturas tan altas a la larga puede llegar a afectar su organismo.

La humedad es otro factor que afecta la cosecha ya que diario se riegan las plantas pero hay veces que por tanta agua algunas plantas se llegan a marchitar, además que cuando las riegan la bomba para regarlas dura varios minutos, por lo que se consume mucha electricidad.

El municipio de San Pedro Apóstol anteriormente contaba con 2 presas con agua, pero actualmente solo hay una, y sólo el gobierno hace uso del agua de la presa. En las casas de los habitantes por lo regular cada casa tiene su propio pozo, pero el agua de algunos pozos se han ido escaseando por lo que están colocando tuberías de la red municipal de agua potable para que todos los habitantes tengan agua en sus hogares pero aún no se cubre al total de la población con el servicio.

En el caso del invernadero del Sr. Hugo Pérez se perforó un pozo, para poder extraer agua y así poder regar la cosecha del invernadero. Por lo anteriormente citado, se tiene la necesidad de hacer un uso eficiente del vital líquido.

Para el diseño e implementación de los invernaderos en la población de San Pedro Apóstol se tuvo la colaboración del gobierno y de especialistas de la Universidad Autónoma de Chapingo (UACH) quienes ayudaron a los pobladores en la toma de decisiones acerca de la mejor opción para cada tipo de cultivo. Los especialistas también dieron cursos de capacitación de la operación de cada invernadero. Por ejemplo cada invernadero tiene características distintas de los demás debido al tipo de suelo y esto repercute en la cantidad de agua que se debe irrigar. La capacitación también incluía un modelo matemático individual en el cual se modelaba la cantidad de agua necesaria por día en cada invernadero,

según sus características propias. El problema radica en que en muchas ocasiones los agricultores no consideran importante el modelo matemático; siguen los consejos de los especialistas porque en breves palabras les indicaban regar tantas veces al día el cultivo y lo siguen haciendo hasta la fecha de esta manera.

Como primera opción para la obtención de los datos de los sensores y para tener un mejor análisis de los mismos se usó Temboo (<https://temboo.com>) que es un kit de desarrollo que permite la interacción del hardware con servicios web como lo es Facebook, Dropbox, FedEx, Twitter y otros más. La plataforma de Temboo es una buena opción para poder mandar información ya que se conectaba con el Arduino Yun para poder mandar los datos al correo electrónico y se pudieran visualizar las gráficas de los sensores, pero había un inconveniente ya que la plataforma de Temboo solo tenía un mes de prueba y los siguientes meses se tendría que pagar por el servicio de la plataforma. El costo del servicio por utilizar los servicios de Temboo es de \$ 49 USD por mes por aplicación. Derivado de los altos costos del uso de Temboo se diseñó un programa en Java, el cual grafica la humedad en tiempo real y tiene la opción de exportarlos a un formulario de Excel. Para su posterior análisis.

1.3 Pregunta de investigación

¿Se puede desarrollar un prototipo para el invernadero del Señor Hugo Pérez el cual pueda regar las plantas automáticamente con un gasto eficiente del agua, con el uso del Arduino, sensores de humedad, temperatura, comunicación vía USB y un sistema de captura y análisis de datos?

1.4 Variables de investigación

- Temperatura
- Humedad
- Tiempo de irrigación

1.5 Delimitación

El proyecto está enfocado al desarrollo de un prototipo el cual simule las condiciones del invernadero del Sr. Hugo Pérez de riego de forma automatizada.

1.6 Justificación

Los diez productos que más se producen en el campo mexicano son: caña de azúcar, maíz, plátano, sorgo, naranja, trigo, jitomate, limón, chile verde y papa. La zona cultivable en México es muy amplia, pues según los datos del banco mundial alrededor del 13% de la totalidad del territorio está dedicado a la agricultura.

Gracias al cultivo de tomate, México se encuentra en el décimo lugar de productores de todo el mundo con una producción anual de 3 millones de toneladas; por otro lado, el tomate es el tercer producto más exportado en el país y este cultivo convierte a México en el principal exportador mundial con una cifra de 1.5 millones de toneladas al año, es decir, el 50% de la producción total. (Ponce Cruz Pedro, 2013)

Los rendimientos de la producción de tomate en invernaderos de baja tecnología es de aproximadamente 120 toneladas por hectárea [t/ha], en rangos de tecnología media de 200 a 250 [t/ha], y en la alta tecnología conduce a obtener hasta 600 [t/ha]. (Ponce Cruz Pedro, 2013).

El uso de invernaderos en México está muy extendido, éstos pueden establecerse prácticamente en cualquier parte, ya que con las herramientas y materiales necesarios, se puede lograr un buen cultivo.

El costo aproximado de un invernadero en México va de los 280 a los 340 pesos (MXN) el metro cuadrado y hay algunos planes de empresas que venden el material y asesoran la autoconstrucción hecha por los agricultores. Por otro lado y con base en esto, los invernaderos multitúnel son los más empleados, por su mayor capacidad para el control de los factores climáticos, su gran resistencia a fuertes vientos y su rapidez de instalación, al ser estructuras prefabricadas (Ponce Cruz Pedro, 2013).

1.7 Objetivos

Diseñar un prototipo de riego automatizado en el cultivo de tomate rojo con el uso de Arduino, sensores de temperatura y humedad, para el control de la cantidad de agua que se bombea.

1.8 Objetivos específicos

- Realizar la programación del Arduino Uno para el sensado de temperatura y humedad.
- Crear un programa donde se puedan exportar los datos de los sensores y se puedan graficar en tiempo real.

Capítulo 2

Marco teórico

2.1 Metodología de desarrollo

La metodología de desarrollo es un medio indispensable para orientar una investigación, para poder solucionar un problema de forma eficiente, ya que las metodologías propuestas se han utilizado anteriormente y garantizan el éxito del proyecto y determinan la factibilidad de la aplicación.

Existen distintos tipos de metodologías de desarrollo, a continuación se mencionan las más importantes:

- Metodologías estructuradas: Se basan en la estructuración y descomposición funcional de los problemas. Representa los procesos de una manera jerárquica que al final son unidos.
- Metodologías orientadas a objetos: Esta metodología no solo es aplicable a los lenguajes de programación sino también al diseño de interfaces. Esta metodología se divide en componentes y esto ayuda a que el código sea reutilizable.
- Metodología en cascada: Es una metodología que tiene un funcionamiento lineal la cual no puede seguir si la siguiente fase aún no está terminada.
- Metodologías para sistemas en tiempo real: Es una metodología la cual facilita a los desarrolladores en cuanto se trabaja en tiempo real.
- Metodologías mixtas: Es la unión de diferentes etapas de metodologías para dar solución a un problema.
- Metodologías ágiles: Es una metodología que intenta ser muy flexible, para que pueda resolver el problema más rápidamente como lo es el caso MSF.
-

Microsoft Solutions Framework (MSF) es una metodología que tiene un enfoque personalizable para entregar soluciones tecnológicas de manera más rápida, con menos recursos humanos y menos riesgos, pero con resultados de más calidad. Se eligió para el presente proyecto porque es una metodología muy amplia, con la cual se han realizado muchos proyectos exitosos y eso garantiza su eficiencia. En la Figura 4. Se muestra el modelo de ciclo de vida del MSF el cual tiene cinco etapas que se muestran en el interior de la espiral. Este modelo utiliza una serie de hitos "señales de objetivos", en el exterior de la espiral, los cuales ayudan a tener más claro cómo se va a trabajar durante el desarrollo del proyecto.

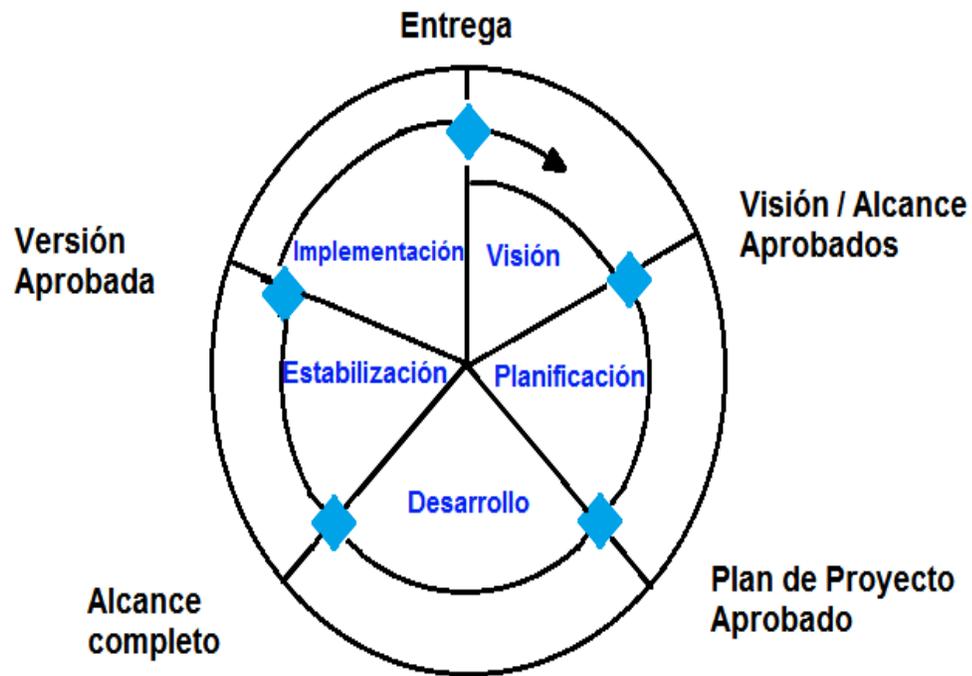


Figura 4. Modelo MSF.

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la Figura 4 los hitos que tiene esta metodología son:

- ◆ Visión/Alcance Aprobados, Identificar los beneficios que el proyecto tendrá y sus alcances.
- ◆ Plan de proyecto aprobado, en este se realizara la planificación.
- ◆ Alcance completo, se realizara el desarrollo.
- ◆ Versión aprobada, se pone a prueba de diferentes riesgos.
- ◆ Entrega, termino de proyecto.

MSF (Microsoft Corporation Staff, 2003) se centra en:

- Alinear los objetivos de negocio y de tecnología.
- Establecer de manera clara los objetivos, los roles y las responsabilidades.
- Implementar un proceso iterativo controlado por hitos o puntos de control.
- Gestionar los riesgos de manera proactiva.
- Responder con eficacia ante los cambios.

2.1.1 Visión /Alcance aprobados

El proceso MSF empieza con la fase de visión / alcances aprobados, en esta etapa se obtiene una visión clara del proyecto que se va a realiza, necesita identificar los beneficios que el proyecto otorgara y sus alcances. Es una fase importante ya que de esta dependerá el éxito o fracaso del proyecto.

En ésta etapa se debe identificar el propósito del proyecto, es decir, ¿Qué vamos a realizar?; tomando en cuenta los objetivos específicos, los que deben ser claros, medibles y alcanzables en un tiempo determinado y en un ciclo.

- Se enuncian los problemas y objetivos del proyecto o negocio.
- Se revisan los procesos existentes.
- Se realiza una definición de la necesidad que tiene el usuario.
- Se evalúan los riesgos que puedan existir.

Durante esta fase, el equipo de gestión del programa identifica las tareas y objetivos del proyecto. En este hito se indica que el cliente y el equipo están de acuerdo con el propósito y la dirección del proyecto.

Proceso de ideación

Configuración del equipo. Creación de un equipo de proyecto que representa todas las funciones del modelo de equipo de MSF. (La persona que crea este equipo es generalmente identificado por la alta dirección).

La definición de la estructura del proyecto. La identificación de una estructura administrativa para el equipo del proyecto y las normas para la gestión del proyecto.

Definición de los objetivos de negocio. Análisis de la problemática y las oportunidades de negocio con el fin de identificar los objetivos de la solución.

La evaluación de la situación actual. La evaluación de la situación actual y el análisis de la diferencia entre la situación actual y prevista. El propósito de esta evaluación es crear el enunciado del problema e identificar la dirección del proyecto.

Entregables

Los entregables que se crean durante la fase de previsión incluyen:

- Visión / ámbito.
- Enunciados de los problemas y objetivos de negocio.
- Una definición amplia de necesidades de los usuarios.
- Identificación de perfiles de usuarios que se beneficiarán de la solución.
- Estrategias de diseño de soluciones.
- Estructura del proyecto.
- Evaluación de riesgos.

2.1.2 Planificación

En esta etapa se desarrolla la planificación en base al objetivo del proyecto y la solución que se le brinda en la etapa de visión y alcance.

Se crea el diseño de la solución y se preparan los planes de trabajo, el presupuesto que se tiene.

En esta etapa se analizan los requisitos, los cuales pueden ser categorizados como los requerimientos del negocio, los requisitos del sistema, las necesidades del usuario y requisitos operacionales.

Una vez evaluados los puntos anteriores se realiza el diseño de la solución, en estas etapas se pueden realizar casos de uso, los cuales especifican las actividades que realizan determinados tipos de usuarios.

Las tres etapas de diseño son:

- **Diseño conceptual:** El problema se ve desde la perspectiva de los usuarios.
- **El diseño lógico:** Se ve la solución desde el punto de vista del equipo del proyecto.
- **El diseño físico:** Se ve la solución desde el punto de vista de los desarrolladores y definen las tecnologías.

Proceso del diseño

- Desarrollar el diseño de la solución y la arquitectura.
- Creación de una especificación funcional el cual describe los requisitos que se deben cumplir por la solución.
- El desarrollo de los planes, se identifican y planifican las tareas que se llevaran a cabo por el equipo del proyecto.
- Creación de los programas del proyecto este consiste en tener horarios de cada uno de los roles del equipo.
- Creación de los entornos de desarrollo, pruebas, y puestas en escena.

- En el cierre de la etapa de planificación se documentaran los resultados de las tareas que se llevaran a cabo.

Entregables de la fase de planificación

- Especificación funcional
- Plan de gestión de riesgos
- Plan maestro del proyecto y el cronograma.

2.1.3 Desarrollo

En la fase de desarrollo el quipo crea una solución. Este proceso incluye la creación del código que implementa la solución y se documenta el código.

Proceso de desarrollo

- Inicia el ciclo de desarrollo, se verifican todas las tareas identificadas durante la fase de ideación y planificación de manera que el equipo pueda desarrollar la solución.
- Creación de una aplicación prototipo y se verifican los conceptos de diseño de la solución.
- Desarrollo de los componentes de la solución.
- La construcción de la solución.
- El cierre de la fase de desarrollo, la finalización de todas las características y la entrega del código y la documentación.
- La solución se considera completa y se comprueba.

Entregables de la fase de desarrollo

- Código fuente y los archivos ejecutables.
- Secuencia de comandos de instalación y configuración.

2.1.4 Estabilización

Se lleva a cabo la integración, la carga y la prueba beta de la solución.

El equipo se centra en identificar, priorizar y resolver los problemas de manera que la solución se puede preparar para la entrega.

Proceso de la estabilización

Implementación de prueba para validar la solución. Una vez que la solución se considera estable, una prueba piloto se lleva a cabo en un entorno de prueba.

- Pruebas de componentes.
- Base de datos de prueba.
- Pruebas de la infraestructura.
- Pruebas de seguridad.
- Pruebas de integración.
- La aceptación del usuario y las pruebas de usabilidad.
- Pruebas de regresión.
- Registro del número de errores.
- Seguimiento y presentación de informes de pruebas.

Entregables

- Lanzamiento final
- Notas de la versión
- Elementos de apoyo
- Resultados de la prueba
- El código fuente y los ejecutables
- La documentación del proyecto.

2.1.5 Implementación.

El equipo despliega la tecnología de solución y componentes del sitio, transfiere el proyecto para operaciones y soporte la cual debe obtener la aprobación del cliente final.

Proceso de implementación.

- Documentación formal de los procedimientos de implementación y operativos para delinear cómo el equipo de proyecto tiene la intención de llevar a cabo las tareas de implementación y de transición.
- Despliegue y estabilización. La finalización de los componentes y el sitio de las implementaciones reales.
- Revisión del proyecto.

Entregables

- Sistemas de información de operación y de apoyo.
- Procedimientos y procesos.
- La base de conocimientos, informes y diarios de navegación.
- Repositorio de documentación para todas las versiones de los documentos y de código desarrolladas durante el proyecto.
- Informe final del proyecto.
- Las versiones finales de todos los documentos del proyecto.

2.2 El invernadero

Un invernadero es una construcción de vidrio o plástico en la que se cultivan plantas, a mayor temperatura que en el exterior ya que es posible obtener temperaturas artificiales y es posible cultivar las plantas fuera de las estaciones del año en condiciones óptimas.

2.2.1 Tipos de invernaderos

Puede intentarse una clasificación según diferentes criterios (por ej. materiales para la construcción, tipo de material de cobertura característica, características de la techumbre, etc.) no obstante, se prefiere enumerar los más importantes obviando algunas características para su clasificación. Dentro de los tipos de invernaderos más comunes en el mundo se encuentran:

1. Invernadero-túnel.
2. Invernadero capilla (a dos aguas).
3. Invernaderos en diente de sierra.
4. Invernadero capilla modificado (tipo chileno).
5. Invernadero con techumbre curva.
6. Invernadero tipo “parral” ó “almeriense”.
7. Invernadero “holandés” (tipo Venlo).
8. Invernadero hinchable
9. Invernadero torre.

2.2.1.1 Invernadero-túnel

Como se muestra en la Figura 5 el invernadero tipo túnel no tiene paredes rectas, porque su estructura es totalmente curva desde el punto de fijación en el suelo

hasta la cumbre. La forma de los arcos puede ser curva u ojival. Está compuesto por uno o varios módulos con una serie de arcos fabricados con tubos cilíndricos galvanizados, lo que posibilita su traslado y fácil instalación. Su forma permite alojar un volumen mayor de aire en su interior y proporciona resistencia a la lluvia.

Sin embargo, se ha optado como medida de clasificación el volumen de aire encerrado por cada metro cuadrado de suelo. En general, de acuerdo a diferentes opiniones al respecto, podemos definir como invernadero aquella estructura que supera los 2.75 - 3.00 [m³/m²]. (Novedades agrícolas, 2016).

Las dimensiones estándares de este tipo de invernaderos son las siguientes: (InfoAgro, 2016).

Ancho: 8- 9.60 [m].

Altura al cenit: 4 - 5 [m].

Distancia entre arcos: 2.50 [m]. (externas).

Bastidores de refuerzo perimetrales.

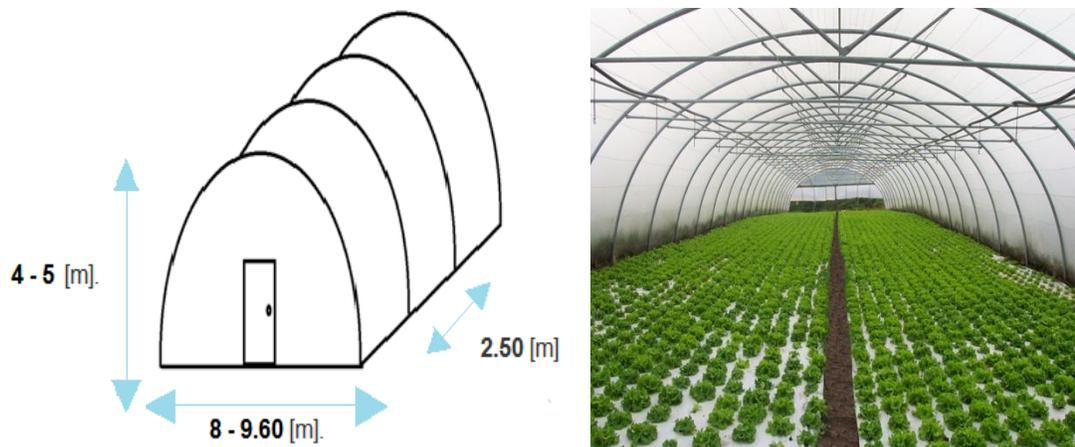


Figura 5 Invernadero tipo túnel.

Fuente: http://asthor.com/?page_id=191

Este tipo de estructura tiene algunas ventajas y desventajas las cuales se sintetizan en la Tabla 1.

Tabla 1 Ventajas y desventajas del invernadero tipo túnel

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Resistente a los vientos y fácil de instalarse.	Relativamente pequeño volumen de aire retenido pudiendo ocurrir el fenómeno de inversión térmica.
Buena luminosidad en el interior.	Solamente recomendado en cultivos de bajo a mediano tamaño (lechuga, flores, etc.).
Apto para materiales de cobertura flexibles o rígidos.	Es elevado su costo.
Permite la instalación de sistemas de climatización.	No aprovecha el agua de lluvia.

(Fuente: elaboración propia).

2.2.1.2 Invernadero capilla (a dos aguas)

Se trata de una de las estructuras más antiguas, empleadas en el forzado de cultivos. En la Figura 6 se muestra un ejemplo de un invernadero tipo capilla. La pendiente del techo (cambio) es variable según la radiación y pluviometría (variando normalmente entre 15° y 35°). Las dimensiones del ancho, varían entre 6 y 12 [m] (incluso mayores), por largo variable. Las alturas de los laterales varían entre 2.0-2.5 [m] y la de cumbrera 3.0-3.5 [m] (también se construyen más bajos que los señalados, pero no son recomendables). (Novedades agrícolas, 2016).

La ventilación de estos invernaderos en unidades sueltas, no tiene dificultades pero si se llegan a agrupar varios invernaderos formando baterías puede ser más difícil que se puedan ventilar.

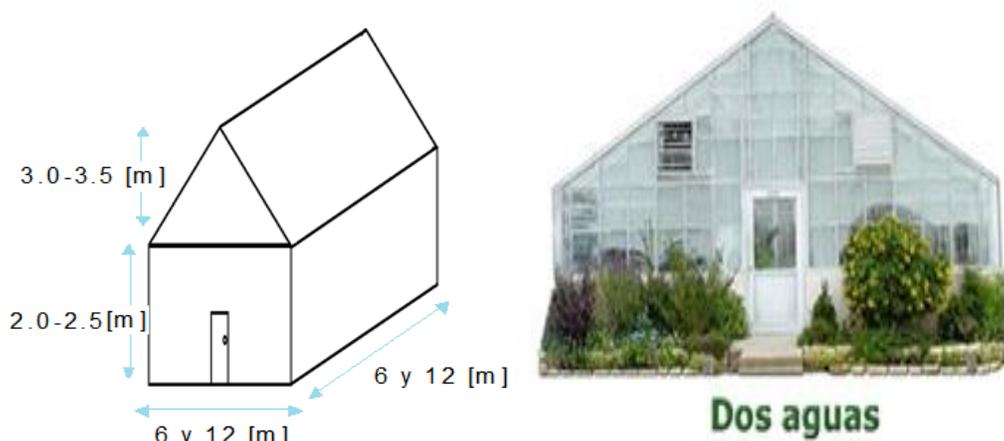


Figura 6. Invernadero capilla a dos aguas

Fuente: <http://www.invernature.com/proyectos/dos-aguas/index.php>

Este tipo de estructura tiene algunas ventajas y desventajas las cuales se sintetizan en la Tabla 2.

Tabla 2. Ventajas y desventajas del invernadero capilla a dos aguas

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Construcción de mediana a baja complejidad.	Problemas de ventilación con invernaderos en baterías.
Utilización de materiales con bajo costo, según la zona.	A igual altura cenital, tiene menor volumen encerrado.
Apto para materiales de cobertura flexibles o rígidos.	Mayor número de elementos que disminuyen la entrada de sol, por lo que hay más sombra.
Sin ventaja.	Elementos de soportes internos que dificultan los desplazamientos y el emplazamiento de cultivos.

(Fuente: elaboración propia).

2.2.1.3 Invernaderos en dientes de sierra

Una variación de los invernaderos tipo capilla, que se comenzó a utilizar en zonas con muy baja precipitación y altos niveles de radiación, fueron los invernaderos a una vertiente. Estos invernaderos, contaban con una techumbre única inclinada en ángulos que variaban entre 5° y 15° (orientados en sentido este-oeste y con presentación del techo hacia la posición del sol norte para el hemisferio sur). El acoplamiento lateral de este tipo de invernaderos dio origen a los conocidos como “dientes de sierra”. La necesidad de evacuar el agua de precipitación, determinó una inclinación en las zonas de recogida desde la mitad hacia ambos extremos. (InfoAgro, 2016).

El invernadero tiene un excelente diseño de ventilación, tiene 4.5 [m] de altura y de largo cada poste tiene una distancia de 9.80[m] , la ventana cenital mide 2 y 2.5 [m] por lo que hay una buena atmosfera para el cultivo .

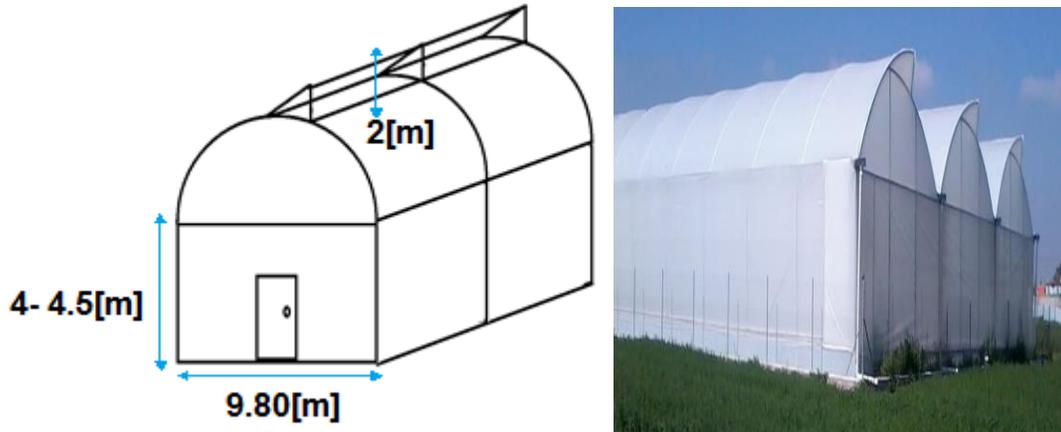


Figura 7 Invernadero diente de sierra.

Fuente: <http://cyaconsorcio.com/invernaderos.html>.

Este tipo de estructura tiene algunas ventajas y desventajas las cuales se sintetizan en la Tabla 3.

Tabla 3 Ventajas y desventajas del invernadero en diente de sierra

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Excelente ventilación (lo que no plantea las limitantes del tipo capilla, en cuanto a la conformación de baterías).	Sombreo mucho mayor que capilla (debido a un mayor número de elementos estructurales de sostén).
Empleo de materiales de bajo costo (según zonas).	Menor volumen de aire encerrado (para igual altura de cenit) que el tipo capilla.
Construcción de mediana complejidad	Sin desventaja

(Fuente: Elaboración propia).

2.2.1.4 Invernaderos tipo capilla modificado

Se trata de una variante del tipo capilla. La modificación (respecto al capilla) consiste en el ensamble a diferentes alturas, lo que permite generar un espacio para una ventana cenital. Las dimensiones más comunes de estos invernaderos son:

Ancho de cada módulo: 6.0 [m].

Altura lateral: 2.4 [m].

Altura cenital: 3.6 [m].

Abertura cenital (lucarna): 0.3-0.5 [m].

Los postes se plantan cada 2.0 [m] (tanto en el lateral como en la parte central), utilizándose postes sulfatados o bien, impregnados con brea al menos en los 0.40-0.60 m que van enterrados). (Novedades agrícolas, 2016).

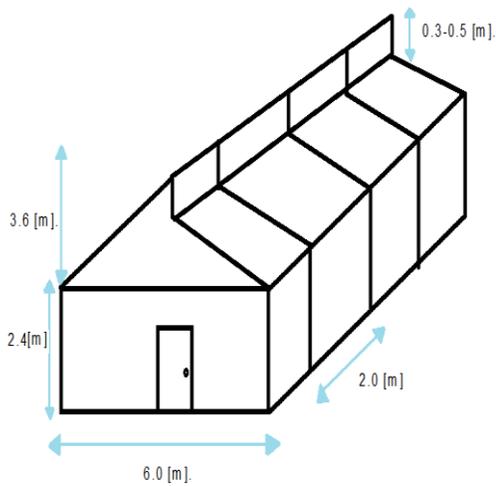


Figura 8. Invernadero tipo capilla modificado

Fuente: <http://tecnicainternational.com/manejodeaguas/>

Este tipo de estructura tiene algunas ventajas y desventajas las cuales se sintetizan en la Tabla 4.

Tabla 4 Ventajas y desventajas del invernadero tipo capilla modificado

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Construcción de mediana complejidad.	Sombreo mayor que capilla (debido a mayor número de elementos estructurales de sostén) pero menor que diente de sierra.
Excelente ventilación (al igual que el diente de sierra), siendo muy adecuados para la conformación de baterías.	A igual la altura cenital, tiene menor volumen encerrado que por ejemplo los invernaderos curvos.
Empleo de materiales de bajo costo (según zonas).	Elementos de soportes internos que dificultan los desplazamientos y el emplazamiento de cultivos.

(Fuente: elaboración propia).

2.2.1.5 Invernadero con techumbre curva.

Este tipo de invernaderos, tienen su origen en los invernaderos-túneles. Por lo común, son de tipo metálicos o bien con techumbres metálicas y postes de madera.

Como se muestra en la Figura 9. Dentro de este tipo de invernaderos, pueden encontrarse diferentes alternativas según la forma que adopta el techo (circulares, semi elípticos ojivales, etc.).

Las dimensiones más comunes de estos invernaderos van de 6,0 - 8,0 [m] de ancho por largo variable. (Novedades agrícolas, 2016).



Figura 9. Invernadero con techumbre curva

Fuente: http://invernaderos.info/Tipos_de_Invernaderos.html

Este tipo de estructura tiene algunas ventajas y desventajas las cuales se sintetizan en la Tabla 5.

Tabla 5 Ventajas y desventajas del invernadero con techumbre curva.

VENTAJA	DESVENTAJA
Es de más alta transmitancia a la luz solar.	Tienen la misma limitante que el tipo capilla, cuando están en batería, no hay ventilación.
Buen volumen interior de aire (alta inercia térmica).	Sin desventaja.
Buena resistencia a los vientos.	Sin desventaja.
Espacio interior totalmente libre (facilidad de desplazamientos, laboreo mecanizado, conducción de cultivos, etc.)	Sin desventaja.
Construcción de mediana a baja complejidad (debido a la disponibilidad de los elementos prefabricados).	Sin desventaja.

Tabla 6 Ventajas y desventajas del invernadero con techumbre curva

(Fuente: elaboración propia).

2.2.1.6 Invernadero tipo “parral” ó “almeriense”.

Este tipo de invernadero se utiliza en zonas poco lluviosas, aunque no es aconsejable su construcción. La estructura de estos invernaderos se encuentra constituida por dos partes claramente diferenciadas, una estructura vertical y otra horizontal:

La estructura vertical está constituida por soportes rígidos que se pueden diferenciar según sean perimetrales (soportes de cerco situados en las bandas y los esquineros) o interiores (pies derechos). Los pies derechos intermedios suelen estar separados unos 2 m en sentido longitudinal y 4 [m] en dirección transversal, aunque también se presentan separaciones de 2 x 2 y 3 x 4.

Los soportes perimetrales tienen una inclinación hacia el exterior de aproximadamente 30° con respecto a la vertical y junto con los vientos que sujetan su extremo superior sirven para tensar las cordadas de alambre de la

cubierta. Estos apoyos generalmente tienen una separación de 2 [m] aunque en algunos casos se utilizan distancias de 1,5 m. (InfoAgro, 2016).

La estructura horizontal está constituida por dos mallas de alambre galvanizado superpuestas, implantadas manualmente de forma simultánea a la construcción del invernadero y que sirven para portar y sujetar la lámina de plástico.

Los invernaderos planos tienen una altura de cubierta que varía entre 2,15 y 3,5 [m] y la altura de las bandas oscila entre 2 y 2,7[m]. (Novedades agrícolas, 2016).

Las dimensiones Estándares de este tipo de invernaderos son las siguientes:

Ancho: 8- 9.60 -10 [m].

Altura al cenit: 7 [m].

Distancia entre arcos: 8 - 9.60 - 10 [m]. (Internos) 5 [m]. (Externos).

Bastidores de refuerzo perimetrales.

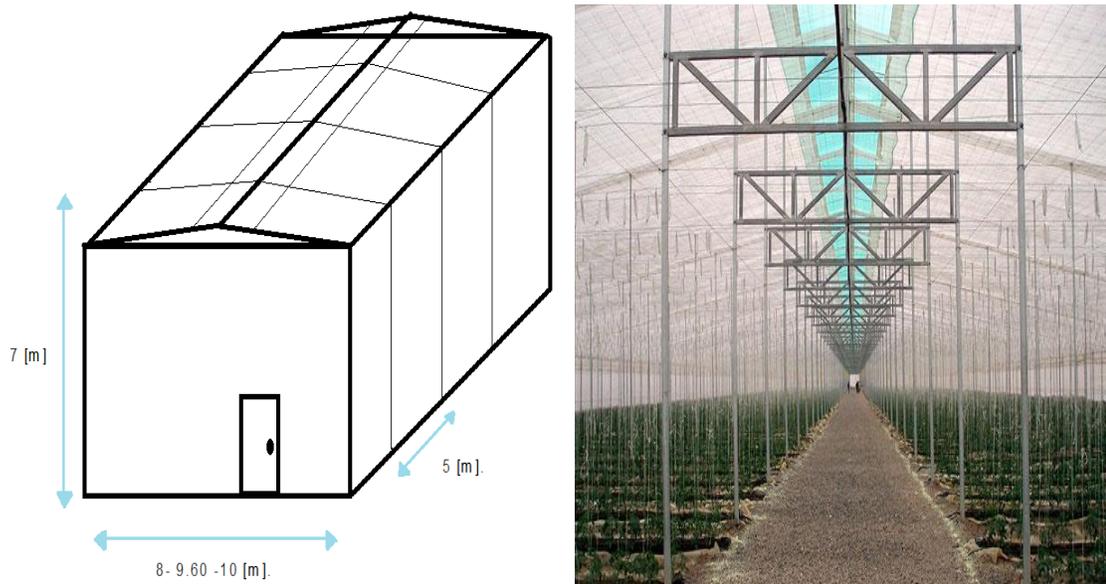


Figura 10. Invernadero tipo parral

Fuente: <http://agroinvernaderos.webnode.es/tipos-de-invernaderos/invernadero-tipo-parral/>

Este tipo de estructura tiene algunas ventajas y desventajas las cuales se sintetizan en la Tabla 6.

Tabla 7 Ventajas y desventajas del invernadero tipo “parral” ó “almeriense”.

VENTAJA	DESVENTAJA
Es económico y sencillo de montar.	Deficiente ventilación.
Es adaptable a la geometría del terreno.	Alto riesgo de rotura por precipitaciones intensas.
Es más resistente al viento.	La instalación de ventanas cenitales es difícil.
Aprovecha el agua en periodos de sequia.	No es aconsejable en lugares lluviosos.
Tiene gran uniformidad luminosa.	Es más vulnerable al viento.

(Fuente: Elaboración propia).

2.2.1.7 invernadero tipo venlo (Holandés)

Son invernaderos de vidrio, los paneles descansan sobre los canales de recogida del agua pluvial. La anchura de cada módulo es de 3.2 [m] y la separación entre postes en el sentido longitudinal es de 3 [m]. (InfoAgro, 2016).

Estos invernaderos carecen de ventanas laterales (puede ser debido a que en Holanda no existen demasiadas exigencias en cuanto a ventilación). En vez, tiene ventanas cenitales, alternadas en su apertura (una hacia un lado y la siguiente hacia el otro) cuyas dimensiones son de 1.5 [m] de largo por 0.8 [m] de ancho. (InfoAgro, 2016).

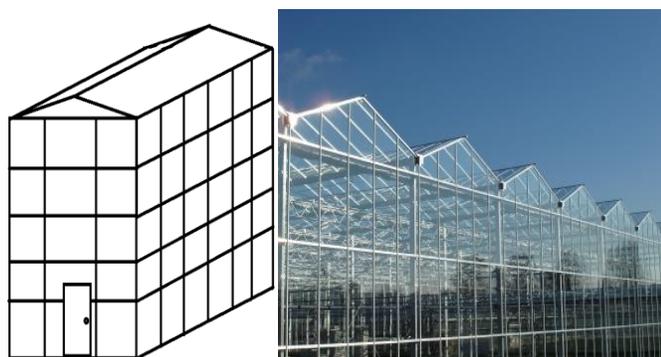


Figura 11. Invernadero tipo venlo

Fuente: <http://www.luiten-greenhouses.com/es/invernaderos-de-produccion/invernadero-venlo/>

Este tipo de estructura tiene algunas ventajas y desventajas las cuales se sintetizan en la Tabla 7.

Tabla 8. Ventajas y desventajas del invernadero tipo Venlo (Holandés)

VENTAJA	DESVENTAJA
Es económico y sencillo de montar.	Deficiente ventilación.
Es adaptable a la geometría del terreno.	Alto riesgo de rotura por precipitaciones intensas.
Es más resistente al viento.	La instalación de ventanas cenitales es difícil.
Aprovecha el agua en periodos de sequía.	No es aconsejable en lugares lluviosos.
Tiene gran uniformidad luminosa.	Es más vulnerable al viento.

(Fuente: elaboración propia).

2.2.1.8 Estructuras especiales

Invernaderos a base de materiales plásticos (hinchables)

La idea fue puesta en práctica en Inglaterra en 1911 por F. W. Lanchaster, aunque no específicamente en invernaderos, se aplicó por primera vez en Inglaterra, en 1954.

Los componentes básicos de la instalación son:

- Cubierta
- Ventiladores para soporte de la instalación y ventilación.
- Anclaje al terreno y acceso.
- Salida del aire de ventilación.

Cubierta:

Su material que constituye la cubierta debe elegirse entre aquellos que cuenten con las características físicas adecuadas y adopten la forma geométrica deseada. La anchura del invernadero viene definida por la radiación ultravioleta.

La anchura del invernadero viene definida por la resistencia de la película, la precisión del aire, el método de anclaje al terreno y el perfil transversal óptimo.

Ventiladores:

Para el soporte de la estructura en condiciones normales se dispone de uno a varios ventiladores que, además, deben de poder suministrar un incremento de presión, en condiciones de funcionamiento extraordinarias y una adecuada ventilación para limitar el gradiente térmico al deseado y oscila entre 5 y 7.5 Atm.

Anclaje y acceso:

La fijación del revestimiento al terreno se realiza normalmente enrollando parte de este en un poste de madera y enterrándolo en una zanja que previamente se ha excavado.

Cubierta doble hinchada:

Los invernaderos hinchables son aquellos están cubiertos por dos capas de film separada por el aire a baja presión, como se puede ver en la Figura 12.



Figura 12. Invernadero hinchable

Fuente: Matallana Antonio & Montero J. Ignacio.. (1989). Invernaderos Diseño, Construcción y Ambientación. Madrid: GRAFO, S.A.

2.2.1.9 Invernadero torre

El primer invernadero fue desarrollado en Viena en 1963, consiste en una estructura en la que la exploración de los cultivos se realiza en altura, con una superficie en planta mínima. Es posible su utilización gracias a un transportador tanto vertical como horizontal, donde se alojan las macetas u otros contenedores en los que se realiza el cultivo. El riego se hace mediante inmersión en una piscina de agua dispuesta en la base del invernadero. Algunas de sus ventajas son: mejores condiciones de iluminación natural, buen control de las bases climáticas, de calefacción, de regulación de la humedad. Una desventaja es que tiene un costo muy elevado. En la Figura 13 se muestra la imagen del invernadero torre.



Figura 13. Invernadero torre

Fuente: Matallana Antonio & Montero J. Ignacio. (1989). Invernaderos Diseño, Construcción y Ambientación. Madrid: GRAFO, S.A.

2.2.2 La tecnificación de los invernaderos en México

Los invernaderos automatizados tienen instalaciones de dispositivos automatizados con sensores y actuadores para controlar el riego para apagar o encender las bombas, así como las celdas solares que se instalan en las techumbres para alimentar los focos que hay dentro y fuera de los invernaderos.

En el 2015 se publicó un artículo en la revista Institute of Electronical and Elenctronics Enginners (IEEE) sobre el Desarrollo de un Sistema WSN para la agricultura de, precisión el cual se hace un estudio en la India. Tiene como objetivo controlar y llevar el seguimiento del crecimiento de las plantas del campo, para ello los dispositivos que utiliza son: un sensor de humedad, Arduino, sensor de temperatura y un ZIGBEE. Consiste en un transmisor y receptor el cual monitorea la temperatura relativa y la humedad del suelo y son almacenados en una base de datos. (Santoshkumar y Udaykumar R.Y, 2015).

En el Instituto Politécnico Nacional, Unidad Profesional Zacatenco, se creó una propuesta de innovación para la producción del tomate rojo para el municipio de Zinapécuaro, Michoacán, el cual consiste en determinar las condiciones más adecuadas para el cultivo para que se pueda mejorar y optimizar los recursos económicos y materiales. Se hace el diseño de un invernadero automatizado el cual contiene extractores, sistemas de calefacción, PLCs el cual controla la temperatura y también utiliza sensores de humedad relativa. (Ing. Valdes Ramón, 2007).

En el Instituto Politécnico Nacional, Centro de Educación Continua en Unidad Allende, se realizó la propuesta de un invernadero curvo inteligente con la utilización de arduino para poder configurar los sensores de temperatura y humedad del rábano y que se pudiera observar en una pantalla LCD. El sensor óptimo para la propuesta fue el LM35, un sensor DTH11, extractores y ventiladores. (Barrera Eduardo, Victor Rafael & Meraz Alejandro, 2014).

2.3 Arduino

Arduino es una plataforma de electrónica que se usa para la creación de prototipos basados en software y hardware. Es una tarjeta electrónica la cual contiene un microcontrolador reprogramable y un conjunto de pines de conexión que son las entradas y salidas, las cuales por medio de actuadores es posible interaccionar con el medio físico. De esta manera se pueden crear proyectos de manera más rápida y eficiente.

Arduino trabaja con un entorno de desarrollo libre y de multiplataforma porque se puede instalar en cualquier ordenador y permite escribir, verificar y guardar en la memoria del microcontrolador cualquier instrucción. Arduino. (2016).

2.3.1 Tipos de Arduino

Arduino fue creado en el año 2005 en el Instituto de Diseño Interactivo de Ivrea, Italia. (Arduino, 2016).

Los productos de Arduino se clasifican en 5 categorías:

- 1.- Nivel de entrada
- 2.- Funciones mejoradas
- 3.- Internet de las cosas
- 4.-Usable
- 5.- Impresión en 3D

2.3.1.1 Nivel de entrada

Los productos de este nivel son para personas que apenas están aprendiendo a usar un Arduino. Ya que son fáciles de usar. (Arduino. (2016).

En este nivel se clasifican:

- 1.- Arduino uno
- 2.- Arduino 101
- 3.- Arduino PRO
- 4.- Arduino PRO MINI
- 5.- Arduino MICRO

2.3.1.2 Funciones mejoradas

Son Arduinos los cuales tienen funcionalidades avanzadas o fueron actualizadas. (Arduino, 2016).

- Arduino mega
- Arduino cero
- Arduino due
- Arduino Ethernet shield

2.3.1.3 Internet de las Cosas

El objetivo es hacer que los dispositivos se puedan conectar fácilmente con uno de estos productos de la IoT (Internet of Things) para abrir su creatividad con las oportunidades de usar la World Wide Web. (Arduino, 2016).

- Arduino yun
- Arduino mkr1000
- Arduino ethernet shield
- Arduino Gsm shield
- Arduino Wifi Shield 101

2.3.1.4 Usable

Añadir elegancia a sus proyectos de textiles y descubrir la magia de la costura con la potencia de la electrónica directamente a los textiles. (Arduino, 2016).

- Arduino Gemma
- Lilyypad arduino usb
- Lilyypad arduino placa
- Lilyypad simple arduino
- Lilyypad arduino snap simple

2.3.2 Programación del AT MEGA 328/P

Es un CMOS de 8 bits. En la Figura 14 se muestra el encapsulado de un AT MEGA 328/P.

Características principales:

- Es de alto rendimiento y de bajo consumo.
- Arquitectura RISC avanzada.
- 131 instrucciones de gran alcance, la mayoría se ejecutan solo a un ciclo de reloj.
- Funcionamiento estático
- Chip multiplicador de 2 ciclos.
- Segmentos de la memoria no volátil y de alta resistencia
- 1 KByte EEPROM.
- 2 KBytes SRAM interna.
- Escritura / Borrable ciclos: 10,000 Flash / 100,000 EEPROM
- Retención de datos: 20 años a 85 °C y 100 años a 25 °C.
- Consumo de energía 1MHz, 1.8V, 25°C

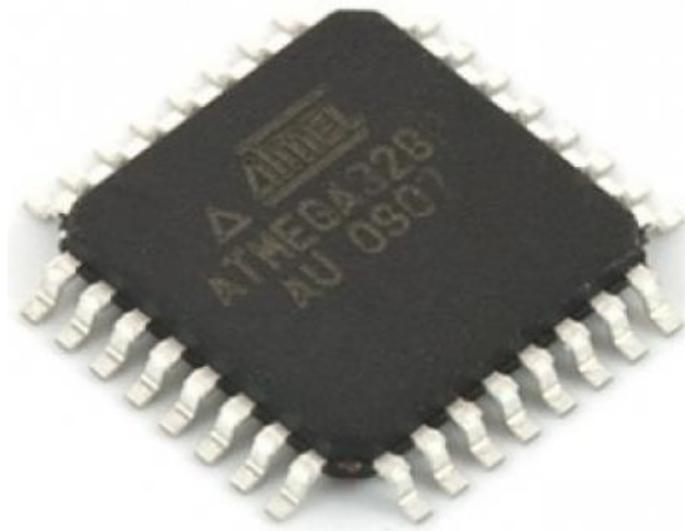


Figura 14. AT MEGA

Fuente: <https://en.wikipedia.org/wiki/ATmega328>

2.3.3 Sensores

Un sensor es un dispositivo que detecta estímulos y mediante estos manda una respuesta a consecuencia.

En el mercado existe una gran variedad de instrumentos para medir la humedad como lo son los higrotermómetros, meteorómetros, etc.

2.3.3.1 Modulo HL -69 : Sensor de humedad de suelo

Es un módulo que utiliza la conductividad de 2 terminales para determinar los parámetros relacionados con el agua.

Tiene 2 placas que están separadas y cubiertas de un material conductor. Si hay humedad hacen un puente de una punta a otra el cual es detectado por un circuito que amplifica la señal que la transforma en un valor analógico que va de 0 a 1023. Y también tiene una salida digital, el valor lógico 1 significa que la tierra no está húmeda y si es 0 la tierra está húmeda. En la Figura 15 y 16 se muestra una imagen ilustrativa y sus componentes.

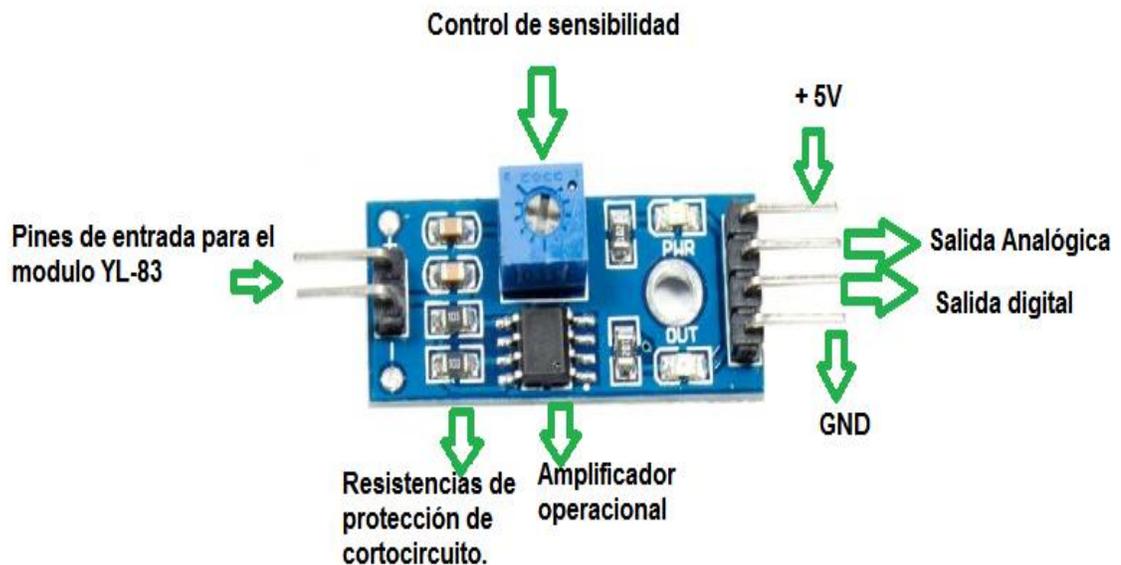


Figura 15. Amplificador

Fuente: Elaboración propia.

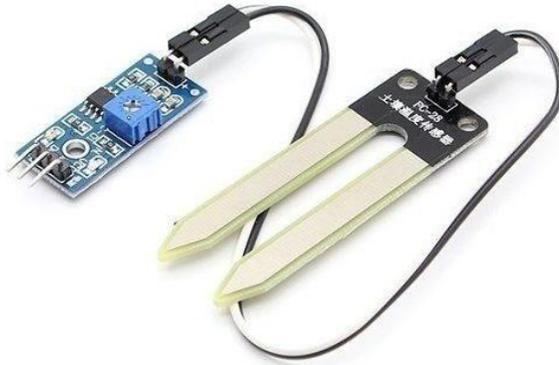


Figura 16. Sensor HL- 69

Fuente : <http://listado.mercadolibre.com.mx/sensor-de-humedad-de-suelo-ideal-para-invernaderos-y-macetas>

2.3.3.2. Sensor DHT11

Mide la humedad relativa como la temperatura, se caracteriza por tener la señal digital calibrada por lo que asegura una alta calidad y una fiabilidad a lo largo del tiempo, ya que contiene un microcontrolador de 8 bits integrado. Está constituido por dos sensores resistivos (NTC y humedad). Tiene una excelente calidad y una respuesta rápida en las medidas. Puede medir la humedad entre el rango 20% – aprox. 95% y la temperatura entre el rango 0°C – 50°C.

Cada sensor DHT11 está estrictamente calibrado en laboratorio, presentando una extrema precisión en la calibración. Los coeficientes de calibración se almacenan como programas en la memoria OTP, que son empleados por el proceso de detección de señal interna del sensor. En la Figura 17 se muestra un sensor DHT11.



Figura 17. Sensor de humedad y temperatura DTH11.

Fuente: <https://tallerarduino.files.wordpress.com/2012/12/3689624d-66bf-48ac-9865-4b42952c227d.jpg>

2.4. Requerimientos climáticos del cultivo del jitomate.

Germinación: Para poder tener una buena cosecha de jitomate se debe tener una temperatura óptima para la germinación y esta está comprendida entre los 25 a 30°C. (Velasco, 2006)

Crecimiento: Para el crecimiento la temperatura adecuada es entre 21°C a 26°C. Una temperatura menor a 15°C detiene la floración, en caso que la temperatura se eleve más de los 35°C la fotosíntesis disminuye formando hojas pequeñas, tallos más delgados que ocasionan desprendimientos de ramas.

Floración: Para la floración hay variaciones de temperatura diurna-nocturna la cual debe ser entre 16°C a 19°C y 21 °C durante el día.

Fructificación: Las condiciones óptimas para que se produzca la fecundación y amarre del fruto se pueden establecer entre los 14°C y 18° C durante la noche y de 23°C a 26°C durante el día.

La coloración deseada en el fruto es roja, propiciada por el licopeno (es una sustancia química que existe en forma natural y es la responsable de darle el color), el cual se manifiesta mejor en temperaturas que van de 15 a 19°C, de lo contrario aparecen colores verdes, amarillos o rozados como se muestra en la Figura 18.



Figura 18 Coloración del fruto

Fuente: Elaboración propia

2.4.1 Balance térmico. Ecuación general

El modelo matemático para el balance energético de un invernadero se establece para el periodo nocturno.

Primero se debe de tener en cuenta que la conversión del sistema internacional (SI) en watts/m^2 es de $1 \text{ kcal/h} = 1.163 \text{ watts}$.

La radiación térmica transfiere el calor de un cuerpo a otro mediante ondas electromagnéticas. Las ondas de radiación térmica son similares a otros tipos de ondas electromagnéticas.

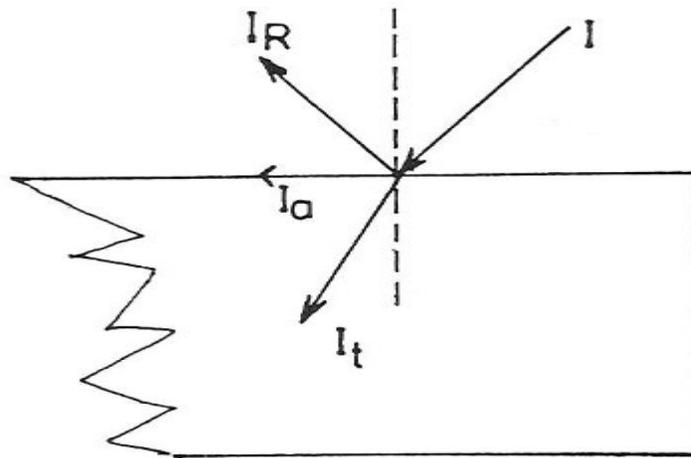


Figura 19. Radiación térmica

Fuente: Matallana Antonio & Montero J. Ignacio.. (1989). Invernaderos Diseño, Construcción y Ambientación. Madrid:GRAFO, S.A.

En la Figura 19 se observa un diagrama que ilustra el fenómeno de la radiación térmica. I , es parte de la radiación incidente la cual es reflejada, I_R , y esta es absorbida por I_a , y también es transmitida por I_t . La reflectividad se define por $\rho = \frac{I_R}{I}$, la absorptividad por $\alpha = \frac{I_a}{I}$ y la transmisividad por $\zeta = \frac{I_t}{I}$, siendo la radiación incidente :

$$I = \alpha I + \rho I + \zeta I \quad (1)$$

Donde:

$$I = \alpha + \rho + \zeta \quad (2)$$

La emisividad de un cuerpo ε como el cociente entre la energía total emitida y la energía total que emitiera un cuerpo negro a la misma temperatura se define en la ecuación (3).

$$\varepsilon = \frac{E(T)}{E_b(T)} \quad (3)$$

$E_b(T)$ es la energía del cuerpo negro.

La ley de Kirchhoff establece que la emisividad, ε , de una superficie es igual a la absorptividad de la misma. Ecuación (4).

$$a_\lambda = \varepsilon_\lambda \quad (4)$$

La ley de Kirchhoff muestra que la energía emitida por cualquier cuerpo debe ser inferior a la de un cuerpo negro a la misma temperatura. La emisividad de una superficie real debe ser inferior a la unidad ($\varepsilon < 1$).

La ley de Stefan-Boltzman establece que para un cuerpo negro, la energía emitida, E_b , es igual a :

$$E_b = \sigma T^4 \quad (5)$$

T: temperatura absoluta ($^{\circ}$ K).

σ : constante de Stefan-Boltzman.

$$\sigma = 5.6710^{-8} \frac{\text{watts}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$$

La ley del desplazamiento de Wien establece que la longitud de onda a la que tiene lugar el máximo de emisión viene dada por la expresión:

$$\lambda_{max} = \frac{2897}{T (^{\circ}K)}$$

2.4.2. Humedad relativa y de suelo

La humedad relativa debe ser de 50 a 60 %, cuando es más alta las anteras se hinchan y el polen no puede liberarse ni caer sobre el estigma y las flores no se polinizan y caen. En la Figura 20 se muestran estos elementos de la flor del tomate rojo. La humedad relativa del 80 % o más provoca el desarrollo de enfermedades como el tizón y moho gris, se presentan agrietando en el fruto y dificultan la fecundación. Si la humedad relativa es del 50% o menos afecta en la fijación del polen ya que se deshidrata.

Polinizar es transferir el polen desde los estambres hasta el estigma.



Figura 20. Flor del jitomate

Fuente: Elaboración propia.

Para mantener el nivel óptimo de humedad en el ambiente dentro del invernadero es importante tomarlo en cuenta en el área de ventilación desde el momento de la construcción de modo que con la apertura pueda haber una buena circulación de aire.

Para elevar la humedad del suelo se puede lograr mediante la humectación de los pasillos evitando que las gotas del agua lleguen a la superficie de las plantas.

La humedad en el suelo de igual manera es importante para evitar que la planta sufra estrés hídrico ya que se pueden alterar los procesos fisiológicos.

El exceso de humedad puede provocar el desarrollo de enfermedades como Fusarium, Phytophthora y Rhizoctonia, atacando principalmente la raíz y el "cuello" de la planta. En la Figura 21 se muestra una imagen ilustrativa de la enfermedad Phytophthora atacando a una planta de tomate rojo.



Figura 21. Enfermedad Phytophthora

Fuente: Velasco Hernández y Nieto Raul. (2006). Cultivo de jitomate en hidroponía e invernadero. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia : Fabiola Valencia Torres.

2.4.3 Riego por goteo o Riego gota a gota

El riego por goteo o riego gota a gota, es una manera de suministrar agua de manera lenta a través de mangueras de plástico instaladas entre las plantas.



Figura 22. Sistema de riego.

Fuente: Elaboración propia.

El riego por goteo ayuda a reducir el uso del agua. También ayuda a la mata de tomate rojo ya que el agua no tiene menos contacto directamente con el tallo y los frutos y por lo tanto son menos favorables para desarrollar enfermedades.

En la Figura 22 se muestra en la imagen, la tubería de agua principal la cual se encuentra de manera horizontal y de ella se desprende una manguera de forma vertical como se muestra en la Figura 23 la cual tiene goteros donde se encuentra ubicada cada mata, el hule que se aprecia ver se llama Acolchonado y sirve para incrementar la temperatura del suelo, reduce la evaporación del agua por lo tanto la planta aprovecha la mayor cantidad de agua que se le es irrigada, reduce la presencia de hierba mala y se obtienen productos más limpios ya que por el acolchonado se reduce la pudrición del tomate rojo que se produce al contacto con el suelo húmedo.



Figura 23 Sistema de riego y acolchonado

Fuente: Elaboración propia.

Ventajas de los sistemas de riego por goteo:

- Los sistemas de riego por goteo son apropiados para los campos de forma irregular, donde la textura del suelo no es uniforme.
- Es útil si el agua es escasa o costosa. Ya que cuenta con menos evaporación y escurrimiento.
- La aplicación de nutrientes es más precisa con el riego por goteo, ya que se puede escoger mejor el momento para fertilizar las plantas.
- Se puede tener un mejor control de goteo ya que solo en donde estén las plantas estará húmedo y entre los pasillos estará seco.
- Este sistema se puede programar para que se tenga un mejor control de riego y esto sea más óptimo para las plantas.

Capítulo 3

Metodología

3.1 Visión

Como se ha mencionado anteriormente en la sección 1.2 de este documento de tesis, se pretende crear un prototipo para el invernadero del Sr. Hugo Pérez ubicado en el Estado de Oaxaca, San Pedro Apóstol para que puedan obtener una mejor cosecha de tomate rojo, también se pretende ayudar a ahorrar el agua.

Para poder entender mejor el problema se le realizó una entrevista al Sr. Hugo Pérez.

➤ **¿Cómo surgió la idea de tener un invernadero?**

Desde hace tiempo cosechar en la intemperie pero a veces caía hielo en las madrugadas y eso provocaba que el cultivo se quemara y un día me aconsejaron que poner un invernadero es lo mejor para cosechar.

➤ **¿Quién lo ayudo o asesoro para poner el invernadero?**

El gobierno y SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación).

➤ **¿Desde cuándo tiene su invernadero?**

Como 2007 o 2008 más o menos.

➤ **¿Cada cuando le dan capacitación?**

Se contrató a un asesor de cultivos y va cada semana al invernadero para ver el crecimiento del cultivo.

➤ **¿Qué tipo de invernadero tiene?**

Invernadero en diente de sierra.

➤ **¿Qué sistema de riego tiene actualmente?**

Riego de gota a gota o también conocida como riego por goteo.

➤ **¿Con que frecuencia riega las plantas?**

Al día riego el invernadero 5 veces, desde las 9:00 hasta las 4:00 que es el último riego del día.

➤ **¿Cómo se abastece de agua?**

Se perforó un pozo.

➤ **¿Qué problemas desea solucionar del invernadero?**

Que haya un sistema que ayude a regar de manera automática y que ayude a monitorear los niveles de humedad relativa y temperatura, para poder tener una mejor cosecha porque si se llega a regar de más la planta esta se pudre o le sale plaga y si no se le da un buen riego se seca.

3.2 Planificación

Para poder dar una solución al problema se tomaron en cuenta las etapas del diseño que están definidas en la sección 2.1.2. Planificación.

Diseño conceptual: El Sr. Hugo Pérez lo que requiere es que el riego no lo tengan que realizar él ya que se riega varias veces al día, por varios minutos y muchas veces pierden un poco de tiempo regando, además que si no se riega bien la planta de tomate puede desarrollar alguna enfermedad.

Diseño físico: Diseñar un sistema de riego automatizado en Arduino ya que es una placa fácil de programar y en la cual se programaran los sensores de humedad del suelo y temperatura como es el DTH11 y humedad relativa HL-69 y posteriormente se realizara una interfaz gráfica para poder monitorear los datos de los sensores, y poder exportarlos y guardarlos

Primero se harán los diagramas de flujo de programa en Arduino y el Programa en Java, de esta manera se ahorrara tiempo al momento de programar porque ya se tendrán previamente la lógica de programación.

Diagrama de flujo del programa de Arduino

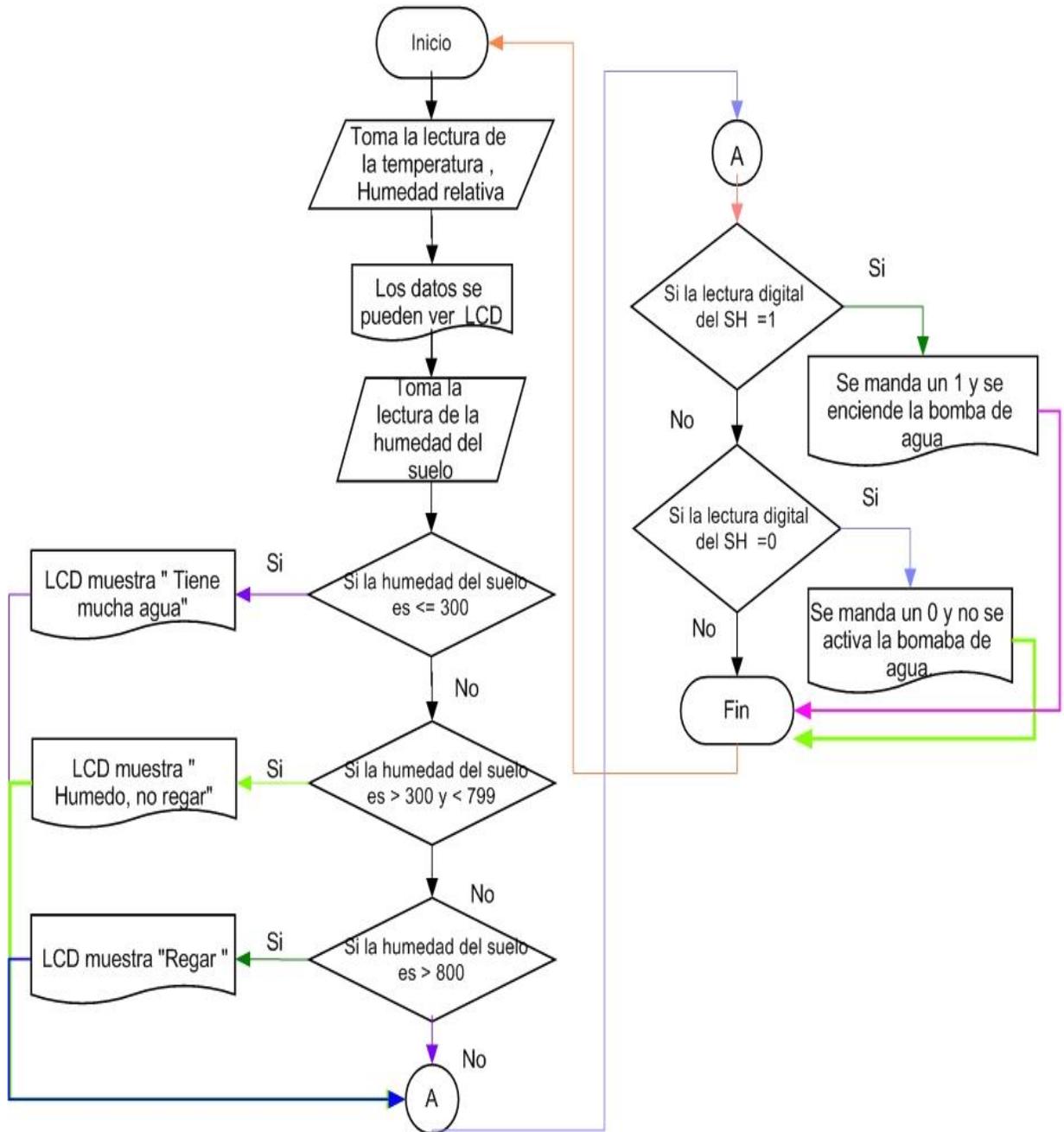


Figura 24. Diagrama de flujo

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la Figura 24. Se muestra el diagrama del funcionamiento de Arduino el cual empieza tomando la lectura de la temperatura y la humedad relativa y los datos que se obtienen se muestran en el LCD, después el sensor de humedad se activa y toma la lectura de la señal analógica la cual varía entre 0 y 1023. Si la humedad del suelo (HS) es menor o igual que 300 muestra un mensaje en el LCD “Tiene mucha agua” y si no, compara de nuevo los datos de la lectura analógica y si es entre 300 y 799 se muestran los datos en el en LCD y muestra un mensaje “Húmedo, no regar” y si no, está en ese rango se vuelven a comparar los datos. Si la señal analógica está en el rango y es mayor que 800 se muestran los datos en el LCD y muestra el mensaje “Regar” y si no, se pasa al siguiente bloque ya que también se toma la señal digital. Si el valor de la señal digital es 1 se manda el voltaje alto y se enciende la bomba de agua y si no, vuelve a verificar los datos y si es 0, se manda un voltaje bajo y la bomba de agua no se enciende, y si no, termina ese ciclo y vuelve a empezar de nuevo.

Diagrama de flujo del programa en java

Para poder visualizar los valores de los sensores se diseñó un programa en Java con la ayuda del entorno integrado de desarrollo (IDE) NetBeans . En la Figura 25 se muestra el diagrama de flujo del program en java.

Si el usuario da clic en el botón toma de datos se comienza a llenar los datos y si da clic en el botón de graficar temperatura, como ya existen datos en la ventana de la gráfica, se mostrara la gráfica de humedad con respecto al tiempo, y si el usuario no opto por esa opción puede elegir otro botón que grafique y de igual manera se podrá observar la gráfica, pero si no , si eligió el botón de Exportar los datos a Excel, aparecerá una ventana para que el usuario pueda guardar el archivo en la carpeta que desee y asignarle un nombre al archivo. El usuario puede volver a elegir cualquiera de las opciones anteriores hasta que cierre la ventana.

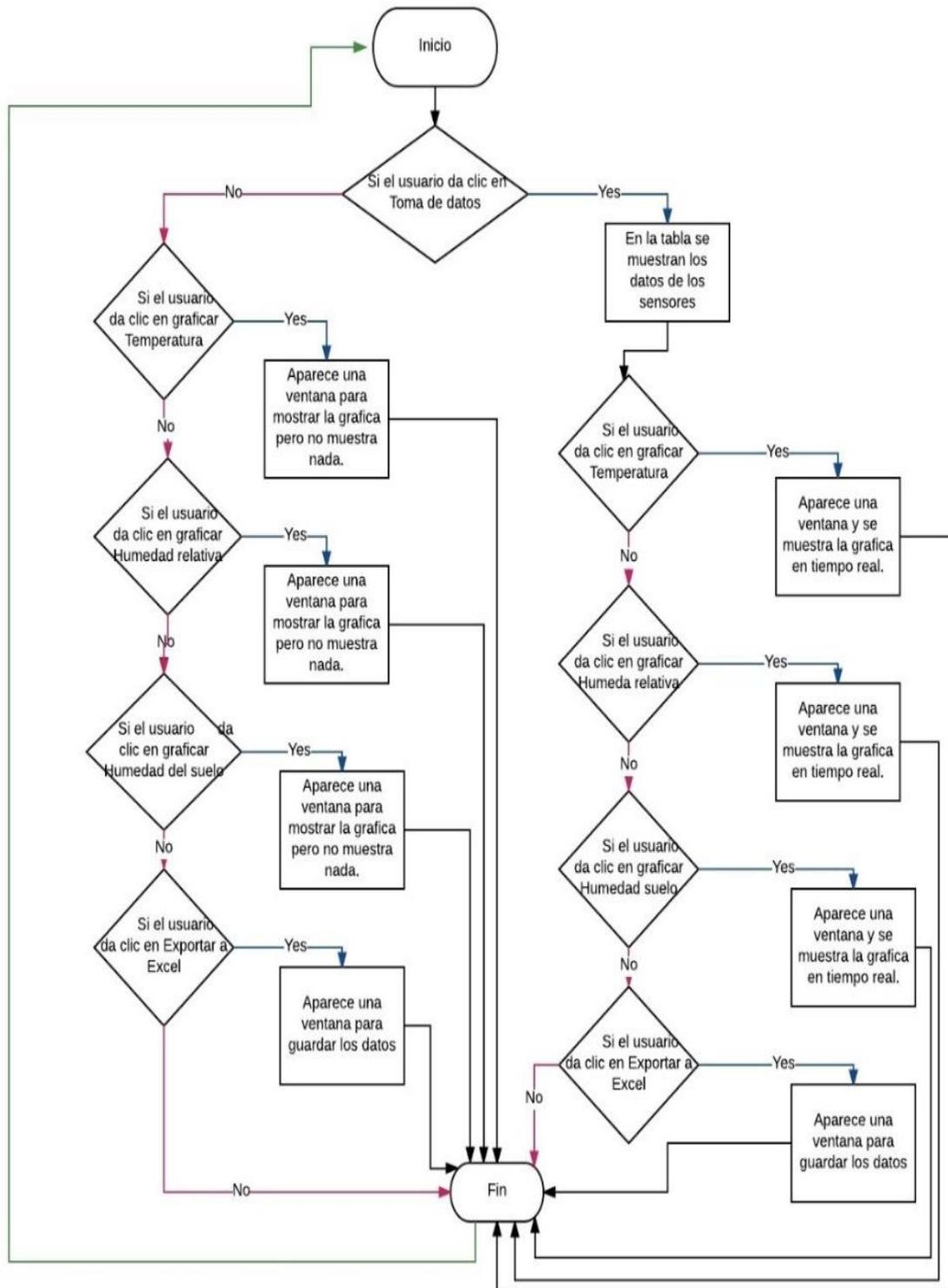


Figura 25 Diagrama de flujo de Arduino

Fuente: Elaboración propia.

Caso de uso

El sistema que muestra los datos de los sensores y los exporta a Excel, necesita de un Administrador del sistema para que pueda realizar las siguientes actividades, como se muestra en la Figura 26.

- ✓ El sistema riega automáticamente, si no detecta agua y toma los valores de la temperatura y la humedad relativa y del suelo.
- ✓ El Administrador del sistema, ingresar al sistema.
- ✓ El Administrador del sistema, iniciar la toma de datos de los sensores.
 - Se muestran los datos de los sensores
- ✓ El Administrador del sistema, pulsa el botón de graficar la humedad.
 - Se muestra una nueva ventana con la gráfica de la humedad en tiempo real.
- ✓ El Administrador del sistema, pulsa el botón para graficar la temperatura.
 - Se muestra una nueva ventana con la gráfica de la temperatura en tiempo real.
- ✓ El Administrador del sistema, pulsa el botón para graficar la humedad del suelo.
 - Se muestra una nueva ventana con la gráfica de la humedad del suelo en tiempo real.
- ✓ El Administrador del sistema, exportar los datos.

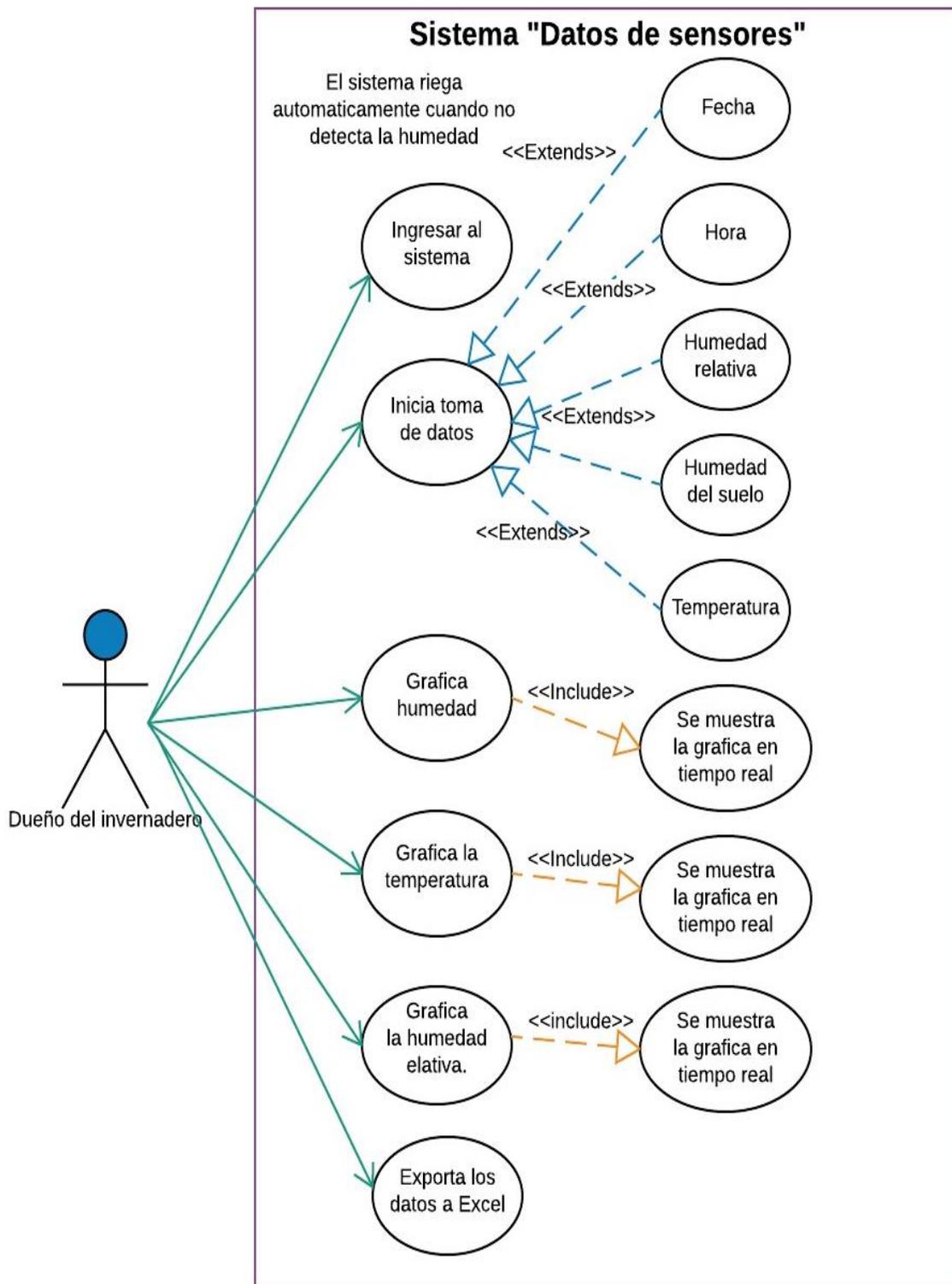


Figura 26. Caso de uso

Fuente: Elaboración propia

3.3 Desarrollo

Programación de Arduino

Para programar el sistema de riego del invernadero, se eligió el Arduino Uno ya que es una placa fácil de programar porque tiene una interfaz muy amigable para programar. En la Figura 27 se muestra la interfaz de Arduino.

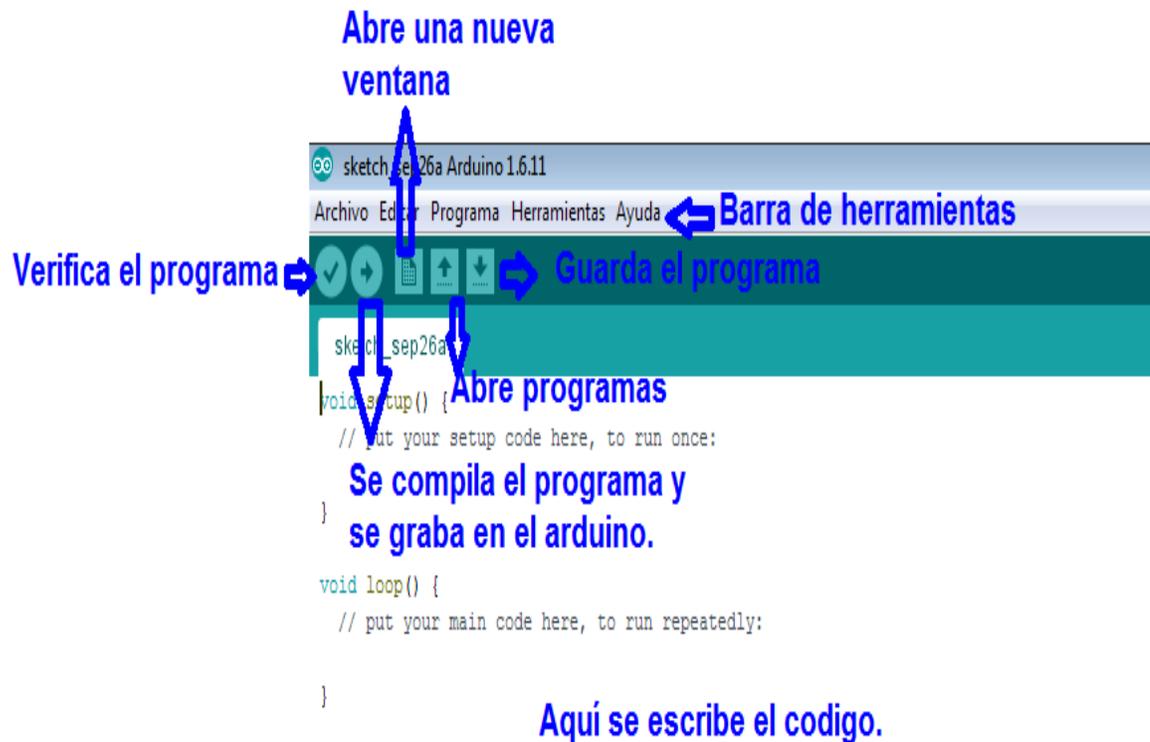


Figura 27 Interfaz para programar Arduino.

Fuente: Elaboración propia.

Arduino tiene una barra de herramientas, la cual tiene 5 menús despegables como lo son Archivo , Editor, Programas, Herramientas y Ayuda como se puede ver en la Figura 28



Figura 28. Menús de Arduino.

Fuente: Elaboración propia

En primer lugar se conectó el sensor DHT11, el cual mide la humedad relativa y la temperatura como se muestra en la Figura 29. Se puede ver que el pin de Datos (Data) se conecta a la entrada analógica 1, la cual puede ser cualquiera de las 5 posibles. El pin VCC se conecta a la salida de 5V. El pin tierra se conecta a la tierra del Arduino.

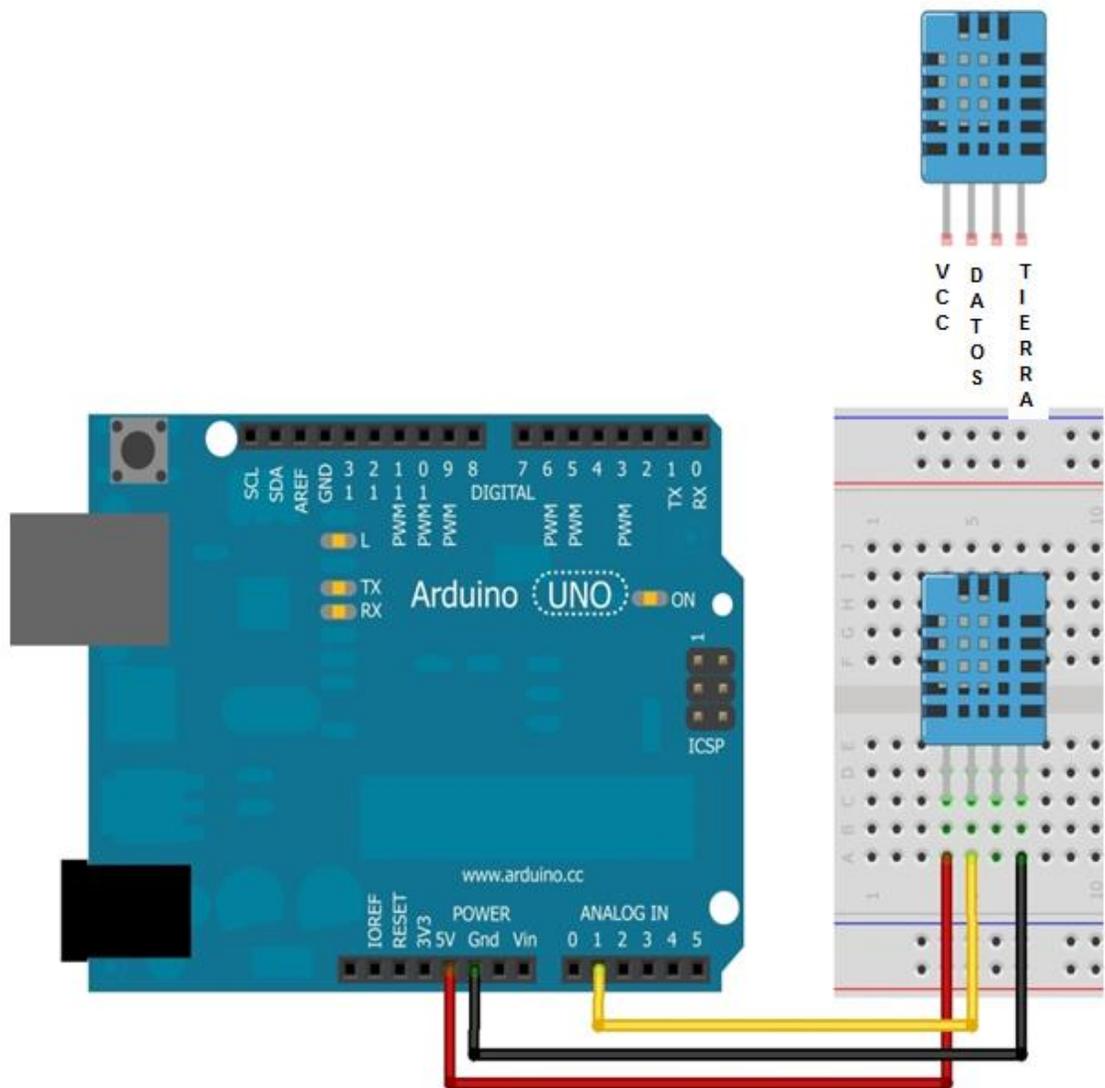


Figura 29 Conexión del DHT11.

Fuente: <http://www.oddwires.com/using-a-dht11-to-measure-temperature-and-humidity/>

Para poder programar el sensor se descarga la librería del sensor DHT11 la cual se encuentra en el sitio web:

<https://drive.google.com/drive/folders/0B0hsUkhqWH97dHFBeTNZd2ZyRjQ>

Para incluir una nueva librería se busca en la barra de herramientas la opción:

- Programas
- Incluir librería
- Añadir Librería .Zip, se busca el archivo y se abre.

La librería se queda guardada y se puede ver con todas las bibliotecas como se muestra en la Figura 30.

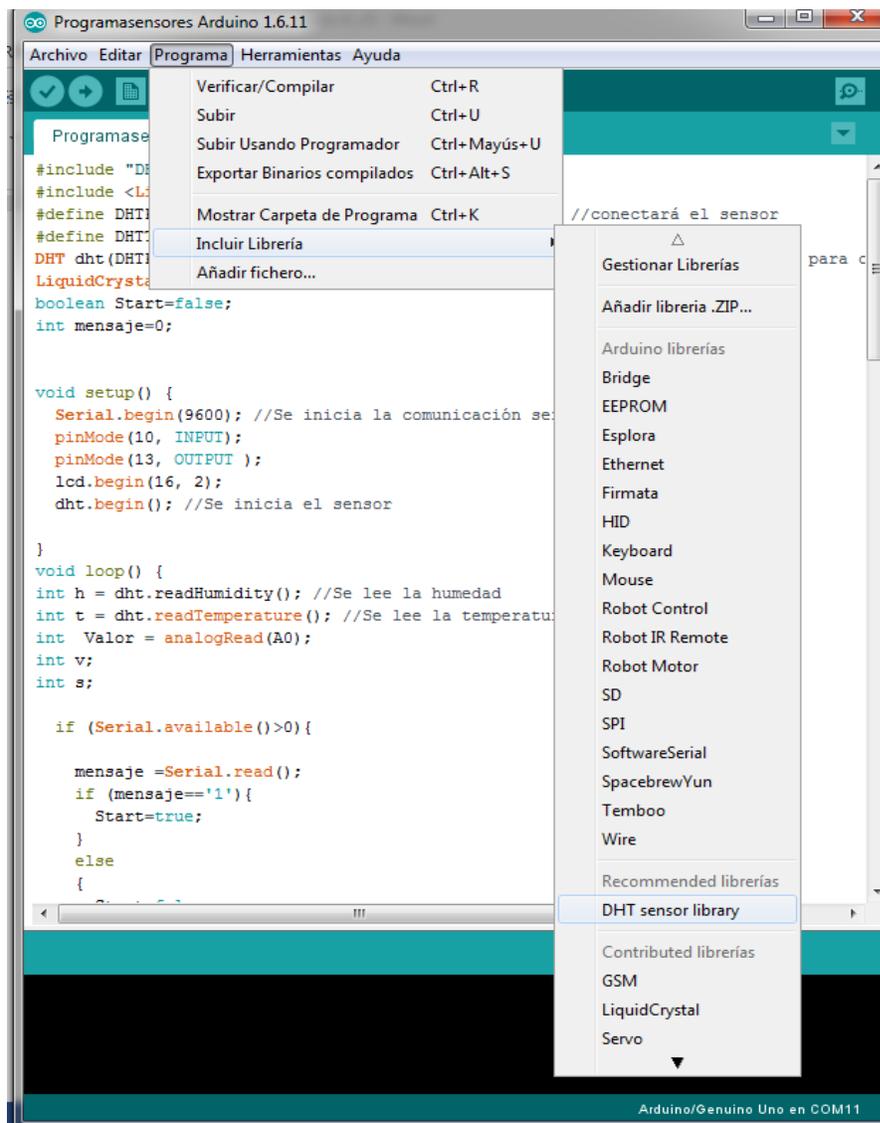


Figura 30 Imagen de la librería

Fuente: Elaboración propia.

Código del sensor DHT11:

En el siguiente bloque de código se muestra la forma en la cual se programa el sensado de humedad, en la línea 1 se coloca la librería del sensor para que pueda reconocer el dispositivo DHT11. En la línea 2 se define el pin en el cual Aduino va a obtener los datos. En la línea 3 se selecciona el tipo de dispositivo que se usa ya que la librería es para varios tipos de sensores y aquí se especifica la que se está usando. En la línea 4 se inicializa la variable DHT. En la línea 5 se coloca el bloque de setup() el cual se utiliza para inicializar los modos de trabajo de los pines. En la línea 6 se inicia la comunicación serial y se fija una velocidad para la transición de datos en serie. En la línea 7 se inicializa el sensor. En la línea 8 se cierra el bloque del setup(). En la línea 9 se abre el loop que es bloque que contiene el código que se ejecuta. En la línea 10 se declara una variable flotante llamada h y es igual a valor que se lee de la humedad. En la línea 11 se declara una variable flotante llamada t y es igual a valor que se lee de la temperatura. En la línea 12 se da un delay() que es igual a 2 segundos los cuales se espera para después proseguir con la siguiente línea. En la línea 13 se cierra el bloque loop().

```
1. #include "DHT.h" // librería DHT
2. #define DHTPIN A5 //Se selecciona el pin en el que se conectará el
   sensor
3. #define DHTTYPE DHT11 //Se selecciona el DHT11 ya que existen más
   DHT.
4. DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE); //Se inicia una variable
5. void setup() {
6.   Serial.begin(9600); //Se inicia la comunicación serial
7.   dht.begin(); //Se inicia el sensor
8. }
9. void loop() {
10. float h = dht.readHumidity(); //Se lee la humedad
11. float t = dht.readTemperature(); //Se lee la temperatura
12. delay(2000); } //Se espera 2 segundos para seguir leyendo //datos
```

Los valores que el sensor emite son visibles en la plataforma de arduino en el monitor serial, como se muestra en la Figura 31.

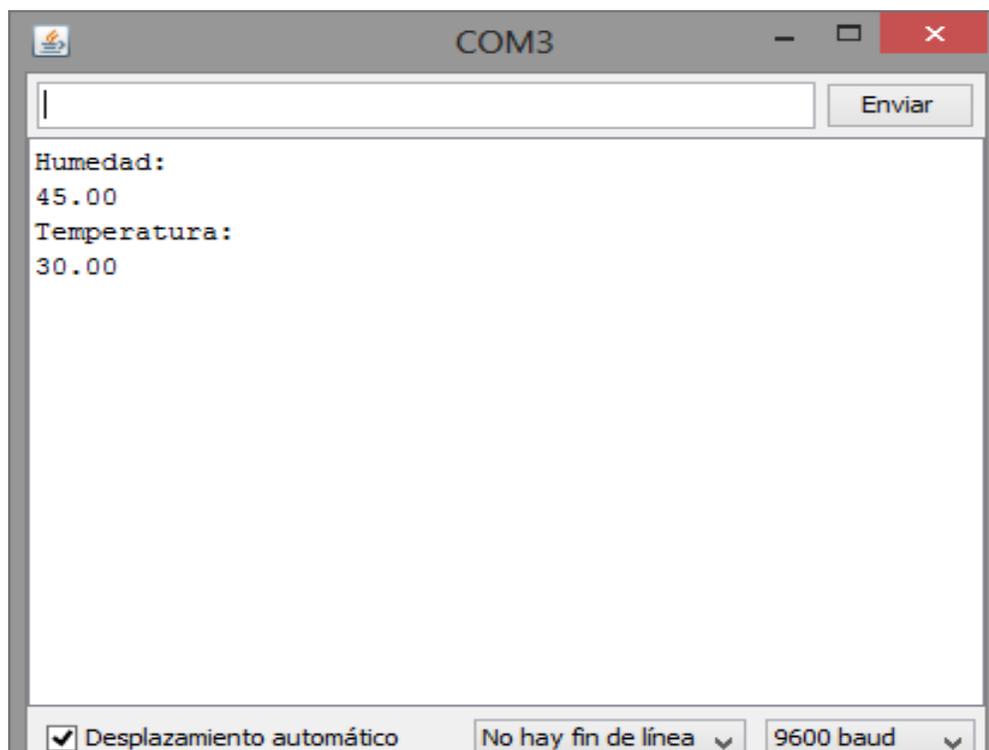


Figura 31 Valores del Sensor DHT11

Fuente: Elaboración propia

El sensor HL-69, mide la humedad del suelo se programa en otra página y se hacen las pruebas para corroborar su funcionamiento y una vez que el sensor está funcionando de la manera correcta se integra junto con el programa del sensor DHT11.

Se conecta el del sensor HL-69 con arduino como en la Figura 32. El pin AV (Analog Values) valores analógicos se conecta a una entrada analógica, en este caso a la entrada 0, de las cinco posibles. El pin VCC se conecta a la entrada de 5V del Arduino. El pin de Tierra se conecta a GND del Arduino.

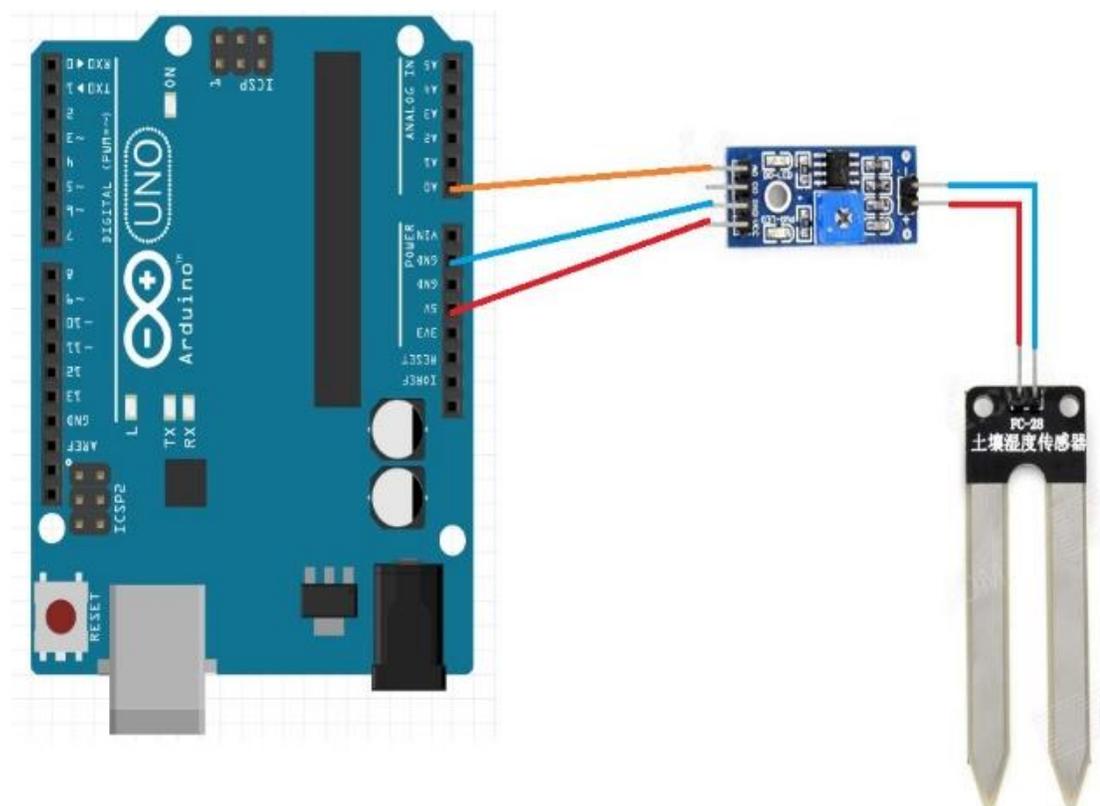


Figura 32 Conexión del sensor HL-69

Fuente: <http://www.e-elektronic.com/2015/07/arduino-tutorial-parte-18-sensor-de.html>

Bloque de código del sensor HL-69

En el siguiente bloque de código se muestra la forma en la cual se programa el sensado de la humedad del suelo.

Para programar el sensor HL69 no es necesario descargar una librería como fue el caso del DHT11.

En la línea de código 1 se coloca el bloque de `setup()`, el cual se utiliza para inicializar los modos de trabajo de los pines. En la línea 2 se inicia la comunicación serial y se fija una velocidad para la transmisión de datos en serie. En la línea 3 se usa la variable `pinMode` para especificar el tipo de pin digital que se usa, en el caso se usa el 10 y va a ser de entrada. En la línea 4 se cierra el bloque del `setup()`. En la línea 5 se abre el `loop()` que es bloque que contiene el código que se ejecuta. En la línea 6 Se manda a imprimir el valor de la lectura analógica que está en el pin A0. En la línea 7 se manda a imprimir la lectura digital

que está en el pin 10. En la línea 8 se da un delay() de 1 segundo para después proseguir con la siguiente línea. En la línea 9 termina el bloque del loop().

1. void setup() {
2. Serial.begin(9600);
3. pinMode(10, INPUT);
4. }
5. void loop() {
6. Serial.println(analogRead(A0)); //lectura analógica
7. Serial.println(digitalRead(10)); //lectura digital
8. delay(1000);
9. }

Como se muestra en la Figura 33 se pueden observar los datos que se obtiene del sensor HL-69 en el monitor serial.

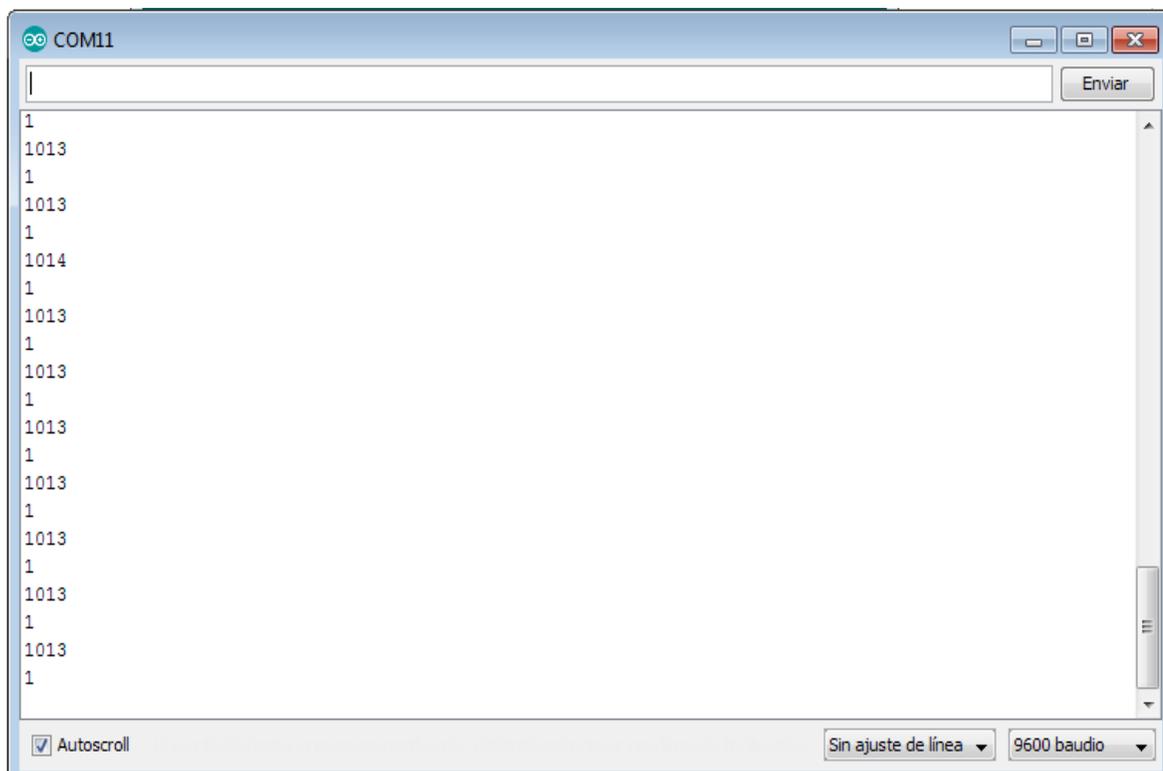


Figura 33. Datos de sensor del suelo

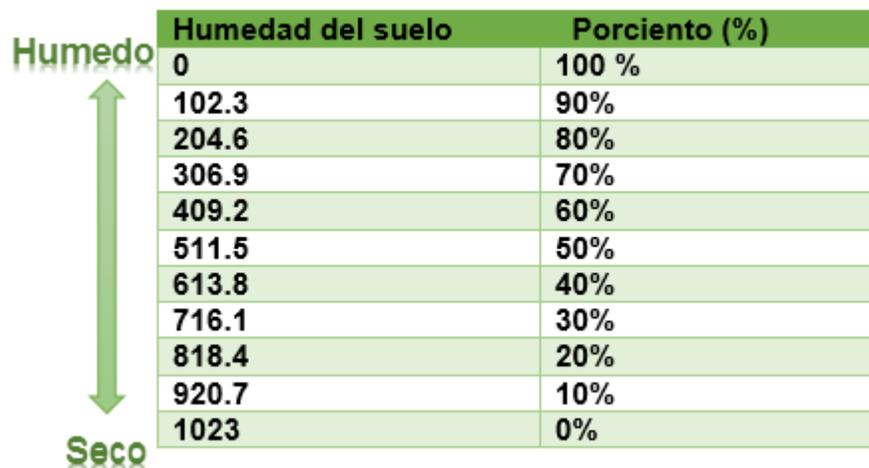
Fuente: Elaboración propia

Los datos que el sensor arroja a la salida van de 0 a 1023, si el valor es el más alto significa que la tierra está seca, entre menor sea el número significa que más humedad tiene la tierra.

La lectura digital es en valores lógicos. Se entrega un pulso bajo cuando hay conductividad entre las puntas.

Para que pueda ser más atendible para el usuario se convirtieron los valores analógicos en porcentaje.

Tabla 9. Valores de la humedad del suelo.



Humedad del suelo	Por ciento (%)
0	100 %
102.3	90%
204.6	80%
306.9	70%
409.2	60%
511.5	50%
613.8	40%
716.1	30%
818.4	20%
920.7	10%
1023	0%

(Fuente: Elaboración propia.)

Para observar los resultados se coloca un LCD. Se programa una rutina en Arduino para que muestre los siguientes valores:

Temperatura, humedad relativa, humedad del suelo.

Bloque de código para mostrar los valores de los sensores en una pantalla LCD:

En la línea 1 se incluye la librería del LCD. En la línea 2 se define el pin que usara el dht11. En la línea 3 se define el tipo de sensor que se va a utilizar. En la línea 4 se declara la variable DHT, En la línea 5 se crea la instancia llamada LCD con

los parámetros de los pines que se van a usar. En la línea 6 se coloca el bloque de `setup()` el cual se utiliza para inicializar los modos de trabajo de los pines. En la línea 8 se usa la variable `pinMode()` para especificar el tipo de pin digital que se usara, en este caso se usa el 10 y va a ser de entrada. En la línea 9 inicia el LCD y se activa el número de caracteres y filas. En la línea 10 inicia el sensor del Dht. En la línea 11 termina el bloque del `setup()`. En la línea 12 se abre el `loop()` que es bloque que contiene el código que se ejecutara. En la línea 13 se declara una variable flotante llamada `h` y es igual a valor que se lee de la humedad. En la línea 14 se declara una variable flotante llamada `t` y es igual a valor que se lee de la temperatura. En la línea 15 se selecciona el cursor del LCD por línea y columna. En las líneas 16, 17 y 18 se imprimen las variables que se desean mostrar en el LCD. En la línea 19 se selecciona el cursor del LCD por línea y columna. En las líneas 20 ,21 y 22 se imprimen las variables que se desea mostrar en el lcd. En la línea 23 se hace una pausa en el programa en milisegundos. En la línea 24 se limpian los valores del LCD. En la línea 25 se asignan valores al cursor del LCD por línea y columna. En la línea 26 se imprimen las variables que se desean mostrar en LCD. En la línea 27 se hace una pausa en el programa en milisegundos. En la línea 28 termina el bloque `loop()`.

```
1. #include <LiquidCrystal.h>
2. #define DHTPIN A5 //Data
3. #define DHTTYPE DHT11
4. DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
5. LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);
6. void setup() {
7.   Serial.begin(9600);
8.   pinMode(10, INPUT);
9.   lcd.begin(16, 2);
10. dht.begin();
11.}
12. void loop() {
```

```
13. float h = dht.readHumidity();
14. float t = dht.readTemperature();
15. lcd.setCursor(0,0);
16. lcd.print("Temperatura: ");
17. lcd.print(t,0);
18. lcd.print("C");
19. lcd.setCursor(0,1);
20. lcd.print("Humedad ");
21. lcd.print(h,0);
22. lcd.print("%");
23. delay(3000);
24. lcd.clear();
25. lcd.setCursor(0,0);
26. lcd.print(analogRead(A0)); //lectura analógica
27. delay(1000);
28. }
```

Como se muestra en la Figura 34 se pueden ver los datos de los sensores en el LCD.



Figura 34 Imágenes del LCD

Fuente: Elaboración propia

Se colocó un motor que funge como una bomba de agua, si el sensor HL-69 manda una señal digital con pulso bajo significara que la bomba debe estar apagada y si tiene un pulso alto la bomba se activa. Para ello se programó una rutina. El código se explica a continuación.

En la línea 1 se coloca el bloque de setup() el cual se utiliza para inicializar los modos de trabajo de los pines. En la línea 2 se usa la variable pinMode() para especificar el tipo de pin digital que se usara, en este caso se usa el 10 y que es de entrada. En la línea 3 se usa la variable pinMode() para especificar el tipo de pin digital que se usa, en este caso se usa el 13 y que es de salida. En la línea 4 se cierra el bloque del setup(). En la línea 5 se hace una comparación, si el valor del pin digital 10 es igual a 1. En la línea 6 si en la línea 5 es verdadera la comparación entonces en el pin digital 13 se manda un 1 lógico a la salida. En la línea 7 se termina la comparación que empezó en la línea 5. En la línea 8 se hace una comparación, si el valor del pin digital 10 es igual a 0. En la línea 9 si en la línea 8 es verdadera la comparación entonces en el pin digital 13 se manda un 0 de salida. En la línea 10 se termina la comparación que se empezó en la línea 8.

```
1. void setup() {  
2.   pinMode(10, INPUT);  
3.   pinMode(13, OUTPUT );  
4. }  
5. if(digitalRead(10) == 1) {  
6.   digitalWrite(13, '1');  
7. }  
8. if(digitalRead(10) == 0) {  
9.   digitalWrite(13, LOW);  
10.}
```

Diseño del programa de sensado de datos en Java

Derivado de los altos costos del uso de Temboo se diseñó un programa en Java, el cual muestra los datos en una tabla y tiene la opción de exportarlos a un archivo de Excel y visualizar las gráficas de los sensores con respecto al tiempo. Es similar a lo que Temboo hace.

Como se puede ver en la Figura 35 los elementos de la tabla en la ventana del programa de sensado de datos son:

1. Fecha: Muestra la fecha actual.
2. Hora: Muestra la hora minutos y segundos de la toma de datos del sensor.
3. Humedad relativa
4. Humedad del suelo
5. Temperatura



Figura 35 Programa de censado de datos

Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la Figura 36 la ventana del programa de sensado de datos tiene 5 botones. El código fuente se encuentra en el Anexo A.

- Iniciar toma de datos

Se muestran los datos de fecha, hora actual, humedad relativa y temperatura y se van a seguir mostrando hasta que se vuelva a presionar el botón de iniciar toma de datos para detener los datos.



Figura 36. Botones del sistema.

Fuente: Elaboración propia.

- Graficar humedad, graficar temperatura y graficar humedad del suelo.

Como se puede observar en la Figura 37 se muestra la gráfica de la Humedad relativa la cual tiene los valores de la tabla y esta se grafica con respecto al tiempo, denominados por horas, minutos y segundos. En la imagen se muestra que se estuvo monitoreando la humedad relativa desde las 8:50 a las 5:00 y seguía monitoreando. Durante el día hubo fluctuaciones entre 34 y 37 %.

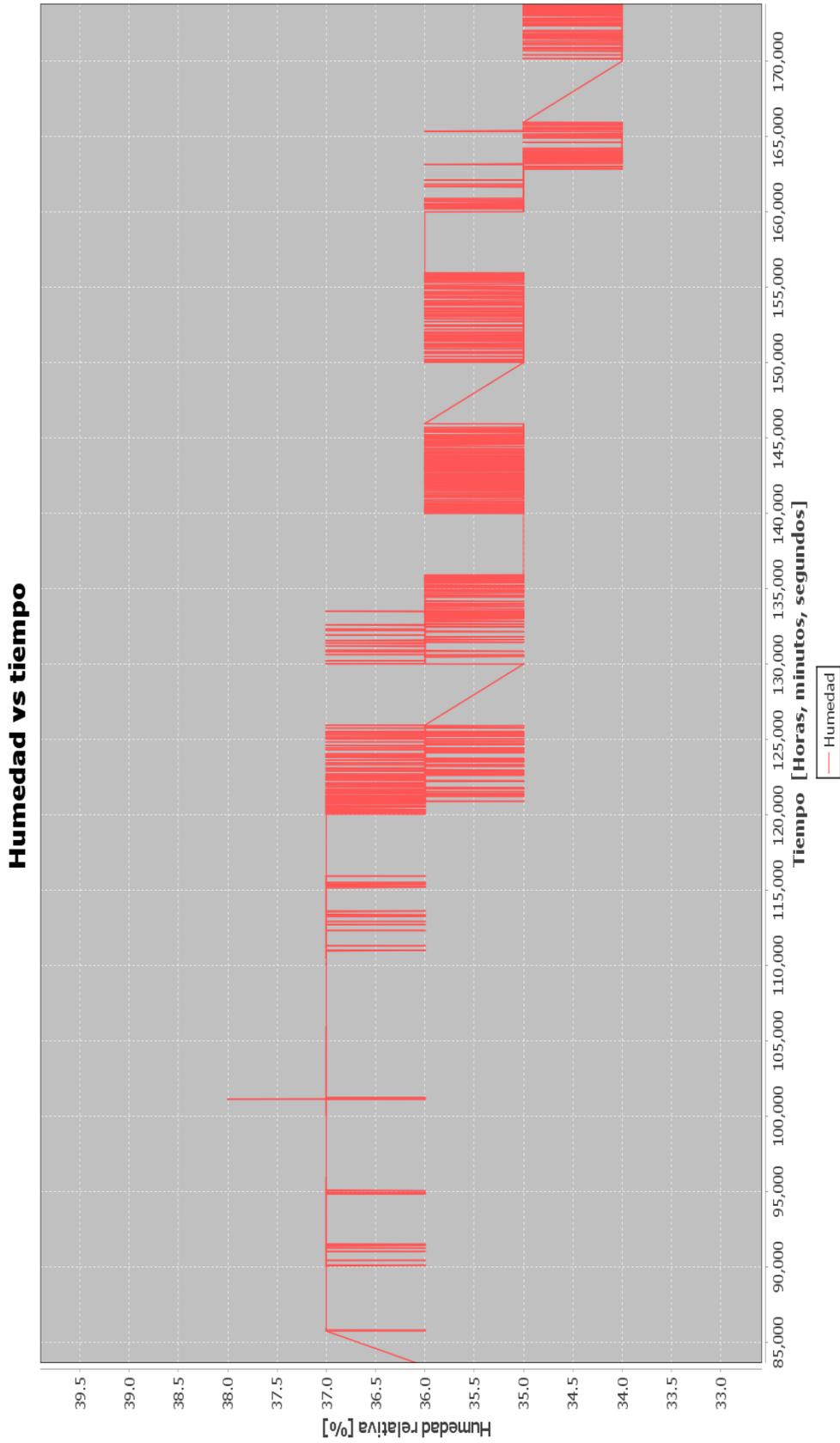


Figura 37 . Humedad relativa vs tiempo.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 38 muestra el formato del tiempo que se visualiza en el eje de las abscisas en las gráficas de la ventana del programa de sensado de datos. Se muestra por medio de 5 a 6 números juntos y está dividido a la mitad por una coma.



Figura 38 Tiempo en horas, minutos, segundos.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 39 se muestra una gráfica de tiempo contra humedad del suelo. La medida del tiempo va en rangos que terminan en 100 unidades y las horas terminan en 60 unidades, por lo tanto hay tiempo en el cual queda sin sensar y se dan los saltos hasta que empieza la siguiente hora. Como se puede ver en la Figura 39 son las 166,000 y salta hasta 170,000, que significa de 16:60:00 (dieciséis horas con sesenta segundos) grafica hasta las 17:00:00 (Diecisiete horas).

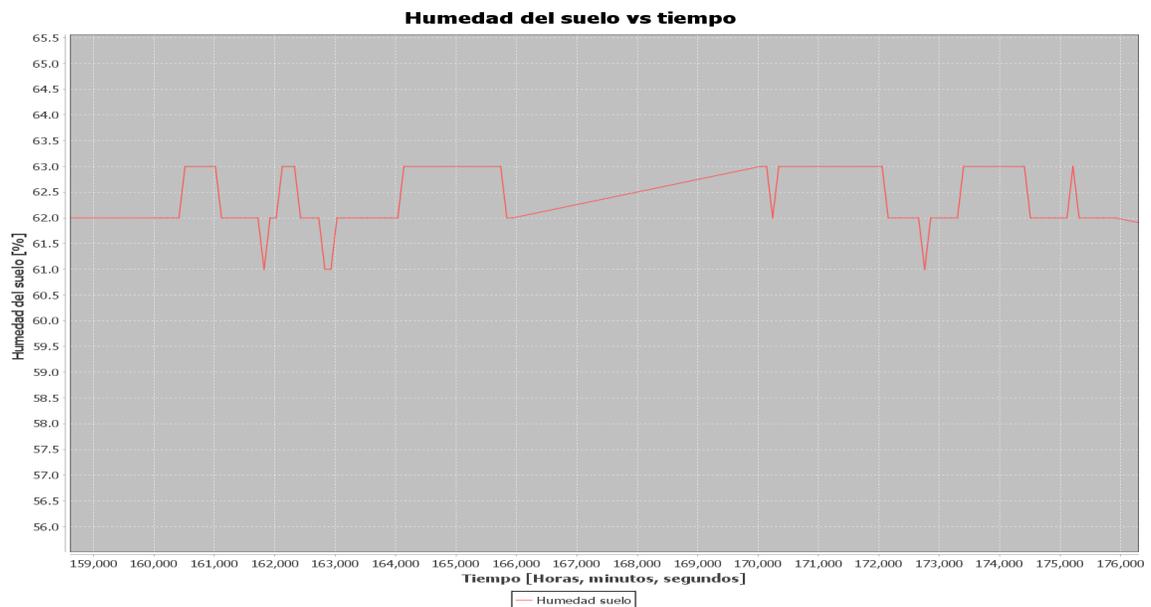


Figura 39 Grafica

Fuente: Elaboración propia.

Exportar los datos a Excel

Cuando se da clic al botón Exportar a Excel se muestra una ventana como en la Figura 40 la cual pide que le demos un nombre a los datos que va a guardar y exportar, también da la opción de guardar la información de los sensores en la carpeta que el usuario desee y con el nombre que el usuario proporcione.

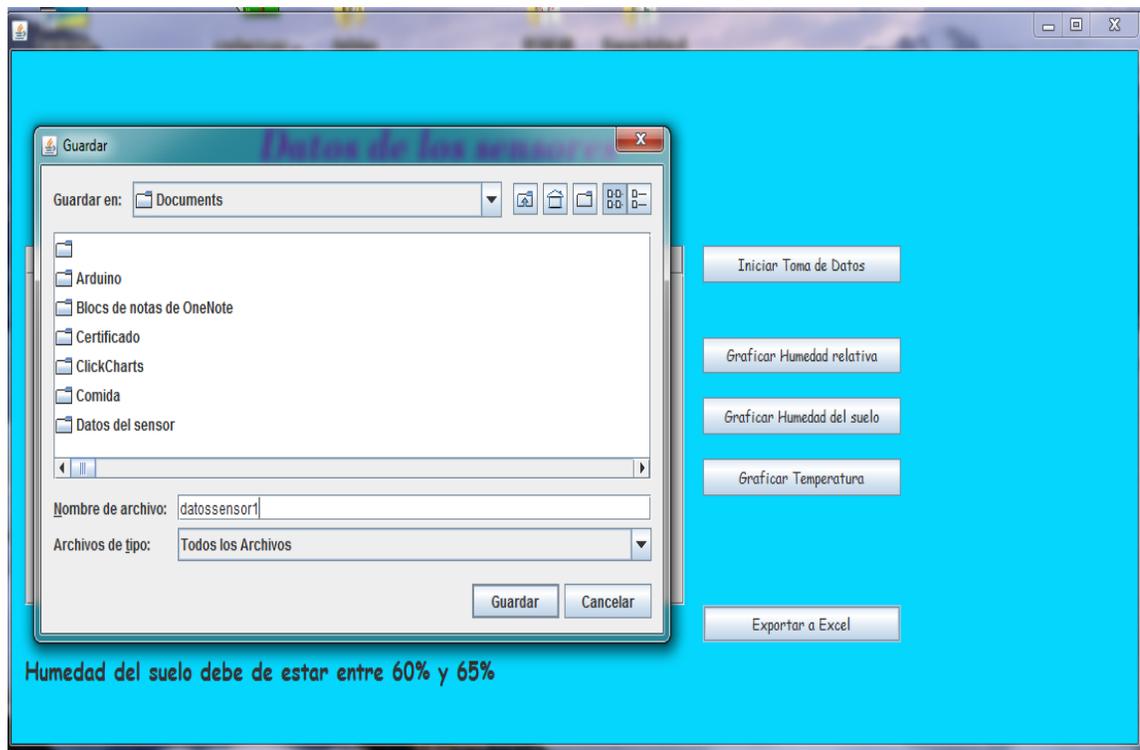


Figura 40 Exportar los datos a Excel

Fuente: Elaboración propia.

Una vez guardado se busca el archivo como se muestra en la Figura 41.

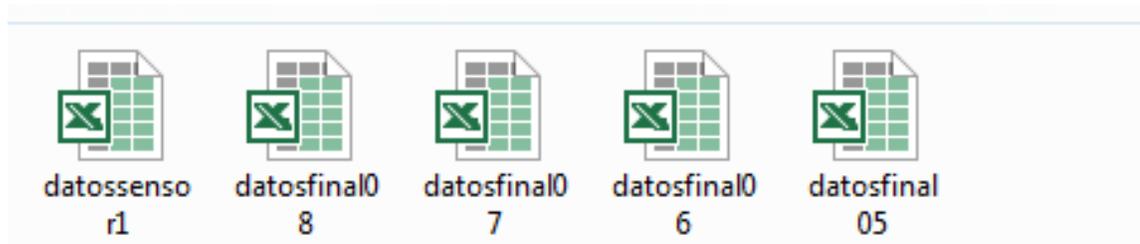


Figura 41 Archivos de Excel

Fuente: Elaboración propia.

Los datos exportados a Excel se visualizan como en la Figura 42. En 5 Columnas y las filas son los valores que se obtienen de los sensores.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Datos obtenidos del sensor						
2	Fecha	Hora	Humedad (%)	Humedad_suelo(%)	TEMPERATURA (C°)		
3	7/1/2017	15:22:43	35	63	22		
4	7/1/2017	15:25:47	35	63	22		
5	7/1/2017	15:26:48	35	63	22		
6	7/1/2017	15:27:48	35	63	21		
7	7/1/2017	15:28:49	35	63	22		
8	7/1/2017	15:29:50	35	63	21		
9	7/1/2017	15:30:50	35	62	22		
10	7/1/2017	15:31:51	35	63	21		
11	7/1/2017	15:32:52	35	62	22		
12	7/1/2017	15:33:52	35	62	22		
13	7/1/2017	15:34:53	35	62	22		
14	7/1/2017	15:35:53	34	62	22		
15	7/1/2017	15:36:54	34	62	22		
16	7/1/2017	15:37:55	34	62	22		
17	7/1/2017	15:38:55	35	62	22		
18	7/1/2017	15:39:56	35	62	22		
19	7/1/2017	15:40:57	35	62	22		
20	7/1/2017	15:41:57	35	62	22		
21	7/1/2017	15:42:58	35	62	22		
22	7/1/2017	15:43:59	35	62	22		
23	7/1/2017	15:44:59	35	63	22		
24	7/1/2017	15:46:00	35	63	22		
25	7/1/2017	15:47:01	35	63	22		
26	7/1/2017	15:48:01	35	63	22		
27	7/1/2017	15:49:02	35	63	22		
28	7/1/2017	15:50:03	35	63	22		
29	7/1/2017	15:51:03	35	63	22		
30	7/1/2017	15:52:04	35	63	22		
31	7/1/2017	15:53:05	35	63	22		
32	7/1/2017	15:54:05	35	63	21		
33	7/1/2017	15:55:06	35	63	22		
34	7/1/2017	15:56:07	35	63	22		
35	7/1/2017	15:57:07	35	63	22		
36	7/1/2017	15:58:08	35	62	22		

Figura. 42 Datos de los sensores.

Fuente: Elaboración propia.

Con estos datos se pueden realizar análisis más extensos, los cuales salen del alcance de este trabajo de tesis pero se proponen como trabajos futuros.

En la Figura 43 se muestra el armado del circuito con los sensores, el cual se encuentra implementado en una protoboard ya que solo es el prototipo.

Cables del sensor HL-69

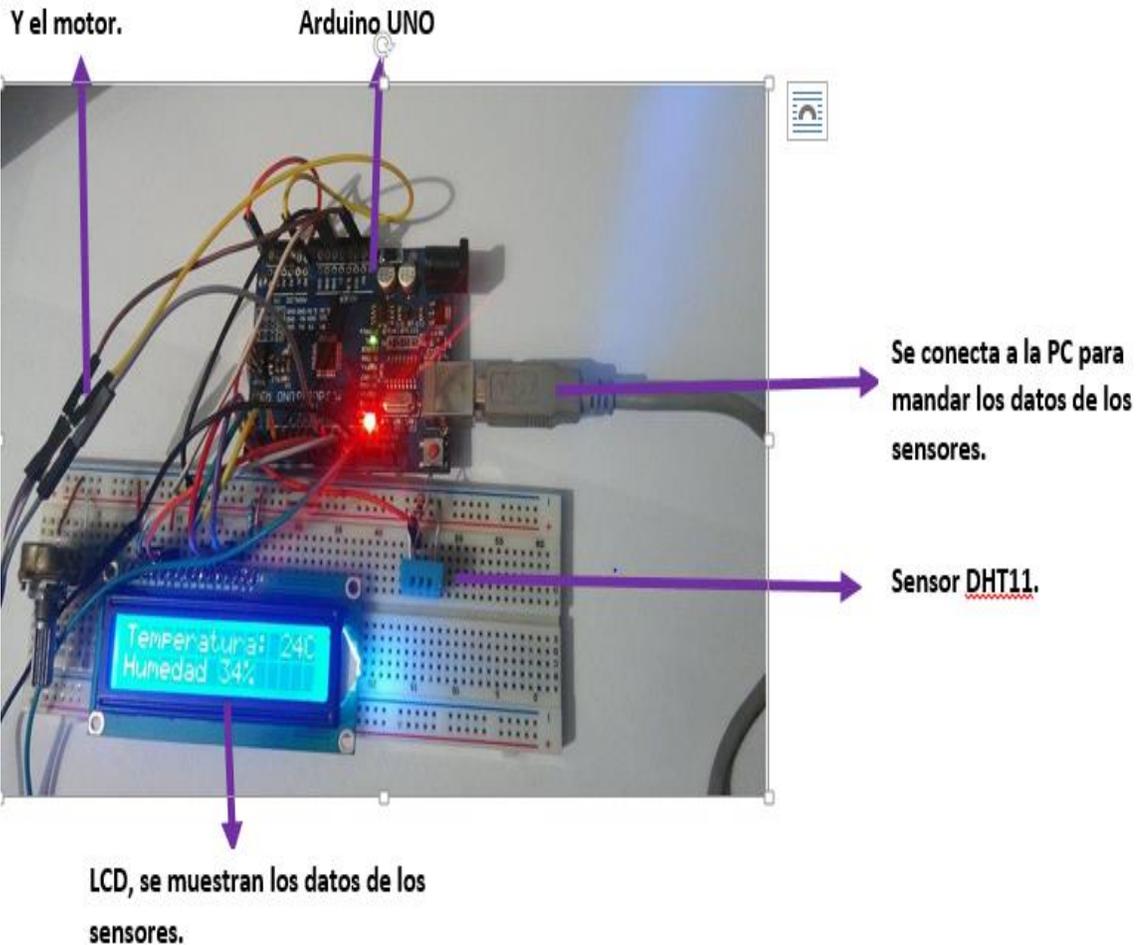


Figura 43 Cableado del Circuito.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 44 se muestra la imagen del proyecto donde se realizaron las pruebas. Y lo que se utilizó como una maceta, un Arduino, un LCD, un sensor DHT11, un sensor HL-69, un cable USB para mandar datos a la computadora y un motor que por el momento es la bomba de agua. Cuando el sensor de humedad detecta menos del 59%, el motor se prende y humedece la tierra. Y cuando está más del 60% solo manda los datos a la computadora.



Figura 44 Prueba del proyecto

Fuente: Elaboración propia

3.4 Estabilización

Se realizaron pruebas en casa, con una planta que simulara el tomate rojo para probar el funcionamiento del programa y de los sensores, la cual por 5 días se monitoreó la humedad del agua, temperatura y humedad relativa. Todos los datos se exportaron a Excel.

El programa y los sensores funcionaron de manera correcta durante la prueba.

Un ejemplo es el día 23 de diciembre, el cual se estuvo monitoreando desde las 1:00 am a las 24:00 pm el cual al graficar se muestra que son las 00,000 Las gráficas se muestran en la Figura 45 como se puede observar hay cambios durante el día que pueden llegar a afectar la cosecha. En la Figura 45 (a) Se muestra la gráfica de la temperatura y tiene varias fluctuaciones de 17°C a 22°C lo cual corresponde a las variaciones de temperaturas del día y la noche ya se monitoreo las 24 horas. A las 21:40 hubo una fluctuación muy extraña que alcanzó los 25 °C, como se sabe los sensores pueden llegar a tener un poco de ruido. En la Figura 45 (b) la humedad del suelo tiende a variar de forma ascendente y descendente, lo cual demuestra que la perdida de humedad durante el día. El sensor se posicionó en una maceta de prueba enterrado en el suelo imitando las condiciones reales. En la Figura 45 (c) la humedad relativa del ambiente tiene poca fluctuación, lo cual es de esperarse en condiciones climatológicas sin lluvia.

La monitorización puede realizarse las 24 horas del día. No hay un límite de tiempo.

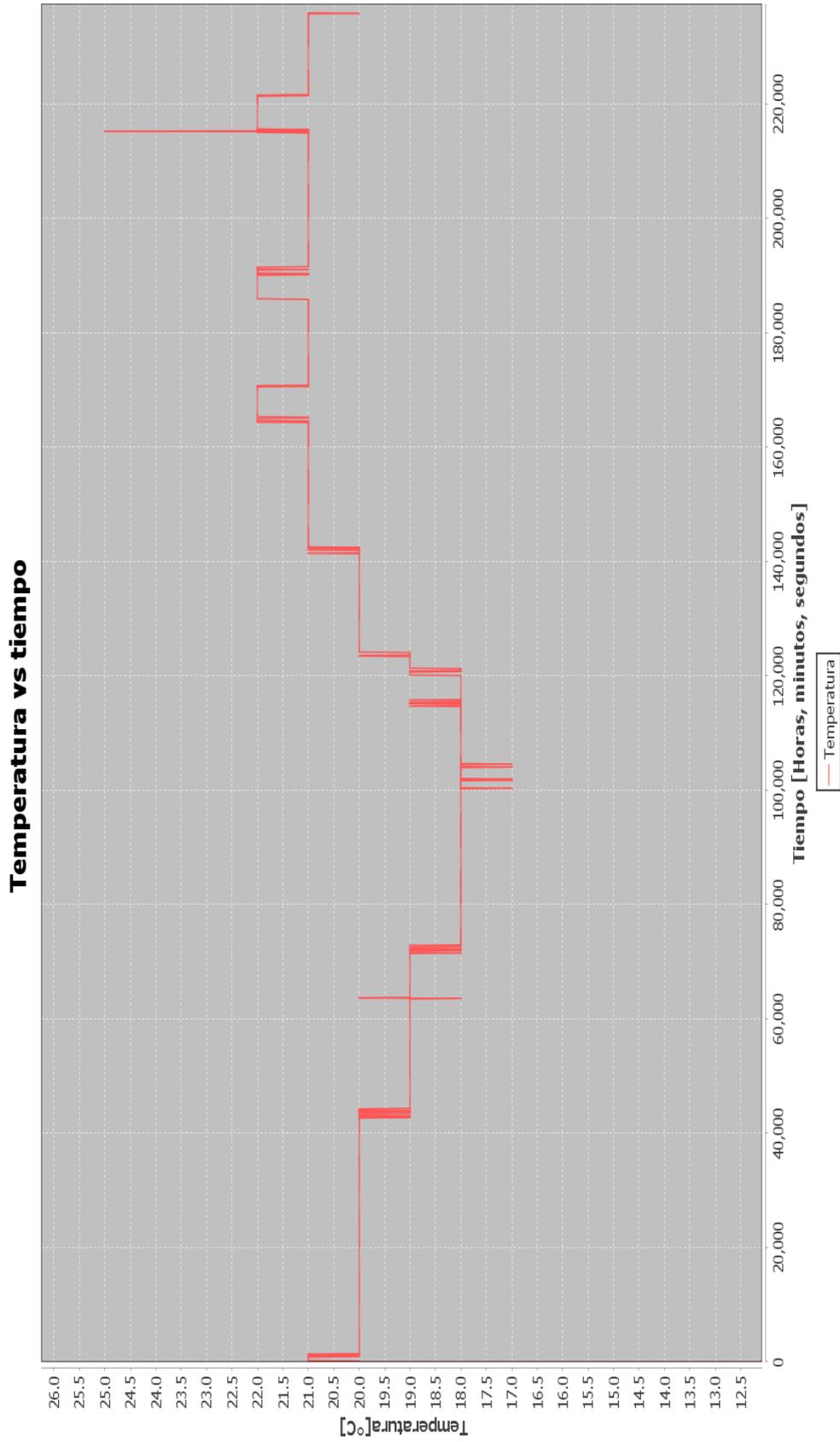


Figura 45 (a). Grafica de temperatura vs tiempo

Fuente: Elaboración propia

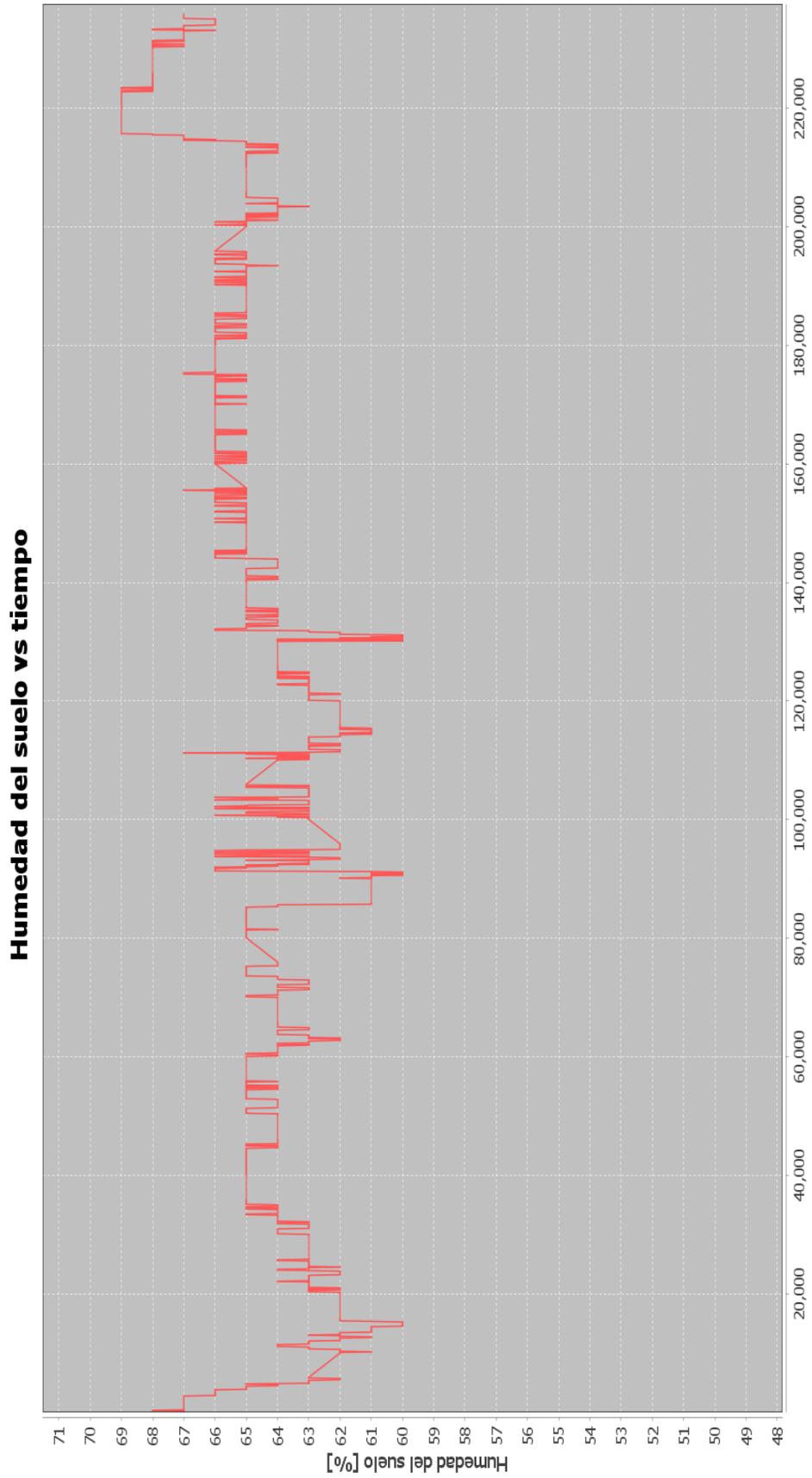


Figura 45 (b). Grafica de temperatura vs tiempo

Fuente: Elaboración propia

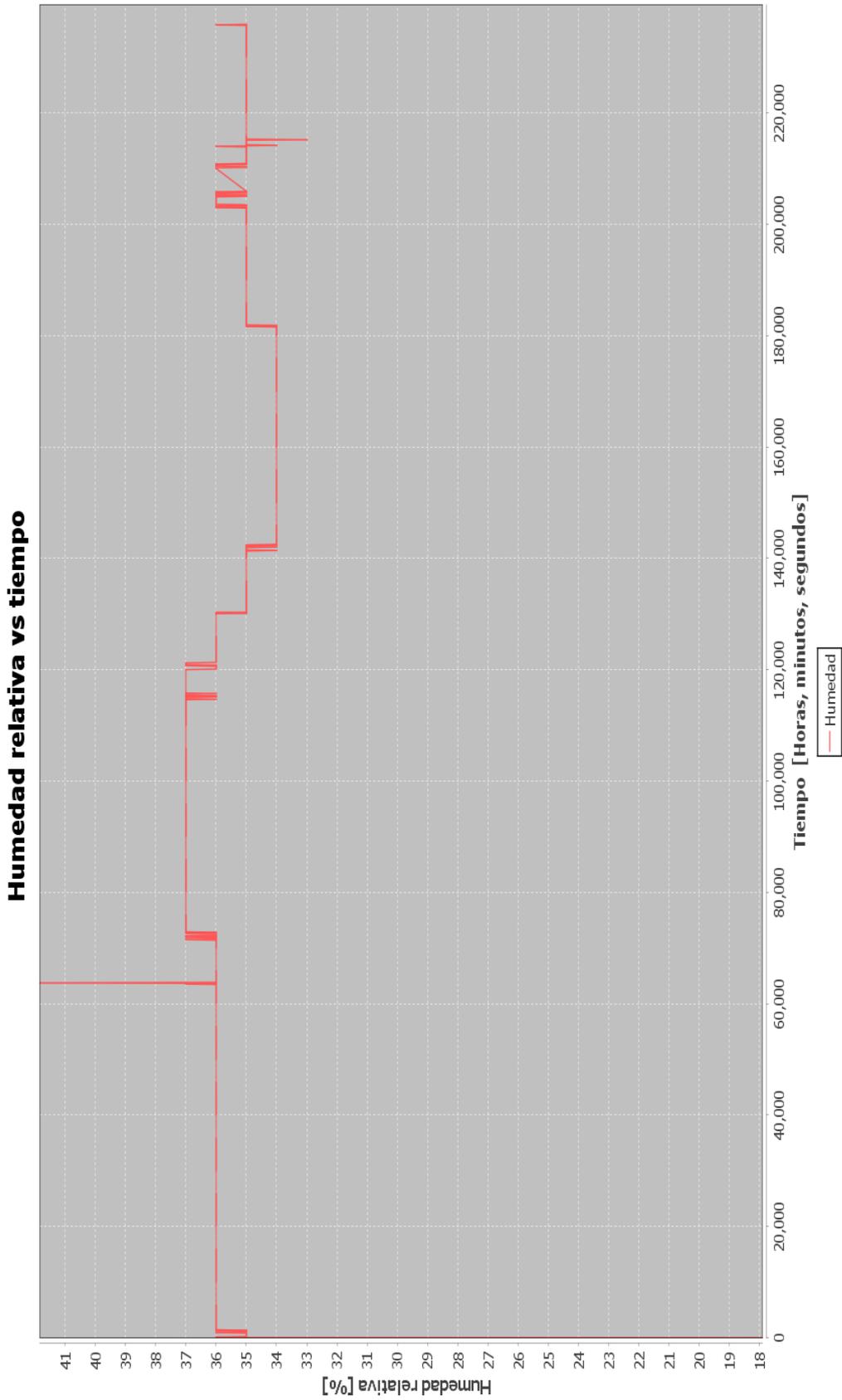


Figura 45 (c). Grafica de humedad relativa vs tiempo

Fuente: Elaboración propia

3.5 Implementación

La implementación no se realiza en este momento puesto que este trabajo de tesis solo plantea un prototipo.

Costos aproximados de los materiales para la implementación en el invernadero es de:

3 Arduinos:	\$350.00 c/u.	\$ 1050.00
1 Sensor DHT11:	\$160.00 c/u	\$ 160.00
1 Sensor HL-69 o YL-69 por cada surco, en el invernadero del señor Hugo Pérez hay 10 surcos:	\$250.00 c/u	\$ 250.00
1 LCD:	\$110.00 c/u	\$ 110.00
1 Bobina de cable.	\$759.00 c/u	\$ 759.00
1 Protoboard.	\$50.00 c/u	\$ 50.00
2 roys de Manguera flexible :	\$320.00 c/u	\$ 640.00
Total :		\$ 3019.00

En la Figura 46 se muestra cómo será la distribución de los sensores en el invernadero del Señor Hugo Pérez.

En el invernadero hay 10 surcos que miden alrededor de 34 [m], los sensores de humedad se colocaran a la mitad de cada surco y a 10 cm de la raíz. El sensor de humedad estará en medio de invernadero. Para la conexión de los cables se enterraran la manguera flexible y adentro estarán los cables. Antes de entrar al invernadero hay una espacio el cual no se ocupa simplemente es para no dejar pasar el aire ya que más adelante hay otra puerta, en ese espacio se puede colocar la PC y se puede montar el circuito de los Arduinos.

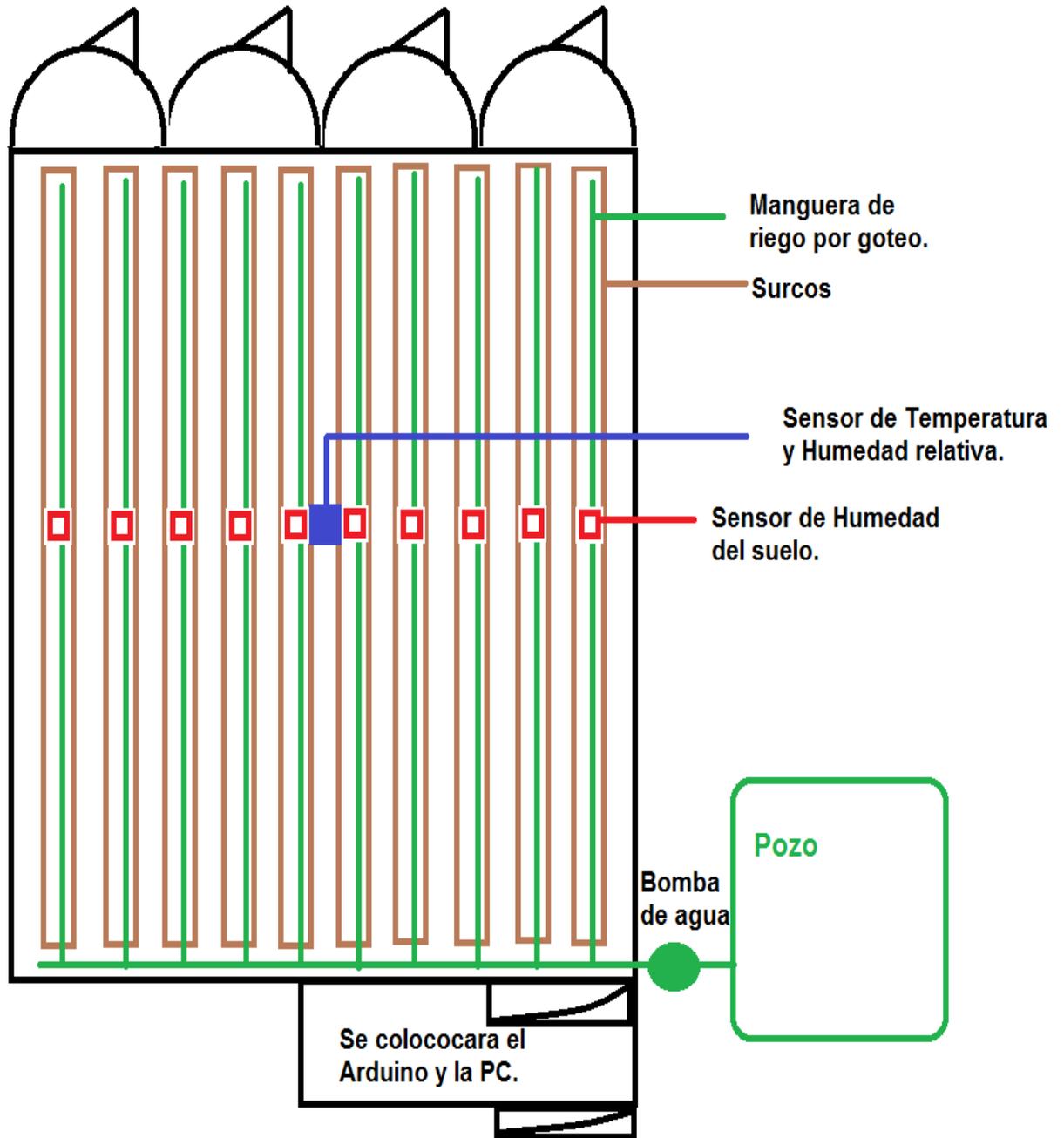


Figura 46 Organización de los sensores.

Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 4

Conclusiones

En este trabajo se demostró que es posible desarrollar un prototipo automatizado de riego con el uso de Arduino Uno y con los sensores DTH11 y HL-69, además de tener un precio accesible.

Los objetivos que se plantearon en este trabajo de tesis fueron resueltos con ayuda de la tecnología y de la metodología de desarrollo MSF (Microsoft Solutions Framework) ya que siguiendo los pasos que propone esta metodología se puede lograr desarrollar un proyecto de manera eficiente.

Durante el desarrollo de la interfaz que pudiera recibir los datos de los sensores y graficarlos al principio se optó por usar la aplicación de Temboo ya que es una plataforma que ayuda a hacer la conexión de datos más fácil por medio de red inalámbrica pero esta aplicación solo tenía un mes de prueba y los siguientes meses se tenía que pagar por lo tanto se optó por desarrollar un programa adquiera los datos como es en el caso de Temboo. La aplicación tiene conectividad por medio del cable USB y sin ningún costo.

Uno de los problemas que se tuvo al momento de realizar las gráficas, es que el tiempo no se pudo separar en horas, minutos y segundos ya que la sentencia solo reconoce un solo valor de tipo entero en las abscisas y ordenadas. Con las ordenadas no hubo problemas ya que solo se obtiene un solo dato de los sensores, pero en las abscisas para obtener el tiempo se usan 3 valores por ello se juntaron los valores del tiempo y se muestra un número muy grande y lo único que separa es una coma (,) cada 3 dígitos la cual no ayuda mucho porque puede confundir al usuario.

Otro problema que se presentó fue que cada que se conecte el arduino a la computadora se tiene que cambiar el puerto COM del programa ya que actual

mente solo está configurado el puerto COM11 y los demás puertos no los reconoce.

El presente trabajo es óptimo para poder implantarse en el invernadero del Sr. Hugo Pérez ya que durante las pruebas se fueron corrigiendo los errores que se presentaban como por ejemplo al obtener datos de los sensores, el programa solo reconocía algunos y llenaba datos sin orden alguno. El proyecto no es muy caro y puede ayudar a mantener las condiciones óptimas para el cultivo de tomate rojo.

Trabajos futuros

- Hacer la conexión de Arduino y la computadora vía inalámbrica.
- Implementar el prototipo en el invernadero del Sr. Hugo Pérez.
- Con las gráficas que muestra los sensores implementar un algoritmo de análisis de series de tiempo el cual pueda predecir los días más óptimos para cosechar.
- Por medio de los datos que arrojan los sensores, poder implementar más tecnología dentro del invernadero como lo son los extractores de aire, ventiladores, calefacción etc.

REFERENCIAS

Alvarado Pablo, Urrutia Graciela.. (2003). Invernaderos. Universidad de Chile: Editorial del cardo.

Arduino. (2016). Products. 05-07-2016, de Arduino Genuino Sitio web: <https://www.arduino.cc/>

Atmel Corporation . (2016). ATmega328/P. 26/10/2016, de Atmel Sitio web: http://www.atmel.com/Images/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Datasheet.pdf

Barrera Eduardo, Victor Rafael y Meraz Alejandro. (2014). Invernadero inteligente. Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de ingeniería mecánica y electrónica:Tesis .

Bouzo Carlos, Gariglio Norberto. (2009). Tipos de invernadero. 10/10/2016, de Ecofisiobort Sitio web: <http://www.ecofisiobort.com.ar/wp-content/uploads/2009/10/Tipos-de-Invernaderos.pdf>

C.C. Shock y T. Welch. (2013). Técnicas para la Agricultura Sostenible. En El riego por goteo: Una introducción. Oregon State University: Extension Service de Oregon State University.

Francesc Gassó Busquets y Sergio Solomando Valderrabano. (2011). Estructura del invernadero. ESTRUCTURA E INSTALACIONES DE UN INVERNADERO(19-23). Barcelona:Tesis.

H. Ayuntamiento de San Pedro Apóstol. (2014). SAN PEDRO APÓSTOL. 11/06/2016, de Enciclopedia de Los Municipios y Delegaciones de México Estado de Oaxaca Sitio web: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM20oaxaca/municipios/20301a.html>

InfoAgro. (2016). Principales tipos de invernaderos. 12/08/2016, de Copyright Infoagro Systems, S.L. Sitio web: http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/tipo_invernaderos.htm

Ing. Valdes Martinez Ramón. (2007). "Propuesta de innovación para la producción del tomate rojo para el municipio de zinapécuaro, Michoacán". . Instituto politécnico nacional, unidad profesional Zacatenco: Tesis.

Matallana Antonio & Montero J. Ignacio.. (1989). Invernaderos Diseño, Construcción y Ambientación. Madrid:GRAFO, S.A.

Microsoft Corporation Staff. (2003). Analyzing Requirements and Defining Microsoft. Net Solution Architectures. MICROSOFT PRESS.

Novedades agrícolas. (2016). Tipos de invernaderos. 19-07-2016, de ARP Sitio web: <http://www.novedades-agricolas.com/es/venta-invernaderos-novedades/tipos-de-invernaderos>.

Paye Victor. (2013). Diseño de los sistemas de protección de los cultivos . 14/08/2016, de SlideShare Sitio web: <http://es.slideshare.net/victorpaye2/invernaderos2>

Ponce Cruz Pedro. (2013). Producción de tomates en invernadero en México. 08/07/2016, de Hortalizas Sitio web: <http://www.hortalizas.com/horticultura-protegida/produccion-de-tomates-en-invernadero-en-mexico/>

Santoshkumar y Udaykumar R.Y. (2015). Development of WSN System for Precision Agriculture. IEEE, 5.

Sebastián Olguin. (2016). Que es un invernadero. 12/10/2016, de INNATIA
Sitio web: <http://www.innatia.com/s/c-huerta-organica/a-que-es-un-invernadero.html>

Velasco Hernández y Nieto Raul. (2006). Cultivo de jitomate en hipidroponia e invernadero. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia: Fabiola Valencia Torres.

WIKIPEDIA. (2015). OAXACA. 20/08/2016, de WIKIPEDIA La enciclopedia libre Sitio web: <https://es.wikipedia.org/wiki/Oaxaca>

ANEXO

A

Programa en NetBeans

Se realizó un programa en NetBeans el cual tuviera conexión con los datos de los sensores que están en el dispositivo de arduino para que los datos se pudieran guardar y también para que los usuarios pudieran interactuar en la captura de datos mediante una interfaz entendible para todo tipo de usuario.

Código:

```
import gnu.io.SerialPortEvent;
import gnu.io.SerialPortEventListener;
import java.awt.Color;
import java.io.FileNotFoundException;
import java.io.FileOutputStream;
import java.io.PrintWriter;
import static java.lang.Integer.parseInt;
import java.util.Calendar;
import java.util.logging.Level;
import java.util.logging.Logger;
import javax.swing.JFrame;
import javax.swing.table.DefaultTableModel;
import org.apache.poi.hssf.usermodel.HSSFCell;
import org.apache.poi.hssf.usermodel.HSSFRow;
import org.apache.poi.hssf.usermodel.HSSFSheet;
import org.apache.poi.hssf.usermodel.HSSFWorkbook;
import javax.swing.JOptionPane;
import static org.apache.poi.hssf.usermodel.HeaderFooter.time;
import org.jfree.chart.*;
import org.jfree.chart.renderer.xy.XYSplineRenderer;
import org.jfree.chart.plot.XYPlot;
import org.jfree.chart.axis.*;
import org.jfree.data.xy.*;
import org.jfree.chart.plot.CategoryPlot;
import org.jfree.chart.plot.PlotOrientation;
import org.jfree.data.category.DefaultCategoryDataset;

public class Window extends javax.swing.JFrame {

    final XYSeries Serie= new XYSeries("Humedad");
    final XYSeriesCollection Coleccion = new XYSeriesCollection();

    {
    }
```

```
JFreeChart Grafica;
```

```
final XYSeries Serie1= new XYSeries("Temperatura");
final XYSeriesCollection Coleccion1 = new XYSeriesCollection();
JFreeChart Grafica1;
```

```
final XYSeries Serie2= new XYSeries("Humedad suelo");
final XYSeriesCollection Coleccion2 = new XYSeriesCollection();
JFreeChart Grafica2;
```

```
PanamaHitek_Arduino Arduino = new PanamaHitek_Arduino();
```

```
int Slot = 1;
String Humedad = "";
String Temperatura = "";
String Humedadsuelo = "";
DefaultTableModel modelo; // variable para agregar o eliminar filas en la
jTableDatos
```

```
int Lecturas = 0;
int Lecturas1 = 0;
int Lecturas2 = 0;
SerialPortEventListener evento;
boolean State = false;
Calendar Calendario = Calendar.getInstance();
Calendar Calendario1 = Calendar.getInstance();
```

```
public void jTableUpdate() {
    String Output = "";
    String Output1 = "";
    String dia = Calendario.get(Calendar.DAY_OF_MONTH) +"";
    String mes = Calendario.get(Calendar.MONTH)+1 +"";
    String año = Calendario.get(Calendar.YEAR) +"";
    String hora = Calendario.get(Calendar.HOUR_OF_DAY) +"";
    String minuto = Calendario.get(Calendar.MINUTE) +"";
    String segundos = Calendario.get(Calendar.SECOND) +"";
    if (Integer.parseInt(hora) < 10) {
        hora = "0" + hora;
    }
    if (Integer.parseInt(minuto) < 10) {
```

()

```

        minuto = "0" + minuto;
    }
    if (Integer.parseInt(segundos) < 10) {
        segundos = "0" + segundos;
    }
    Output1 = dia + "/" + mes + "/" + año;
    Output = hora + ":" + minuto + ":" + segundos;
    Calendario = Calendar.getInstance();

    modelo.addRow(new Object[]{Output1, Output, Humedad, Temperatura,
    Humedadsuelo});

}

public Window() {

    this.evento = new SerialPortEventListener() {

        @Override
        public void serialEvent(SerialPortEvent spe) {

String Horas = "000000";
int Hora= 000000;
String hora = Calendario1.get(Calendar.HOUR_OF_DAY)+"";
String minu = Calendario1.get(Calendar.MINUTE)+"";
String seg = Calendario1.get(Calendar.SECOND)+"";

        if (Integer.parseInt(hora) < 10) {
            hora = "0" + hora;
        }
        if (Integer.parseInt(minu) < 10) {
            minu = "0" + minu;
        }
        if (Integer.parseInt(seg) < 10) {
            seg = "0" + seg;
        }

        Horas = hora + "" + minu + "" + seg;
        Calendario1 = Calendar.getInstance();
        if (Arduino.isMessageAvailable() == true) {

```

```
if (Slot == 1) {
    Slot = 3;

    if (Lecturas1 > 1) {
        jTableUpdate();
    }

    Humedad = Arduino.printMessage();
    Serie.add(Integer.parseInt(Horas),Integer.parseInt(Humedad) );

} else if (Slot == 2) {
    Slot = 1;
    Temperatura = Arduino.printMessage();

Serie2.add(Integer.parseInt(Horas),Integer.parseInt(Temperatura) );

} else if (Slot == 3) {
    Slot = 2;
    Humedadsuelo = Arduino.printMessage();

Serie1.add(Integer.parseInt(Horas),Integer.parseInt(Humedadsuelo) );
}

}

};
initComponents();

this.getContentPane().setBackground(Color.getHSBColor(0.56f,2.0f,3));
modelo = (DefaultTableModel)jTable1.getModel();

try {

    Arduino.arduinoRXTX("COM11",9600, evento);

} catch (Exception ex) {
    Logger.getLogger(Window.class.getName()).log(Level.SEVERE, null,
ex);
```

```

    }
    Serie.add(0,0);
    Coleccion.addSeries(Serie);
    Grafica = ChartFactory.createXYLineChart("Humedad vs tiempo ",
    "Tiempo [Horas, minutos, segundos]", "Humedad relativa [%] ", Coleccion,
    PlotOrientation.VERTICAL, true, true, false);

    Serie1.add(0 ,0);
    Coleccion1.addSeries(Serie1);
    Grafica1 = ChartFactory.createXYLineChart("Temperatura vs tiempo ",
    "Tiempo [Horas, minutos, segundos]", "Temperatura[°C]", Coleccion1,
    PlotOrientation.VERTICAL, true, true, false);

    Serie2.add(0 ,0);
    Coleccion2.addSeries(Serie2);
    Grafica2 = ChartFactory.createXYLineChart("Humedad del suelo vs
    tiempo ", "Tiempo [Horas, minutos, segundos]", "Humedad del suelo []",
    Coleccion2, PlotOrientation.VERTICAL, true, true, false);

}
@SuppressWarnings("unchecked")
// <editor-fold defaultstate="collapsed" desc="Generated Code">
private void initComponents() {

    jScrollPane1 = new javax.swing.JScrollPane();
    jTable1 = new javax.swing.JTable();
    jButton1 = new javax.swing.JButton();
    jButton2 = new javax.swing.JButton();
    jButton3 = new javax.swing.JButton();
    jLabel1 = new javax.swing.JLabel();
    jButton4 = new javax.swing.JButton();
    jButton5 = new javax.swing.JButton();
    jLabel2 = new javax.swing.JLabel();
    jLabel3 = new javax.swing.JLabel();
    jLabel4 = new javax.swing.JLabel();
    jLabel5 = new javax.swing.JLabel();

    setDefaultCloseOperation(javax.swing.WindowConstants.EXIT_ON_CLOSE);

    jTable1.setBackground(new java.awt.Color(204, 255, 204));

```

()

```
        jTable1.setBorder(new javax.swing.border.LineBorder(new
java.awt.Color(0, 0, 0), 1, true));
        jTable1.setFont(new java.awt.Font("Comic Sans MS", 3, 14)); // NOI18N
        jTable1.setForeground(new java.awt.Color(0, 0, 204));
        jTable1.setModel(new javax.swing.table.DefaultTableModel(
            new Object [][] {

                },
            new String [] {
                "Fecha", "Hora", "Humedad (%)", "Humedad suelo", "Temperatura
(°C)"
            }
        ));
        jScrollPane1.setViewportView(jTable1);

        jButton1.setFont(new java.awt.Font("Comic Sans MS", 0, 12)); // NOI18N
        jButton1.setText("Iniciar Toma de Datos");
        jButton1.addActionListener(new java.awt.event.ActionListener() {
            public void actionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
                jButton1ActionPerformed(evt);
            }
        });

        jButton2.setFont(new java.awt.Font("Comic Sans MS", 0, 12)); // NOI18N
        jButton2.setText("Exportar a Excel");
        jButton2.addActionListener(new java.awt.event.ActionListener() {
            public void actionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
                jButton2ActionPerformed(evt);
            }
        });

        jButton3.setFont(new java.awt.Font("Comic Sans MS", 0, 12)); // NOI18N
        jButton3.setText("Graficar Humedad");
        jButton3.addActionListener(new java.awt.event.ActionListener() {
            public void actionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
                jButton3ActionPerformed(evt);
            }
        });

        jLabel1.setFont(new java.awt.Font("Bodoni MT", 3, 36)); // NOI18N
        jLabel1.setForeground(new java.awt.Color(153, 0, 255));
```



```
.addGroup(layout.createParallelGroup(javax.swing.GroupLayout.Alignment.LEADING)
```

```
    .addGroup(layout.createSequentialGroup()  
        .addComponent(jLabel2,  
javax.swing.GroupLayout.PREFERRED_SIZE, 279,  
javax.swing.GroupLayout.PREFERRED_SIZE)
```

```
.addPreferredGap(javax.swing.LayoutStyle.ComponentPlacement.RELATED,  
javax.swing.GroupLayout.DEFAULT_SIZE, Short.MAX_VALUE))  
    .addGroup(layout.createSequentialGroup()
```

```
.addGroup(layout.createParallelGroup(javax.swing.GroupLayout.Alignment.LEADING)
```

```
    .addGroup(layout.createSequentialGroup()  
        .addGap(13, 13, 13)
```

```
.addGroup(layout.createParallelGroup(javax.swing.GroupLayout.Alignment.TRAILING)
```

```
    .addComponent(jLabel1)  
    .addComponent(jScrollPane1,  
javax.swing.GroupLayout.PREFERRED_SIZE, 577,  
javax.swing.GroupLayout.PREFERRED_SIZE)))  
    .addComponent(jLabel5,  
javax.swing.GroupLayout.DEFAULT_SIZE, 596, Short.MAX_VALUE))
```

```
.addGroup(layout.createParallelGroup(javax.swing.GroupLayout.Alignment.LEADING)
```

```
    .addGroup(layout.createSequentialGroup()
```

```
.addPreferredGap(javax.swing.LayoutStyle.ComponentPlacement.RELATED,  
javax.swing.GroupLayout.DEFAULT_SIZE, Short.MAX_VALUE)
```

```
.addGroup(layout.createParallelGroup(javax.swing.GroupLayout.Alignment.LEADING)
```

```
    .addComponent(jButton4,  
javax.swing.GroupLayout.PREFERRED_SIZE, 193,  
javax.swing.GroupLayout.PREFERRED_SIZE)  
    .addComponent(jButton5,  
javax.swing.GroupLayout.PREFERRED_SIZE, 193,  
javax.swing.GroupLayout.PREFERRED_SIZE)
```

{ }

```

        .addComponent(jButton2,
javax.swing.GroupLayout.PREFERRED_SIZE, 193,
javax.swing.GroupLayout.PREFERRED_SIZE))

    .addPreferredGap(javax.swing.LayoutStyle.ComponentPlacement.RELATED,
javax.swing.GroupLayout.DEFAULT_SIZE, Short.MAX_VALUE))
        .addGroup(layout.createSequentialGroup())
            .addGap(18, 18, 18)

    .addGroup(layout.createParallelGroup(javax.swing.GroupLayout.Alignment.LEA
DING)
        .addComponent(jButton1,
javax.swing.GroupLayout.PREFERRED_SIZE, 193,
javax.swing.GroupLayout.PREFERRED_SIZE)
            .addComponent(jButton3,
javax.swing.GroupLayout.PREFERRED_SIZE, 193,
javax.swing.GroupLayout.PREFERRED_SIZE))

    .addPreferredGap(javax.swing.LayoutStyle.ComponentPlacement.RELATED,
javax.swing.GroupLayout.DEFAULT_SIZE, Short.MAX_VALUE))))))
        .addComponent(jLabel3,
javax.swing.GroupLayout.PREFERRED_SIZE, 88,
javax.swing.GroupLayout.PREFERRED_SIZE))
            .addGroup(layout.createSequentialGroup())
                .addComponent(jLabel4,
javax.swing.GroupLayout.PREFERRED_SIZE, 247,
javax.swing.GroupLayout.PREFERRED_SIZE)
                    .addGap(0, 0, Short.MAX_VALUE)))
        .addContainerGap()
    );
    layout.setVerticalGroup(
layout.createParallelGroup(javax.swing.GroupLayout.Alignment.LEADING)
        .addGroup(layout.createSequentialGroup()
            .addGap(49, 49, 49)
            .addComponent(jLabel1)
            .addGap(53, 53, 53)

    .addGroup(layout.createParallelGroup(javax.swing.GroupLayout.Alignment.LEA
DING)
        .addGroup(layout.createSequentialGroup()

```



```
.addGroup(layout.createParallelGroup(javax.swing.GroupLayout.Alignment.LEADING)
    .addGroup(layout.createSequentialGroup()
        .addGap(96, 96, 96)
        .addComponent(jLabel3)
    .addGroup(layout.createSequentialGroup()
        .addComponent(jButton1)
        .addGap(49, 49, 49)
        .addComponent(jButton3,
javax.swing.GroupLayout.PREFERRED_SIZE, 27,
javax.swing.GroupLayout.PREFERRED_SIZE)))
    .addPreferredGap(javax.swing.LayoutStyle.ComponentPlacement.UNRELATED
)
        .addComponent(jButton4)

.addPreferredGap(javax.swing.LayoutStyle.ComponentPlacement.UNRELATED
)
        .addComponent(jButton5))
        .addComponent(jScrollPane1,
javax.swing.GroupLayout.PREFERRED_SIZE, 206,
javax.swing.GroupLayout.PREFERRED_SIZE))

.addGroup(layout.createParallelGroup(javax.swing.GroupLayout.Alignment.TRAILING)
    .addGroup(layout.createSequentialGroup()
        .addGap(18, 18, 18)
        .addComponent(jLabel2,
javax.swing.GroupLayout.PREFERRED_SIZE, 26,
javax.swing.GroupLayout.PREFERRED_SIZE)
        .addGap(15, 15, 15)
        .addComponent(jLabel5,
javax.swing.GroupLayout.PREFERRED_SIZE, 26,
javax.swing.GroupLayout.PREFERRED_SIZE)

    .addPreferredGap(javax.swing.LayoutStyle.ComponentPlacement.RELATED)
        .addComponent(jLabel4,
javax.swing.GroupLayout.PREFERRED_SIZE, 27,
javax.swing.GroupLayout.PREFERRED_SIZE)
        .addContainerGap(49, Short.MAX_VALUE))
```

{ }

```

        .addGroup(layout.createSequentialGroup())

        .addPreferredGap(javax.swing.LayoutStyle.ComponentPlacement.RELATED,
        javax.swing.GroupLayout.DEFAULT_SIZE, Short.MAX_VALUE)
            .addComponent(jButton2)
            .addContainerGap(javax.swing.GroupLayout.DEFAULT_SIZE,
        Short.MAX_VALUE))))
    );

    jLabel1.getAccessibleContext().setAccessibleName("Datos del los
    sensores");
    jButton5.getAccessibleContext().setAccessibleName("Graficar Humedad
    suelo");

    pack();
} // </editor-fold>

private void jButton1ActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
    if (State == true) {
        State = false;
        try {
            Arduino.sendData("0");
        } catch (Exception ex) {
            Logger.getLogger(Window.class.getName()).log(Level.SEVERE, null,
ex);
        }
    } else {
        State = true;
        try {
            Arduino.sendData("1");
        } catch (Exception ex) {
            Logger.getLogger(Window.class.getName()).log(Level.SEVERE, null,
ex);
        }
    }
}

}

public void FicheroExcel(String input) {
    HSSFWorkbook libro = new HSSFWorkbook();
    HSSFSheet hoja = libro.createSheet();

```

```

HSSFRow fila = hoja.createRow(0);
HSSFCell celda = fila.createCell(0);
    HSSFCell celda1 = fila.createCell(1);
celda.setCellValue("Datos obtenidos del sensor");
fila = hoja.createRow(1);
celda = fila.createCell(0);
celda.setCellValue("Fecha");
celda = fila.createCell(1);
celda.setCellValue("Hora");
celda = fila.createCell(2);
celda1.setCellValue("Humedad");
celda.setCellValue("Humedad");
celda = fila.createCell(3);
celda.setCellValue("Humedad_suelo");
    celda = fila.createCell(4);
celda.setCellValue("TEMPERATURA");

for (int i = 0; i <= modelo.getRowCount() - 1; i++) {
    fila = hoja.createRow(i + 2); //se crea la fila
    for (int j = 0; j <= 4; j++) {
        celda = fila.createCell(j); //se crea la celda
        celda.setCellValue(jTable1.getValueAt(i, j).toString());    }
    }
try {
    FileOutputStream Fichero = new FileOutputStream(input);
    libro.write(Fichero);
    Fichero.close();
} catch (Exception e) {
    e.printStackTrace();
}
}

private void jButton2ActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
    javax.swing.JFileChooser Ventana = new javax.swing.JFileChooser();
    String ruta = "";
    try {
        if (Ventana.showSaveDialog(null) == Ventana.APPROVE_OPTION) {
            ruta = Ventana.getSelectedFile().getAbsolutePath() + ".xls";

```

```
        FicheroExcel(ruta);
    }
} catch (Exception ex) {
    ex.printStackTrace();
}
}

private void jButton3ActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {

    ChartPanel Panel = new ChartPanel(Grafica);
    JFrame Ventana = new JFrame ("JFreeChart");
    Ventana.getContentPane().add(Panel);
    Ventana.pack();
    Ventana.setVisible(true);

}

private void jButton4ActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
    // TODO add your ha
    ChartPanel Panel = new ChartPanel(Grafica1);
    JFrame Ventana = new JFrame ("JFreeChart");
    Ventana.getContentPane().add(Panel);
    Ventana.pack();
    Ventana.setVisible(true);

}

private void jButton5ActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {
    ChartPanel Panel = new ChartPanel(Grafica2);
    JFrame Ventana = new JFrame ("JFreeChart");
    Ventana.getContentPane().add(Panel);
    Ventana.pack();
    Ventana.setVisible(true);

}

public static void main(String args[]) {

    java.awt.EventQueue.invokeLater(new Runnable() {
```

```
        public void run() {
            new Window().setVisible(true);
        }
    });
}

// Variables declaration - do not modify
private javax.swing.JButton jButton1;
private javax.swing.JButton jButton2;
private javax.swing.JButton jButton3;
private javax.swing.JButton jButton4;
private javax.swing.JButton jButton5;
private javax.swing.JLabel jLabel1;
private javax.swing.JLabel jLabel2;
private javax.swing.JLabel jLabel3;
private javax.swing.JLabel jLabel4;
private javax.swing.JLabel jLabel5;
private javax.swing.JScrollPane jScrollPane1;
private javax.swing.JTable jTable1;

private String setCellValue(String toString) {
    throw new UnsupportedOperationException("Not supported yet.");
}
}
```