

UACM

Universidad Autónoma
de la Ciudad de México

Nada humano me es ajeno

COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

LICENCIATURA EN INGENIERIA EN SISTEMAS
ELECTRÓNICOS INDUSTRIALES

“Construcción, monitoreo y automatización de un Huerto
Urbano”

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADOS EN
INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICOS INDUSTRIALES
PRESENTAN:

Aviles Bernal Alberto

Sánchez Reyes Nayelli

Director de tesis

M.I. Luis René Sagredo Hernández

Co-Director de tesis

M.C. Luis de Jesús Valdivia López

Ciudad de México; abril 2021

SISTEMA BIBLIOTECARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO COORDINACIÓN ACADÉMICA

RESTRICCIONES DE USO PARA LAS TESIS DIGITALES

DERECHOS RESERVADOS ©

La presente obra y cada uno de sus elementos está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor; por la Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como lo dispuesto por el Estatuto General Orgánico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; del mismo modo por lo establecido en el Acuerdo por el cual se aprueba la Norma mediante la que se Modifican, Adicionan y Derogan Diversas Disposiciones del Estatuto Orgánico de la Universidad de la Ciudad de México, aprobado por el Consejo de Gobierno el 29 de enero de 2002, con el objeto de definir las atribuciones de las diferentes unidades que forman la estructura de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México como organismo público autónomo y lo establecido en el Reglamento de Titulación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Por lo que el uso de su contenido, así como cada una de las partes que lo integran y que están bajo la tutela de la Ley Federal de Derecho de Autor, obliga a quien haga uso de la presente obra a considerar que solo lo realizará si es para fines educativos, académicos, de investigación o informativos y se compromete a citar esta fuente, así como a su autor ó autores. Por lo tanto, queda prohibida su reproducción total o parcial y cualquier uso diferente a los ya mencionados, los cuales serán reclamados por el titular de los derechos y sancionados conforme a la legislación aplicable.

Construcción, monitoreo y automatización de un Huerto Urbano.

Aviles Bernal Alberto
Sánchez Reyes Nayelli

Abril 2021

Dedicatoria

Aviles Bernal Alberto:

A mi madre Martha Patricia y a mi padre Alberto Aviles.

Sánchez Reyes Nayelli:

A mi madre Elvira Reyes y a mi padre Felipe Sánchez.

Porque gracias a su apoyo y consejo he llegado a
realizar la más grande de mis metas.
Que es la herencia más valiosa que pudiera
recibir.

Agradecimientos

A nuestro director de tesis el M.I. Luis René Sagredo Hernández y a nuestro Co-Director M.C. Luis de Jesús Valdivia López por haber aceptado dirigir este trabajo, por el ejemplo de ambos, apoyo, ayuda, confianza y su motivación constante para el logro de este trabajo y nuestras metas.

A nuestros lectores de tesis: Dr. Daniel Noriega Pineda, Ing. Juan Armando Ureña Hernández y al Dr. Edgar del Carmen Sierra Palacios, por su tiempo, apoyo y dedicación hacia nuestro trabajo.

A nuestros profesores que por sus enseñanzas, sus vivencias y ejemplos nos dieron una clara visión a nivel personal, académico y laboral.

A la Universidad Autónoma de la Ciudad de México por la oportunidad de poder continuar con nuestros estudios; sobre todo, por el apoyo otorgado por parte de la Coordinación de Servicios Estudiantiles para la impresión y empastado del presente trabajo recepcional.

A la Coordinación de Servicios Estudiantiles por el apoyo otorgado en la 11ª Convocatoria de proyectos estudiantiles, por brindarnos su confianza y darnos todo el apoyo necesario para la construcción del huerto urbano.

A los estudiantes Isabel Aviles Bernal y Felipe Sánchez Reyes de la carrera de Nutrición y Salud por brindarnos su apoyo y ayuda para la realización del huerto urbano durante el proyecto estudiantil.

A nuestros padres y familia por su amor, paciencia, sacrificio y bondad.

Al Laboratorio (LIIDET) por otorgarnos el apoyo para realizar las pruebas en sus instalaciones.

Al agrónomo M. en C. Luis Alberto Olvera Cruz del Colegio de Postgraduados, campus Montecillo por su asesoría.

Resumen

Este trabajo aborda el diseño y la implementación de un huerto urbano protegido, desarrollando un sistema automatizado para el riego homogéneo de hortalizas y el control de variables físicas como temperatura, humedad relativa y humedad del suelo dentro del huerto por medio de una placa de desarrollo Arduino.

El cultivo dentro de un sistema protegido garantiza el aislamiento de propagación de plagas y de enfermedades que afecte al crecimiento y/o desarrollo de las plantas.

La automatización permite minimizar la acción del usuario, facilitando el control y gestión del sistema.

El monitoreo de la temperatura permite llevar a cabo la activación o desactivación del ventilador y lámpara cuando los rangos de temperatura se encuentren fuera de los valores óptimos.

Epígrafe

Necesitamos incrementar la producción agrícola al menos un 70% para el año 2050 y debe ser sostenible". Se tiene que hacer con un incremento en los rendimientos de las superficies que hoy día están destinadas para ello, evitando las pérdidas pos-cosechas y produciendo más en la misma superficie con menos agua y para más gente. La brecha debe reducir con tecnología e innovación."

Dr. Víctor Manuel Villalobos Arámbula

Director General del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura

Gestión 2010-2017

Contenido general

Capítulo 1

Introducción	1
1.1 Antecedentes	2
1.2 Motivación	3
1.3 Objetivo general.....	3
1.4 Objetivos específicos	3

Capítulo 2

Huerto urbano	5
2.1 Características generales	5
2.2 Ventajas de cultivar en un huerto urbano.....	5
2.3 Tipos de huertos urbanos	6
2.4 Selección de semillas.....	7
2.5 Calendario de siembra, trasplante y recolección.....	9
2.6 Condiciones climatológicas.....	10
2.6.1 Tipo de suelo	10
2.6.2 Temperatura.....	11
2.6.3 Humedad relativa.....	11
2.7 Enfermedades y plagas	11

Capítulo 3

Implementación del huerto urbano	13
3.1 Estructura	13
3.2 Germinación de semillas.....	13
3.2.1 Procedimiento de germinación	14
3.3 Sistema de riego	15
3.3.1 Tiempo de riego.....	16
3.3.2 Sistema de almacenamiento de agua	17
3.4 Sistema eléctrico	17
3.5 Sistemas de cultivo	18

Capítulo 4

4.1 Instrumentación	20
4.2 Monitoreo de temperatura y humedad.....	22
4.2.1 Sensor de temperatura y humedad relativa	23
4.2.2 Media aritmética de las señales del sensor DHT11	25
4.2.3 Sensor de humedad de la tierra	25
4.3 Adquisición de datos, despliegue y registro.....	27
4.3.1 Tarjeta de adquisición de datos	27

4.3.2 Presentación y registro de los datos	29
Capítulo 5	
Automatización	32
5.1 Automatización del riego	32
5.2 Automatización de la temperatura	36
5.2.1 Esquema de control	36
5.2.1.1 Control encendido/apagado (on/off).....	37
5.3 Despliegue de datos de temperatura, humedad relativa (Hr) y humedad de la tierra	43
Capítulo 6	
Resultados obtenidos.....	51
6.1 El huerto	51
6.2 Germinación.....	51
6.3 Cosecha.....	52
6.4 Enfermedades observadas en el huerto	53
6.5 Instrumentación	54
6.6 Caso de estudio para la implementación y construcción de un huerto urbano en el Plantel Casa Libertad - UACM.....	58
6.6.1 Indagación.....	58
6.6.2 Desarrollo.....	58
6.6.2.1 Estructura	58
6.6.2.2 Mesa de cultivo	60
6.6.2.3 Contenedores de PVC.....	61
6.6.3 Germinación.....	62
6.6.4 Trasplante de las hortalizas.....	62
6.6.5 Riegos.....	62
6.6.6 Funcionamiento del sistema	63
6.6.7 Costo del sistema.....	63
Capítulo 7	
Conclusiones	64
Anexo	67
Manual de operación del tablero de control del Huerto Urbano	67
Referencias.....	69
Apéndice A	72
Especificaciones de sensores y equipos utilizados para la implementación de la instrumentación y automatización del huerto urbano.....	72
A.1 Sensor DHT11.....	72

A.2 Sensor de Humedad de la tierra (del inglés; moisture sensor).....	72
A.3 Arduino Mega	73
A.4 Etapa de potencia.....	74
A.5 Especificaciones de la bomba de riego	74
A.6 Especificaciones del ventilador	75
A.7 Especificaciones de la luminaria	75
A.8 Temporizador TEMP-310.....	76
A.9 Pantalla de cristal líquido (LCD) 16x2	76
A.10 Adaptador de tarjeta MicroSD (MicroSD Card Adapter).....	77
A.11 Programación del sistema de control de temperatura utilizando el entorno de desarrollo de Arduino.....	78

Índice de figuras

Figura 2.1: Huerto urbano protegido ubicado en el plantel Casa Libertad de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.	7
Figura 2.2: Huerto Urbano abierto. http://www.guinothprunera.com . Fecha de consulta; 13 de marzo de 2020.	7
Figura 2.3: Ejemplos de semillas certificadas.	9
Figura 3.1: Estructura metálica (lado izquierdo) y forrado del huerto urbano protegido (lado derecho).	13
Figura 3.2: Gotero de aspersión 70 lph.	16
Figura 3.3: Goteros para riego.	16
Figura 3.4: Sistema de almacenamiento de agua.	17
Figura 3.5: Tablero de control del sistema.	18
Figura 3.6: Sistema de cultivo en canaletas.	19
Figura 3.7: Sistema de cultivo en macetas.	19
Figura 3.8: Sistema de cultivo en mesa.	19
Figura 4.1: Diagrama de bloques de un sistema general de medición. ..	20
Figura 4.2: Sensor de humedad y temperatura DHT11.	23
Figura 4.3: Conexión entre un microcontrolador y sensor DHT11	24
Figura 4.4: Ubicación de sensores de temperatura y humedad DHT11. ..	25
Figura 4.5: Sensor humedad de la tierra YL-69 y módulo YL-38.	26
Figura 4.6: Conexión del sensor de humedad de la tierra YL-69 y módulo YL-38.	27
Figura 4.7: Tarjeta Arduino Mega 2560.	28
Figura 4.8: Pantalla de cristal líquido 16x2.	29
Figura 4.9: Módulo lector de memorias MicroSD.	29
Figura 4.10: Diagrama de conexión en Arduino Mega del sistema de instrumentación.	30
Figura 4.11: Diagrama de bloques del sistema de instrumentación.	31
Figura 5.1: Esquema de control en lazo abierto.	32
Figura 5.2: Diagrama de flujo del algoritmo de automatización temporal del sistema de riego.	33
Figura 5.3: Temporizador modelo TEMP-310.	34
Figura 5.4: Conexión de temporizador y bomba.	34
Figura 5.5: Línea de retorno para regular la presión del agua.	35
Figura 5.6: Diagrama de bloques en lazo cerrado.	36
Figura 5.8: Grafica de control on-off.	37

Figura 5.9: Sistema de control de temperatura.	38
Figura 5.10: Diagrama de flujo del algoritmo de control de temperatura.	39
Figura 5.11: Ventilador de pedestal.	40
Figura 5.12: Luminaria compuesta de tres lámparas de 150 Watts.	41
Figura 5.13: Módulo de potencia modelo 2PH633091A.	41
Figura 5.14: Diagrama de bloques del sistema de interconexión entre la tarjeta electrónica, la etapa de potencia y los periféricos de instrumentación del sistema de temperatura, monitoreo y registro de datos.	42
Figura 5.15: Diagrama de interconexión entre la tarjeta electrónica, la etapa de potencia del sistema de ventilación y calefacción.	43
Figura 5.16: Inicialización del sistema.	44
Figura 5.17: Tarjeta SD funcionando detectada correctamente.	44
Figura 5.18: Sensor 1 DHT11.	45
Figura 5.19: Sensor 2 DHT11.	45
Figura 5.20: Sensor 3 DHT11.	46
Figura 5.21: Sensor 4 DHT11.	46
Figura 5.22: Humedad de la tierra del sensor 1 YL-69 en el cultivo de betabel.	47
Figura 5.23: Humedad de la tierra del sensor 2 YL-69 en el cultivo de espinaca.	47
Figura 5.24: Humedad de la tierra del sensor 3 YL-69 en el cultivo de ejote.	48
Figura 5.25: Temperatura y humedad promedio de los cuatro sensores DHT11.	48
Figura 5.26: Guardado del promedio obtenido por los sensores.	49
Figura 5.27: Se realizará una nueva lectura de los valores adquiridos por los sensores.	49
Figura 5.28: Finaliza secuencia de despliegue de datos.	50
Figura 6.1: Plaga gusano minador.	53
Figura 6.2: Plaga áfido o pulgón.	53
Figura 6.3: Gráfica de temperatura promedio obtenida en las cuatro estaciones del año.	54
Figura 6.4: Gráfica comparativa de temperatura en primavera dentro y fuera del huerto urbano.	55
Figura 6.5: Gráfica de humedad relativa promedio obtenidas en las cuatro estaciones del año.	56
Figura 6.6: Gráfica de humedad de la tierra promedio obtenidas en las cuatro estaciones del año.	57
Figura 6.7: Boceto o propuesta del invernadero.	59

Figura 6.8: Armado de la estructura.....	59
Figura 6.9: Pintura base y pintado de la estructura.....	59
Figura 6.10: Forrado con plástico y malla de la estructura.....	60
Figura 6.11: Dimensiones de la mesa de cultivo.....	60
Figura 6.12: Construcción y barnizado de mesa de cultivo.....	61
Figura 6.13: Tintado y forrado de la mesa de cultivo.....	61
Figura 6.14: Contenedor para plantas de PVC.....	61
Figura 6.15: Germinación en la mesa de cultivo y en el almácigo.....	62
Figura 6.16: Trasplante a los tubos de PVC.....	62
Figura Anexo 1: Componentes del tablero de control.....	67
Figura A.1: Distribución de señales en la tarjeta Arduino Mega.....	74

Índice de abreviaturas

ANOVE: Asociación Nacional de Obtentores Vegetales

AWG: American Wire Gauge (Calibre de alambre estadounidense)

CDRSSA: Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria

HDMI: High-Definition Multimedia Interface (Multimedia de interfaces en alta definición)

Hr: Humedad relativa

Hz: Hertz

LCD: Liquid Crystal Display (Pantalla de cristal líquido)

mA: Miliamperios

Offset: Desplazamiento

On/Off: Encendido/Apagado

P: Controlador Proporcional

PD: Control Proporcional Derivativo

PI: Control Proporcional Integral

PID: Control proporcional integral derivativo

SD: Secure Digital (Seguro digital)

SIAP: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera

USB: Universal Serial Bus (Bus Serie Universal)

Vca: Voltaje de corriente alterna

WiFi: Wireless Fidelity (Fidelidad inalámbrica)

Capítulo 1

Introducción

La agricultura ejerce un papel importante en la economía del país, con la aplicación de la ingeniería a la agricultura permite compatibilizar la producción con el medio ambiente, consiguiendo mejores resultados en la productividad, trazabilidad y sostenibilidad.

Las tecnologías de sensores y los métodos de aplicación se utilizan para optimizar los procesos de producción y las condiciones de crecimiento. A diferencia de los métodos agrícolas convencionales, el uso de ingeniería en la agricultura puede aumentar la eficiencia en cuanto a recursos y costos, así como reducir el impacto ambiental (Saborcooperativo, 2019).

Con los avances tecnológicos se puede implementar sistemas automatizados, optimizando cultivos a través de la iluminación LED (diodo emisor de luz) para el crecimiento de plantas utilizando energía renovable como energía solar y eólica; también se realiza la medición de variables físicas como: temperatura, humedad relativa, presión, etc.

El Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP]¹ publicó en el Atlas Agroalimentario 2012 – 2018, que México se posiciona en el doceavo lugar en producción y décimo lugar en exportación de alimentos agrícolas a nivel mundial, con una producción de 286 millones de toneladas de alimentos en el 2017. Esto se debe a que cuenta con potencial productivo, amplia variedad de climas y regiones, así como personal capacitado.

Actualmente es sencillo encontrar huertos urbanos en México, no solo como medio para la obtención de alimentos, sino dentro de espacios de entretenimiento y como parte de una educación sustentable en los programas escolares. Este es un posible camino para erradicar el hambre pasando de un modelo de agricultura industrial a un modelo basado en la agricultura rural.

1 SIAP 2018. Revisado en la página: <https://www.gob.mx/siap>; fecha de consulta: 14 de Agosto de 2019.

En la Ciudad de México existen programas gubernamentales como la Secretaría de Desarrollo Rural y Equidad para las Comunidades (SEDEREC) y la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA), que realizan actividades recreativas, sencillas y accesibles para promover la creación de huertos urbanos de carácter comunitario y/o educativo. Con la creación de huertos urbanos en espacios públicos para la producción de alimentos de autoconsumo, la SEDEMA desarrolló una estrategia, que tiene como propósito, incrementar las áreas verdes y la calidad de vida de los habitantes en la ciudad.

Los programas gubernamentales, basándose en estudios, han desarrollado que algunos de los cultivos que mejor se adaptan al huerto en casa son: rábano, cebolla, apio, lechuga, zanahoria, tomate, berenjena, pimiento, pepino, espinaca, haba, fresa y ajo.

1.1 Antecedentes

A mediados del siglo XIX surge en Reino Unido el auge de los primeros huertos urbanos llamados "huertos de los pobres", ya que están vinculados con fechas de mayor crisis económica en el país, por lo que la población recurrió a un autoabastecimiento. Para las décadas de los 60 y 70 resurgen los huertos urbanos, ahora con el objetivo de crear un sistema ecológico.

En el siglo XX durante la Segunda Guerra Mundial en Estados Unidos da comienzo el cultivo de huertos urbanos conocidos como "Victory gardens " o War gardens". Aproximadamente un 40% del consumo de alimentos de la población procedían de estos huertos urbanos.

Para el año 2012, surge en la Ciudad de México una iniciativa para fomentar la agricultura urbana como "El Huerto Romita", creado por mujeres interesadas en generar cambios en su entorno y replicarlos. Esta iniciativa se basó en una plataforma de agricultura regenerativa que promueve y difunde la conciencia ambiental y alimentaria a través del cultivo y consumo de alimentos orgánicos y locales (Cacelín, 2016).

En el año 2015, la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA) inauguró el primer huerto urbano productivo de la Ciudad de México, para cosechar hortalizas y que los estudiantes pudieran tener acceso para su consumo. Éste aún se encuentra en la

azotea del Plantel Iztapalapa II del Instituto de Educación Media Superior (IEMS), aunque hoy en día sólo opera como azotea verde (Delgado, 2015).

1.2 Motivación

La principal motivación para realizar este proyecto es la aplicación de los conocimientos adquiridos en la carrera para la instrumentación y control de variables en específico de las materias: Amplificación y Acondicionamiento de Señales, Metrología e Instrumentación, Comunicaciones y Electrónica, y Aplicaciones con Microcontroladores, en el área de la agricultura específicamente en el cultivo tradicional.

Un punto importante para considerar en este proyecto es el tipo de alimentación que tiene la población en la actualidad. Por ello, esta investigación se centró en la creación de un huerto, a partir de la cosecha orgánica como aportación para un estilo de vida y nutrición saludable.

Finalmente pretendemos innovar la producción agrícola con nuevos métodos de cultivo con el objetivo de tener ciudades sostenibles.

1.3 Objetivo general

Diseñar, construir y automatizar un huerto urbano protegido para el cultivo de distintas hortalizas.

1.4 Objetivos específicos

- a) Diseñar un huerto urbano tomando en cuenta el espacio disponible y recursos obtenidos.
- b) Construir un huerto cerrado con una dimensión de 3.70 x 2.50 x 2.30 metros (largo x ancho x alto).
- c) Construir camas de cultivo y contenedores de plantas.
- d) Realizar el proceso de germinación de semillas certificadas.
- e) Implementar un sistema de riego por goteo automatizado.

- f) Implementar un sistema de monitoreo de temperatura, humedad relativa del ambiente y humedad de la tierra.
- g) Adquirir y registrar variables físicas; temperatura, humedad relativa y humedad de la tierra.
- h) Implementar un sistema de automatización ambiental del huerto urbano.

Capítulo 2

Huerto urbano

En este capítulo se explicarán las características generales, ventajas y diferentes tipos de huertos urbanos existentes.

También se describirán las condiciones climatológicas óptimas para un buen cultivo y el calendario de siembra y cosecha de cada hortaliza seleccionada para su cultivo.

2.1 Características generales

Puede considerarse que la Agricultura Urbana es toda actividad relacionada con el cultivo de alimentos próxima a la ciudad y en el que el destino final de su producción es abastecer a dicha ciudad; es decir, que la producción forme parte del sistema agroalimentario urbano como: producción, distribución, consumo y gestión de residuos orgánicos generados (Arosemena, 2012).

Un huerto urbano se trata de espacios abiertos o protegidos para el cultivo de plantas y vegetales de autoconsumo como: hortalizas, frutales, aromáticas, plantas medicinales u ornamentales a escala doméstica obteniendo la misma calidad de estos como el cultivo en campo.

La implementación de un huerto urbano abierto puede producir un cambio para mejorar el paisaje de las ciudades, recuperar espacios degradados y/o abandonados. Este tipo de huerto produce cultivos ecológicos generalmente para el consumo local, para contribuir en la reducción de la contaminación provocada por el tráfico de la ciudad.

Adicional, un huerto urbano protegido permite garantizar la operación continua de los cultivos propuestos, con mejores resultados y aumentando la eficiencia en su producción. También permite controlar las condiciones medioambientales internas para mantener valores óptimos y el conocimiento del estado de la planta.

2.2 Ventajas de cultivar en un huerto urbano

A partir de la evolución de los huertos urbanos existen beneficios que favorecen al desarrollo y producción de éstos:

Beneficios

- Con un huerto urbano se evita el consumo de plantas y vegetales que no se sabe si han sido tratados con agroquímicos agresivos, en situaciones de mala sanidad o riegos de cultivos con aguas negras.
- Los huertos urbanos ayudan al sustento alimenticio para combatir las necesidades alimentarias como desnutrición, hambruna, pobreza, obesidad, sobrepeso, etc.
- Posibilidad de cosechar cualquier hortaliza en su momento óptimo de producción.
- Los huertos en casa requieren de muy poca manutención, con los sistemas actuales se pueden obtener un mayor número de plantas por superficie, además de estimular la creatividad y lo mejor es que puede ser una actividad apta para todos, donde se promueve la convivencia de niños, adultos mayores y personas con discapacidad.
- Implementar huertos urbanos permite contribuir en el bolsillo.

2.3 Tipos de huertos urbanos

Existen dos tipos de huertos urbanos, estos se clasifican en:

Huertos urbanos protegidos, figura 2.1: En estos se cultivan hortalizas con el propósito de protegerlas del clima, se llevan a cabo en estructuras de diferentes tamaños, invernaderos u otro medio de sistemas de protección. Su característica es que en ellos se puede tener un control de temperatura, humedad, entre otras variables físicas que son complicadas de controlar manualmente. Con esta protección se puede tener mayor variedad de producción.

Huertos urbanos abiertos, figura 2.2: Su característica principal es que no necesitan protección o coberturas especiales. Estos cultivos se llevan a cabo a cielo abierto y expuestos a las condiciones climatológicas (temperatura, lluvia, heladas, granizo, etc). Además de estar expuestos a plagas y enfermedades, como pulgón, mosca blanca, hongos y bacterias, etc. En estos se cultivan especies fuertes y resistentes a estas condiciones, por ello es muy importante la selección del tipo de planta a cultivar.



Figura 2.1: Huerto urbano protegido ubicado en el plantel Casa Libertad de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.



Figura 2.2: Huerto Urbano abierto. <http://www.guinotprunera.com>. Fecha de consulta; 13 de marzo de 2020.

2.4 Selección de semillas

Para garantizar una mayor productividad y calidad en el cultivo se debe comenzar por elegir semillas certificadas con las normas y vigilancias del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS).

El SNICS es un órgano desconcentrado de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, encargado de normar y vigilar el cumplimiento de las disposiciones legales en materia de semillas y variedades vegetales. En coordinación con diversos organismos públicos y privados, instituciones de investigación y agricultores. Las tres acciones estratégicas del SNICS contribuyen a salvaguardar y aumentar la producción y calidad de los productos agrícolas desde su origen: la semilla (SNICS, 2019).

Las Normas Oficiales Mexicanas son (SNICS, 2020):

NOM-001-SAG/FITO-2013, Por la que se establecen los criterios, procedimientos y especificaciones para la elaboración de guías para la descripción varietal y reglas para determinar la calidad de las semillas para siembra.

NOM-002-SAG/FITO-2015, Por la que se establecen las características y especificaciones que deben reunir las etiquetas de certificación de la calidad de las semillas para siembra.

NOM-003SAG/FITO2015, Por la que establecen las especificaciones a cumplir por las personas morales para poder ser aprobadas como organismos de certificación de semillas.

Al tener semillas certificadas se asegura la obtención de mayor productividad en relación con semillas criollas y asegurar una germinación homogénea, figura 2.3.

Especificaciones que una semilla certificada debe cumplir.

- Por calidad: la única con certificado oficial.
- Por el ahorro: menor dosis de siembra ya que está garantizada la germinación y el óptimo estado sanitario.
- Por el futuro de la agricultura: las nuevas variedades son garantía de progreso y mejora de la producción.
- Por el rendimiento: las semillas están seleccionadas y tratadas para garantizar una buena implantación de cultivos.
- Por una agricultura sostenible: la producción de semilla certificada, desde su origen, incluye la conservación del medio ambiente (ANOVE, 2018).

Una desventaja que se tiene de las semillas certificadas es que no existen estudios que indiquen que el consumo de los productos obtenidos a partir de estas semillas genere enfermedades como el cáncer y produzcan desórdenes hormonales, metabólicos, inmunológicos, nerviosos y reproductivos.



Figura 2.3: Ejemplos de semillas certificadas.

2.5 Calendario de siembra, trasplante y recolección

El calendario de siembra permite facilitar la organización del huerto, de esta manera es posible seguir el orden de lo que se está sembrando, la duración de la germinación, el trasplante y la recolección del producto.

Por otro lado, un punto importante a considerar son las estaciones adecuadas para cultivar en cuestión de la temperatura y humedad, por ello algunas hortalizas se desarrollan mejor en primavera o verano y en algunos casos pueden ser sembradas durante todo el año.

En la tabla 2.1 se describe el calendario de siembra y cosecha de las hortalizas que se eligieron para el cultivo en el interior del huerto protegido, que fueron semillas que se pueden sembrar todo el año y en primavera que fue cuando se comenzó el cultivo dentro del huerto (SEMARNAT, 2010).

Calendario de siembra y cosecha de diferentes hortalizas

Hortalizas, plantas aromáticas	Época de siembra	Tiempo de germinación en días	Tiempo aproximado de cosecha/días	Días máximos en el huerto
Acelga	Todo el año	12	80-100	365
Ajo	Todo el año		120-180	180
Apio	Todo el año	12	120	365
Betabel	Todo el año	12	70-150	150
Cebolla	Todo el año	10	80-180	180
Cilantro	Primavera- verano	15	45-60	60
Coliflor	Todo el año	10	80-100	100
Epazote	Todo el año	6	40-60	60
Espinaca	Todo el año	14	50-70	70
Jitomate	Primavera	13	100-120	150
Lechuga	Todo el año	5	70-90	90
Papa*	Todo el año	5	90-100	150
Perejil	Primavera	16	60-90	365
Rábano	Todo el año	9	30-45	45
Zanahoria	Primavera- verano	10	90-110	120

*Germinación a partir del tubérculo

Tabla 2.1: Calendario de siembra y cosecha (SEMARNAT, 2010).

2.6 Condiciones climatológicas

Los cultivos agrícolas necesitan de ciertos requerimientos climáticos. La mayoría de las especies están adaptadas para temperaturas de entre 16 a 28°C. Cuando las temperaturas disminuyen a un valor menor de 15°C o aumentan por encima de 29°C, el crecimiento y su desarrollo comienza a deteriorarse.

Las condiciones medioambientales de mayor importancia en el crecimiento de las plantas son tipo de suelo, humedad relativa, temperatura del ambiente y calidad del agua, cada una tiene una relación directa con el crecimiento.

2.6.1 Tipo de suelo

Para que un suelo tenga óptimas condiciones de funcionamiento para el desarrollo de las plantas, debería presentar una estructura estable, capaz de permitirle al vegetal la expresión de su potencial de crecimiento, sobre todo del sistema de raíces, sin impedimentos, para la exploración del mayor volumen de suelo posible. Ello implica

mantener una correcta absorción y circulación de agua y aire además de tener una buena capacidad de almacenamiento de agua (Cesáreo, 2012).

Que elementos necesitan las plantas para un buen desarrollo:

- **Macroelementos o macronutrientes:** pueden ser macroelementos primarios (nitrógeno, fósforo y potasio) o secundarios (calcio, magnesio y azufre).
- **Microelementos o micronutrientes:** son elementos químicos que se necesitan en menor cantidad: boro, cloro, cobalto, cobre, hierro, magnesio, molibdeno, zinc, etc.
- **Trazas:** son elementos que se necesitan en muy pequeña cantidad, pero que su falta puede acarrear graves problemas para las plantas: cromo, níquel, manganeso, etc.

2.6.2 Temperatura

De las variables climáticas, la temperatura es la más importante de regular. El control de temperaturas es importante porque influye en la transpiración, respiración, germinación, fotosíntesis, crecimiento y floración de las plantas (Infante, 2004).

La temperatura influye en el crecimiento de las plantas y en la productividad de la cosecha. La temperatura afecta a la planta a corto y a largo plazo.

2.6.3 Humedad relativa

El contenido de humedad relativa en un huerto urbano es de gran importancia para el desarrollo normal del cultivo. Si la humedad es muy baja la productividad tiende a bajar, por el contrario, la alta humedad y temperatura aceleran el crecimiento de las plantas, pero a su vez se desarrollan las condiciones para la proliferación de enfermedades (Infante, 2004).

La mayoría de las plantas se desarrollan de manera óptima a una humedad relativa del aire entre el 40% y el 70%.

2.7 Enfermedades y plagas

Otro de los factores importantes que intervienen en el crecimiento y/o desarrollo de las hortalizas son las plagas. Es importante diferenciar entre una plaga y una enfermedad. Las plagas que atacan en forma indiscriminada un cultivo, mientras que

la enfermedad es causada por un virus, hongos o una bacteria, que no necesariamente ataca a todo el cultivo.

Algunas de las plagas más comunes son:

- Pulgón. Este ácaro no mide más de 3 mm y es muy perjudicial. Chupa la savia de las hojas infectando con enfermedades a la planta. Existen de varios colores desde verdes hasta negros.
- Mosca blanca. Mide 3 a 4 mm altamente perjudicial, se alimenta de la savia de las plantas y es transmisor de enfermedades.
- Orugas de mariposa. Existen de diferentes colores, verdes, amarillas y combinados. Dañan principalmente las hojas devorándolas completamente.
- Araña roja. Este ácaro no mide más de 1 mm. Son generalmente de color rojo y tejen una fina telaraña. Se presentan en épocas secas, llega a matar a la planta al transmitir enfermedades mediante la succión de alimento.

Enfermedades comunes de una planta:

- Los hongos. Son microorganismos que provocan manchas (blancas o negras) en las hojas de las plantas, aparecen en épocas de humedad, propagándose por el viento y por semilla.
- Bacterias. Microorganismos que provoca que las plantas se pudran. Son transmitidas por insectos.

Capítulo 3

Implementación del huerto urbano

3.1 Estructura

La estructura del huerto está formada por una armadura de PTR² de $\frac{3}{4}$ de pulgada que se encuentra fijada al suelo y está cubierta por un plástico traslúcido con 20% opacidad; es decir, refleja al 20% de luz y transmite un 80% de luz, atrapando energía solar dentro del huerto, figura 3.1.



Figura 3.1: Estructura metálica (lado izquierdo) y forrado del huerto urbano protegido (lado derecho).

Unas de las características principales de la estructura, es el diseño del techo conocido a un agua; con el fin de evitar estancamiento de agua y aprovechar la mayor cantidad de luz solar durante el día.

3.2 Germinación de semillas

La germinación consiste en el proceso que el embrión se desarrolla para el nacimiento y formación de una nueva planta, este proceso se lleva a cabo cuando el embrión se hincha y la cubierta de la semilla se rompe. Para que una semilla germine de manera eficiente se debe de cumplir ciertas condiciones climatológicas como es la temperatura y humedad.

Existen factores que afectan en el desarrollo de la germinación, estos se clasifican en:

- Factores internos: propios de la semilla; madurez y viabilidad de la semilla.
- Factores externos: depende del ambiente; humedad y temperatura.

3.2.1 Procedimiento de germinación

Para tener un eficiente proceso de germinación se utiliza recipientes especiales llamados almácigos, elementos que ayudan en el cuidado y desarrollo hasta que la hortaliza alcanza el tamaño de 10 a 15 centímetros para ser trasplantadas.

Estos almácigos tienen ventajas, como son:

- Ahorro de tiempo.
- Calidad de las plantas.
- Plantación de semillas muy pequeñas.
- Fácil manejo.
- Buena tolerancia al movimiento de la raíz.
- Variedad de modelos y calidades con diversos costos.

La fórmula 3.1 que se usa para determinar el porcentaje de germinación en un almácigo es la siguiente (Maguire, 1962):

$$\% \text{ de germinación} = \frac{\text{Total de semillas germinadas}}{\text{Total de semillas puestas a germinar}} \times 100$$

Fórmula 3.1: Porcentaje de germinación en almácigo.

En la Tabla 3.1 se muestra la ponderación de calidad de germinación:

Porcentaje de germinación	Calidad
100-90	Excelente
89-70	Muy buena
69-50	Regular
49-0	Mala

Tabla 3.1: Calidad de germinación.

3.3 Sistema de riego

El agua juega un papel importante en los cultivos agrícolas, para ello se debe elegir un sistema de riego adecuado para que tenga un suministro necesario de agua y mantener un nivel adecuado de humedad en el sustrato.

El sistema de riego tiene como finalidad aplicar el agua necesaria con el objetivo de mantener húmeda el área de cultivo de cada planta. Una de sus ventajas más importantes es el ahorro en el uso del vital líquido.

El riego se ha utilizado para contrarrestar la ausencia de agua en los cultivos, sobre todo en temporadas de poca precipitación. Actualmente existen sistemas de riego más eficientes con ayuda de las nuevas tecnologías. La eficiencia en el riego se logra gracias al estudio de las plantas donde se obtiene la cantidad de agua que se requiere de acuerdo con la variedad y el sistema de riego a emplear.

Un sistema de riego permite el ahorro de un 40% en el consumo de agua comparado con un tradicional (López, 2016).

Entre los sistemas de riegos más utilizados en los cultivos se encuentran:

- Riego por aspersión: Este riego consiste en llevar el agua a través de aspersores, los cuales realizan un riego en forma de lluvia, humedeciendo un área determinada teniendo en cuenta el espacio que ocupara la hortaliza determinando así la distancia entre cada gotero.

Un aspecto importante de este sistema de riego es mantener una humedad constante y una temperatura adecuada, de igual modo ayuda a que el agua no solo llegue a la raíz sino también de forma foliar (en el follaje de la planta), además de evitar el estrés de la planta. Esta forma de riego se usa de manera eficaz, sin importar la nivelación del terreno de cultivo. Los goteros de aspersión trabajan a presiones 1 a 2 kPa y entregan caudales de hasta 70 lph, figura 3.2 (NETAFIM, 2020).



Figura 3.2: Gotero de aspersión 70 lph.

- Riego por goteo o por cintillas: También llamado riego gota a gota, es un sistema de riego dedicado a la óptima aplicación y ahorro de agua. Comúnmente se encuentra el riego por goteo en grandes cantidades de plantación de una o varias especies de hortalizas (NETAFIM, 2020).

El agua utilizada en este sistema de riego se filtra a las raíces de las hortalizas mojando solo el área de interés a través de un sistema de mangueras o tubería y goteros, de esta manera se aumenta el rendimiento y productividad de la hortaliza.

Los goteros operan a una presión de 1 a 1.5 KPa, proporcionando un caudal según el color del gotero seleccionado, figura 3.3.

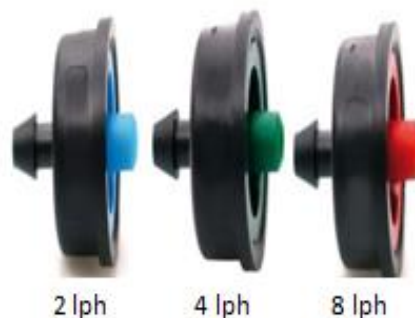


Figura 3.3: Goteros para riego.

3.3.1 Tiempo de riego

La mayoría de las hortalizas requieren de humedad uniforme durante toda su etapa fenológica, dando como resultado buenos rendimientos y calidad del fruto.

Cuando los días son frescos es necesario un riego por día y en caso de los días soleados se requiere de dos o más riegos durante el día, esto depende de la etapa

fenológica. Los riegos se programan de acuerdo con las necesidades de las plantas en términos de un rango de tiempo en minutos.

Para determinar el tiempo de cada riego, así como la frecuencia de estos se debe de tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Tipo de hortaliza a cultivar.
- Profundidad de enraizamiento.
- Naturaleza del sustrato.
- Caudal de los goteros.
- Distancia entre plantas.
- Distancia entre líneas de riego.
- Características del suelo.

3.3.2 Sistema de almacenamiento de agua

La importancia de tener un sistema de almacenamiento de agua en el huerto es garantizar los riegos del cultivo para los días en que el suministro externo falle. Además de proveer del vital líquido en épocas de mayor consumo hídrico de las plantas que puede ser en los días soleados o en la etapa fenológica de reproducción.

El huerto posee dos contenedores unidos entre ellos con capacidad de 18 galones (68 litros) cada uno, figura 3.4, de esta manera se cuenta con la cantidad suficiente de agua para realizar un riego completo en el huerto urbano.



Figura 3.4: Sistema de almacenamiento de agua.

3.4 Sistema eléctrico

En la figura 3.5, se muestra el tablero del sistema eléctrico que controla el funcionamiento del huerto urbano.

El tablero de control está alimentado con una línea monofásica principal de 110 Vca a 60 Hz. Con respecto a la demanda de corriente del sistema se seleccionó un calibre de cable AWG del número 14 que soporta un máximo de 20 Amperes.

El tablero cuenta con un eliminador de 12 Vcd a 500 mA, que es la fuente de energía de la tarjeta de adquisición de datos Arduino mega.



Figura 3.5: Tablero de control del sistema.

3.5 Sistemas de cultivo

Un sistema de cultivo facilita el crecimiento y desarrollo de cultivos como hortalizas, flores y plantas. A menudo, esto aumenta la producción y mejora la calidad del producto cosechado en comparación con los cultivos a cielo abierto. Además, el espacio disponible puede aprovecharse de manera más eficiente.

Existen muchos sistemas de cultivo, pero estos son los 3 sistemas básicos:

- **Sistemas de cultivo en canaletas**

Este tipo de sistema de cultivo se utiliza para la producción de hortalizas y flores. El uso de un sistema de cultivo en canaletas evita la propagación de virus o enfermedades. Hay varias razones para la selección de un sistema de cultivo en canaletas. Estas van desde razones ambientales, como la captación y reciclaje del agua, etc. figura 3.6 (Debets Schalke, 2019).



Figura 3.6: Sistema de cultivo en canaletas.

- **Sistemas de cultivo en macetas**

Este sistema permite establecer un huerto urbano donde no se cuenta con áreas adecuadas de suelo para cultivar.

El cultivo en maceta es perfecto para aquellas personas que no dispongan de jardinera, huerto o campo agrícola, figura 3.7 (Debets Schalke, 2019).



Figura 3.7: Sistema de cultivo en macetas.

- **Sistemas de cultivo en mesas**

Los sistemas de mesas móviles o fijas ofrecen un ahorro notable en mano de obra. Además, permiten un aprovechamiento óptimo del espacio y son ajustables en altura. Una mesa de cultivo está compuesta generalmente por soportes de madera o metal diseñados con todas las características necesarias para instalar plantaciones permitiendo desarrollar pequeños huertos urbanos, figura 3.8 (Debets Schalke, 2019).



Figura 3.8: Sistema de cultivo en mesa.

Capítulo 4

En este capítulo se trata de la instrumentación del huerto urbano, que se basa en el conocimiento, control y registro de la temperatura y humedad relativa del ambiente, además del estado de las plantas en términos de humedad.

4.1 Instrumentación

La instrumentación es el grupo de elementos empleados para medir, convertir, transmitir, controlar y registrar variables de un sistema. Su implementación ayuda a controlar y mantener constantes algunas magnitudes, que para este trabajo son: temperatura, humedad relativa y humedad del suelo. Los instrumentos de medición dentro del huerto permiten monitorear las variables de interés para su análisis y con la información obtenida, establecer algunas acciones de control que generen la correcta operación del sistema.

Algunas de las características principales de los instrumentos de medición son:

- **Precisión**
Cualidad de un instrumento por la que tiende a dar lecturas muy próximas unas a otras, es decir, es el grado de dispersión de estas.
- **Sensibilidad**
Es la capacidad de un instrumento de medida para apreciar cambios en la magnitud que se mide, de tal manera que los más sensibles son capaces de detectar cambios mínimos en la variable de entrada.
- **Exactitud**
Es la capacidad que tiene un instrumento de medida para determinar un valor cercano al valor real de la magnitud que se está midiendo.

La instrumentación está constituida por una **cadena de medición** formada por los siguientes elementos: variable física, transductor/sensor, acondicionamiento de señal, procesamiento y presentación de la señal de salida, figura 4.1.



Figura 4.1: Diagrama de bloques de un sistema general de medición.

Descripción de los elementos de un sistema general de medición.

a) Variable física

Es la magnitud de la variable de interés que proporciona información del estado del sistema a monitorear. Por lo regular, la magnitud es una señal variante en el tiempo $f(t)$.

b) Sensor

El sensor es un dispositivo de entrada que provee una señal de salida ya que este último siempre será un intermediario entre la variable física y el sistema de medida (Corona, Abarca, Mares, 2014).

Transductores

Es un dispositivo capaz de transformar o convertir un determinado tipo de energía de entrada, en otra diferente a la salida (por lo regular en una señal eléctrica).

Es importante señalar que un sensor y un transductor no es lo mismo, la diferencia entre ellos radica en que el transductor cambia el dominio de la variable, mientras que el sensor proporciona una salida útil para ser usada como variable de entrada a un sistema de procesamiento de la información (Corona, Abarca, Mares, 2014).

c) Acondicionamiento

El acondicionamiento de señal es un proceso de adquisición de datos que se lleva a cabo mediante un instrumento llamado acondicionador de señal. Ese instrumento convierte un tipo de señal eléctrica o mecánica (señal de entrada) en otro (señal de salida). El objetivo consiste en amplificar la señal y convertirla a otro formato fácil de leer y compatible con fines de adquisición de datos o de control de una máquina (HBM, 2018).

Las diferentes funciones de un acondicionador de señal son: linealización, rectificación, amplificación, filtrado, modulación, demodulación, "offset", acoplamiento de impedancias, etc. Esta etapa puede utilizar una o varias de las funciones que se acaban de describir.

d) Procesamiento

El procesamiento de los datos también conocido como DPS (por sus siglas en inglés de Digital Signal Processing), permite convertir los valores obtenidos durante el funcionamiento del sistema a valores que puedan ser legibles o entendibles para llevar a cabo su análisis de comportamiento y poder realizar acciones posteriores. Consiste en la manipulación matemática de una señal de información para modificarla o mejorarla en algún sentido. Este está caracterizado por la representación en el dominio del tiempo discreto o en el dominio frecuencia discreta.

e) Señal de salida

Las presentaciones de las señales de salida se muestran o despliegan por medio de indicadores o pantallas como LCD o HDMI; pueden ser analógicos o digitales.

El registro de datos se realiza mediante medios electrónicos como son: discos duros internos o externos de estado sólido, memorias (USB, SD, MSD), entre otros.

Además, se puede realizar el envío inalámbrico de la información de los cuales se puede disponer de protocolos de comunicación como Bluetooth, WiFi, por mencionar algunos.

4.2 Monitoreo de temperatura y humedad

- Temperatura

Es la cantidad de calor que se encuentra en la atmosfera.

- Humedad relativa

Es la cantidad de vapor de agua presente en la atmosfera, en un momento dado, comparada con la máxima cantidad de vapor de agua que se necesita para llegar al punto de saturación sin variar la temperatura (Córdova, 2002).

La temperatura y humedad relativa dentro del huerto son importantes, de esto depende el adecuado crecimiento de las plantas en cada una de sus etapas fenológicas, como se muestra a continuación:

- En la etapa de germinación se requiere una humedad dentro de los rangos de 65-70% de Hr y una temperatura de 20 a 25°C.

- Para el periodo vegetativo se requiere una humedad dentro de los rangos de 40-70% de Hr y una temperatura de 22 a 28°C.
- Durante el periodo de floración es importante una humedad dentro del rango de 40-50% de Hr y una temperatura de 18 a 24°C.

4.2.1 Sensor de temperatura y humedad relativa

Para la adquisición de las variables de temperatura y humedad relativa, se utiliza el sensor digital DHT11; es un sensor con una alta fiabilidad y estabilidad debido a su señal digital calibrada, figura 4.2. Este sensor tiene 2 pines para la alimentación y 1 pin de datos: VCC, GND y DATA; él envió de datos será a través de su salida digital DATA. Su principio de operación se basa de un sensor capacitivo para la humedad y de un termistor para la temperatura, ambos sensores ya están acondicionados por lo que no es necesario ningún otro circuito de acondicionamiento para la señal.



Figura 4.2: Sensor de humedad y temperatura DHT11.

Funcionamiento del sensor DHT11

A pesar de ser un dispositivo analógico se conecta a un pin digital. Dentro del mismo dispositivo se hace la conversión entre analógico a digital (acondicionamiento) para después ser enviada a un microcontrolador, figura 4.3.

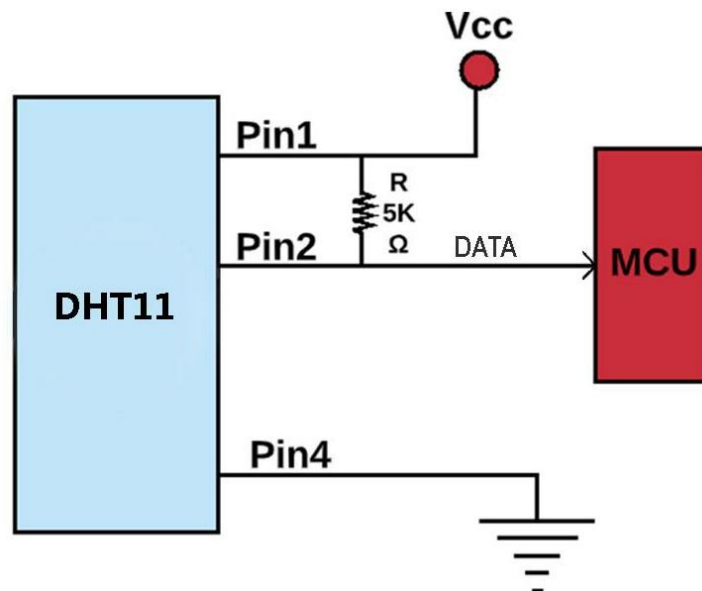


Figura 4.3: Conexión entre un microcontrolador y sensor DHT11

La trama de datos es de 40 bits correspondiente a la información de humedad y temperatura del DHT11. En la tabla 4.1 se muestra el envío de información.

0011 0101	0000 0000	0001 1000	0000 0000	0100 11 01
8 bits de humedad	8 bits de humedad	8 bits de temperatura	8 bits de temperatura	bits de paridad

Tabla 4.1: Envío de información en bits.

El primer grupo de 8 bits es la parte entera de la humedad y el segundo grupo la parte decimal de la humedad, el tercer grupo pertenece a la parte entera de la temperatura y el cuarto grupo a la parte decimal de la temperatura. El quinto grupo pertenece a los bits de paridad estos funcionan para confirmar que no exista un faltante de información o un dato dañado.

Para asegurar que la información solicitada sea correcta se debe de sumar los cuatro primeros grupos de 8 bits y como resultado deberá ser igual a los bits de paridad, de no serlo se deduce que la información es errónea.

Comprobación de envío y recepción de datos correctos.

$$0011\ 0101 + 0000\ 0000 + 0001\ 1000 + 0000\ 0000 = 0100\ 1101$$

Una de las ventajas que nos ofrece el DHT11, además de medir la temperatura y la humedad, es que es digital. A diferencia de sensores como el LM35, este sensor

utiliza un pin digital para enviarnos la información y, por lo tanto, estará más protegido frente al ruido.

Para este trabajo se colocaron cuatro sensores dentro del huerto a una altura de 1.80 m ya que el aire caliente se concentra en el techo, de esta manera con la ayuda del ventilador se mantiene una recirculación del aire para mantener una temperatura idónea dentro del huerto, figura 4.4.

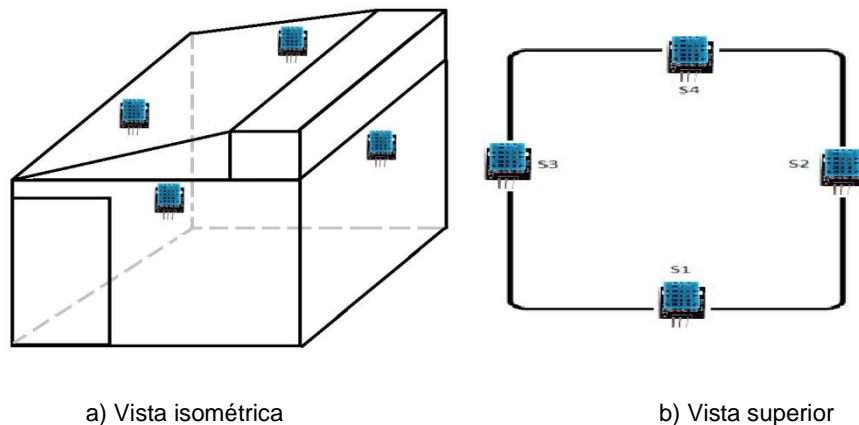


Figura 4.4: Ubicación de sensores de temperatura y humedad DHT11.

4.2.2 Media aritmética de las señales del sensor DHT11

Para tener una señal representativa del huerto se optó por realizar el promedio de las señales adquiridas por los sensores DHT11, con esta configuración se obtienen algunas ventajas como:

- Un valor general de temperatura y humedad relativa dentro del huerto urbano.
- La detección del fallo de uno de los sensores mediante el monitoreo de la desviación estándar. El aumento promedio de su magnitud informa sobre una irregularidad en el sistema de medición.
- Con la detección del fallo de un sensor se puede programar la emisión de una alerta para que se atienda la eventualidad.

4.2.3 Sensor de humedad de la tierra

La humedad de la tierra se denomina como la cantidad de agua que, por volumen de tierra, hay presente en un terreno. Como tal, es una característica fundamental para la formación, conservación, fertilidad y productividad de los suelos, así como para la germinación, crecimiento y desarrollo de las plantas.

El “Soil moisture sensor” o sensor de humedad de la tierra (figura 4.5), tiene la capacidad de medir el porcentaje de humedad del suelo. El principio de operación de este instrumento se basa en la aplicación de una pequeña tensión entre los terminales del módulo YL-69 el cual hace pasar una corriente que depende básicamente de la resistencia que se genera en el suelo (dependiente de la humedad en la tierra). Por lo tanto, al aumentar la humedad la corriente crece y viceversa. Es un sensor de bajo costo ideal para el uso de huertos urbanos o jardines.

Consiste en una sonda YL-69 con dos terminales separados adecuadamente y un módulo YL-38 que contiene un circuito comparador LM393 SMD (de soldado superficial) muy estable, un led de encendido y otro de activación de salida digital. Este último presenta 2 pines de conexión hacia el módulo YL-69, 2 pines para la alimentación y 2 pines de datos. VCC, GND, D0, A0.

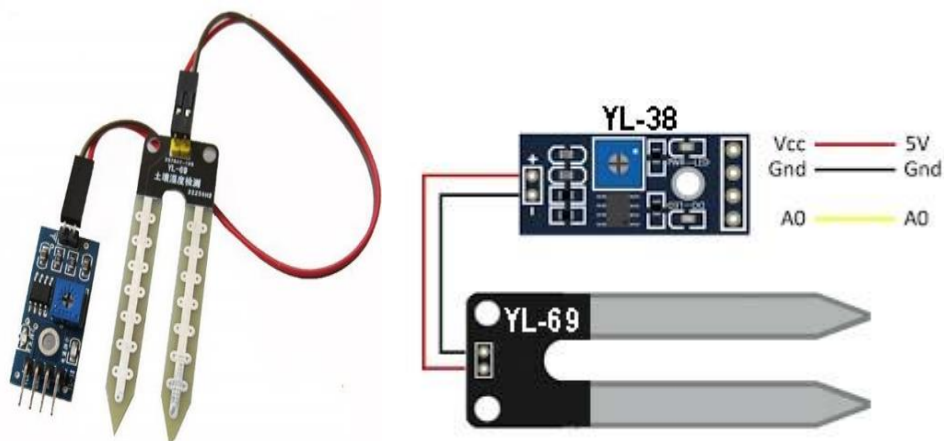


Figura 4.5: Sensor humedad de la tierra YL-69 y módulo YL-38.

Funcionamiento del módulo YL-38

El módulo YL-38 cuenta con un circuito comparador LM393, el cual activa una salida (OUT) de tipo ON/OFF de acuerdo con la comparación entre el nivel de tensión que entrega el sensor y el ajustado mediante la resistencia variable R2. Además, posee dos Leds para indicar si la placa está energizada (D1) y si la salida está activa (D2). La línea AC nos permite medir el nivel de tensión que entrega el sensor sin pasar por el comparador figura 4.6.

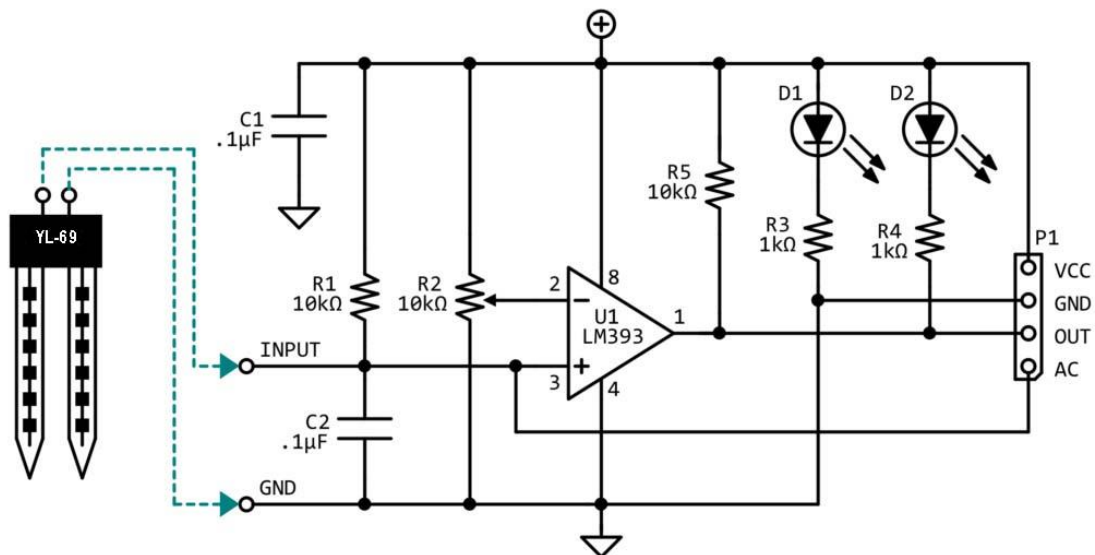


Figura 4.6: Conexión del sensor de humedad de la tierra YL-69 y módulo YL-38.

Estos sensores ayudaran por el momento solo al monitoreo de la humedad de la tierra.

4.3 Adquisición de datos, despliegue y registro

4.3.1 Tarjeta de adquisición de datos

Un microcontrolador es un circuito integrado programable capaz de realizar operaciones matemáticas complejas a gran velocidad. Una vez programado trabaja de forma autónoma adquiriendo la información proveniente de los instrumentos de medición, para poder enviar señales de control hacia los actuadores.

En este proyecto de investigación se centró en el uso de la tarjeta de adquisición de datos Arduino.

Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basa en hardware y software fácil de usar. Arduino es capaz de recibir como entrada las señales provenientes de varios sensores y generar, de acuerdo a su programación, las señales correspondientes para modificar el entorno al controlar luces, motores entre otros actuadores. El hardware consiste en una placa con un microcontrolador Atmel y puertos de entrada/salida (digitales y analógicas).

En la tabla 4.2 se muestra un cuadro de comparación paralela de las tarjetas Arduino Mega 2560, Micro, Pro Mini, Uno y Due.

Nombre	Procesador	Voltaje de alimentación	Frecuencia de trabajo	Pines digitales IO/PWM	Pines analógicos In/Out	Memoria EE PROM[Kb]	Memoria SRAM[Kb]	Memoria Flash[Kb]	USB	UART
Mega 2560	ATmega2560	5V/7-12V	16 MHz	54/15	16/0	4	8	256	Regular	4
Micro	ATmega32U4	5V/7-12V	16 MHz	20/7	12/0	1	2.5	32	Micro	1
Pro Mini	Atmega328P	3.3V/3.35-12V 5V/5-12V	8 MHz 16 MHz	14/6	6/0	1	2	32	-	1
Uno	ATmega328P	5V/7-12V	16 MHz	14/6	6/0	1	2	32	Regular	1
Due	ATSAM3X8E	3.3V/7-12V	84 MHz	54/12	12/2	-	96	512	2 Micro	4

Tabla 4.2: Comparación de tarjetas Arduino.

Con base a los pines de entrada y salida de los sensores y módulos que se utilizan y además de un extenso código en el sistema, Arduino mega 2560 cumple estas características, siendo una placa de bajo costo, con unas altas prestaciones técnicas, además de software/hardware libre, figura 4.7.

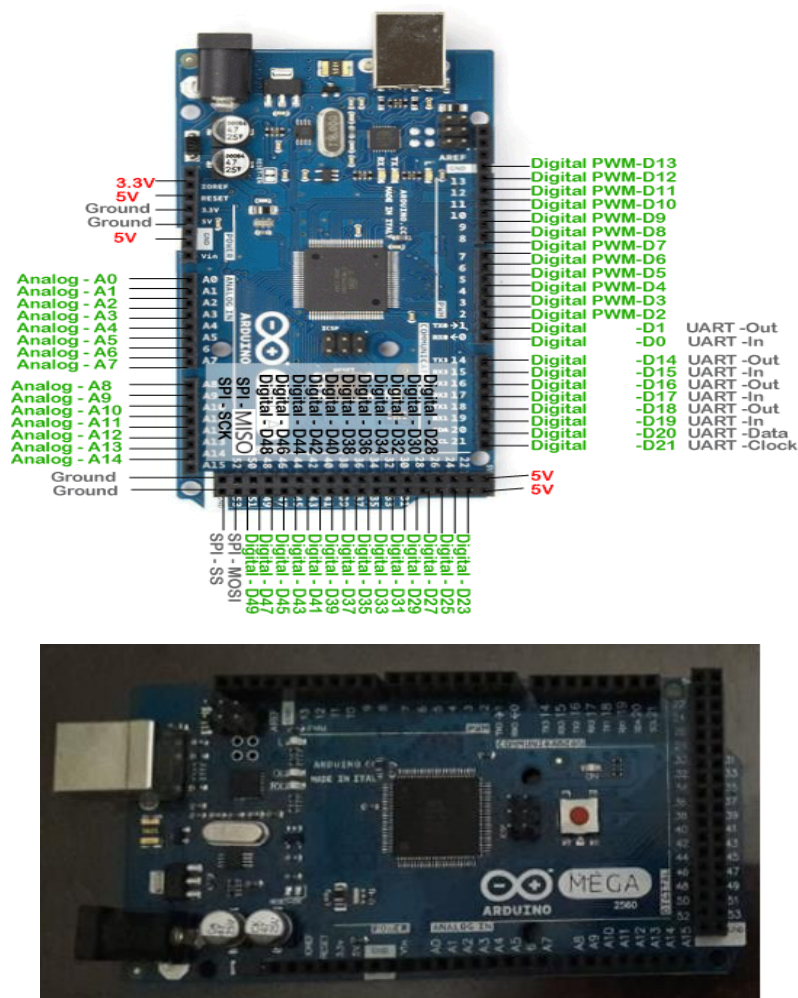


Figura 4.7: Tarjeta Arduino Mega 2560.

4.3.2 Presentación y registro de los datos

Para la presentación de los datos se utiliza una pantalla de cristal líquido, por sus siglas en inglés LCD (Liquid Crystal Display) de 16x2, figura 4.8. Es decir, que dispone de 2 filas de 16 caracteres cada una, utilizado para visualizar la información de forma gráfica, por medio de caracteres y símbolos.

Para la conexión del LCD utilizaremos los pines GND, Vcc, Contraste, RS, RW, EN, D4, D5, D6, D7, Blacklight (+) y Blacklight (-).

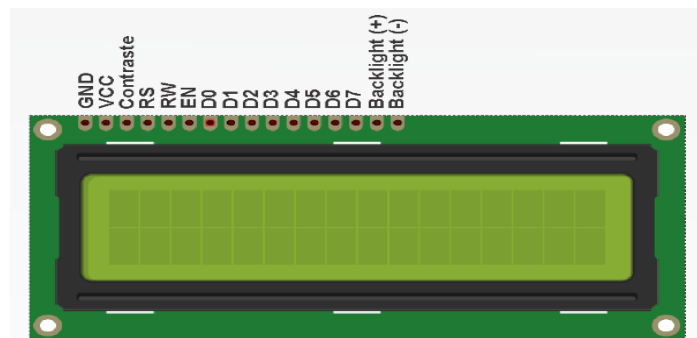


Figura 4.8: Pantalla de cristal líquido 16x2.

Para la información adquirida por los sensores DHT11, se utiliza un módulo lector de memorias MicroSD, figura 4.9. Éste permite el almacenamiento de datos dependiendo de la capacidad de la memoria instalada. Además, la memoria de las tarjetas MicroSD **no es volátil**, guardando la información inclusive, en caso de un apagado o reinicio de la placa Arduino mega.

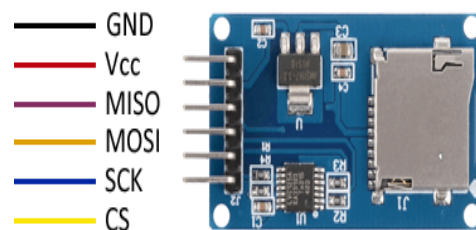


Figura 4.9: Módulo lector de memorias MicroSD.

En la figura 4.10, se muestra la conexión de censado de temperatura y humedad relativa, presentación de datos en el LCD y guardado de datos en la tarjeta MicroSD.

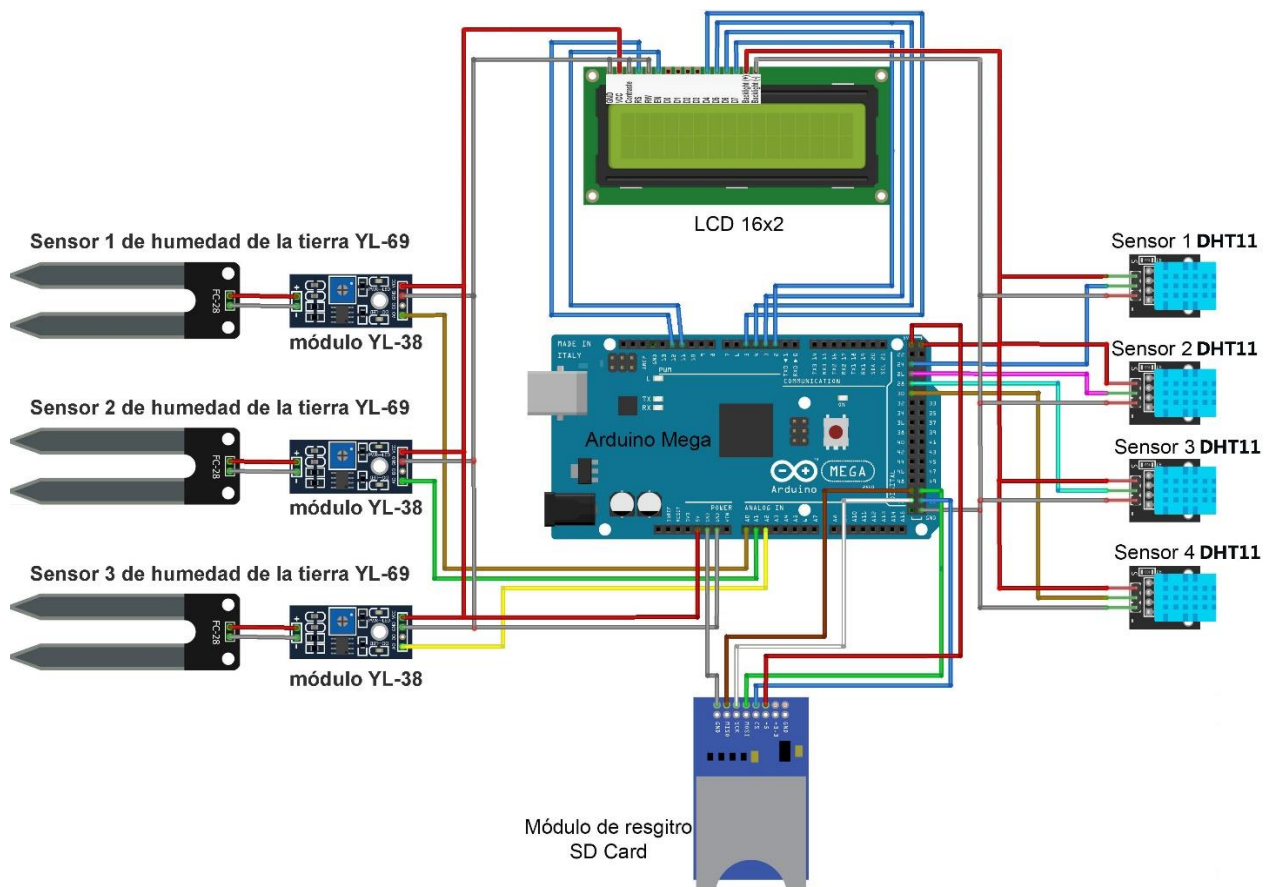


Figura 4.10: Diagrama de conexión en Arduino Mega del sistema de instrumentación.

La figura 4.11, muestra el diagrama de bloques de comunicación y pines analógicos/digitales utilizados en Arduino Mega para las señales de entrada y salida, LCD y tarjeta MicroSD.

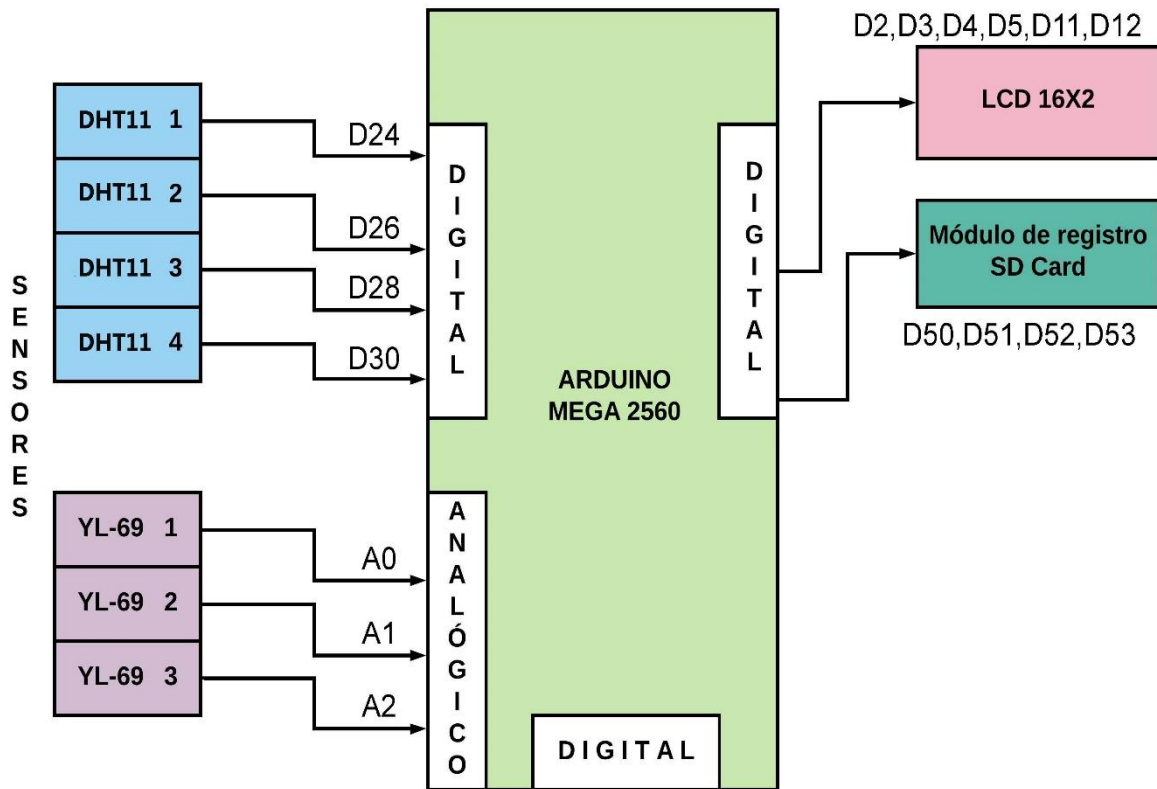


Figura 4.11: Diagrama de bloques del sistema de instrumentación.

Capítulo 5

Este capítulo trata de la automatización del huerto urbano que consiste en la supervisión y control de las variables más importantes en el cultivo de plantas. Los objetivos son generar riegos necesarios para que el cultivo tenga un buen desarrollo y producción. Además, de mantener la temperatura ambiental óptima para el cultivo con el encendido/apagado de un ventilador durante el día y una lámpara incandescente durante la noche.

Automatización

Es la aplicación de diferentes tecnologías para controlar y monitorear un proceso, maquina, aparato o dispositivo que por lo regular cumple funciones o tareas repetitivas, haciendo que opere automáticamente, reduciendo al mínimo la intervención humana.

5.1 Automatización del riego

La automatización del riego tiene como función el suministrar agua a los diferentes cultivos en el huerto por medio de dos sistemas; aspersión y goteo.

Esquema de control en lazo abierto para el sistema de riego

En la figura 5.1, se muestra el sistema de control en lazo abierto para el sistema de riego, que está conformado por un temporizador modelo TEMP-310 como sistema de control y una bomba de ½ Hp como actuador.

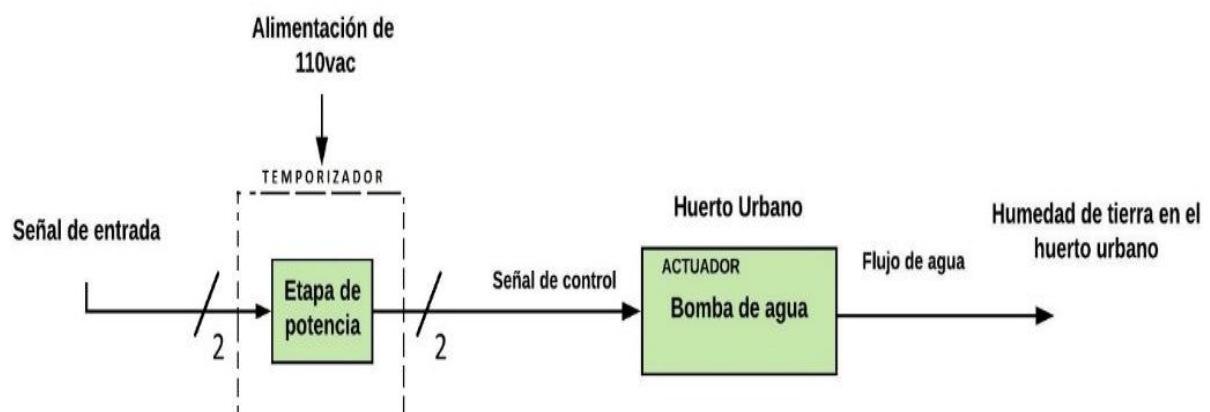


Figura 5.1: Esquema de control en lazo abierto.

En la figura 5.2, se muestra el diagrama de flujo del sistema de riego. En esta representación gráfica del proceso se observan dos sentencias de condición “if”, empleadas para realizar la comparación lógica temporal para la realización de riegos.

Diagrama de flujo del sistema de riego

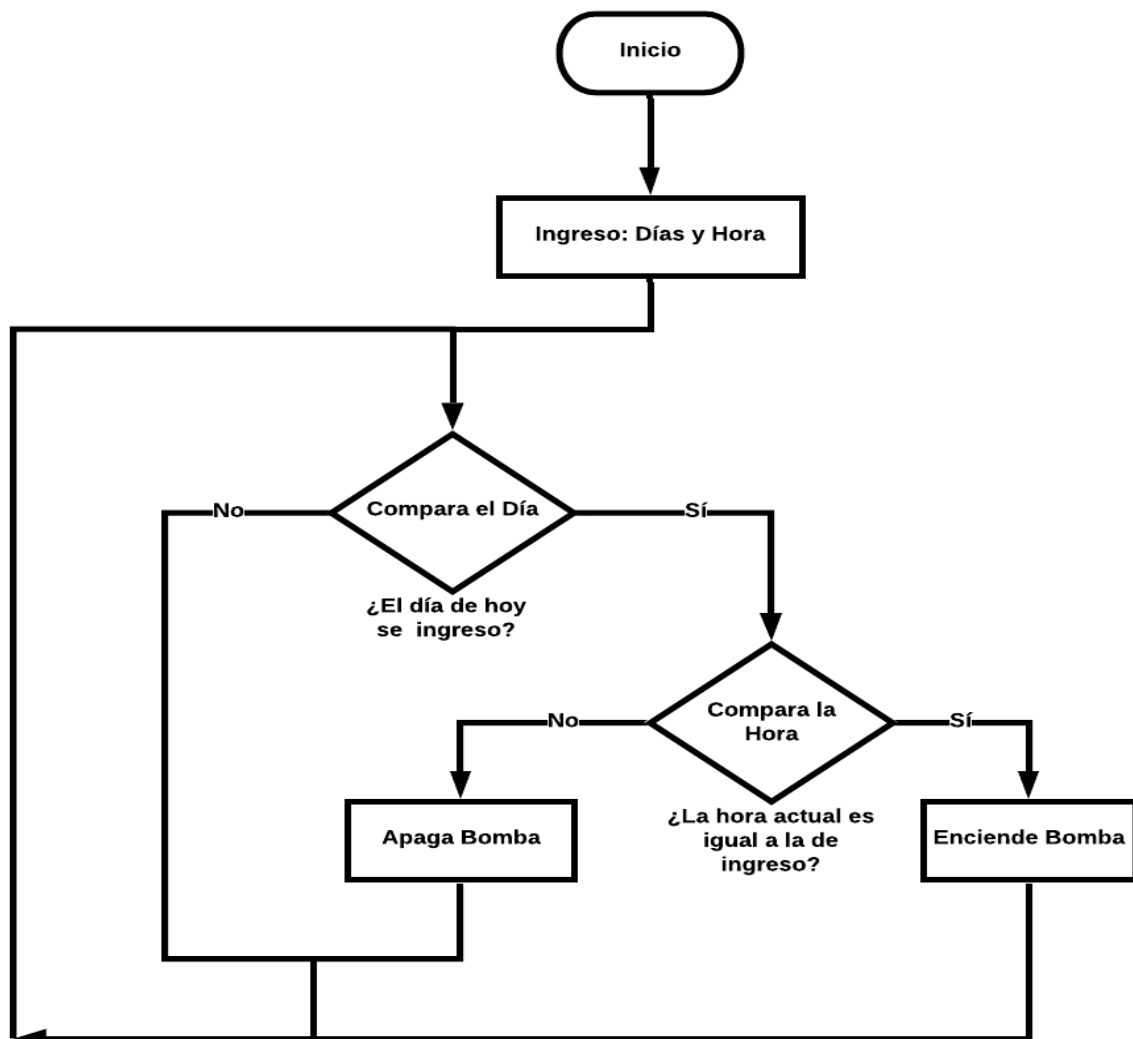


Figura 5.2: Diagrama de flujo del algoritmo de automatización temporal del sistema de riego.

Programación de los riegos

El control de riego se basa en un temporizador o timer que consiste de dos canales de salida con la capacidad de almacenar hasta ocho eventos. Este es un dispositivo que se alimenta a 110 Vac y puede activar bombas de hasta 1 caballo de fuerza [Hp], figura 5.3.



a) Vista frontal de panel



b) Vista inferior de canales de salida

c) Vista superior de alimentación

Figura 5.3: Temporizador modelo TEMP-310.

En la figura 5.4 se muestra la conexión del temporizador y la bomba de riego.

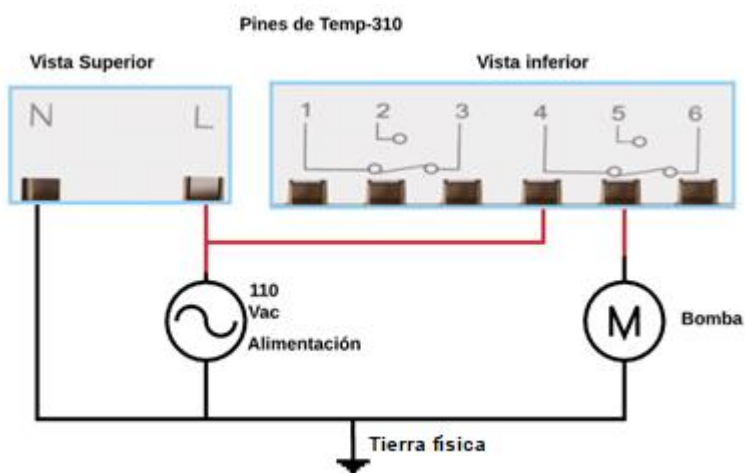


Figura 5.4: Conexión de temporizador y bomba.

Una vez activada la bomba, esta inyecta agua a los goteros a través del sistema hidráulico y manguera de riego con un diámetro de $\frac{1}{2}$ ". Para que los goteros operen adecuadamente se requiere de una presión en el rango de $1 < p < 2$ psi, o su equivalente en kPa.

Para regular la presión se emplea una línea de retorno como se muestra en la figura 5.5.

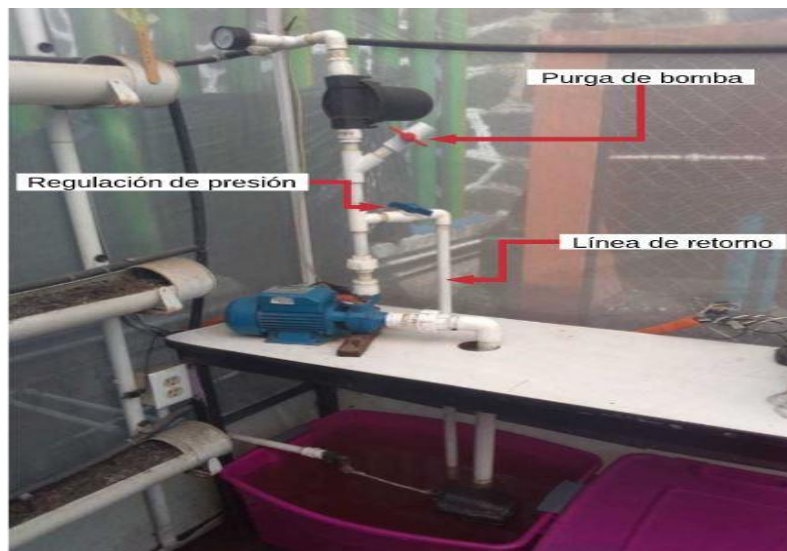


Figura 5.5: Línea de retorno para regular la presión del agua.

El sistema dosifica a través de los goteros un flujo de 0.4 litros por hora.

La cantidad de riegos y su duración se realiza con base a una prueba de irrigación de goteros, que depende de la presión que suministra el sistema de bombeo. Con los resultados obtenidos y el conocimiento de las características de la planta se programa el número de riegos y su duración por día, considerando las diferentes etapas fonológicas del cultivo³.

De acuerdo con los requerimientos del cultivo, se programaron dos riegos por día, con una duración de 1 minuto cada uno. Comenzando con el primer riego a las 06:00 horas, terminando a las 06:01 horas del día y un segundo riego a las 12:00 horas, terminando a las 12:01 horas. De esta manera se garantizó una irrigación de 200 ml por cada riego otorgándole 400 ml a cada planta por día. En una etapa posterior se pretende implementar la automatización del riego con ayuda de los sensores YL-69 mencionados en el capítulo 4.

³ Etapas fenológicas del cultivo: 1) Vegetativa, 2) reproductiva y 3) maduración

5.2 Automatización de la temperatura

El control de temperatura permite crear un clima idóneo para el cultivo y desarrollo de este durante sus etapas de desarrollo, con esto se obtiene un óptimo crecimiento y mayor producción. Esto permite tener mejores ventajas como es: cultivar fuera de época, ahorro de agua, menor riesgo de daños por cambios climatológicos, etc. Para la automatización de temperatura se utilizan diferentes elementos como sensores, tarjetas electrónicas y etapa de potencia, bajo un esquema en lazo cerrado.

5.2.1 Esquema de control

Este enfoque consiste en comparar una variable medida (salida de la planta $y(s)$) con un valor deseado (punto de referencia $r(s)$), a la señal de comparación se le llama error $e(s)$, y empleando un controlador (on/off, P, PI, PD, PID), este actúa de tal modo que reduce esa señal, garantizando un comportamiento deseado.

Existen dos tipos de sistemas de control:

- **Sistema de control en lazo cerrado**

En un sistema de control en lazo cerrado, figura 5.6, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación (señal de salida), con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado (Ogata. 2010).

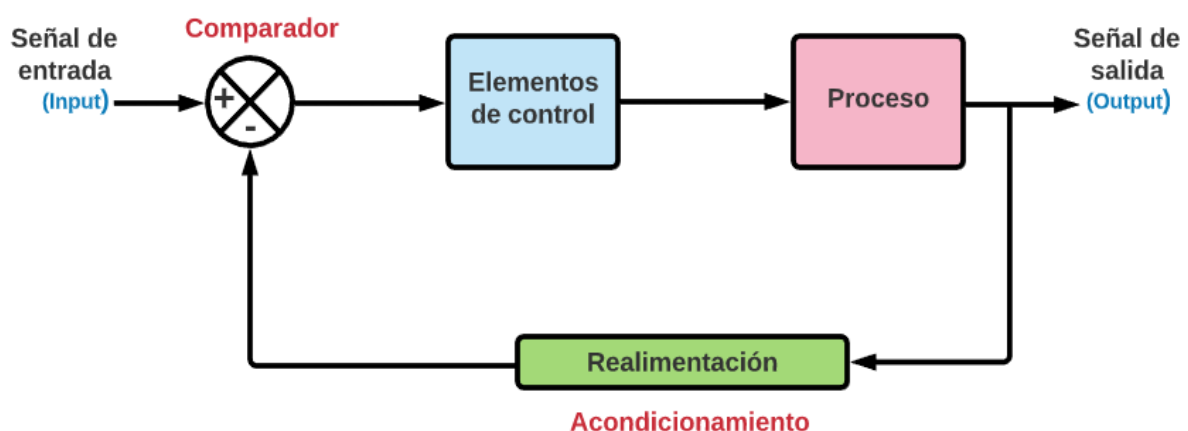


Figura 5.6: Diagrama de bloques en lazo cerrado.

- **Sistema de control en lazo abierto**

A los sistemas en los cuales la salida no tiene efecto sobre la acción de control se denominan sistemas de control en lazo abierto figura 5.7. En otras palabras, en un sistema de control en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada. (Ogata, 2010).

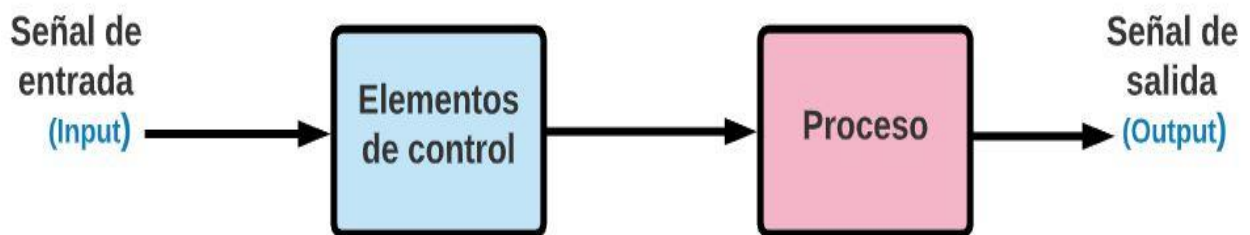


Figura 5.7: Diagrama de bloques en lazo abierto.

5.2.1.1 Control encendido/apagado (on/off)

Este tipo de controlador sólo proporciona dos estados: encendido o apagado, por lo tanto, el actuador tiene dos posiciones fijas (Ogata, 1998).

La figura 5.8 muestra la relación entre la salida de control $u(t)$ y la señal de error $e(t)$. La ecuación 5.1, define la relación matemática entre ambas señales.

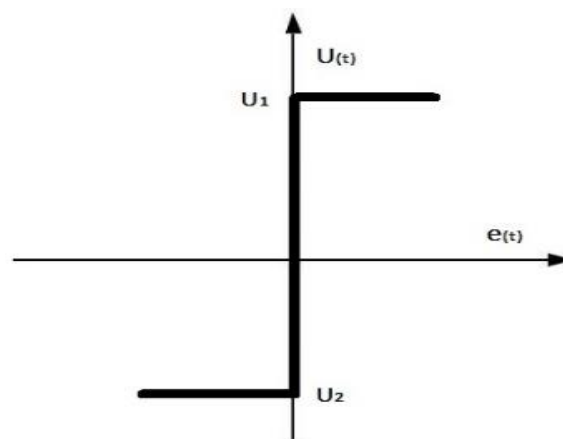


Figura 5.8: Grafica de control on-off.

$$U(t) = \begin{cases} U_1, & \text{para } e(t) \geq 0, \\ U_2, & \text{para } e(t) < 0, \end{cases} \quad \text{Ecuación 5.1}$$

En la figura 5.9, se muestra el sistema de control on/off en lazo cerrado para el control de temperatura que está conformado por una tarjeta electrónica, un ventilador, luminaria, sensor, acondicionador, etapa de potencia e indicador.

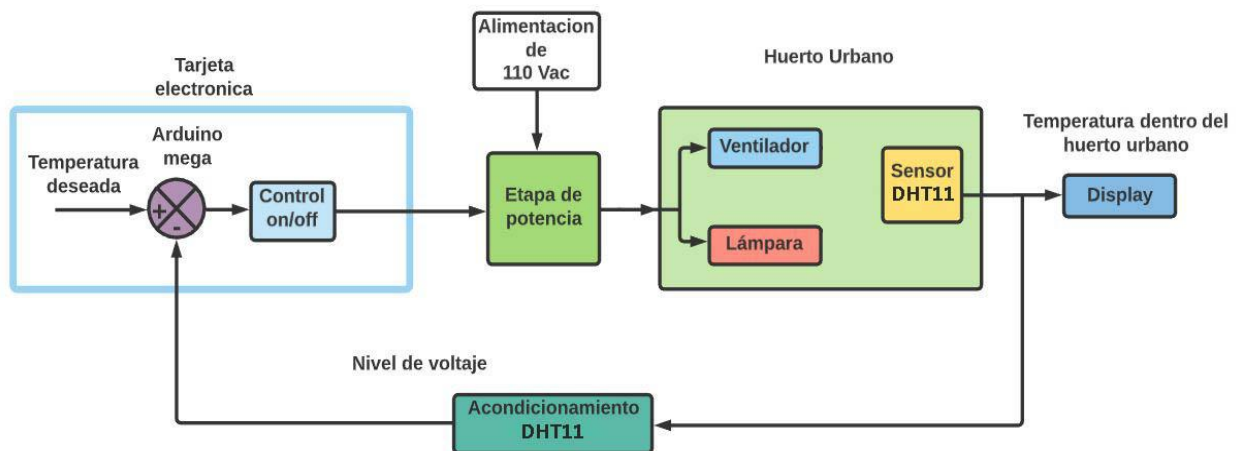


Figura 5.9: Sistema de control de temperatura.

Para tener un control de temperatura, se realiza un programa de acuerdo con el diagrama de flujo de temperatura, figura 5.10, la programación se realiza en la tarjeta Arduino Mega.

Actuador

Un actuador es un dispositivo que transforma una señal comúnmente eléctrica, neumática o hidráulica en un movimiento angular o lineal (ventilador). Las luminarias también se consideran un actuador, por generar energía térmica y por tanto un cambio en el estado de la temperatura del huerto urbano.

En general, el objetivo de un actuador como tarea específica, es modificar el estado de un sistema: clima, humedad relativa, humedad de la tierra, etc.

En la figura 5.10, se muestra el diagrama de flujo del sistema de temperatura. En el diagrama de flujo se observan cuatro sentencias de condición "if", empleadas para realizar la comparación lógica temporal para encender o apagar el ventilador y la luminaria. Para esto es necesario contar con un sistema de ventilación y calefacción que mantenga el mayor tiempo posible la temperatura dentro del huerto urbano en un rango de $18^{\circ}\text{C} \leq T \leq 28^{\circ}\text{C}$ durante todas las estaciones del año.

Diagrama de flujo temperatura

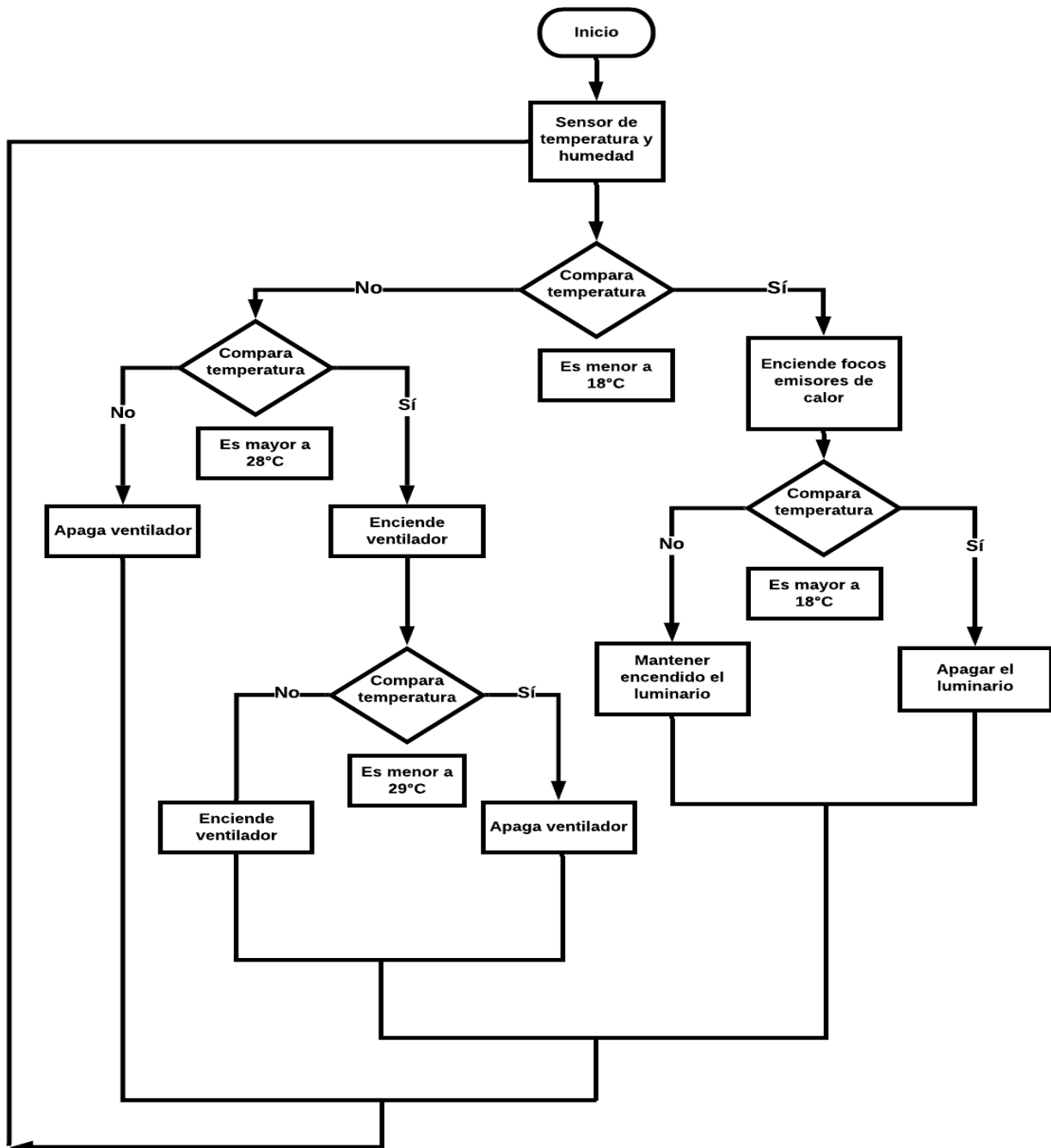


Figura 5.10: Diagrama de flujo del algoritmo de control de temperatura.

Control de ventilación

En la Ciudad de México tenemos presente las estaciones del año y su pronóstico de temperaturas como se mencionan a continuación:

- Primavera: inicia el 20 de marzo y finaliza el 21 de junio.

Las temperaturas oscilan entre los 8 °C entre las mínimas y máximas de 32 °C.

- Verano: inicia el 21 de junio y finaliza el 22 de septiembre.
Las temperaturas oscilan entre los 12 °C entre las mínimas y máximas de 29 °C.
- Otoño: inicia el 22 de septiembre y finaliza el 21 de diciembre.
Las temperaturas oscilan entre los 1 °C entre las mínimas y máximas de 26 °C.
- Invierno: inicia el 21 de diciembre y finaliza el 20 de marzo.
Las temperaturas oscilan entre los 1 °C entre las mínimas y máximas de 30 °C.
Información obtenida en (Meteored, 2018-2019).

Las temperaturas pueden ser mayores de 30 °C durante las estaciones de primavera e invierno, afectando así el desarrollo de las plantas. Para esto importante tener un flujo de aire dentro del huerto, para ello las paredes del huerto se encuentran protegidas con malla antiáfidos, esto ayuda a la ventilación natural, permitiendo la entrada de aire fresco, dejando salir el aire caliente a través de dicha malla, ayudando a disminuir las temperaturas durante las estaciones del año.

El ventilador apoya al mantenimiento de la temperatura dentro de lugares cerrados o parcialmente cerrados, mediante la transmisión de un flujo constante de aire. Es verdad que el ventilador no tiene capacidad de refrigeración, ya que su sistema es para mover el flujo de aire, independientemente de su temperatura.

En la figura 5.11, se muestra el sistema de ventilación de 55 watts de potencia, colocado a una altura de 1.8 m dentro de la estructura en la esquina superior norteponiente del huerto urbano. (Ubicación 19°21'30.5"N 98°59'58.5"W).



Figura 5.11: Ventilador de pedestal.

Control de calefacción

El cultivo se debe proteger de las bajas temperaturas en específico durante la temporada de invierno durante los meses diciembre a febrero, para ello se coloca un sistema de calefacción compuesto por lámparas de 150 Watts ayudando en el aumento de la temperatura durante las estaciones del año, evitando así daños al crecimiento y desarrollo del cultivo. Dentro del huerto se coloca un luminario de tres lámparas de alógeno que están diseñadas para generar calor, figura 5.12. Este se activa por un esquema de control on/off y una retroalimentación de los valores obtenidos por los sensores DHT11, el monitoreo se realizará cada 2 minutos.



Figura 5.12: Luminaria compuesta de tres lámparas de 150 Watts.

En la programación se fija un rango de temperatura mínima, activando la luminaria una vez alcanzada la temperatura mínima y desactivándose la luminaria una vez alcanzada la temperatura fijada como máxima de acuerdo con el diagrama de flujo de temperatura de la figura 5.10.

Para la activación/desactivación de la luminaria y ventilador se ocupa un módulo de potencia 2PH63091A, figura 5.13, este permite controlar equipos de alto voltaje y/o amperaje, los cuales no pueden ser activados directamente con la señal de salida de Arduino Mega.



Figura 5.13: Módulo de potencia modelo 2PH633091A.

En la figura 5.14, se muestra el diagrama de bloques de interconexión entre la tarjeta electrónica, la etapa de potencia y los periféricos de instrumentación del sistema.

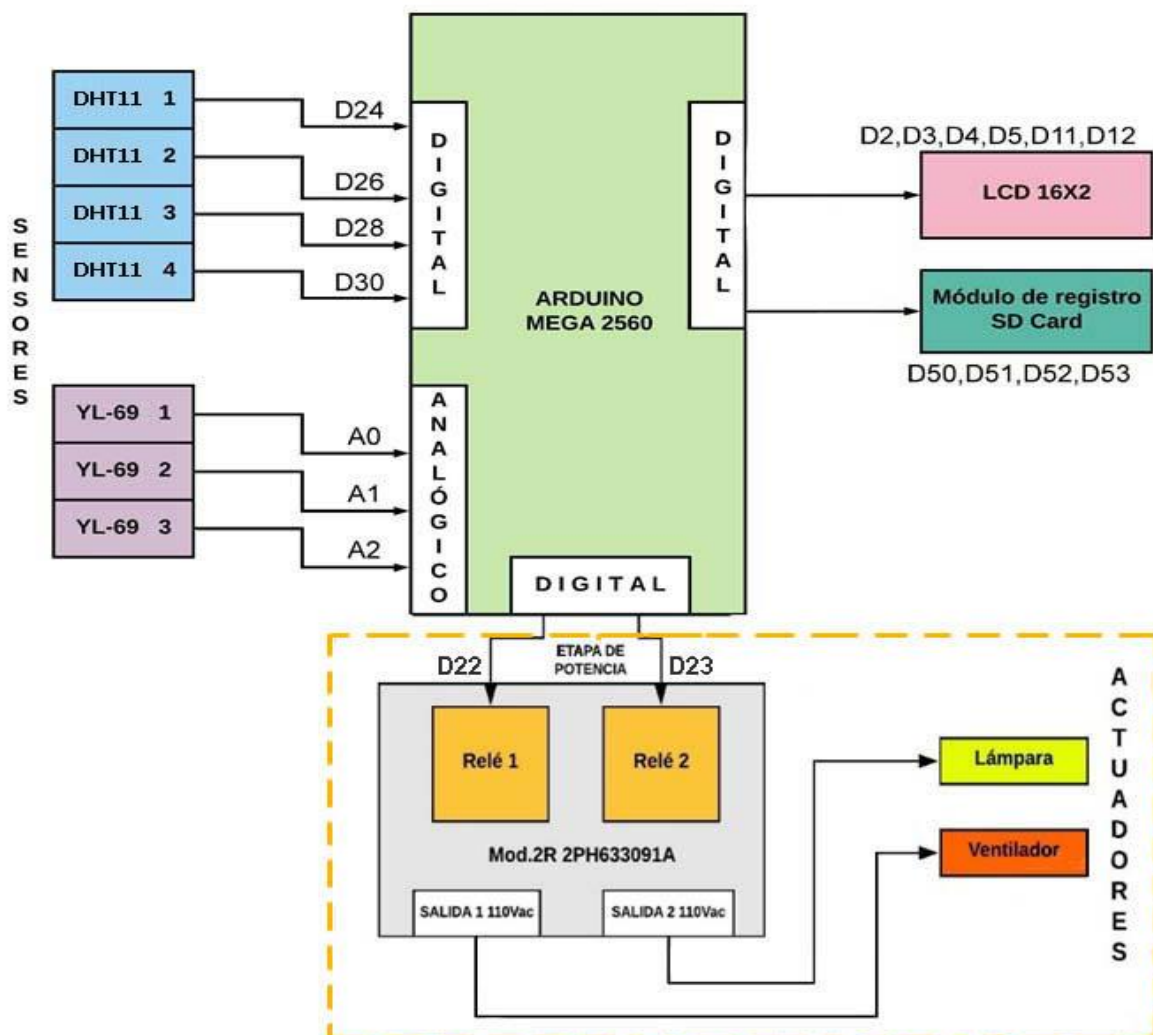


Figura 5.14: Diagrama de bloques del sistema de interconexión entre la tarjeta electrónica, la etapa de potencia y los periféricos de instrumentación del sistema de temperatura, monitoreo y registro de datos.

En la figura 5.15 se muestra la interconexión entre la tarjeta Arduino Mega, el módulo de potencia de 2 relevadores y los actuadores.

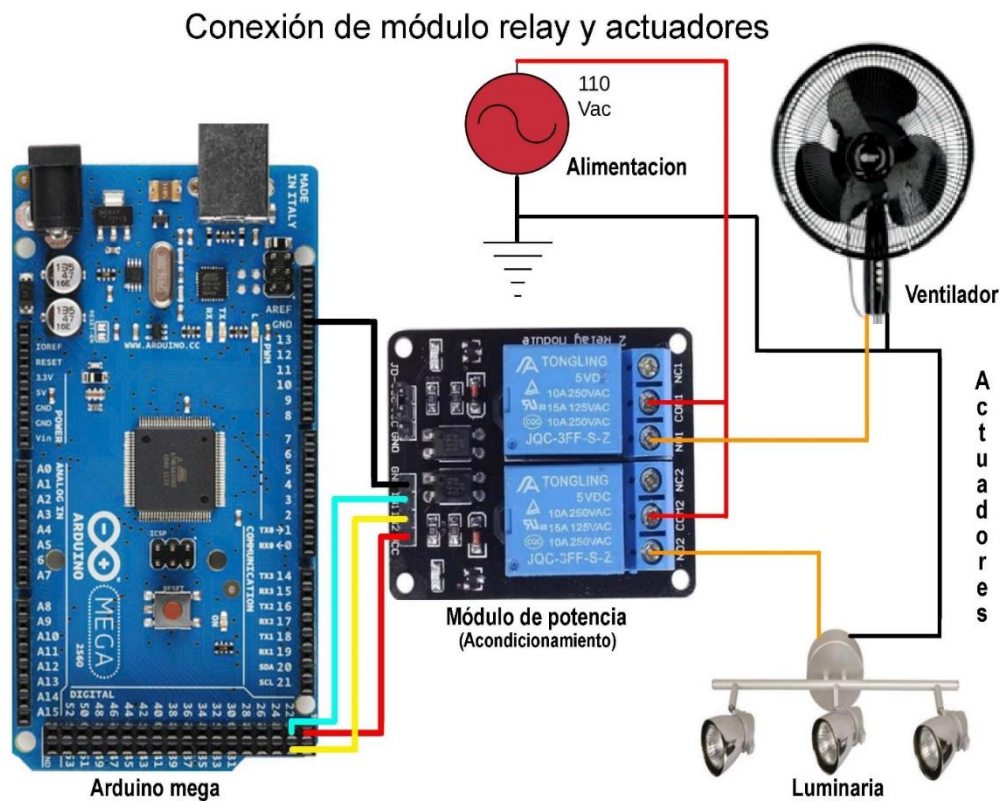


Figura 5.15: Diagrama de interconexión entre la tarjeta electrónica, la etapa de potencia del sistema de ventilación y calefacción.

5.3 Despliegue de datos de temperatura, humedad relativa (Hr) y humedad de la tierra

La lectura de los cuatro sensores DHT11 y de los tres sensores YL-69 se mandan a desplegar en la pantalla LCD, el despliegue de la información tiene la siguiente secuencia cuando comienza a funcionar correctamente todo el sistema de sensores en conjunto con Arduino mega:

Como primera pantalla tenemos el comienzo de nuestro programa en el cual indica que iniciara el registro de cada uno de los sensores figura 5.16.



Figura 5.16: Inicialización del sistema.

En la segunda pantalla se realiza la comprobación de que se encuentra una memoria MicroSD insertada figura 5.17.

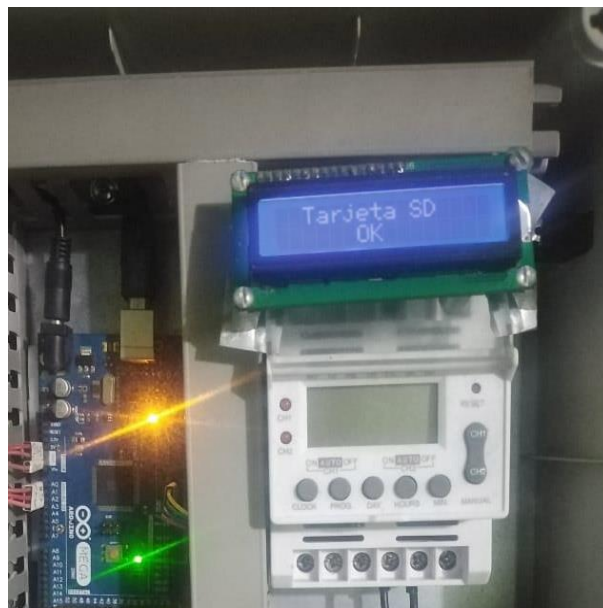


Figura 5.17: Tarjeta SD funcionando detectada correctamente.

Como tercera pantalla se muestra los datos del primer sensor DHT11 figura 5.18.

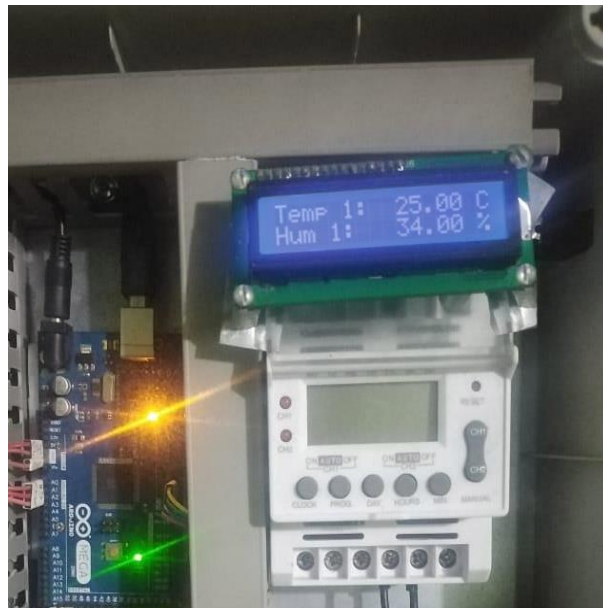


Figura 5.18: Sensor 1 DHT11.

Como cuarta pantalla se muestran los datos del segundo sensor DHT11 figura 5.19.

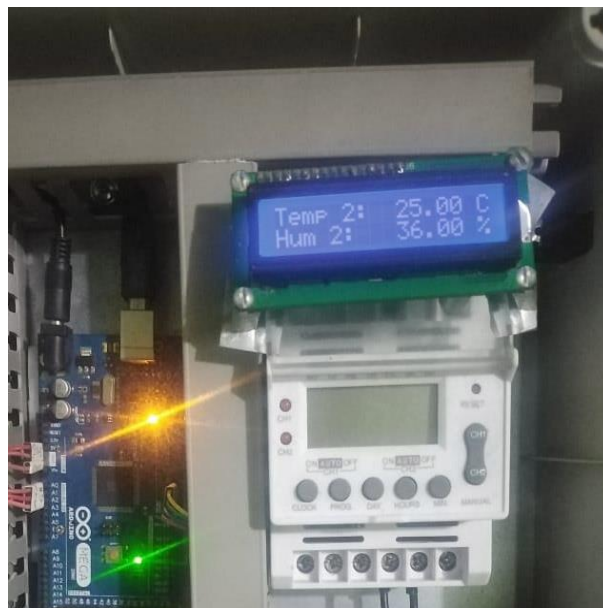


Figura 5.19: Sensor 2 DHT11.

Como quinta pantalla se muestran los datos del tercer sensor DHT11 figura 5.20.

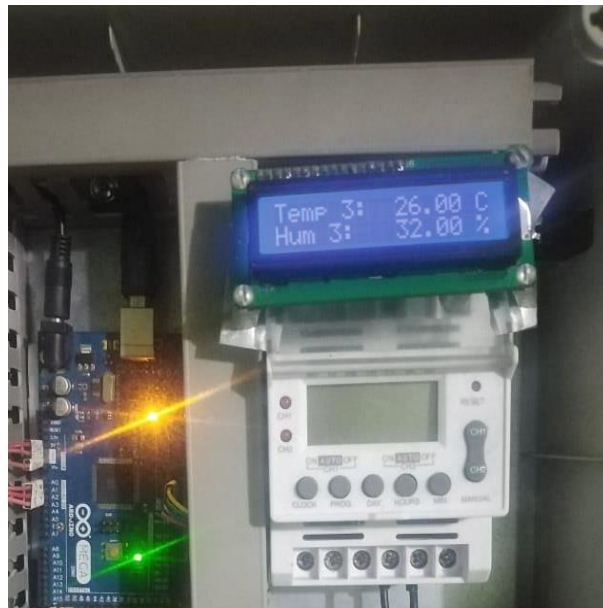


Figura 5.20: Sensor 3 DHT11.

Para la quinta pantalla se muestran los datos del cuarto sensor DHT11 figura 5.21.

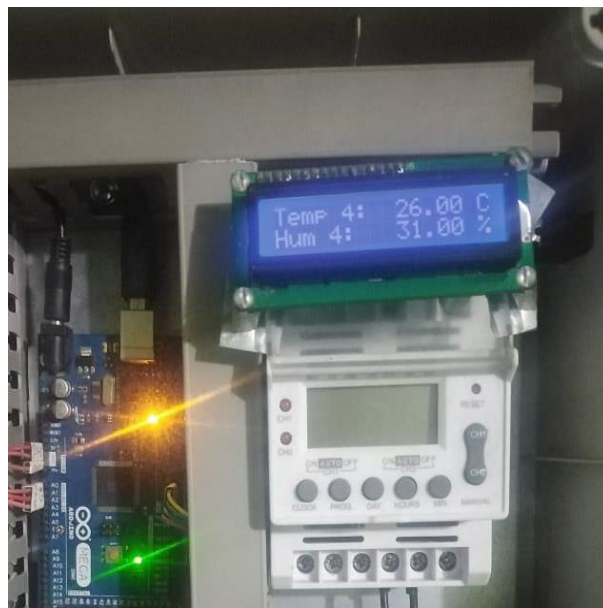


Figura 5.21: Sensor 4 DHT11.

Enseguida, se muestran los datos del primer sensor YL-69 el cual se encuentra cerca de la raíz de un betabel, mostrándonos el porcentaje de humedad de la tierra figura 5.22.

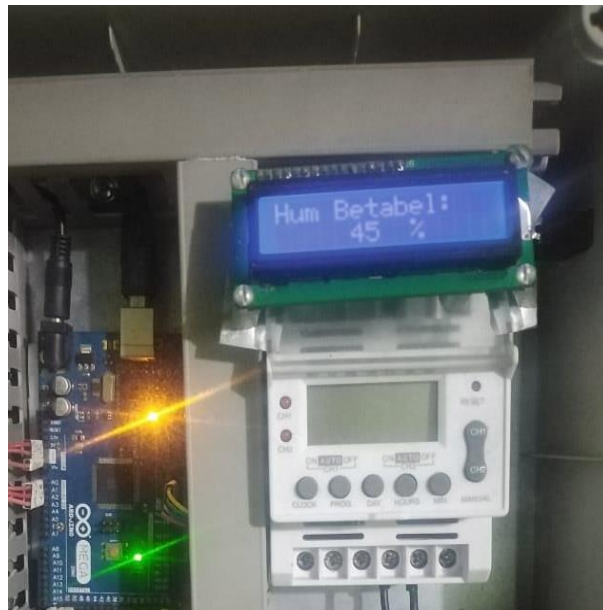


Figura 5.22: Humedad de la tierra del sensor 1 YL-69 en el cultivo de betabel.

Después se mostrará el dato del segundo sensor YL-69 cerca de la raíz de una espinaca, dándonos el porcentaje de humedad de la tierra figura 5.23.

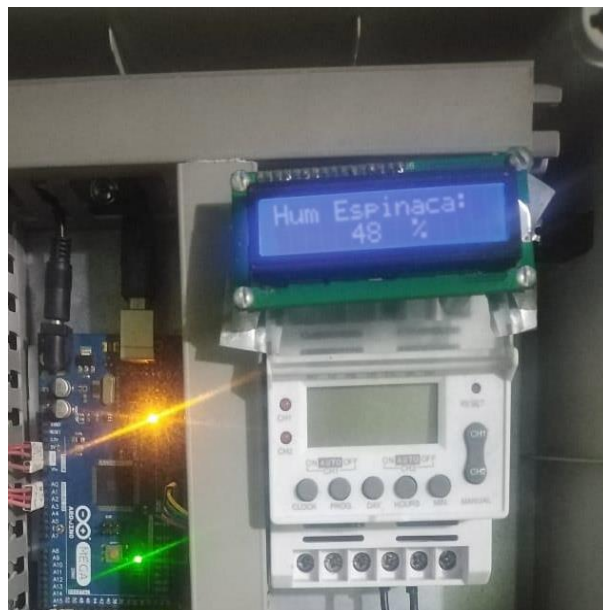


Figura 5.23: Humedad de la tierra del sensor 2 YL-69 en el cultivo de espinaca.

Para la última lectura se muestra el tercer sensor YL-69 que se encuentra cerca de la raíz de un ejote, donde se visualizará el porcentaje de humedad de la tierra figura 5.24.

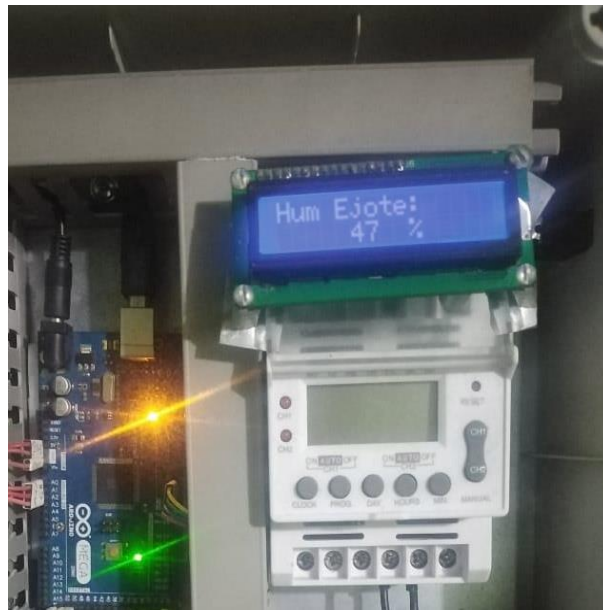


Figura 5.24: Humedad de la tierra del sensor 3 YL-69 en el cultivo de ejote.

Ya concluido el sensado y despliegue de datos en el LCD, se arrojará el promedio de los datos obtenidos por los cuatro sensores DHT11, mostrándonos la temperatura y humedad relativa promedio dentro del huerto urbano figura 5.25; permitiendo determinar si el ambiente dentro del huerto está dentro del rango óptimo de temperatura y humedad relativa, en caso de estar fuera de estos rangos se llevaría a cabo el encendido o apagado del ventilador o la luminaria dependiendo el caso presente.

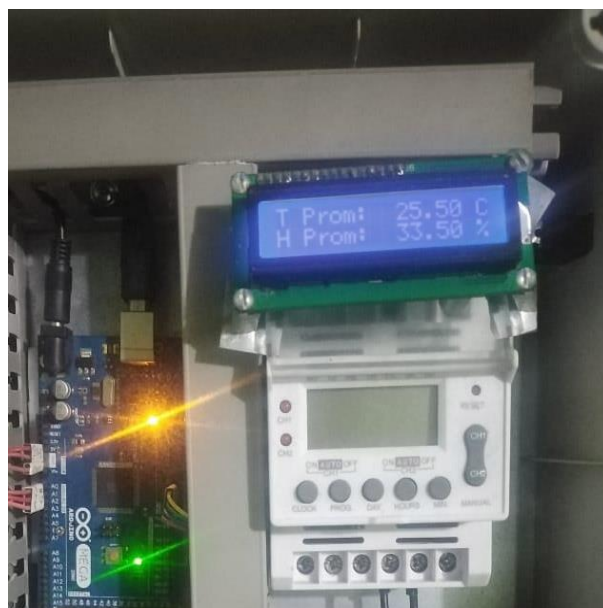


Figura 5.25: Temperatura y humedad promedio de los cuatro sensores DHT11.

Para continuar se muestra un mensaje donde indica que se generó correctamente la lectura de sensores y se realiza el guardado de la temperatura humedad relativa y humedad de suelo promedio de los sensores figura 5.26.



Figura 5.26: Guardado del promedio obtenido por los sensores.

Como penúltima pantalla se muestra un mensaje el cual indica que se realizará una nueva lectura de datos por los sensores figura 5.27.



Figura 5.27: Se realizará una nueva lectura de los valores adquiridos por los sensores.

Finalmente, la ultima pantalla despliega un nombre, frase o palabra elegido por los usuarios (figura 5.28), este indicara que la siguiente pantalla en mostrarse sera los nuevos datos obtenidos del sensor1 DHT11, así repitiendo esta misma secuencia nuevamente.



Figura 5.28: Finaliza secuencia de despliegue de datos.

En la tabla 5.1 se muestra el consumo de potencia de cada elemento que compone el sistema de actuadores del huerto urbano.

Sistema	Cantidad	Potencia [Watts]
Bomba de agua (1/2 HP)	1	372.9
Ventilador	1	55.0
Luminaria	1	150.0
Arduino Mega	1	1.1
Total		579.0

Tabla 5.1: Consumo en potencia de cada elemento y total del sistema.

Capítulo 6

Resultados obtenidos

6.1 El huerto

Se diseñó y construyó un huerto urbano de dimensiones 3.70 x 2.50 x 2.30 metros (largo x ancho x alto) forrado con plástico de opacidad y malla antiáfidos. Éste tiene una puerta principal y su techo tiene la característica para proteger contra factores ambientales como los cambios constantes de temperatura, precipitación y radiación UV.

La puesta de plástico para invernadero y malla antiáfidos ofrecen seguridad y protección para el ingreso de animales, plagas y por personal ajeno al cultivo.

Para el sistema de cultivo se utilizaron mesa de cultivo y de contenedores de PVC, esta técnica está diseñada para espacios urbanos reducidos.

6.2 Germinación

El uso de semillas certificadas garantiza la eficiencia y calidad en la germinación. Para verificar la calidad de las semillas se ocupó la fórmula para determinar el porcentaje de germinación vista en el capítulo 3. En la tabla 6.1, se muestra el porcentaje de germinación de las hortalizas cosechadas en el huerto urbano, empleando la tabla 3.1 para su ponderación.

Especie	Tiempo de germinación	Semillas puestas a germinar	Semillas germinadas	% de germinación	Calidad
Acelga	7-9 días	20	19	95	Excelente
Cebolla de cambray	8-10 días	15	13	86.67	Muy buena
Frijol Ejotero	4-6 días	16	16	100	Excelente
Jitomate cereza	8-12 días	12	10	83.33	Muy buena
Rábano	4-6 días	50	48	96	Excelente
Zanahoria	12-15 días	50	47	94	Excelente
Lechuga	4-6 días	16	14	87.5	Muy buena
Cilantro	8-10 días	12	11	91.67	Excelente

Tabla 6.1: Porcentaje y calidad de germinación.

6.3 Cosecha

Tener un huerto urbano protegido es excelente para la producción a pequeña escala de algunos alimentos, uno de los beneficios es la calidad de los productos por su frescura y por aportar a la conservación ecológica de la comunidad.

En el huerto urbano se cultivaron plantas cuyas semillas, raíces, frutos y hojas son comestibles.

En la tabla 6.2, se muestra los resultados obtenidos de la cosecha durante el periodo marzo 2018 - febrero 2019, gracias a las características del diseño del huerto urbano se tiene ventajas como precocidad de los frutos, producción fuera de temporada (otoño/invierno), ahorro de agua y mejora de control de insectos y enfermedades.

Especie	Familia	Parte consumida	Recolección	Tiempo de germinación	Días de maduración	Tarea de cultivo	Peso (gr)	Primera cosecha
Acelga	Quenopodiáceas	Hojas	Todo el año	7-9 días	70-80 días	Siembra directa/Semillero	1,735	
Cebolla de cambray	Liliáceas	Tallo/Bulbo	Agosto/Noviembre	8-10 días	78-85 días	Semillero	420	
Frijol Ejotero	Leguminosas	Fruto	Abril/Junio	4-6 días	52-65 días	Siembra directa/Semillero	1,242	
Jitomate cereza	Solanáceas	Fruto	Enero/Marzo	8-12 días	90-105 días	Semillero	1,820	
Rábano	Crucíferas	Raíz	Marzo/Noviembre	4-6 días	30 días	Siembra directa/Semillero	2,013	
Zanahoria	Umbelíferas	Raíz	Todo el año	12-15 días	60-75 días	Siembra directa	2,258	
Lechuga	Asteráceas	Hojas	Todo el año	4-6 días	30-36 días	Semillero	1,392	
Cilantro	Umbelíferas	Hojas	Marzo/Noviembre	8-10 días	38-56 días	Siembra directa/Semillero	268	
Patata	Solanáceas	Tallo	Marzo/Abril		45-58 días	Siembra directa	3,583	

Tabla 6.2: Resultados obtenidos de la primera cosecha.

6.4 Enfermedades observadas en el huerto

Un factor que influye en la disminución o decremento del rendimiento del cultivo es el brote de plagas y/o enfermedades.

Una de las plagas vistas en el huerto es el gusano minador (Lepidoptera, *Tuta absoluta*), mostrada en la figura 6.1. Esta plaga ataca principalmente al tomate y a los tallos de la papa. Las hembras adultas realizan agujeros redondos en la hoja para extraer la savia de la planta, provocando marchitamiento o caída prematura de las hojas disminuyendo la fotosíntesis de la planta afectando su crecimiento o producción.



Figura 6.1: Plaga gusano minador.

Otra plaga vista en el cultivo fue los áfidos o pulgones (Hemípteros, *Aphididae*), mostrado en la Figura 6.2. Los pulgones se alimentan de la savia de las plantas robándoles nutrientes y agua, debilitando el tallo de la planta. La proliferación de esta plaga puede causar aparición de la mosca blanca, que son atraídos por la sustancia azucarada que segregan los pulgones.



Figura 6.2: Plaga áfido o pulgón.

Para la eliminación de las plagas se consultó con el agrónomo Luis Alberto Olvera quien nos receto un plaguicida orgánico, el proceso de elaboración de dicho plaguicida consta de mezclar en la licuadora una cabeza de ajo, cebolla y 3 chiles serranos. Poner a hervir la mezcla en dos litros de agua. Agregar jabón zote y mezclar hasta que hierva. Dejar enfriar y colar. Utilizar 30 mililitros del extracto en un litro de agua y aplicar asperjado a las plantas. El tratamiento consistió en una aplicación diaria de manera manual y a partir de una semana se notó la disminución de la plaga.

6.5 Instrumentación

A continuación, se muestran los datos obtenidos por los sensores DHT11 en forma gráfica, estos datos son por un periodo de 24 horas referente a las estaciones del año.

- Primavera (jueves 12 – viernes 13 de abril de 2018)
- Verano (jueves 12 – viernes 13 de julio de 2018)
- Otoño (jueves 11 – viernes 12 de octubre de 2018)
- Invierno (jueves 10 – viernes 11 de enero de 2019)

La medición de valores inicio a las 5:00 horas y concluyó a las 5:00 horas del día siguiente.

En la figura 6.3, se muestran la comparación de temperaturas promedio en las diferentes estaciones del año.

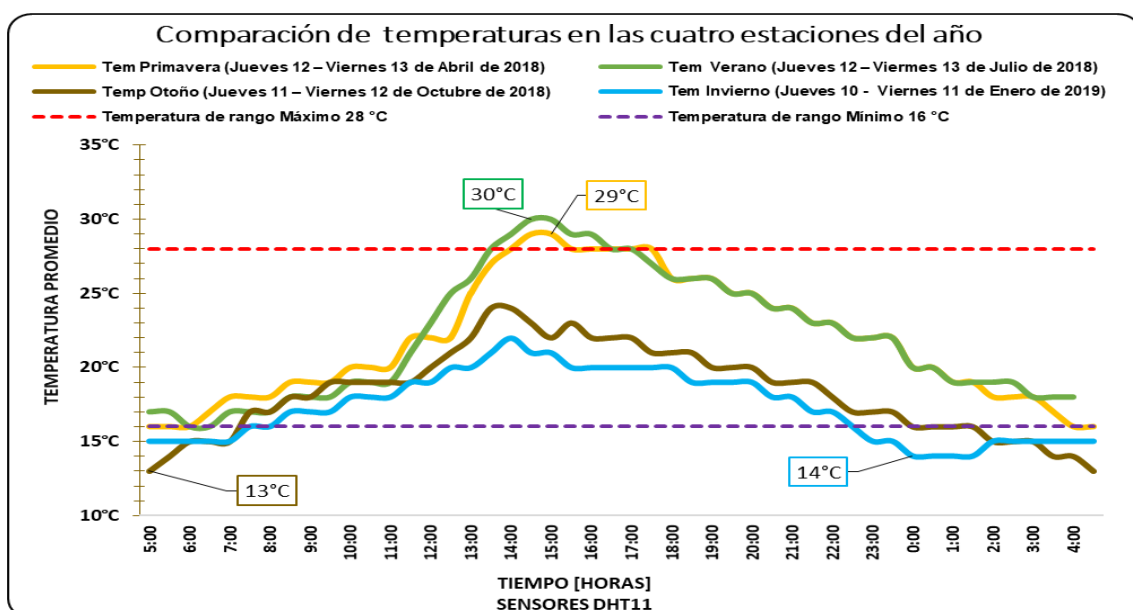


Figura 6.3: Gráfica de temperatura promedio obtenida en las cuatro estaciones del año.

Se observa una pequeña similitud en la temperatura obtenida de primavera y verano, presentándose valores fuera del intervalo óptimo para las plantas, pero sin causar daños. Debido a la activación del ventilador se pudo reducir a una temperatura dentro de los límites establecidos para el cultivo.

En la gráfica se puede observar que la temperatura alcanza un valor máximo de 30°C a las 14:30 horas. Por otro lado, el valor mínimo en el huerto es de 13°C de temperatura a las 5:00 horas.

Para las estaciones de otoño e invierno se observa una similitud en temperaturas, estas dos no presentan valores superiores al máximo necesario. Sin embargo, para las temperaturas bajas, si tenemos intervalos de tiempo donde se activó la calefacción, para aumentar la temperatura sin que afecte a las plantas.

En la figura 6.4, se muestran la comparación de temperatura dentro y fuera del huerto urbano por los sensores DHT11.

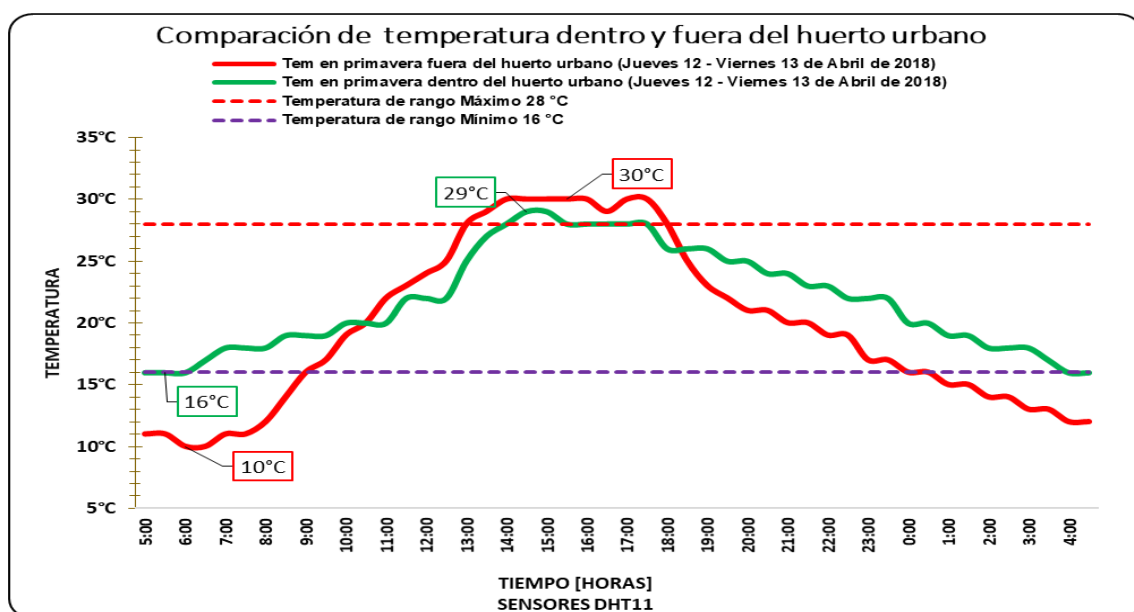


Figura 6.4: Gráfica comparativa de temperatura en primavera dentro y fuera del huerto urbano.

En la gráfica se puede observar que la temperatura fuera del huerto urbano alcanza un valor máximo de 30°C entre las 14:00 y 17:30 horas y una mínima de 10°C a las 06:00 horas mientras que dentro se alcanza un máximo de 29°C a las 14:30 horas, con la ayuda del ventilador y la luminaria se logra mantener una temperatura dentro de los rangos óptimos de temperatura.

En la figura 6.5, se muestran la comparación de humedad relativa promedio en las diferentes estaciones del año.

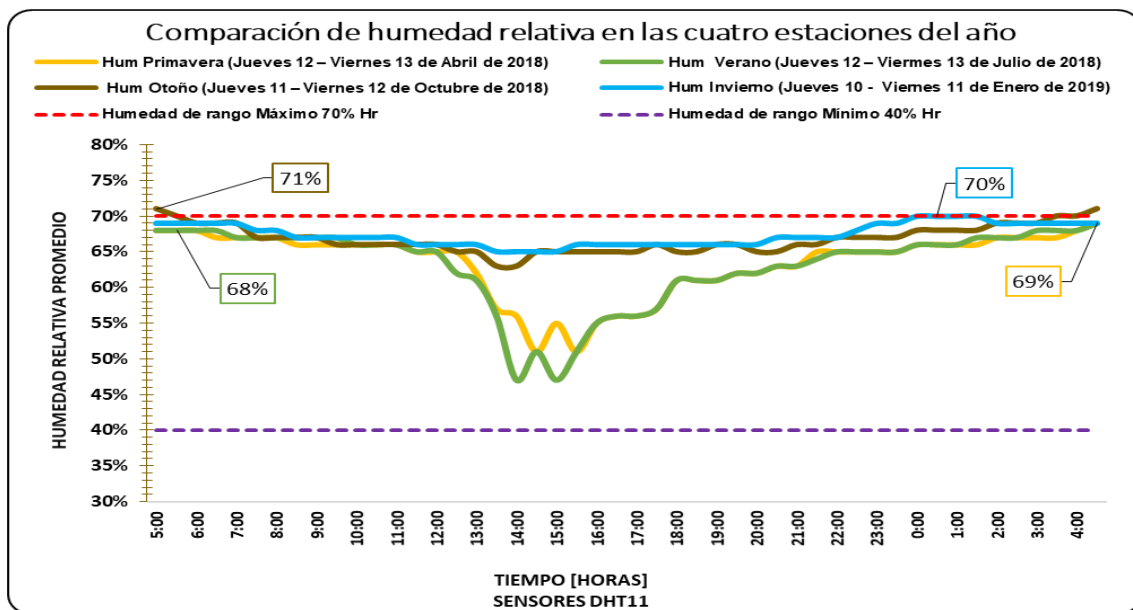


Figura 6.5: Gráfica de humedad relativa promedio obtenidas en las cuatro estaciones del año.

La humedad relativa se mantiene dentro de los rangos óptimos para nuestro cultivo, se puede apreciar que durante primavera y verano existe una disminución de humedad relativa conforme aumenta la temperatura dentro del huerto.

En la gráfica se puede observar que la humedad relativa alcanza un valor máximo de 71% Hr entre las 4:00 y 5:00 horas. Por otro lado, el valor mínimo en el huerto es de 47% Hr a las 13:30 y 15:00 horas.

Para la estación de otoño e invierno se muestran cambios pequeños de humedad relativa, esto ayuda a tener condiciones que benefician el desarrollo de nuestros cultivos.

En la figura 6.6, se muestran la comparación de humedad de la tierra promedio en las diferentes estaciones del año.

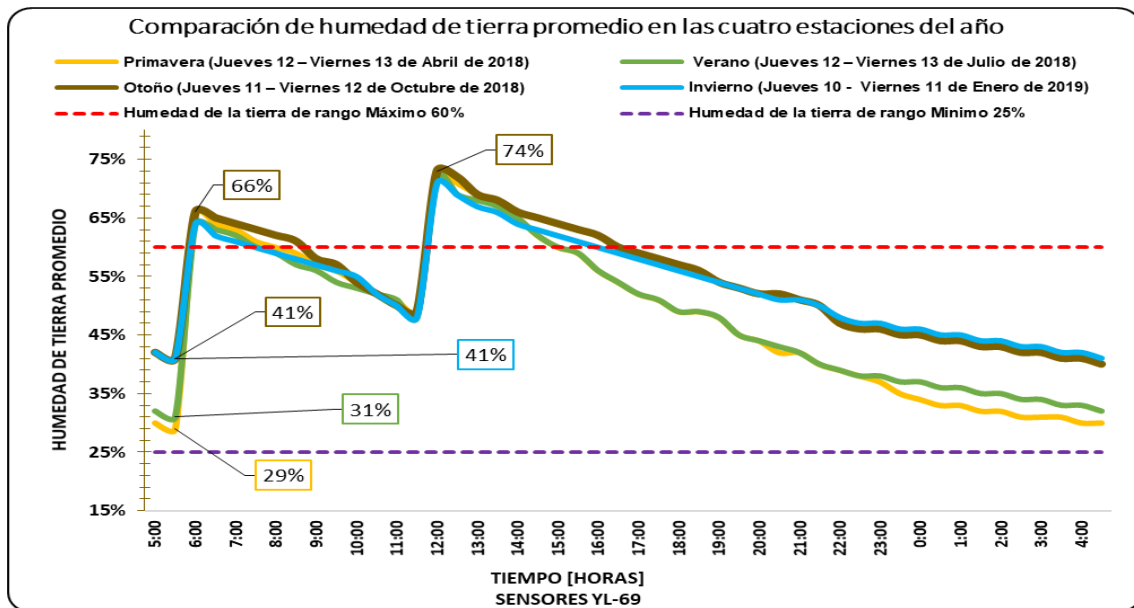


Figura 6.6: Gráfica de humedad de la tierra promedio obtenidas en las cuatro estaciones del año.

En la gráfica se puede observar la humedad de la tierra alcanza un valor máximo de 66% de humedad a las 06:00 horas y 74% de humedad a las 12:00 horas. Por otro lado, el valor mínimo en el huerto es de 29% de humedad a las 4:00 horas.

En la gráfica de humedad de la tierra se puede apreciar la elevación en los horarios de riego, conforme pasa el tiempo se aprecia como disminuye el porcentaje de humedad. Para las estaciones de primavera y verano se obtiene una disminución más rápida de humedad ya que estas estaciones presentan una mayor temperatura, comparada con la estación de otoño e invierno las cuales presentan días nublados y lluvias, conservando por más tiempo la humedad de la tierra.

6.6 Caso de estudio para la implementación y construcción de un huerto urbano en el Plantel Casa Libertad - UACM

6.6.1 Indagación

Esta fase consistió en una búsqueda de información para determinar los tipos de hortalizas y vegetales de la canasta básica que se adaptan mejor en la Ciudad de México. Para favorecer el cultivo de plantas, el huerto debe ser acondicionado para mantener las hortalizas en un ambiente idóneo. Para ello también, se debe contar con un sistema de riego programado. El resultado del estudio indicó que las hortalizas adecuadas por la temporada y por su fácil cultivo y gran adaptabilidad al entorno donde se planea colocar el huerto son: rábano, lechuga, zanahoria, acelga, cebolla cambray, ajo, jitomate cherry, perejil, cilantro y betabel⁴.

6.6.2 Desarrollo

6.6.2.1 Estructura

La estructura tiene un área de 9.25 m^2 , en la parte superior se le dio una elevación de tal manera que cuando llueva el agua pueda circular, evitando que se estanque. Además, se colocó una puerta corrediza de 2.00 x 1.00 metros (largo x ancho), figura 6.7. La estructura está construida a base de tubería metálica de PTR cuadrado de 3/4" (figura 6.8), con dimensiones de 3.70 x 2.50 x 2.30 metros (largo x ancho x alto). Se recubrió con pintura de esmalte color blanco para protegerla de la corrosión provocada por la humedad y lluvia, figura 6.9.

⁴ Data.sedema.cdmx.gob.mx/flippingbook/guía-huertos-urbanos/#p=1

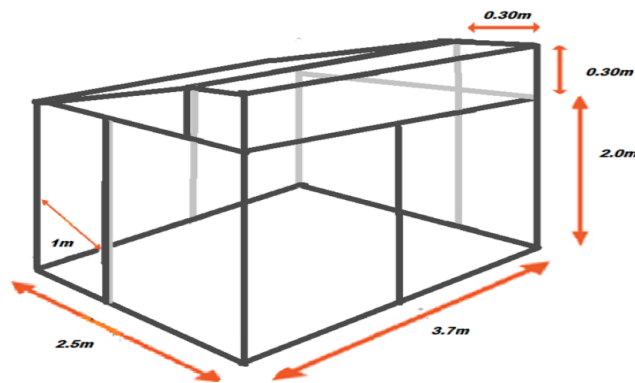


Figura 6.7: Boceto o propuesta del invernadero.



Figura 6.8: Armado de la estructura.



Figura 6.9: Pintura base y pintado de la estructura.

Posteriormente se realizó el forrado de la estructura: en la parte superior con plástico blanco con un 20% de sombra, en los costados con malla antiáfidos tiene la característica de permitir la circulación de aire y la de protección de cultivos contra áfidos⁵, mosca blanca y otros insectos pequeños, figura 6.10.

⁵ Familia de insectos homópteros que se alimentan de materias vegetales y forman plagas perjudiciales.



Figura 6.10: Forrado con plástico y malla de la estructura.

6.6.2.2 Mesa de cultivo

El empleo de una mesa de cultivo está dirigido a la plantación de las hortalizas que producen mayor raíz y que su crecimiento de su fruto crece debajo de la tierra como son el betabel, rábano y zanahoria. Las dimensiones de la mesa son 2.30 x 0.80 x 0.90 x 0.35 metros (largo x ancho x alto x profundidad). En las figuras 6.11 y 6.12 se muestra el diseño y construcción de la mesa con 3 cavidades, se colocaron 4 patas de 0.55 metros de largo para darle una altura adecuada. En la parte inferior de la mesa (base de las cavidades) se hicieron unas perforaciones donde se conectaron tres mangueras para que drene el agua sobrante de los riegos.

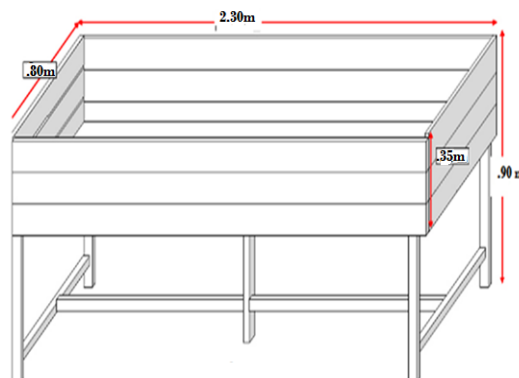


Figura 6.11: Dimensiones de la mesa de cultivo.

En la figura 6.12, se muestra la construcción de la mesa de cultivo a base de hojas de triplay con un espesor de 16 mm y el sellado de la madera para protegerla de humedad se realizó con una capa de Barniz Poliform 11000. Posteriormente se realiza un forrado con hule de Neopreno (policloropreno) que es un caucho resistente para aislar a la madera de la humedad, figura 6.13.



Figura 6.12: Construcción y barnizado de mesa de cultivo.

Para darle otra vista a la mesa de cultivo, se realizó el entintado de la madera en color verde, esto también con fines de la protección de la madera contra la humedad.



Figura 6.13: Tintado y forrado de la mesa de cultivo.

6.6.2.3 Contenedores de PVC

Los contenedores de PVC se emplean para la plantación de hortalizas que producen menos raíz, como cebolla, cilantro, acelga, entre otras, figura 6.14. Los tubos empleados tienen un diámetro de 6" y se cortaron a una longitud de 2 metros. En los extremos del tubo, se colocaron unas tapas y a lo largo del tubo se hicieron unos orificios para la salida del exceso de agua.

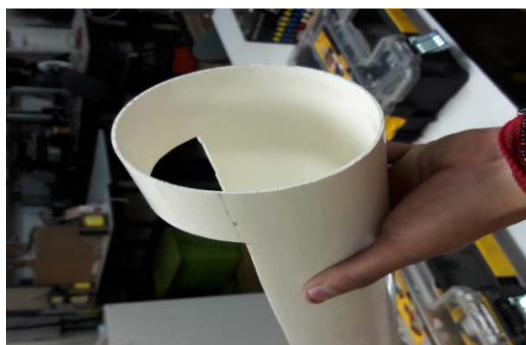


Figura 6.14: Contenedor para plantas de PVC.

6.6.3 Germinación

Esta se realiza en almácigos o directamente en el contenedor. Para la germinación se utilizó el sustrato conocido como Peat Moss, llenando las casillas del almácigo hasta el borde y humedeciendo con agua. Las semillas se enterraron a una distancia de 3 a 5 mm. Finalmente, se cubrió el almácigo con un hule por 3 días, figura 6.15.



Figura 6.15: Germinación en la mesa de cultivo y en el almácigo.

6.6.4 Trasplante de las hortalizas

Posteriormente a la germinación, de 8 a 10 días se procedió al trasplante de las hortalizas en la mesa y en los respectivos contenedores, figura 6.16.



Figura 6.16: Trasplante a los tubos de PVC.

6.6.5 Riegos

De acuerdo con la etapa de crecimiento de la planta (etapa fenológica) y estación del año, esta requerirá diferentes cantidades de riego. Donde en estaciones calurosas requerirá de mayores cantidades de agua. Para este caso, se realizaron dos riegos

por día, cada uno con una duración de 1 minuto. El primer riego fue programado a las 6:00 horas y el segundo a las 12:00 horas, garantizando un flujo de agua equivalente a 200 ml para los días más calurosos.

6.6.6 Funcionamiento del sistema

Para conocer el valor de las variables medioambientales del huerto urbano se conectan sensores de temperatura, humedad relativa y humedad de la tierra a un micro-controlador Arduino mega. Este se programa para la lectura y adquisición de datos, y con base a la información obtenida, se ejecutan los riegos y el análisis de datos, y alertas tempranas de acuerdo con parámetros que requiere cada hortaliza.

El Huerto Urbano consta de tres etapas: a) un sistema de riego por goteros de aspersión y por goteo, b) un sistema de ventilación y/o calefacción y c) un módulo de control de riego programado.

De acuerdo con la época del año, el módulo de control se puede reprogramar para que los riegos sean consistentes; abundantes en tiempos de calor y dosificados en tiempos de frío.

6.6.7 Costo del sistema

A continuación, se muestra la tabla 6.1, donde se observan los costos de los materiales utilizados para la implementación del huerto urbano protegido.

Descripción	Monto
Estructura de PTR de $\frac{3}{4}$ x $\frac{3}{4}$, malla mosquitera y plástico de opacidad, para cubrir el huerto con dimensiones de 3.70 x 2.50 x 2.30 metros (largo x ancho x alto).	\$3,200.73
Contenedores de cultivo de madera y tubos de pvc de 6", bolsas agrícolas de plástico para el cultivo de jitomate cherry.	\$3,209.87
Sistema hidráulico (PVC de $\frac{1}{2}$ ", bomba de $\frac{1}{2}$ Hp, 2 contenedores de agua de 18 galones cada uno) Riego por goteo de aspersión (81 goteros, 25 metros de manguera)	\$2,186.18
Semillas, tierra, humus de lombriz.	\$1,184.61
Sistema de monitoreo (sensor DHT11, moisture sensor)	\$1,138.40
Etapas de potencia (módulos 2PH63091A)	\$98.00
Sistema de automatización (tarjeta de desarrollo Arduino mega)	\$782.00
Gabinete para el montaje de la electrónica	\$383.00
Controladores de temperatura (ventilador y luminaria)	\$800.00
Total	\$12,982.79

Tabla 6.1: Costos del huerto urbano protegido.

Nota: Costo del huerto realizado al mes de febrero del 2018.

Capítulo 7

Conclusiones

Para realizar un huerto urbano es necesario contemplar el sitio o lugar de fácil acceso y tener en cuenta el tipo, cantidad y variedad de cultivo, esto ayudara a seleccionar el material, cantidad y diseño apropiado que cuente con los recursos mínimos como son; agua, luz solar y flujo de aire.

Para darles un área de crecimiento apropiado a cada uno de los cultivos, se debe tener en cuenta el área necesaria para el desarrollo de cada una de las hortalizas, desde su crecimiento de la raíz, altura, área y cantidad de tierra. Esto sirve para un buen desarrollo, sin afectar su crecimiento por saturación de espacio.

La germinación de semillas certificadas nos ofrece mayor eficacia y probabilidad de crecimiento, además de tener un mejor control sobre la cantidad de producto que podemos obtener al final.

Con el uso de microcontroladores para esta tesis se utilizó Arduino Mega se tiene buen desempeño del programa ocupando sensores compatibles con su interfaz, usando este microcontrolador es capaz de soportar el peso de la programación y número de dispositivos conectados en él.

La instrumentación y conocimientos adquiridos en la licenciatura de Ingeniería en Sistemas Electrónicos Industriales nos ayuda a mantener un ambiente idóneo a nuestro cultivo, ya que sin los valores de temperatura y humedad relativa que proveen los sensores no se podría llevar a cabo un buen crecimiento y desarrollo de las plantas, además de ser un sistema económico y flexible, permite tener información importante del estado del cultivo.

Los sensores DHT11 cumplieron con el propósito ya que cuentan con los rangos necesarios para llevar a cabo el monitoreo de las variables físicas para la automatización del sistema de ventilación y luminaria cuando sea requerido.

El uso de electrónica de potencia permite la activación de una bomba para llevar a cabo el riego automático por medio de un temporizador de fácil manejo, el cual permite elegir el momento de activación del riego. Este sistema además de ser económico ayuda a realizar el riego sin ayuda de un humano, manteniendo un control en el consumo de agua, también permite el ahorro y buen uso del agua.

Los datos registrados permiten la toma de decisiones en cuestión de cambiar valores para el accionamiento del ventilador y calefacción. Ayudando a mantener las mejores condiciones sin importar el ambiente exterior.

Aviles Bernal Alberto

No todos los Huerto Urbanos son iguales y las condiciones regionales deben ser evaluadas, considerando el lugar y el clima en donde se pretende implementar el huerto, se debe de tener acceso a agua potable y energía eléctrica.

El uso de mesas de cultivos, es una nueva manera de cultivar de manera eficiente cualquier tipo de hortalizas.

El desarrollo de un sistema de bajo costo y fácil de implementar permite el monitoreo, registro y control de variables físicas (temperatura, humedad relativa, humedad del suelo) para el cultivo de hortalizas.

Para realizar la instrumentación de las variables físicas se realizó una investigación de tarjetas de adquisición y de diferentes tipos de sensores. Con esta referencia se usó el Arduino Mega y de los sensores DHT11 y YL-69. Siendo componentes con un costo accesible y que cumple con los objetivos establecidos para el trabajo. Este sistema puede controlar la temperatura dentro del Huerto para mantener condiciones óptimas para el desarrollo y/o producción de las hortalizas.

Con el uso del lenguaje de programación de Arduino da la oportunidad de poder desarrollar diferentes proyectos en electrónica, para poder emplearlos en procesos de sistemas de control.

Se empleo un temporizador para automatizar los riegos permitiendo establecer el número de riegos y su duración. La bomba utilizada de $1/2$ Hp fue suficiente para mantener la presión en el sistema de riego garantizando un riego homogéneo.

Respecto a la temperatura optima requerida para los cultivos, se logró mantener dicha temperatura con el uso de un ventilador y de la lámpara incandescente. Siendo sistemas de potencia reducidos fueron suficientes para las dimensiones del huerto urbano y las variables climáticas del lugar.

Se obtuvo información de las variables físicas en tiempo real de los sensores implementados dentro del huerto, registrada en una memoria Micro SD con el objetivo

de observar el comportamiento de los datos en una hoja de cálculo (Excel) con el fin de contribuir al mejoramiento de los cultivos.

Para concluir se desea que en un futuro se implemente nuevos requerimientos, tales como:

- Reemplazar la fuente de alimentación por sistemas alternativos, como paneles fotovoltaicos para ahorrar y aprovechar los recursos y de esta manera contribuir con el medio ambiente
- Agregar más variables de medición como conductividad eléctrica, pH, emisores de CO_2 , etc.
- Agregar una interfaz de manera inalámbrica para el monitoreo de las variables físicas.
- Agregar una lámpara UV para erradicar las bacterias del agua.
- Agregar un sistema de captación de agua.

Sánchez Reyes Nayelli

Anexo 1

Manual de operación del tablero de control del Huerto Urbano

Tablero de control

1.- DESCRIPCIÓN DEL TABLERO DE CONTROL

El tablero de control es el encargado de controlar el sistema de automatización del huerto urbano, activando y desactivando los diferentes actuadores instalados en el Huerto Urbano (bomba de riego, ventilador y luminaria).

2.- COMPONENTES

1. Gabinete
2. Tarjeta electrónica principal
3. Temporizador
4. Módulos de potencia
5. Módulo MicroSD
6. LCD
7. Clemas
8. Canaleta
9. Interruptor on/off

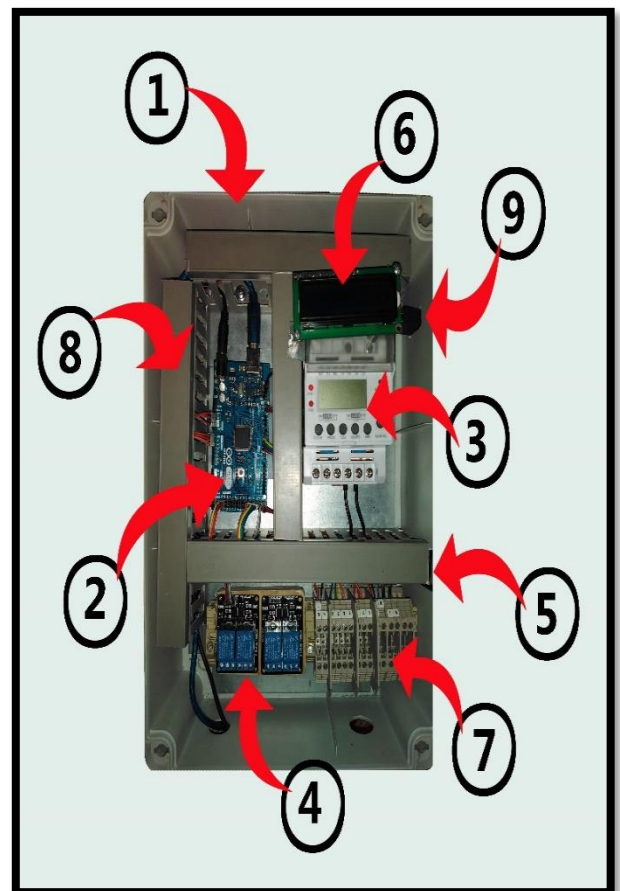


Figura Anexo 1: Componentes del tablero de control.

El sistema posee un interruptor principal on/off para energizar el tablero.

Adicionalmente, cuenta con un módulo MicroSD, donde se inserta una memoria para el registro de los datos obtenidos por los sensores.

El cableado interno pasa por dentro de la canaleta, en cuanto a las entradas y salidas de señales están ubicados en las clemas.

3.- CONEXIONES

Los sensores y actuadores instalados en el Huerto Urbano se conectan al tablero a través de las clemas. Cada clema cuenta con su etiqueta correspondiente.

4.- PUESTA EN MARCHA DEL TABLERO DE CONTROL Y FUNCIONAMIENTO DEL HUERTO URBANO

Para operación del sistema se requiere la realización de los siguientes pasos:

1. Conectar los sensores en las clemas indicadas, los actuadores en el módulo correspondiente y la bomba de riego en el temporizador.
2. Insertar la tarjeta MicroSD en la ranura del módulo lector de memorias.
3. Programar el Arduino Mega con el cable USB y una laptop, cargándole la programación del sistema de control de temperatura que se encuentra en el Apéndice A, sección A.11.
4. Conectar el tablero de control a la toma de corriente recordando que la alimentación del tablero es a 110 volts AC.
5. Conectar el eliminador de alimentación del Arduino Mega.
6. Poner el interruptor de encendido en estado ON.
7. Verificar que todos los componentes enciendan.
8. Establecer los días y horarios de los riegos deseados en el temporizador
9. Validar que se despliegue en la pantalla del LCD la palabra "COMIENZA EL SISTEMA".

5.- ESPECIFICACIONES

Alimentación del tablero: 110 volts AC

Tamaño: 40 x 30 x 13 cm (largo x ancho x alto)

Tipo de tarjeta electrónica: Arduino Mega 2560

Tamaño de memoria que soporta el módulo SD: 8Gb

Consumo: 579.0 Watts

Referencias

- Acebedo, S. J. (2006). *Instrumentación y control avanzado de procesos*. Editorial Díaz de Santos.
- ANOVE (Asociación Nacional de Obentores Vegetales). (2018). *El vivero, factor decisivo para acercar la innovación a los productores agrarios*. <https://www.anove.es/2018/>
- Arosemena, D. G. (2012). *Agricultura Urbana / Urban agriculture: Espacios de cultivo para una ciudad sostenible*. Editorial Gustavo Gili.
- Banzi, M., & Michael, S. (2016). *Introducción a Arduino*. Editorial Anaya multimedia.
- Barrera M. E., Herrero N. R., & Meraz G. A. (2015). *Invernadero Inteligente*. Instituto Politécnico Nacional, escuela Superior de Ingeniería mecánica y electrónica. Tesis. México.
- Cacelín, J. (2016). Huertos urbanos, un camino hacia la sustentabilidad. México Ciencia y Tecnología. <http://www.cienciamx.com/index.php/ciencia/mundo-vivo/11410-huertos-urbanos-un-camino-hacia-la-sustentabilidad>
- Cesáreo, G. R. (2012). *¿Cómo debería ser un suelo para permitir un óptimo desarrollo al cultivo?*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. <https://inta.gob.ar/documentos/bfcomo-deberia-ser-un-suelo-para-permitir-un-optimo-desarrollo-al-cultivo>
- Córdova, A. H. (2002). *Naturaleza y sociedad: una introducción a la geografía*. Editorial Pontificia Univ. Católica del Perú.
- Corona, R. L., Abarca, J. G., & Mares, C. J. (2014). *Sensores y actuadores. Aplicaciones con Arduino*. Editorial Patria, S.A. de C.V.
- Cuenca, S. T. (2017). *Guía de Riego en Huerto y Jardín*. Planeta Huerto. <https://www.planetahuerto.es/guias/guia-de-riego-en-huerto-y-jardin/>
- Debets Schalke. (2019). *Sistema de cultivo*. Debetsschalke.com. <https://www.debetsschalke.com/es/soluciones/sistemadecultivo#:~:text=Sistemas%20de%20cultivo%20en%20canaletas,Hay%20varias%20razones&text=La%20canaleta%20en%20un%20sistema,propagaci%C3%B3n%20de%20virus%20o%20enfermedades>.
- Delgado, D. (2015). *Inauguran primer huerto urbano del DF*. *El Universal*. <https://www.eluniversal.com.mx/articulo/metropoli/df/2015/09/11/inauguran-primer-huerto-urbano-del-df>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). (2007). *Crear y Manejar un huerto escolar: un manual para profesores, padres y comunidades*. Roma.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, RD); SEE (Secretaría de Estado de Educación, RD). (2007). *Etapas para la implementación de huerto escolar como un instrumento de aprendizaje: Funciones y estatutos del comité de huerto. Proyecto TCP/3101*. Santo Domingo.

Galán, G. J. (1987). *Sistemas de Unidades Físicas*. Editorial Reverté, S.A.

HBM. (2018). *¿Qué es un acondicionador de señal?* Córdova, A. H. (2002). *Naturaleza y sociedad: Una introducción a la geografía* (1. ed). Pontificia Univ. Católica del Perú.

Hezkuntza, L. (1998). *Huerto escolar*. Editorial luna. 1ª de. Gobierno Vasco.

Infante L. A., & San Martín K. (2004). *Manual de agroecología. Centro de educación y tecnología, Chile*.

Jesus, M. (2013). *Huerto de urbano*. Obtenido de <http://www.huertodeurbano.com/como-cultivar/>

Lopez, O. R. (2016). *Manejo y uso eficiente del agua de riego intrapredial para el sur de Chile*. Temuco: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/6558>

Lozano, D. (2016). *Arduino práctico*. Editorial Anaya multimedia.

Maguire, J.D. (1962). Speed of germination-aid in selection and evaluation for Seedling Emergences and Vigor. Crop Science.

MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, SV); CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, SV). (2001). *Mejorando la nutrición a través de huertos y granjas familiares*.

Mayen, J. L. (2008). *Módulo de género y manejo integrado de plagas: Buenas prácticas agrícolas en huertos caseros*.

Meteored. (2018-2019). *Clima*. <https://www.meteored.mx/>

Media, Y. (2018). *Weather Atlas*. Obtenido de Previsión meteorológico y clima mensual, Ciudad de México: <https://www.weather-mx.com/es/mexico/ciudad-de-mexico-clima>

Morán A. N. (2010). *La agricultura como instrumento estratégico en la rehabilitación urbana ecológica. Jornadas Agricultura y Territorio. Grupo de Investigación en Arquitectura, Urbanismo y Sostenibilidad*. Universidad Politécnica de Madrid.

Muñoz, L. (2014). *AgroHuerto*. Obtenido de Riego por goteo: Qué es y cómo funciona. Tipos de riego a goteo y Ventajas: <https://www.agrohuerto.com/riego-por-goteo-que-es/>

NETAFIM. (2020). *Riego por Goteo*. Netafim.com.mx.

Ogata, K. (1998). *Ingeniería de control moderna*. Madrid: Pearson educacion, S.A. 3ra Edición.

Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna*. Madrid: Pearson educacion, S.A. 5ta Edición.

Olvera, R. V. (2016). *Invernadero hidropónico automatizado en riego, con monitoreo de pH, conductividad eléctrica y control de variables climáticas*. Universidad Autónoma de la Ciudad de México. Tesis. México.

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

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2010). *EL HUERTO FAMILIAR BIOTENSIVO. Introducción al método de cultivo biointensivo, alternativa para cultivar más alimentos en poco espacio y mejora de suelo.*

SNICS (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas). (2019). <https://www.gob.mx/snics/que-hacemos>

SNICS (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas). (2020). *Normatividad para la calificación de semillas.* <https://www.gob.mx/snics/acciones-y-programas/normatividad-para-la-calificacion-de-semillas>

SUCO (Solidaridad Unión y Cooperación). (1994). *Manual Machete Verde: Manejo integrado de plagas*. Editorial INPASA. 2 ed. Nicaragua.

Tung, C. J., & García, M. A. (1995). *Guía técnica de cultivos hortícolas. Proyecto Misión Técnica República de China*. San Andrés.

Apéndice A

Especificaciones de sensores y equipos utilizados para la implementación de la instrumentación y automatización del huerto urbano.

A.1 Sensor DHT11

El DHT11 es un sensor de temperatura y humedad digital. Utiliza un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos.

Características del sensor:

- Alimentación: 3.3 ~ 5v
- Rango de medición de temperatura: 0 a 50° C.
- Precisión de medición de temperatura: $\pm 2.0^{\circ}$ C.
- Resolución Temperatura: 0.1°C.
- Rango de medición de humedad: 20% a 90% RH.
- Precisión de medición de humedad: 4% RH.
- Resolución Humedad: 1% RH
- Salida digital
- Orificio de perno fijo para una fácil instalación
- Dimensiones: 14.5 x 31.1 x 7mm.

A.2 Sensor de Humedad de la tierra (del inglés; moisture sensor)

Este sensor tiene la capacidad de medir la humedad de la tierra. Aplicando una pequeña tensión entre los terminales del módulo YL-69 hace pasar una corriente que depende básicamente de la resistencia que se genera en el suelo y ésta depende mucho de la humedad. Por lo tanto, al aumentar la humedad la corriente crece y al bajar la corriente disminuye.

Este sensor consiste en una sonda YL-69 con dos terminales separados adecuadamente y un módulo YL-38 que contiene un circuito comparador LM393 SMD muy estable, un led de encendido y otro de activación de salida digital. Este último presenta 2 pines de conexión hacia el módulo YL-69, 2 pines para la alimentación y 2 pines de datos, GND, A0, D0.

Características del sensor:

- Voltaje de entrada: 3.3 – 5 VCD
- Voltaje de salida: 0 ~ 4.2 V
- Corriente: 35 mA
- VCC: Tensión de alimentación
- GND: Tierra
- A0: Salida analógica que entrega una tensión proporcional a la humedad.
- D0: Salida digital, este módulo permite ajustar cuando estará en alto y cuando en bajo según la humedad.

A.3 Arduino Mega

Características de Arduino Mega 2560 R3:

- Microcontrolador: ATmega2560
- Voltaje Operativo: 5V
- Voltaje de Entrada: 7-12V
- Voltaje de Entrada (límites): 6-20V
- Pines digitales de Entrada/Salida: 54 (de los cuales 15 proveen salida PWM)
- Pines análogos de entrada: 16
- Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida: 40 mA
- Corriente DC entregada en el Pin 3.3V: 50 mA
- Memoria Flash: 256 KB (8KB usados por el bootloader)
- SRAM: 8KB
- EEPROM: 4KB
- Clock Speed: 16 MHz

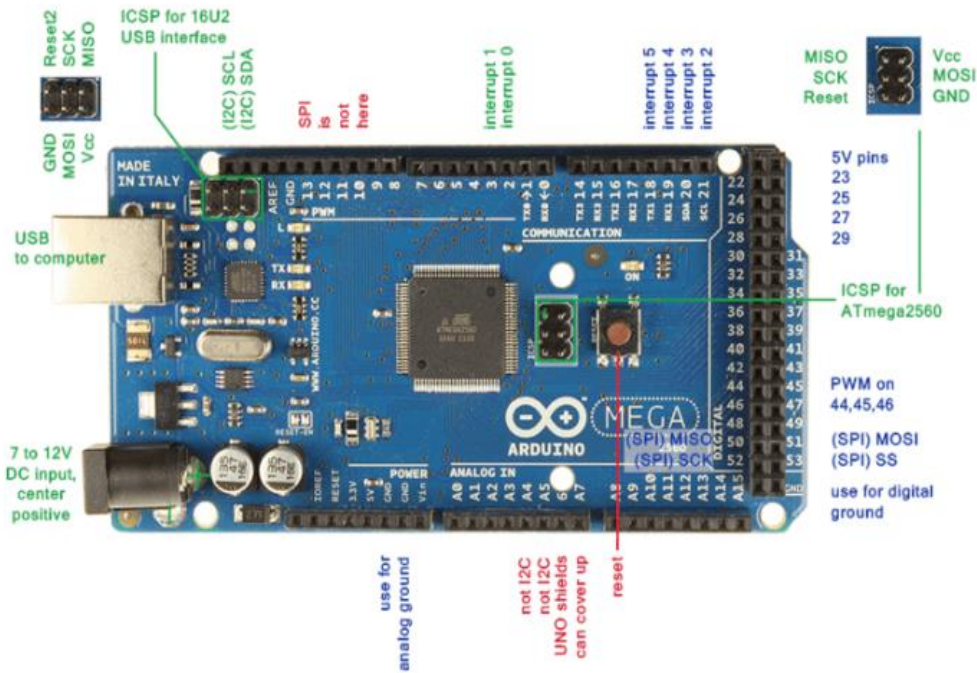


Figura A.1: Distribución de señales en la tarjeta Arduino Mega.

A.4 Etapa de potencia

Módulo 2R ó 2PH63091A

Especificaciones técnicas

- Voltaje de Operación: 5V DC
- Señal de Control: TTL (3.3V o 5V)
- Nº de Relays (canales): 2 CH
- Modelo Relay: JQC-3FF-S-Z
- Capacidad máx: 15A/125VAC, 10A/250VAC,
- Corriente máx: 15A (NO), 5A (NC)
- Tiempo de acción: 10 ms / 5 ms
- Para activar salida NO: 0 Voltios
- Entradas Optoacopladas
- Indicadores LED de activación

A.5 Especificaciones de la bomba de riego

Especificaciones técnicas

- Potencia: 1/2 HP
- Tensión: 120 V / 60 Hz

- Velocidad: 3450 RPM
- Altura máxima: 45 metros
- Máx. profundidad: 10 metros
- Diámetro de entrada / salida: 1 NPT
- Motor eléctrico de 1/2 HP asincrónico monofásico, libre de carbones.
- Uso agrícola.
- Permite ahorrar energía.
- Impulsor de latón anticorrosivo.
- Contiene protector térmico automático.
- Cierre mecánico que separa la bomba del motor.
- Soporte de anclaje.
- Entrada y salida de 1".
- Impulsor de bronce, mayor vida útil.
- Disipador de calor.

A.6 Especificaciones del ventilador

- Marca: Sanyo.
- Modelo: Sf916
- Tipo: pedestal
- Numero de velocidades: 3
- Cantidad de aspas: 3
- Tipo de controles: botones
- Potencia: 55 W
- Alimentación: 110 Vac

A.7 Especificaciones de la luminaria

- Marca: Volteck.
- Modelo: SOB-303S.
- Alimentación: 110 Vac
- Potencia: 150 W
- Ambiente: interior
- Capacidad de focos: 3
- Tipo de luz: LED, Halógena.
- Lugar de montaje: Techo.

A.8 Temporizador TEMP-310

Especificaciones técnicas

- 2 entradas independientes de alimentación.
- 2 salidas independientes de programación.
- La salida 1 puede programar hasta 4 eventos de encendido y apagado.
- La salida 2 puede programar hasta 3 eventos de encendido y apagado.
- Lapso mínimo programable de 1 minuto.
- Batería interna de respaldo para no perder la programación en un apagón.
- Incorpora LED indicadores de activación por canal.
- Corriente máxima de 16 A por canal.

A.9 Pantalla de cristal líquido (LCD) 16x2

Características técnicas

- Pines de alimentación:
 - Vss: Gnd
 - Vdd: +5 voltios
 - Vee: corresponde al pin de contraste, lo regularemos con un potenciómetro de 10K conectado a Vdd.
- Pines de control:
 - RS: Corresponde al pin de selección de registro de control de datos (0) o registro de datos (1). Es decir, el pin RS funciona paralelamente a los pines del bus de datos. Cuando RS es 0 el dato presente en el bus pertenece a un registro de control/instrucción. y cuando RS es 1 el dato presente en el bus de datos pertenece a un registro de datos o un carácter.
 - RW: Corresponde al pin de Escritura (0) o de Lectura (1). Nos permite escribir un dato en la pantalla o leer un dato desde la pantalla.
 - E: Corresponde al pin Enable o de habilitación. Si E(0) esto quiere decir que el LCD no está activado para recibir datos, pero si E(1) se encuentra activo y podemos escribir o leer desde el LCD.
- Pines de Bus de datos:
 - El Bus de datos bidireccional comprende desde los pines D0 a D7. Para realizar la comunicación con el LCD podemos hacerlo utilizando los 8 bits del bus de datos (D0 a D7) o empleando los 4 bits más significativos del bus de

datos (D4 a D7). En este caso vamos a explicar la comunicación con el bus de 4 bits.

A.10 Adaptador de tarjeta MicroSD (MicroSD Card Adapter)

Especificaciones técnicas

El módulo (Adaptador de tarjeta MicroSD) es un módulo lector de tarjeta Micro SD para leer y escribir a través del sistema de archivos y el controlador de interfaz SPI, SCM el sistema se puede completar dentro de un archivo de tarjeta MicroSD.

- Soporte de tarjeta Micro SD, tarjeta Micro SDHC (tarjeta de alta velocidad).
- La placa de circuito de conversión de nivel que puede interactuar con el nivel es de 5V o 3.3V.
 - La fuente de alimentación es de 4.5V ~ 5.5V, placa de circuito regulador de voltaje de 3.3V.
 - La interfaz de comunicaciones es una interfaz SPI estándar.
 - 4 tornillos M2 que colocan agujeros para facilitar la instalación.
 - Interfaz de control: un total de seis pines (GND, VCC, MISO, MOSI, SCK, CS), GND a tierra, VCC es la fuente de alimentación, MISO, MOSI, SCK para el bus SPI, CS es el pin de señal de selección de chip.
 - Circuito regulador de 3.3V: salida del regulador LDO 3.3V para chip de conversión de nivel, Micro Suministro de tarjeta SD.
 - Circuito de conversión de nivel: tarjeta Micro SD para indicar la dirección de los convertidos 3.3V, La interfaz de la tarjeta MicroSD para controlar la dirección de la señal MISO también es convertido a 3.3V, los sistemas de microcontroladores AVR generales pueden leer la señal.
 - Conector de tarjeta Micro SD: autobomba, fácil inserción de tarjeta.
 - Agujeros de posicionamiento: 4 tornillos M2 que colocan agujeros con un diámetro de 2.2 mm, por lo que El módulo es fácil de instalar, para lograr la combinación entre módulos.

A.11 Programación del sistema de control de temperatura utilizando el entorno de desarrollo de Arduino.

```

/* MISO pin 50
MOSI pin 51
SCK pin 52
CS pin 53
LCD RS pin digital 12
LCD Enable pin digital 11
LCD D4 pin digital 5
LCD D5 pin digital 4
LCD D6 pin digital 3
LCD D7 pin digital 2
LCD R/W pin a tierra
LCD VO pin a tierra
*/

//Incluimos librerías de la SD
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <DHT.h>

#define DHTPIN1 24 //Declara el pin del sensor DHT1
#define DHTPIN2 26 //Declara el pin del sensor DHT2
#define DHTPIN3 28 //Declara el pin del sensor DHT3
#define DHTPIN4 30 //Declara el pin del sensor DHT4
#define sensor1 A0 //Declara el pin del sensor de humedad de la tierra 1
#define sensor2 A1 //Declara el pin del sensor de humedad de la tierra 2
#define sensor3 A2 //Declara el pin del sensor de humedad de la tierra 3
#define DHTTYPE DHT11 // DHT 11 AMBOS IGUALES
int umbralv = 28; // Temperatura que arranca el ventilador
int umbrall = 18 ; // Temperatura que arranca la luminaria
const int controlv = 22 ; // Governa el ventilador
const int controll = 23 ; // Governa la luminaria

```

```
float tp;
float hp;
//const int CS_PIN = 10;
DHT dht1(DHTPIN1, DHTTYPE);
DHT dht2(DHTPIN2, DHTTYPE);
DHT dht3(DHTPIN3, DHTTYPE);
DHT dht4(DHTPIN4, DHTTYPE);

void setup() {

    Serial.begin(9600);
    pinMode(sensor1, INPUT);
    pinMode(sensor2, INPUT);
    pinMode(sensor3, INPUT);
    pinMode(controlv, OUTPUT) ;
    pinMode(controll, OUTPUT) ;
    Serial.println("Iniciando SD card...");
    pinMode(53, OUTPUT);
    digitalWrite(53, HIGH);

    Serial.println("Comienza el Sistema");
    lcd.clear();
    lcd.begin(16, 2);
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.write("COMIENZA ");
    lcd.setCursor(2, 1);
    lcd.write("EL SISTEMA");
    delay(500);
    lcd.clear();
    dht1.begin();
    dht2.begin();
    dht3.begin();
    dht4.begin();
    if (!SD.begin(53)) {
        Serial.println("Error o tarjeta no insertada!");
        //Si existe error al leer la tarjeta informa
```

```
lcd.begin(16, 2);
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.write("Error o tarjeta");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.write("no insertada!");
delay(500);
lcd.clear();
}
else Serial.println("Tarjeta SD OK!");
lcd.begin(16, 2);
lcd.setCursor(2, 0);
lcd.write("Tarjeta SD");
lcd.setCursor(6, 1);
lcd.write("OK");
delay(500);
lcd.clear();
}

void loop()
{
float h1 = dht1.readHumidity();//lee la humedad1
float t1 = dht1.readTemperature(); //lee la temperatura1
if (isnan(h1) || isnan(t1)) { //lee si existe error de lectura
Serial.println("Lectura fallida del sensor 1!");
lcd.begin(16, 2);
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.write("Falla sensor 1");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.write("Revisar el fallo");
delay(250);
//return;
}
{
float h2 = dht2.readHumidity();//lee la humedad2
float t2 = dht2.readTemperature();//lee la temperatura2
if (isnan(h2) || isnan(t2)) {
```

```
Serial.println("Lectura fallida del sensor 2!");
lcd.clear();
lcd.begin(16, 2);
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.write("Falla sensor 2");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.write("Revisar el fallo");
delay(250);
//return;
}
{
float h3 = dht3.readHumidity();//lee la humedad2
float t3 = dht3.readTemperature();//lee la temperatura2
if (isnan(h3) || isnan(t3)) {
  Serial.println("Lectura fallida del sensor 3!");
  lcd.clear();
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.write("Falla sensor 3");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.write("Revisar el fallo");
  delay(250);
  //return;
}
{
float h4 = dht4.readHumidity();//lee la humedad2
float t4 = dht4.readTemperature();//lee la temperatura2
if (isnan(h4) || isnan(t4)) {
  Serial.println("Lectura fallida del sensor 4!");
  lcd.clear();
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.write("Falla sensor 4");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.write("Revisar el fallo");
  delay(250);
```

```
    return;
}
else
{
    Serial.println("  TEMPERATURA PROMEDIO: ");
    Serial.print("TEMP GENERAL: ");
    tp = ((t1 + t2 + t3 + t4) / 4);
    Serial.print(tp);
    Serial.print("  HUMEDAD PROMEDIO: ");
    hp = ((h1 + h2 + h3 + h4) / 4);
    Serial.println(hp);
    delay(7500);
    {
        if (tp >= umbralv)
            digitalWrite(controlv, HIGH);
        else
            digitalWrite(controlv, LOW);
        delay(7500);
        if (tp <= umbrall)
            digitalWrite(controll, HIGH);
        else
            digitalWrite(controll, LOW);
        delay(7500);
    }
    int valorHumedad1 = map(analogRead(sensor1), 0, 1023, 100, 0);
    int valorHumedad2 = map(analogRead(sensor2), 0, 1023, 100, 0);
    int valorHumedad3 = map(analogRead(sensor3), 0, 1023, 100, 0);
    /////1
    lcd.clear();
    lcd.begin(16, 2);
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.write("Temp 1: ");
    lcd.setCursor(9, 0);
    lcd.print(t1);
    lcd.setCursor(15, 0);
    lcd.write("C");
```

```
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.write("Hum 1: ");
lcd.setCursor(9, 1);
lcd.print(h1);
lcd.setCursor(15, 1);
lcd.write("%");
delay(7500);
//2
lcd.clear();
lcd.begin(16, 2);
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.write("Temp 2: ");
lcd.setCursor(9, 0);
lcd.print(t2);
lcd.setCursor(15, 0);
lcd.write("C");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.write("Hum 2: ");
lcd.setCursor(9, 1);
lcd.print(h2);
lcd.setCursor(15, 1);
lcd.write("%");
delay(7500);
//lcd.clear();
//3
lcd.clear();
lcd.begin(16, 2);
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.write("Temp 3: ");
lcd.setCursor(9, 0);
lcd.print(t3);
lcd.setCursor(15, 0);
lcd.write("C");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.write("Hum 3: ");
lcd.setCursor(9, 1);
```

```
lcd.print(h3);
lcd.setCursor(15, 1);
lcd.write("%");
delay(7500);
///  
lcd.clear();
lcd.begin(16, 2);
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.write("Temp 4: ");
lcd.setCursor(9, 0);
lcd.print(t4);
lcd.setCursor(15, 0);
lcd.write("C");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.write("Hum 4: ");
lcd.setCursor(9, 1);
lcd.print(h4);
lcd.setCursor(15, 1);
lcd.write("%");
delay(7500);
///  
lcd.clear();
lcd.begin(16, 2);
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.write("Hum Betabel: ");
lcd.setCursor(5, 1);
lcd.print(valorHumedad1);
lcd.setCursor(9, 1);
lcd.write("%");
delay(7500);
///  
lcd.clear();
lcd.begin(16, 2);
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.write("Hum Espinaca: ");
lcd.setCursor(5, 1);
```

```
lcd.print(valorHumedad2);
lcd.setCursor(9, 1);
lcd.write("%");
delay(7500);
///  
lcd.clear();
lcd.begin(16, 2);
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.write("Hum Ejote: ");
lcd.setCursor(5, 1);
lcd.print(valorHumedad3);
lcd.setCursor(9, 1);
lcd.write("%");
delay(7500);
///  
lcd.clear();
lcd.begin(16, 2);
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.write("T Prom: ");
lcd.setCursor(9, 0);
lcd.print(tp);
lcd.setCursor(15, 0);
lcd.write("C");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.write("H Prom: ");
lcd.setCursor(9, 1);
lcd.print(hp);
lcd.setCursor(15, 1);
lcd.write("%");
delay(7500);
lcd.clear();
//Guardado de datos
String dataString = ""; //Vacia el string para evitar errores
File dataFile = SD.open("Prueba.txt", FILE_WRITE);
// Si el archivo es correcto guardamos en el
if (dataFile) {
```

```
// //Escribimos en el archivo "tp"
dataFile.print("Tem Promedio: ");
//Escribimos el valor de la variable
dataFile.print(tp);
//Escribimos el valor de hp
dataFile.print("    Hum Promedio: ");
//Escribimos el valor de la variable
dataFile.println(hp);
//cerramos el archivo
dataFile.close();
//Aviso de guardado el archivo
Serial.println("Guardado correcto");
//Si no se guardo mandamos aviso
lcd.begin(16, 2);
lcd.setCursor(2, 0);
lcd.write("Guardado");
lcd.setCursor(2, 1);
lcd.write("Correcto!");
delay(500);
lcd.clear();
}
else {
    Serial.println("Error al escribir en Prueba.txt");
    lcd.begin(16, 2);
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.write("Error al guardar");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.write("Datos Sensores");
    delay(500);
    lcd.clear();
}
//Esperamos tiempo para tomar la siguiente lectura
delay(7500);
///// REALIZANDO LECTURA
lcd.clear();
lcd.begin(16, 2);
```

```
    lcd.setCursor(3, 0);  
    lcd.write("REALIZANDO");  
    lcd.setCursor(4, 1);  
    lcd.write("LECTURA");  
    delay(7500);  
    lcd.clear();  
    lcd.begin(16, 2);  
    lcd.setCursor(0, 0);  
    lcd.write("INDUSTRIA");  
    lcd.setCursor(4, 1);  
    lcd.write("SANRAAB");  
    delay(7500);  
    lcd.clear();  
  }  
}  
}  
}  
}
```