

UACM

Universidad Autónoma
de la Ciudad de México

Nada humano me es ajeno

COLEGIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICOS INDUSTRIALES

Producción automatizada de jitomate hidropónico

TRABAJO RECEPCIONAL

PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADA EN
INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICOS INDUSTRIALES

PRESENTA

MARIA DE JESUS LOPEZ RODRIGUEZ

Director del trabajo recepcional

Ing. Amaranto de Jesús Dávila Jáuregui

México, D.F. diciembre de 2015.

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.

Agradecimientos

A Dios por todas sus bendiciones que hoy me permiten cumplir una meta mas.

A mi director de trabajo recepcional el Ing. Amaranto de Jesús Dávila Jáuregui, por todo el apoyo brindado durante la construcción del invernadero, por acercarme con las personas correctas para que me guiaran en la producción del jitomate y por todas las enseñanzas que me transmitió a lo largo de mi carrera profesional.

A mis profesores Dr. Marcos Ángel González Olvera, M.I. Fermi Vázquez Villanueva, Lic. Manuel Alberto Soriano Ávila y M.I. Diana Aurora Cruz Hernández, por todo el apoyo y asesoramiento en mi trabajo recepcional y por todo el conocimiento que me transmitieron durante mi carrera.

Al Sr. Urbano Peralta Jasso por todo su tiempo, apoyo y enseñanza, sobre el cuidado, las enfermedades y la producción del jitomate en invernadero.

A mis compañeros Oscar Molotla, Ivan Hernández, Saúl Ríos y Victor Rodríguez por su apoyo en el armado del invernadero, por todos los momentos de estudio, aprendizaje, risa y enojo que pasamos juntos durante este proceso.

Al laboratorio b114 LINIDET plantel san lorenzo tezonco, por las facilidades que tuve en el, para el desarrollo de este trabajo.

A la Universidad Autónoma de la Ciudad de México por el apoyo otorgado para la impresión y empastado de este trabajo recepcional.

Dedicatoria

*A mi esposo Iyonna Gordillo Ramirez por el amor, la comprensión
y el apoyo que me brindo durante toda mi carrera
y por sacrificar parte del tiempo
que teníamos para estar
juntos.*

*A mis padres, hermanas y sobrinas por su gran
amor, cariño y apoyo de siempre.*

Índice general

| | |
|--|-----------|
| Lista de figuras | 3 |
| Lista de tablas | 7 |
| Resumen | 9 |
| 1 Introducción | 10 |
| 1.1 Planteamiento del problema | 12 |
| 1.2 Objetivos | 17 |
| 1.2.1 Objetivo general | 17 |
| 1.2.2 Objetivos específicos | 17 |
| 1.3 Justificación | 17 |
| 1.4 Metodología | 18 |
| 1.5 Alcances y limitaciones | 20 |
| 2 Antecedentes | 21 |
| 2.1 El jitomate en México | 22 |
| 2.1.1 El tomate rojo | 23 |
| 2.1.2 Descripción de la planta | 24 |
| 2.2 Hidroponía | 28 |
| 2.2.1 Técnicas hidropónicas para la producción de hortalizas | 31 |
| 2.2.1.1 Cultivo sobre sustrato | 31 |
| 2.2.1.2 Raíz flotante y NFT | 34 |
| 2.2.1.3 Aeroponía | 35 |
| 2.2.1.4 Acuaponía | 35 |
| 2.2.2 Impacto social | 36 |
| 2.3 Invernaderos tecnificados | 37 |
| 2.3.1 Características generales de los invernaderos tecnifica- | |
| dos y automatizados | 39 |
| 2.3.2 El invernadero ideal | 44 |
| 2.3.2.1 Características de un invernadero para el cul- | |
| tivo de jitomate | 45 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 2.4 | Producción de jitomate hidropónico | 46 |
| 2.4.1 | Producción de plántula | 46 |
| 2.4.1.1 | Preparar la tierra | 47 |
| 2.4.1.2 | Siembra uniforme | 48 |
| 2.4.1.3 | Trasplante | 48 |
| 2.4.1.4 | Tutoreo | 49 |
| 2.4.1.5 | Podas | 49 |
| 2.4.1.5.1 | Poda de hojas | 50 |
| 2.4.1.5.2 | Poda de flores | 50 |
| 2.4.1.5.3 | Poda de frutos | 51 |
| 2.4.1.5.4 | Poda de brote apical | 51 |
| 2.4.1.6 | Polinización | 51 |
| 2.4.1.7 | Riego | 52 |
| 2.4.1.8 | Sistemas de riego en hidroponía | 52 |
| 2.4.1.9 | Síntomas de deficiencia de elementos nutritivos | 55 |
| 2.4.1.10 | Conductividad eléctrica(CE) | 58 |
| 2.4.1.11 | Control del ambiente | 59 |
| 2.4.1.12 | Plagas y enfermedades | 60 |
| 2.4.1.13 | Cosecha | 62 |
| 2.4.2 | Lombricomposta | 63 |
| 2.4.2.1 | Lombricultura | 63 |
| 2.5 | Componentes electrónicos | 67 |
| 3 | Variables a controlar y diseño del invernadero | 78 |
| 3.1 | Riego | 78 |
| 3.2 | Temperatura | 79 |
| 3.3 | Humedad | 83 |
| 3.4 | Iluminación | 85 |
| 3.5 | Tipos de invernaderos | 87 |
| 3.5.1 | Principales tipos de invernaderos | 88 |
| 3.5.1.1 | Invernadero plano o tipo parral | 90 |
| 3.5.1.2 | Invernadero en raspa y amagado | 91 |
| 3.5.1.3 | Invernadero asimétrico o inacral | 93 |
| 3.5.1.4 | Invernadero de capilla | 94 |
| 3.5.1.5 | Invernadero doble capilla | 95 |
| 3.5.1.6 | Invernadero túnel o semicilíndrico | 96 |
| 3.5.1.7 | Invernadero construido | 97 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 4 | Diseño electrónico | 99 |
| 4.1 | Dispositivos utilizados | 99 |
| 4.2 | Sistema automático de riego | 107 |
| 4.3 | Control de temperatura | 112 |
| 4.4 | Control de humedad relativa | 116 |
| 4.5 | Control de humedad del suelo | 118 |
| 5 | Sistema de control embebido | 120 |
| 5.1 | Características de las tarjetas de control | 123 |
| 5.1.1 | Raspberry Pi | 123 |
| 5.1.2 | Tarjeta Arduino Leonardo | 124 |
| 5.2 | Descripción de los programas de control | 126 |
| 5.3 | Interfaz WEB | 130 |
| 5.3.1 | Definición de servidor Web | 130 |
| 5.3.2 | Apache | 131 |
| 5.3.3 | Bases de datos | 132 |
| 5.3.3.1 | Base de datos en MySQL | 132 |
| 5.3.3.2 | Funcionamiento de una base de datos | 132 |
| 5.3.4 | HTML, PHP, JAVASCRIPT Y AJAX | 134 |
| 5.3.5 | Página Web | 136 |
| 5.3.5.1 | Características de una página web | 138 |
| 6 | Análisis financiero | 144 |
| 6.1 | Análisis del punto de equilibrio | 155 |
| 6.2 | Análisis FODA | 157 |
| 7 | Resultados, discusión y conclusiones | 164 |
| 7.1 | Parámetros de calidad | 164 |
| 7.1.1 | Calidad del producto, mediante pruebas de color, sabor, tamaño etc. | 168 |
| 7.2 | Resultados | 169 |
| 7.3 | Conclusiones | 178 |
| A | CÓDIGO DE LOS SISTEMAS DE CONTROL (tempertura, humedad relativa y humedad del suelo) | 182 |
| B | DIAGRAMAS ELÉCTRICOS | 194 |
| C | HOJAS DE DATOS | 197 |
| D | GALERÍA DE FOTOS DEL INVERNADERO DESDE SU CONSTRUCCIÓN HASTA LA COSECHA | 203 |

Índice de figuras

| | | |
|------|---|----|
| 1.1 | Jitomate o tomate rojo [Sagarpa.2010] | 12 |
| 1.2 | Producción agrícola de tomate rojo. [Nocetti & Hernandez.2012] | 13 |
| 1.3 | Principales estados productores de jitomate en la República Mexicana. [Nocetti & Hernandez.2012] | 14 |
| 1.4 | Producción por tipo de jitomate en México. [Nocetti & Hernandez.2012] | 15 |
| 2.1 | Los tomates amarillos fueron los primeros en cultivarse en Europa, más tarde, los rojos se hicieron más populares [McE-nany.2007] | 22 |
| 2.2 | El tomate rojo [Lopez,Uriarte & Rivera.2001] | 23 |
| 2.3 | Tomate, Fruto [Lopez,Uriarte & Rivera.2001] | 24 |
| 2.4 | El fruto (jitomate) es de diferentes tamaños y formas [Lopez,Uriarte & Rivera.2001] | 26 |
| 2.5 | Tomates maduros listos para cortar [Lopez,Uriarte & Rivera.2001] | 27 |
| 2.6 | Hidroponía, producción de plantas sin suelo | 29 |
| 2.7 | Cultivo sobre sustrato [dia.com.2014] | 32 |
| 2.8 | Técnica Raíz Flotante [dia.com.2014] | 34 |
| 2.9 | Técnica Aeroponía [dia.com.2014] | 35 |
| 2.10 | Técnica Acuaponía [dia.com.2014] | 36 |
| 2.11 | Polinización mediante abejorros [Arizpe & Velazquez,2008] | 52 |
| 2.12 | Proceso de la lombricultura. | 64 |
| 2.13 | Raspberry PI [Raspberry Pi.2015] | 67 |
| 2.14 | Esquema de conexión del sensor DS18B20. [Dominguez.2000] | 69 |
| 2.15 | Lecturas de temperatura y humedad en la consola de Arduino. | 69 |
| 2.16 | Conexión entre el sensor DHT22 y la placa Arduino. [Electronics.2013] | 71 |
| 2.17 | Sensor YL-69 con módulo YL-38. [Educatronica.2015] | 71 |
| 2.18 | Estructura de un puente H (marcado en rojo). [La enciclopedia libre.2015] | 73 |

| | | |
|------|--|-----|
| 2.19 | Los 2 estados básicos del circuito. [La enciclopedia libre.2015] | 73 |
| 2.20 | Salidas y terminales de control del modulo Puente H L298N [La enciclopedia libre.2015] | 75 |
| 2.21 | Formas de alimentación del módulo PH L298N. [La enciclopedia libre.2015] | 76 |
| 2.22 | Relevador, relé o relay. [Aguillon.2013] | 77 |
| 3.1 | Termómetro digital que monitorea temperatura y humedad relativa y termómetro de máxima y mínima [CONEVYT.2008] | 81 |
| 3.2 | Raíz de la planta anclada al sustrato. [CONEVYT.2008] | 82 |
| 3.3 | Deficiencia de fosforo en la planta de jitomate. [CONEVYT.2008] | 83 |
| 3.4 | Falta de calcio en el jitomate. [CONEVYT.2008] | 83 |
| 3.5 | Deshidratación del polen. [Arizpe & Velazquez,2008] | 84 |
| 3.6 | Diferentes tipos de cubierta de plástico para invernadero. [CONEVYT.2008] | 86 |
| 3.7 | Diferentes tipos de invernaderos [Hancco.2013] | 88 |
| 3.8 | Invernadero plano o tipo parral [Hancco.2013] | 90 |
| 3.9 | Invernadero en raspa y amagado [Hancco.2013] | 92 |
| 3.10 | Invernadero asimétrico con la cara expuesta al sur [Hancco.2013] | 93 |
| 3.11 | Invernadero de capilla simple [Hancco.2013] | 94 |
| 3.12 | Invernadero de doble capilla [Hancco.2013] | 95 |
| 3.13 | Invernadero Túnel o semicilíndrico. [Hancco.2013] | 96 |
| 4.1 | Sistema de control y monitoreo.) | 99 |
| 4.2 | Motor de DC conectado al puente H L298N y al Arduino. [La enciclopedia libre.2015] | 104 |
| 4.3 | Banco de relevadores. [Definicion.2008] | 105 |
| 4.4 | Banco de relevadores conectado al Arduino. | 106 |
| 4.5 | PCB. | 107 |
| 4.6 | Diagrama de flujo del riego con SN | 110 |
| 4.7 | Diagrama de flujo del riego con AH | 111 |
| 4.8 | Termo-ventilador Modelo BDHF85-CL de la marca Black & Decker. | 113 |
| 4.9 | Diagrama de flujo de temperatura alta | 114 |
| 4.10 | Diagrama de flujo de temperatura baja | 115 |
| 4.11 | Diagrama de flujo del control de humedad relativa alta | 117 |
| 4.12 | Diagrama de flujo del control de humedad relativa baja | 118 |
| 4.13 | Diagrama de flujo del sistema de control de humedad del suelo | 119 |
| 5.1 | Sistema embebido del invernadero. | 123 |
| 5.2 | Cara principal de la página Web. | 139 |

| | | |
|------|---|------------|
| 5.3 | Gráficas | 140 |
| 5.4 | Hidroponía (página web). | 141 |
| 5.5 | Lombricultura (página web). | 142 |
| 5.6 | Galería (página web). | 143 |
| 6.1 | Gráfica que muestra el punto de equilibrio del invernadero. (Elaboración propia) | 157 |
| 7.1 | Tamaño variado de jitomate. | 169 |
| 7.2 | Desarrollo de las plantas. | 170 |
| 7.3 | Bacteria (mancha negra) presentada durante la fructificación. . | 171 |
| 7.4 | a) Plantas de la 1ra siembra b) Plantas de la 2da siembra. . . | 173 |
| 7.5 | Gráfica de la temperatura el día 3 de Mayo del 2015 | 173 |
| 7.6 | Gráfica de la humedad relativa el día 3 de Mayo del 2015 . . . | 174 |
| 7.7 | Gráfica de la humedad del sustrato el día 3 de Mayo del 2015 . | 174 |
| 7.8 | Gráfica de la temperatura el día 8 de Julio del 2015 | 175 |
| 7.9 | Gráfica de la humedad relativa el día 8 de Julio del 2015 . . . | 175 |
| 7.10 | Gráfica de la humedad del sustrato el día 8 de Julio del 2015 . | 176 |
| 7.11 | Gráfica de la temperatura el día 21 de Octubre del 2015 . . . | 176 |
| 7.12 | Gráfica de la humedad relativa el día 21 de Octubre del 2015 . | 177 |
| 7.13 | Gráfica de la humedad del sustrato el día 21 de Octubre del 2015 | 177 |
| B.1 | Diagrama eléctrico del control del riego | 195 |
| B.2 | Diagrama eléctrico del control de temperatura y hu- medad. | 196 |
| C.1 | Sensor de temperatura | 198 |
| C.2 | Sensor de humedad relativa | 199 |
| C.3 | Puente H 1298 | 200 |
| C.4 | Banco de relevadores | 201 |
| C.5 | Bomba, electroválvula y electronivel | 202 |
| D.1 | Proceso del invernadero desde su construcción hasta la obtención del jitomate. | 204 |

Índice de cuadros

| | | |
|------|---|-----|
| 2.1 | Fertilizantes. Tomado de [elmejorguia.com.2005] | 55 |
| 2.2 | Principales enfermedades del jitomate. [Cortes.2007] | 61 |
| 2.3 | Principales plagas del jitomate. [Cortes.2007] | 61 |
| 2.4 | Cantidades de abono aplicado a ciertos cultivos. Tomado de [Nely.2011] | 66 |
| 2.5 | Características de los sensores DTH11 y DHT22. [Electronics.2013] | 70 |
| 2.6 | Acciones del motor según la lógica en las terminales. [La enciclopedia libre.2015] | 74 |
| 3.1 | Variables a controlar. | 97 |
| 3.2 | Condiciones climaticas y de suelo requeridas por las platas en cada etapa de crecimiento. | 98 |
| 4.1 | Lógica de control de los motores de las cortinas del invernadero. | 103 |
| 4.2 | Estado de la humedad del suelo. | 108 |
| 5.1 | Características eléctricas de Arduino Leonardo. [Arduino.2015] | 124 |
| 6.1 | Aprovechamiento de la instalación durante un Año (Octubre 2014- octubre 2015). | 144 |
| 6.2 | Costo de materia prima. | 145 |
| 6.3 | Costo de envases y embalajes. | 145 |
| 6.4 | Otros materiales. | 146 |
| 6.5 | Consumo de energía eléctrica. | 146 |
| 6.6 | Costo total de producción. | 148 |
| 6.7 | Activo fijo de producción. | 148 |
| 6.8 | Costo total del terreno y obra civil. | 151 |
| 6.9 | Presupuesto para producir jitomate durante un año. | 151 |
| 6.10 | Material electrónico utilizado en la automatización del invernadero. | 151 |
| 6.11 | Material e insumos para la construcción del invernadero. | 153 |

| | | |
|------|---|-----|
| 6.12 | Clasificación de costos. | 156 |
| 6.13 | ANALISIS FODA | 160 |
| 6.14 | MATRIZ FODA (Elaboración propia) | 163 |
| 7.1 | Resultados de la encuesta realizada a 5 personas sobre la calidad del jitomate. | 168 |
| 7.2 | Plagas y enfermedades que se presentaron.(Elaboración propia) | 171 |
| 7.3 | Comparación entre la 1ra y 2da siembra. | 172 |
| 7.4 | Comparación entre rangos teóricos y rangos que se alcanzaron. | 178 |

Resumen

En este trabajo se presenta la automatización de un invernadero para la producción de jitomate hidropónico, mediante la implementación de un sistema electrónico de bajo costo, que se encarga de controlar y mantener las condiciones climáticas que requiere el jitomate para su óptimo desarrollo.

Se implementó el riego por goteo que es una de las técnicas de la hidroponía, esta técnica permitió optimizar y aprovechar en lo posible un recurso natural y fundamental para la vida del ser humano que es el agua. Además se generó humus de lombriz roja californiana para suministrar a las plantas un fertilizante orgánico contribuyendo de esta forma al cuidado del medio ambiente.

Mediante la automatización del invernadero se generó un ambiente controlado, dando como resultado plantas saludables, de tallo alto, con un número favorable de racimos por planta y frutos de buena calidad de sabor, color y textura agradables al consumidor.

Se creó una página web que permite al usuario poder monitorear las condiciones climáticas dentro del invernadero, al mismo tiempo el sistema genera avisos en pantalla relacionados a fallas en el sistema de riego.

Palabras clave: Automatizado, invernadero, hidroponía, jitomate, página web.

Capítulo 1

Introducción

En estudios realizados por la SAGARPA la comercialización del tomate fresco está expandiéndose entre países vecinos como Estados Unidos, Canadá y México gracias a la reducción de aranceles y a la firma de tratados comerciales que hacen posible que el costo de transporte sea menor, trayendo consigo que las importaciones agroalimentarias tengan una tendencia creciente en los principales centros de consumo, presentando para México una gran oportunidad en el crecimiento y desarrollo de sus exportaciones agroalimentarias.

Las importaciones de tomate han crecido un 9% anual con un monto de \$4,800 millones de USD en periodo 2000-2009; siendo Estados Unidos, Alemania y Reino Unido los principales importadores de tomate en el mundo; la SAGARPA presenta al tomate como el principal producto agroalimentario de exportación en México, con un promedio anual de \$899 millones de USD durante el periodo 2000-2009 siendo Norteamérica (Estados Unidos y Canadá) su principal mercado con el 95%, pues es allí donde se comercializan diversas variedades de tomate producidas a cielo abierto, en casas sombra e invernaderos, además de los cultivados en suelo, en hidroponía y los orgánicos que cada día tienen una mayor presencia en el mercado.

La producción de tomate en México alcanza los 2 millones de toneladas al año en promedio esto con las 70 mil hectáreas dedicadas a la siembra tanto a cielo abierto como en agricultura protegida, los tipos de tomate más producidos son Bola, Cherry, Racimo, Mimi y Campari. La producción de jitomate bajo la llamada agricultura protegida, es decir, bajo invernadero representa amplias ventajas sobre la producción en suelos a campo abierto, ya que el rendimiento por unidad de superficie de un cultivo bajo invernadero es de 2 a 3 veces mayor que a cielo abierto, y si se utiliza hidroponía e invirtiendo

en todos los cuidados necesarios los rendimientos pueden ser hasta 10 veces superiores. [Sagarpa.2014]. El invernadero permite al usuario modificar a conveniencia determinadas condiciones climáticas para contrarrestar los efectos negativos del medio ambiente como lluvias intensas, plagas, vientos, etc., hasta un punto óptimo para el desarrollo del cultivo, además le permite colocar más plantas y aumentar así la producción.

La utilización de técnicas como la fertirrigación y la hidroponía permiten hacer un adecuado uso de los fertilizantes y evitar desperdicio de estos ya que solo se le aplica a la planta los elementos que necesita en cada etapa de crecimiento, esto contribuye a reducir gastos, beneficiando así al productor, otro recurso que contribuye a la reducción de gastos es el riego localizado o por aspersión (riego por goteo, micro-aspersión y nebulización) este sistema es tan eficiente que no se desperdicia agua y contribuye al medio ambiente.

Un invernadero bien construido y herméticamente cubierto protege al cultivo de maleza, plagas y enfermedades, lo cual es factible para tener un cultivo sano, también es posible cultivar todo el año pues tiene independencia con el medio exterior, con el uso de sistemas de calefacción, enfriamiento y ventilación es posible producir sin interrupción por las condiciones climáticas de cada zona. Como consecuencia es posible tener productos que no sean de temporada, lo cual es un buen negocio para los productores ya que pueden vender su producción a mejores precios. [Sagarpa.2014]

Al estar dentro de un invernadero las plantas no sufren daños ni desgaste causados por elementos ambientales como la lluvia, las granizadas, la radiación solar y los fuertes vientos, dando a los productores un producto de calidad con una composición interna favorable y de excelente presentación al consumidor, con esto el productor obtiene buenas ganancias pues tienen la oportunidad de posicionar su producto en mejores mercados e incluso tener la posibilidad de exportarlo.

Un invernadero además de proteger al cultivo también da cobijo a los trabajadores ya que les permite realizar sus actividades sin tener que estar expuestos a las inclemencias del tiempo, logrando brindar mejores condiciones de trabajo y tener personal más satisfecho.

1.1 Planteamiento del problema

La superficie total sembrada de jitomate o tomate rojo ver figura(1.1), en México ha mostrado una tendencia a decrecer año con año, desde 85,000 hectáreas que se sembraban en 1990, a 75,000 en el 2000, y en 2011, sólo se sembraron 53,780.18 hectáreas. [Sagarpa.2010]



Figura 1.1: Jitomate o tomate rojo [Sagarpa.2010]

Este decrecimiento se ha debido a la presencia de plagas así como a los costos elevados en la producción, el cambio constante de los precios y divisas en los mercados internacionales y a la falta o limitación de los recursos hídricos, por lo que algunos productores han optado por la producción bajo agricultura protegida dejando de sembrar a campo abierto. Estas producciones se encuentran principalmente en los estados de Sinaloa, Baja California y Jalisco, aunque también han proliferado operaciones en Colima, México, Hidalgo, Michoacán, Querétaro, San Luis Potosí, Sonora, y Zacatecas, como se refleja en el cuadro (1.2).

De la superficie total protegida, una gran parte corresponde al cultivo de tomate o jitomate, de los tipos roma, bola y cereza, los más populares en dicha modalidad de producción. Sólo en Sinaloa existen unas 15,000 hectáreas dedicadas al cultivo de tomate, de las cuales más del 10 son protegidas. Debido a los buenos resultados obtenidos con dicha modalidad, se ha incrementado la superficie de producción en casa sombra, principalmente para el mercado de exportación. [Nocetti & Hernandez.2012]

| JITOMATE O TOMATE ROJO | | | | |
|--|---------------------------------|----------------------------------|-------------------------|--|
| PRODUCCIÓN AGRÍCOLA | | | | |
| Ciclo: Cíclicos y Perennes 2011 | | | | |
| Modalidad: Riego + Temporal | | | | |
| UBICACIÓN | SUPERFICIE SEMBRADA (Ha) | SUPERFICIE COSECHADA (Ha) | PRODUCCIÓN (Ton) | VALOR PRODUCCIÓN (Miles de Pesos) |
| SINALOA | 15,399.18 | 7,684.51 | 345,011.10 | 1,406,414.49 |
| BAJA CALIFORNIA | 2,775.14 | 2,699.66 | 162,324.92 | 961,165.92 |
| MICHOACAN | 4,882.50 | 4,862.50 | 148,080.85 | 489,499.34 |
| JALISCO | 2,157.45 | 2,133.95 | 136,539.82 | 825,451.45 |
| ZACATECAS | 3,232.90 | 3,212.90 | 134,369.40 | 662,122.45 |
| SAN LUIS POTOSI | 2,115.00 | 2,075.00 | 108,613.50 | 455,349.02 |
| BAJA CALIFORNIA SUR | 2,299.00 | 2,100.25 | 92,882.72 | 769,256.96 |
| MEXICO | 1,395.95 | 1,395.95 | 74,387.45 | 459,421.86 |
| MORELOS | 2,176.00 | 2,176.00 | 68,152.40 | 543,617.33 |
| TAMAULIPAS | 1,947.50 | 1,913.00 | 64,812.50 | 396,378.95 |
| SONORA | 1,679.80 | 1,156.80 | 60,717.99 | 336,603.54 |
| NAYARIT | 2,773.00 | 2,773.00 | 59,777.11 | 234,968.38 |
| VERACRUZ | 2,313.75 | 2,313.75 | 54,381.50 | 363,872.47 |
| OAXACA | 858.00 | 858.00 | 52,401.59 | 355,834.28 |
| CHIAPAS | 1,471.50 | 1,471.50 | 49,396.50 | 479,405.88 |
| GUANAJUATO | 691.68 | 691.68 | 47,638.25 | 284,585.81 |
| COAHUILA | 1,053.00 | 916.00 | 46,858.36 | 274,893.94 |
| PUEBLA | 710.39 | 707.69 | 31,997.05 | 248,110.81 |
| QUERETARO | 152.00 | 141.85 | 24,622.39 | 179,287.27 |
| NUEVO LEON | 354.39 | 354.31 | 20,618.49 | 122,580.25 |
| GUERRERO | 1,102.07 | 1,084.07 | 19,010.00 | 104,472.36 |
| HIDALGO | 545.76 | 523.26 | 14,991.30 | 86,281.94 |
| DURANGO | 330.25 | 330.25 | 13,623.50 | 71,416.75 |
| AGUASCALIENTES | 397.00 | 391.00 | 13,288.00 | 41,534.00 |
| COLIMA | 269.00 | 269.00 | 11,920.00 | 59,921.12 |
| CHIHUAHUA | 175.70 | 175.70 | 6,708.52 | 61,900.03 |
| CAMPECHE | 309.00 | 309.00 | 6,079.30 | 39,995.78 |
| YUCATAN | 146.53 | 144.83 | 1,935.67 | 11,483.10 |
| QUINTANA ROO | 36.24 | 36.24 | 914.51 | 7,520.12 |
| TABASCO | 24.00 | 24.00 | 278.00 | 2,398.00 |
| TLAXCALA | 5.00 | 5.00 | 104.00 | 546.00 |
| DISTRITO FEDERAL | 1.50 | 1.50 | 45.00 | 563.50 |
| TOTAL | 53,780.18 | 44,932.15 | 1,872,481.69 | 10,336,853.07 |

FUENTE: Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera SIAP-SAGARPA.

Figura 1.2: Producción agrícola de tomate rojo. [Nocetti & Hernandez.2012]

En la República Mexicana (ver figura 1.3), se produce jitomate durante todo el año. En el análisis temporal, durante los primeros meses del año, es cuando se genera el tope de producción nacional, en el estado de Sinaloa, que abastece al mercado nacional y la mitad del norteamericano. Por otro lado, durante el verano, la producción de los estados del centro y de Baja California, es la que abastecen la demanda interna y de exportación. Finalmente, en los meses de agosto a diciembre, son otras entidades las que cubren la producción.



Figura 1.3: Principales estados productores de jitomate en la República Mexicana. [Nocetti & Hernandez.2012]

No obstante que el jitomate es un producto que se cosecha a lo largo de todo el año, es en los primeros meses del mismo en que se concentra su producción, principalmente en los meses de enero, febrero y marzo. Por otro lado, su mínimo nivel lo tiene durante el verano, en los meses de junio y julio, presentando un ligero incremento hacia finales del año.

En lo que respecta a las variedades de jitomate que se producen en el territorio mexicano, la de mayor distribución es el jitomate saladette (como se muestra en el cuadro 1.4), y en segundo lugar se encuentra el jitomate de invernadero. También son importantes los jitomates de exportación y de bola, debido a los rendimientos y precios que ofrecen.

En cuanto a la producción por estados la Sagarpa coloca a Sinaloa con 345,011.10 toneladas como el principal productor de jitomate, mayormente de tipo Saladette y como segundo lugar a Baja California, con 162,324.92 toneladas, que produce principalmente, el jitomate que se exporta. En los últimos años, México ha ocupado el primer lugar en exportaciones del producto. Tiene su principal mercado en Estados Unidos, Reino Unido, Canadá, España, Alemania, Suiza y Australia.

**PRODUCCIÓN POR TIPO DE TOMATE ROJO O JITOMATE EN MÉXICO
AÑO 2010 (Toneladas)**

| TIPO | PRODUCCIÓN TOTAL (Toneladas) | PRINCIPAL ESTADO PRODUCTOR |
|--------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| Saladette | 1,060,083.65 | Sinaloa |
| Invernadero | 400,638.29 | México |
| Exportación | 195,537.65 | Baja California |
| Bola | 191,606.38 | Baja California Sur |
| Bola Malla Sombra | 90,655.00 | Sinaloa |
| Invernadero Exportación | 88,428.19 | Jalisco |
| Malla Sombra Exportación | 66,188.67 | Baja California |
| Bola Invernadero | 38,520.00 | Sinaloa |
| Industrial | 37,077.36 | Sinaloa |
| Cherry | 33,330.49 | Tamaulipas |
| Saladette Malla Sombra | 32,153.00 | Sinaloa |
| Cherry Orgánico | 13,087.32 | Baja California Sur |
| Orgánico | 10,350.05 | Baja California Sur |
| Río Grande | 3,540.89 | Jalisco |
| Saladette Invernadero | 3,360.00 | Baja California Sur |
| Invernadero Malla Sombra | 776.00 | Jalisco |
| Semilla | 2.40 | Baja California |
| Roma | Sin producción* | Michoacán |

* Se sembraron 2.00 hectáreas. Pero no hay reporte de producción.

FUENTE: Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera SIAP-SAGARPA.

Figura 1.4: Producción por tipo de jitomate en México. [Nocetti & Hernandez.2012]

El tomate presenta diversos problemas de los cuales sobresale el uso excesivo de agro-químicos para su producción (aproximadamente 115 diferentes agro-químicos) , además están los problemas de sabor y el de vida de anaquel, para minimizar un poco este problema la empresa estadounidense SunWord introdujo el tomate Divino (divine-ripe) que está siendo producido en el valle de Culiacán y Baja California y tiene una vida más larga de anaquel, además este tomate se puede considerar como un producto natural pues se origina a través de una planta mutante y no por medio de la transgénesis, lo cual es otro problema del jitomate ya que para lograr cumplir con la demanda de esta hortaliza durante todo el año en México se esta exportando tomate transgénico, por lo que es de suma importancia la implementación de sistemas automatizados que permitan la producción de tomate (no transgénico) en cualquier época del año y sin importar la especie.

Una alternativa que surge a la par, es la producción de alimentos a través de sistemas sustentables para aminorar la contaminación ambiental por el exceso de fertilizantes, como la aplicación de compostas dentro de los sistemas de producción agrícola combinados con sustratos inertes, así como aplicar nuevas técnicas de manejo de los cultivos, tales como la prevención y control de plagas y enfermedades por métodos que sean menos agresivos al medio ambiente y a la salud del consumidor. Cabe mencionar que la situación actual en la que se vive con respecto a todos los efectos negativos que se han ocasionado sobre el medio ambiente han llevado a países desarrollados a cambiar la imagen del agricultor, que de ser considerado como un productor de alimentos exclusivamente, está pasando a ser visto como un gestor del medio ambiente ([Solano & Garrido.2013]).

Por todo lo anterior es que se tiene como objetivo principal en esta tesis, la creación e implementación de un invernadero automatizado para la producción de jitomate hidropónico, que sea capaz de mantener todas las condiciones requeridas para lograr la producción de jitomate, libre en lo posible de todo químico, que pueda ser implementado en cualquier zona del país sin importar las condiciones climáticas y optimizando al máximo los recursos que se tengan al alcance.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema automatizado para la producción de jitomate hidropónico utilizando en lo posible control de plagas y fertilizantes naturales, optimizando al máximo los recursos disponibles.

1.2.2 Objetivos específicos

- Construcción de un invernadero de prueba con características que permitan escalar la aplicación de los dispositivos utilizados para la automatización a invernaderos de mayor tamaño.
- Desarrollo de un sistema electrónico de control y monitoreo del clima (sistema de temperatura y humedad) del invernadero que mantengan las condiciones óptimas para la producción de jitomate.
- Diseño e implementación del sistema de riego del invernadero.
- Poner en marcha el invernadero automatizado iniciando con la producción de jitomate.
- Comprobar la rentabilidad del invernadero automatizado a través del estudio de viabilidad financiera y el estudio de costo-beneficio.

1.3 Justificación

Hoy en día la agricultura tradicional practicada en nuestro país está llegando al límite de sus capacidades, debido al crecimiento de la mancha urbana y desaparición de zonas de cultivo, así mismo la escasez continua de agua y el poco o casi nulo aumento en el rendimiento de la superficie provoca que exista poca tierra para incrementar la producción agrícola bajo la forma convencional de cultivo que ha imperado por años en el país. Además existe una población en constante crecimiento cuyas necesidades alimentarias es importante satisfacer, por consecuencia urge renovar los modelos y estándares de producción en México que es un país en desarrollo.

La hidroponía es un sistema de producción agrícola que se aplica con éxito en condiciones y ambientes diversos. La palabra proviene del griego hydro (agua) y ponos (labor o trabajo). Es entonces la ciencia que estudia los cultivos sin tierra.

La posibilidad de cosechar plantas sin tierra fue considerada en la segunda mitad del siglo pasado; en la actualidad es uno de los sistemas más empleados en países del primer mundo como en Europa donde los productos hidropónicos son los más aceptados por ser 100 por ciento orgánicos, además de ser una técnica que minimiza las alteraciones e incidencias en el medio ambiente y se pueden cultivar verduras, frutas, flores, plantas aromáticas y ornamentales de excelente calidad en un reducido espacio. Los productos hidropónicos se venden en restaurantes, tiendas de autoservicio, departamentales, central de abastos, hoteles, hospitales, escuelas, comedores industriales y empacadoras, principalmente. Los de mayor demanda son la fresa, jitomate, chícharo, papa, forraje verde para ganado y hortalizas; es un producto que puede ser muy bien colocado en cualquier mercado gracias a sus características distintas como color, sabor y tamaño, además de que tienen una mayor vida en anaquel. En México este sistema cuenta con un mercado viable para ser implementado y desarrollar negocios agro-industriales, ya que hasta ahora es poca su difusión y uso entre los agricultores.

La producción automatizada de jitomate con la técnica de hidroponía en invernadero puede generar producto todo el año en cualquier lugar donde se implemente, siendo ésta una buena fuente de trabajo para aquella persona que desee invertir en ello, es también es una buena opción para aquellos personas que deseen obtener productos libres de pesticidas y de calidad, ya que es posible implementarlo en cualquier escala siendo posible su implementación en una azotea, además de que con el invernadero en casa se involucra a toda la familia y en especial a los niños fomentándoles una cultura de una alimentación saludable y que ayude al cuidado del medio ambiente por medio del ahorro de agua.

1.4 Metodología

Para lograr el invernadero automatizado para la producción de jitomate se realizarán los siguientes pasos:

- Investigación sobre la historia del jitomate desde sus características propias como planta y vegetal así como su morfología, edafología y

todas las características para su producción desde su llegada a México hasta la actualidad.

- Investigación sobre el consumo de este producto en México así como su venta, compra, exportación e importación del jitomate en toda la república.
- Investigación sobre métodos hidropónicos de producción de jitomate desde la germinación y siembra hasta la cosecha del jitomate.
- Investigación y desarrollo de fertilizantes naturales en específico la lombricomposta.
- Investigación sobre que es la hidroponía ventajas, desventajas sus diferentes técnicas de siembra, así como los sistemas de riego hidropónicos existentes.
- Investigación sobre los diferentes tipos de invernaderos, características, ventajas y desventajas de cada uno así como investigación de los materiales más ocupados para la construcción de invernaderos.
- Investigación sobre todas las condiciones que se necesitan para producir jitomate, como lo son la temperatura, humedad, cantidad de luz, cantidad de agua, nutrientes etc.
- Investigación sobre sensores de temperatura, humedad relativa, humedad del suelo, nivel y algunos otros dispositivos para el manejo y control del sistema de automatización como bombas de agua, electro-válvulas, motores de DC, etc.
- Investigación sobre las tarjetas Raspberry Pi y Arduino Leonardo y su lenguaje de programación. La razón por la que se utilizarán en particular estas plataformas es porque ya se cuenta con ellas además de que se tiene mayor información sobre su programación y la comunicación con los sensores de temperatura, humedad y humedad del suelo lo que facilita la implementación del sistema.

-Investigación sobre la comunicación serial y la interacción de algunos sensores (temperatura, humedad, etc.) con el sistema Arduino Leonardo.

-Investigación sobre la comunicación serial entre Arduino y Raspberry pi.

- Investigación sobre la instalación de un servidor web, el desarrollo de una página con la tarjeta Raspberry Pi, y el manejo de bases de datos para la creación de gráficas con datos provenientes de los arduino.

1.5 Alcances y limitaciones

En este trabajo se diseñó, construyó e implementó un invernadero automatizado de prueba para la producción automatizada de jitomate mediante hidroponía con la técnica de riego por goteo. Mediante esta técnica se logró tener un adecuado uso y consumo del agua, ya que se utilizó solo la requerida por la planta, contribuyendo así al cuidado de este recurso natural.

El sistema está desarrollado de tal forma que permita ser escalado e implementado a invernaderos de mayor tamaño con condiciones climáticas y de ubicación diferentes.

Se utilizó en lo posible fertilizantes naturales como el humus de lombriz y un sistema de control de plagas con productos naturales que permitió tener un producto de buena calidad y libre de pesticidas que contengan químicos que arremeten contra la salud del consumidor y el planeta. Sin embargo no se descarta el uso de fertilizantes e insecticidas químicos para garantizar la producción del invernadero.

Se llevó a cabo un proceso de generación de composta con residuos de casa para así poder obtener humus de lombriz tanto sólido como líquido, el cual fue utilizado en la producción de jitomate.

Ante la falta de conocimientos relacionados a la ingeniería agronómica se buscaron alianzas estratégicas con productores de jitomate que deseen poner a prueba el sistema realizando un intercambio de conocimientos que mejoren el diseño del sistema.

Capítulo 2

Antecedentes

El tomate viajó a Europa desde Tenochtitlan, capital del Imperio azteca, después de la conquista de los españoles, donde se le conocía como xítomatl, fruto con ombligo. Si bien ambos centros de origen del tomate cultivado, Perú y México, han sido postulados y se ha proporcionado evidencia en uno u otro sentido, no existen pruebas concluyentes que apoyen de manera irrefutable uno de tales sitios como el lugar donde el tomate ha sido domesticado a partir de su ancestro silvestre. Más aún, puede ser que este cultivo haya sido domesticado independientemente por las culturas precolombinas que habitaban lo que actualmente es México y Perú [Peralta.2007].

Existen evidencias arqueológicas que demuestran que el tomatillo (*Physalis ixocarpa*), una especie que produce una fruta ácida y de color verde, que aún se consume en México, fue usada como alimento desde épocas prehispánicas. Esto hace pensar que el tomate también fue cultivado y usado por los pueblos originarios mesoamericanos desde antes de la llegada de los españoles. Es posible que después de la llegada de los españoles el tomate se cultivara y consumiera más que el tomatillo por su apariencia colorida y su mayor tiempo de vida después de ser cosechado [Botanical Garden of Cordoba.1994]

En todo caso, el tomate emigró a América Central por diversos medios. Los mayas y otros pueblos de la región lo utilizaron para su consumo, y se cultivaba en México meridional, y probablemente en otras áreas hacia el siglo XVI. Dentro de las creencias del pueblo, quienes presenciaban la ingestión de semillas de tomate eran bendecidos con poderes adivinatorios. El tomate grande y grumoso, una mutación de una fruta más lisa y más pequeña, fue originado y alentado en la América Central. Smith indica que este es el antepasado directo de algunos tomates modernos cultivados.

Los españoles distribuyeron el tomate a lo largo de sus colonias en el Caribe después de la conquista de América. También lo llevaron a Filipinas y por allí entró al continente asiático. Llevaron el tomate a Europa en 1540, el cual creció con facilidad en los climas mediterráneos. De acuerdo con algunas referencias, los primeros tomates que se cultivaron en Italia eran de color amarillo (ver figura 2.1) y en 1554 fueron descritos por el botánico italiano Piero Andrea Mattioli como "pomo d'oro" (manzana dorada), de aquí el nombre de "pomodoro" [Botanical Garden of Cordoba.1994].



Figura 2.1: Los tomates amarillos fueron los primeros en cultivarse en Europa, más tarde, los rojos se hicieron más populares [McEnany.2007]

2.1 El jitomate en México

México ocupa el segundo lugar en exportaciones mundiales de tomate. El principal destino es hoy en día, el mercado de los EE.UU., en el que participa con aproximadamente el 35 %. El abasto en dicho mercado es complementado por sus regiones productoras, entre las que destacan Florida y California. En el mercado estadounidense, el 80 % de las importaciones de jitomate son de origen mexicano; en segundo lugar, se ubica Canadá, con 18 % de importaciones realizadas por EE.UU.; seguido a gran distancia por Holanda, Guatemala y República Dominicana, los que en su conjunto no superan el 2 % de participación. La principal zona productora en EE.UU. es Florida, cuya participación en el mercado local busca aumentar constantemente.

La producción mexicana se divide entre los ciclos de primavera-verano y otoño-invierno. Durante el ciclo O-I, cerca de tres cuartas partes de la producción se concentran en Sinaloa, que destina un gran porcentaje de su producción a EE.UU., principalmente entre enero y abril. En tanto que en P-V, la producción se destina al mercado nacional, con excepción de la de Baja California. En los Estados Unidos, la variedad de mayor consumo y aceptación es el tomate bola, seguido del saladette y el cherry. En el mercado

estadounidense, el consumo de esta hortaliza es casi constante a lo largo del año, presentando una ligera disminución en otoño [Sagarpa.2010].

2.1.1 El tomate rojo

El tomate rojo (figura 2.2) es una planta herbácea de tallo voluble, largo y cubierto por numerosos pelos. Las hojas son lobuladas con los bordes dentados. Las flores pentámeras se reúnen en ramilletes laterales y son amarillas.



Figura 2.2: El tomate rojo [Lopez,Uriarte & Rivera.2001]

Su nombre científico dependiendo del país es:

Solanum Lycopersicum L. ó Lycopersicum Esculentum Mill.

Francés: Tomate, Pomme d'or, Pomme du Perou.

Inglés: Tomato, Love apple.

Alemán: Tomate, Liebesappe.

Italiano: Pomodoro, Pomodoro.

Portugués: Tomate.

Es una de las plantas de mayor importancia, tanto en las pequeñas y las grandes huertas, como en las más extensas explotaciones agrícolas, porque su consumo es universal, se extiende a todas las épocas del año y a todas las clases sociales.

Los frutos (ver figura 2.3) se agrupan en racimos, con un número variable de frutos que a veces iguala el número de flores.

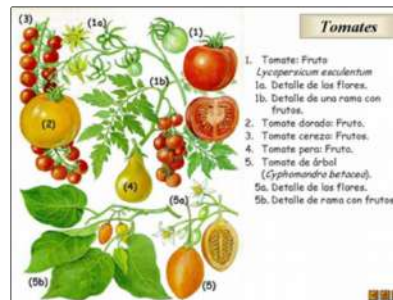


Figura 2.3: Tomate, Fruto [Lopez,Uriarte & Rivera.2001]

Su origen es del Suroeste de América. El tomate fue introducido en Europa por los colonizadores españoles del continente americano. El tomate es una planta anual, pero a veces puede perdurar más de un año en el terreno. Los países que cuentan con mayor superficie dedicada a este cultivo son los Estados Unidos, Italia, España, México, Egipto y Brasil [McEnany.2007].

Taxonomía del tomate rojo [Lopez,Uriarte & Rivera.2001]:

Nombre común Tomate o Tomate Rojo

Reino Plantae

División Magnoliophyta

Clase Magnoliopsida

Familia Solanaceae (Solanáceas)

Nombre científico (género y especie)

Nombre común o vulgar *Lycopersicon esculentum* Tomate, Tomatera, Tomate Rojo.

2.1.2 Descripción de la planta

La palabra tomate proviene del náhuatl “xitli” (ombligo) y “tinatlm” (tomati o tomatera), y es el nombre común que se le ha dado a una planta herbácea de tallo voluble, largo y cubierto por numerosos pelos. Las hojas son lobuladas con los bordes dentados. Las flores pentámeras se reúnen en ramilletes laterales y son amarillas. Aunque sus hojas son venenosas (pertenecen a la familia de las solanáceas, que incluye al tóxico beleño y a la letal belladona), algún audaz campesino maya se percató de que el fruto era comestible. Esta planta silvestre rastrera mide de 50 cm. a un metro de altura. Su fruto es de diferentes tamaños y formas: redondo, forma globosa, globosa aplanada u ovalada, dependiendo del tipo; su color es uniforme (anaranjado-rojo a rojo intenso; amarillo claro), su apariencia es lisa y con las cicatrices correspondientes a la punta floral y al pedúnculo. Dentro de la

baya se contiene un gran número de semillas aplanadas y reniformes. Entre las diferentes variedades que se producen en México, se encuentra el tomate rojo Saladette, Cherry, Tomate Rojo verde y otras variedades como el criollo, tan pequeño como una uva, que se da en la selva de Chiapas [McEnany.2007].

A continuación se describen cada una de las partes que componen al jitomate.

- Sistema radicular: raíz principal (corta y débil), raíces secundarias (numerosas y potentes) y raíces adventicias.
- Tallo principal: eje con un grosor que oscila entre 24cm. en su base, sobre el que se van desarrollando hojas, tallos secundarios (ramificación simpoidal) e inflorescencias.
- Hoja: compuesta e imparipinada, con folíolos peciolados, lobulados y con borde dentado, en número de 7 a 9 y recubiertos de pelos glandulares. Las hojas se disponen de forma alternativa sobre el tallo [Moreno.2007].
- Flor: es perfecta, regular e hipogina y consta de 5 o más sépalos, de igual número de pétalos de color amarillo y dispuestos de forma helicoidal a intervalos de 135° , de igual número de estambres soldados que se alternan con los pétalos y forman un cono estaminal que envuelve al gineceo, y de un ovario bi o plurilocular. Las flores se agrupan en inflorescencias de tipo racimoso (dicasio), generalmente en número de 3 a 10. Las inflorescencias se desarrollan cada 23 hojas en las axilas [Moreno.2007].
- Fruto: baya bi o plurilocular que puede alcanzar un peso que oscila entre unos pocos miligramos y 600 gramos. Está constituido por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas.

Variedades de tomate. Las variedades comerciales se eligen de acuerdo a la región donde se va a producir el tomate adoptando semillas indeterminadas híbridas que formen plántulas con un buen porcentaje de germinación, vigor, resistencia a plagas, enfermedades y altos rendimientos [Moreno.2007].

El tipo de tomate a sembrar dependerá del propósito de consumo y el mercado de destino.

Por hábito de crecimiento de la planta, se clasifican como:

- **Crecimiento determinado.** Crecimiento determinado donde las plantas son de tipo arbusto es decir su tamaño es definido y en cada uno de sus extremos tienen yemas florales con un tiempo de floración y cuajado determinado, estas plantas pueden ser pequeñas medianas y largas estas dos últimas necesitarían de un tutor para su crecimiento.
- **Crecimiento indeterminado.** Llamado así por que el crecimiento de estas plantas es continuo y en ocasiones pueden llegar a medir más de 12 mts de altura siempre y cuando sean plantas con un solo eje de crecimiento, es decir, se eliminan todos los brotes laterales, sus racimos florales salen a lo largo del tallo y su floración y cuajado es uniforme, este tallo es tutorado con hilos sujetos regularmente a unas líneas ancladas al techo, este hábito de crecimiento es el preferido para cultivar en los invernaderos.

El fruto es de diferentes tamaños y formas como se observa en la figura 2.4: redondo, forma globosa, globosa aplanada u ovalada, dependiendo del tipo; su color es uniforme (anaranjado-rojo a rojo intenso; amarillo claro).

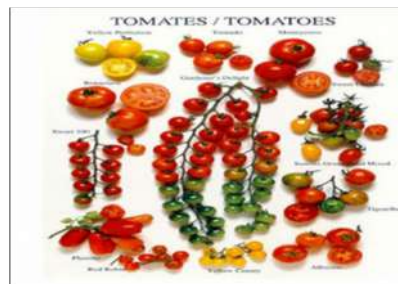


Figura 2.4: El fruto (jitomate) es de diferentes tamaños y formas [Lopez,Uriarte & Rivera.2001]

Un problema que esta hortaliza roja presenta es el uso excesivo de agro-químicos (se calcula que se necesitan 115 diferentes tipos de agro-químicos en su producción).

El tomate florece a los dos meses del trasplante y a los tres meses comienza la recolección (ver 2.5). Es poco exigente en cuanto a la calidad del suelo, pero como compartida exige grandes cantidades de abono para producir cosechas elevadas. La cantidad de abonos químicos que requiere una hectárea es de 14 a 16 mil kilos, y una cantidad semejante de estiércol que suministra a los terrenos empobrecidos de materia orgánica y los hace más

porosos [Lopez,Uriarte & Rivera.2001].

La planta y su fruto son particularmente sensibles a las bajas temperaturas y a la humedad ambiental, que les predisponen a las enfermedades criptogámicas. Con tecnología de punta se cultivan algunas de las mejores tierras en el corazón del Valle de Culiacán. El sol, el agua en abundancia y, sobre todo, el cuidado esmerado de la gente que trabaja en el campo, logran productos de alto valor agregado con un nivel de calidad que los distingue en México y en el extranjero [Lopez,Uriarte & Rivera.2001].



Figura 2.5: Tomates maduros listos para cortar [Lopez,Uriarte & Rivera.2001]

El rojo claro puede almacenarse a 10 – 12.5° C (50– 55° F) por 3 o 5 días. Los tomates son sensibles a daños por el frío a temperaturas inferiores a 10° C (50° F) si se les mantiene en estas condiciones por dos semanas, o a 5° C (41° F) por un periodo mayor a los 6 – 8 días.

El jitomate (*Solanum lycopersicon* L.), es la especie hortícola más cultivado tanto a cielo abierto como en la agricultura protegida, así mismo es el cultivo más rentable, pues cumple con los dos requisitos indispensables para que un producto tenga esas características, por un lado tiene un alto potencial de rendimiento desde 4 kg/m² hasta 25 kg m² dependiendo de la experiencia del productor y nivel tecnológico y por el otro lado tiene un alto consumo e incremento constante, ya que el consumo per cápita de los mexicanos en 1925 era de 1.0 kg y para el 2010 es de 25.0 kg pero si se tratara de alcanzar a los italianos que su consumo per cápita es de 130.0 kg nos hacen falta 105.0 kg. Esto debido a que los mexicanos solo lo consumimos como condimento, es decir, para darle sabor al arroz, a la sopa y a los guisados, solo algunos estratos de la sociedad lo consumen en ensaladas y salsas, pero deberíamos de consumirlo como alimento, o sea preparar un platillo de jitomate bola relleno de jitomates cherris en salsa de jitomate saladette, roma o guagiyo, pues el jitomate contiene vitamina C potasio y licopeno este último es el que le da el color rojo a los jitomates y que al consumirlo limpia al or-

ganismo de toxinas y radicales libres causantes de infinidad de enfermedades degenerativas como el cáncer y la vejez prematura entre otras, por lo que es importante que los consumidores se enteren de estas cualidades para que el consumo se incremente.

En términos generales las necesidades óptimas para el desarrollo y producción del cultivo de jitomate son: temperatura en el día 24°C en la noche 16°C máxima 28°C mínima 12°C ; humedad relativa 60°C máxima 70 % mínima 50 % ; luz 100 % 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad; excelente ventilación para tener suficiente oxígeno y bióxido de carbono; humedad del suelo abajo de la capacidad de campo, es una planta altamente resistente a la sequía y extremadamente susceptible al exceso de humedad, también es Termo periódica, es decir necesita una diferencia de temperatura entre el día y la noche de 8°C ; es un cultivo que requiere cantidades suficientes de calcio y potasio, consume en promedio 2.8 L de agua por día por planta.

2.2 Hidroponía

La técnica hidropónica data de varios siglos atrás el registro más antiguo de esta técnica es del señor WOODWORD quien obtuvo hierba buena por medio de la hidroponía. D. WN. F. Gericke profesor de fisiología vegetal en la Universidad de California, tiene el mérito de haber comenzado en 1938 a realizar cultivos sin tierra 'en grande' a él le debemos el nombre de dicha técnica hidroponía [Simplificada.2007].

La hidroponía es una alternativa para producir alimentos sin tener que esperar a la lluvia o sin temer a los fenómenos de sequía y exceso de agua, fenómenos que han encarecido el abasto de alimentos en todo el mundo. Esta técnica resulta atractiva ya que permite producir más, por ejemplo, con las técnicas tradicionales se pueden lograr 30 toneladas de pepino por hectárea, y con técnicas hidropónicas se ha logrado producir 300 toneladas.

Además esta técnica permite incorporar al cultivo regiones del país que abarcan desde terrenos poco fértiles o muy pequeños hasta las azoteas de una ciudad donde una familia de personas que no se hayan dedicado a la agricultura pueden cultivar hortalizas con éxito, para su autoconsumo.

Literalmente, hidroponía (ver figura 2.6)se traduce como trabajo en agua por los significados de las palabras griegas hydro (agua) y ponos (labor) ya que los primeros experimentos de hidroponía se hicieron utilizando agua. Es-

to no significa que solamente se pueda cultivar en agua, en realidad lo que la hidroponía busca es sustituir el suelo por otro tipo de elemento menos contaminante y más amigable con el ambiente.

Podemos decir que la hidroponía es la técnica agrícola que permite producir plantas sin emplear el suelo. Las raíces de las plantas crecen dentro de un sustrato como arena, agrolita, lana de roca, gravilla, carbón, afrecho de arroz etc. y absorben los nutrientes mediante una solución nutritiva a través del riego.



Figura 2.6: Hidropoía, producción de plantas sin suelo

Gracias a la hidroponía hoy día es posible sembrar, sobre todo hortalizas, de una manera sana en terrenos que generalmente no se prestan para el tipo de siembra tradicional, además permite cultivar de manera casera o de forma comercial; hortalizas, flores, hierbas medicinales, aromáticas, libres de insecticidas tóxicos, logrando mejorar nuestra salud y calidad de vida.

Algunas ventajas y desventajas reportadas de esta técnica son:

Ventajas:

- Reduce costos de producción en forma considerable.
- No depende de los fenómenos meteorológicos.
- Permite producir cosechas fuera de temporada.
- Requiere mucho menor espacio y capital para una mayor producción.
- Ahorra agua, pues se recicla. La técnica es muy apropiada en zonas donde hay escasez de agua.
- No usa maquinaria agrícola.
- Permite una rápida recuperación de la inversión inicial.

- Proporciona mayor precocidad en los cultivos.
- La producción es intensiva, lo que permite tener mayor número de cosechas por año.
- Permite la automatización casi completa.
- Evita la contaminación del aire al no utilizar maquinaria agrícola.
- Evita los riesgos de erosión que se presentan en la tierra.
- Permite producir en zonas áridas o frías.
- Facilita el cultivo aún en pequeños locales en las ciudades.
- Proporciona uniformidad en los cultivos.
- Permite ofrecer mejores precios en el mercado.
- Contribuye a la solución del problema de la conservación de los recursos.
- Se adapta a los conocimientos, espacios y recursos de muchas personas.
- No se abona con materia orgánica.
- Utiliza nutrientes naturales y limpios.
- Se puede cultivar en aquellos lugares donde la agricultura normal es difícil o casi imposible.
- Permite la producción de semilla certificada.
- Asegura mayor higiene en el manejo del cultivo.
- En la agricultura tradicional tanto la siembra como la cosecha se realizan en una misma fecha; en hidroponía estas labores se realizan en forma escalonada, lo cual permite llevar una programación de la producción.
- En la agricultura tradicional es necesario hacer una rotación de cultivos para evitar una infestación de nemátodos en las raíces. En un cultivo sin suelo no se presenta este problema y se puede trabajar continuamente como monocultivo.

Desventajas:

- El costo inicial resulta alto.

- Es necesario un entrenamiento para operar este sistema con posibilidades de éxito.
- Las enfermedades y plagas pueden propagarse rápidamente.
- La materia orgánica y los animales benéficos del suelo están ausentes.

De lo que trata la hidroponía es que tengamos el mayor control posible sobre el desarrollo de las plantas.

Por ejemplo, hay sustancias que son necesarias para el desarrollo de la planta, pero puede que en un tipo de tierra no estén en la cantidad correcta, y que además sea difícil averiguar cuánto tienen como el nitrógeno. Compuestos necesarios de N para la planta, pueden ser muy abundantes en un tipo de tierra y muy escasos en otra. Hay tierras que son sumamente fértiles y hay tierras que no sirven para cultivar nada. Entonces la tierra es una mezcla muy complicada que nos hace muy difícil tener el control total sobre las plantas.

2.2.1 Técnicas hidropónicas para la producción de hortalizas

Para dedicarse a cultivar hortalizas, flores o frutos con hidroponía es necesario conocer los sistemas que se puede emplear.

Dentro de la hidroponía existen varias técnicas que son empleadas para la producción de hortalizas, estas se pueden describir de la siguiente manera:

2.2.1.1 Cultivo sobre sustrato

El principio básico de esta técnica es que el sustrato nos va a ayudar a darle un soporte, proteger a la raíz de la luz y retener la solución nutritiva, así como la humedad para que la planta pueda absorber los nutrientes.

Esta técnica es una técnica universal, por lo que funciona con todas las especies y variedades de hortalizas debido a su similitud con el cultivo en tierra; sin embargo, a nivel comercial, se recomienda su uso principalmente para cultivos como el jitomate y sus variedades, tomate, sandía, melón, pepino, uva, apio, frijol, fresa, chile, pimientos, maíz, todas las raíces y tubérculos (papa, jícama, cebolla, etc.).

El sustrato es todo material sólido que se utiliza en contenedores o bolsas (ver figura 2.7) solo o combinado, que permiten el desarrollo del sistema

radicular y del cultivo.

Cumple 2 funciones esenciales:

- Anclar y sostener las raíces protegiéndolas de la luz y permitiéndoles respirar.
- Contener el agua y los nutrientes que las plantas necesitan.



Figura 2.7: Cultivo sobre sustrato [dia.com.2014]

Los gránulos de que está compuesto el sustrato deben permitir la circulación del aire y de la solución nutritiva. Se consideran buenos los que permiten la presencia entre 15 % y 35 % de aire y entre 20 % y 60 % de agua, en relación con el volumen total. Muchas veces resulta muy útil mezclar sustratos buscando que unos aporten lo que les falta a otros. Para elegir o combinar los sustratos, hay que tener en cuenta las características que se espera que tenga:

- Retención de humedad.
- Alto porcentaje de aireación.
- Físicamente estable.
- Químicamente inerte.
- Biológicamente inerte.
- Libre de sales o sustancias tóxicas.
- Excelente drenaje.
- Que posea capilaridad.
- Liviano.
- De bajo costo.
- Alta disponibilidad.

Los sustratos más utilizados son:

- (a) Orgánicos. La cascarilla de arroz, la viruta y el aserrín de madera, la cáscara de coco. Sin embargo, estos sustratos no se recomiendan para el

cultivo hidropónico, ya que no son duraderos y, al degradarse, pueden obstruir el paso de la solución nutritiva o del oxígeno. Además, pueden contaminar con facilidad al pudrirse, desarrollando hongos o lama.

- (b) Naturales. La grava, la arena (fina, media o gruesa, puede ser de cuarzo, de río o de construcción), el tezontle, la piedra pómez con carbón mineral, la piedra volcánica (como el basalto), la perlita (que se vende como agrolita), la vermiculita, el ladrillo triturado, las tejas molidas (libres de elementos calcáreos o cemento), la mica (que es un mineral que forma como laminitas transparentes. En el espacio que queda entre estas laminitas cabe una cantidad enorme de agua, por lo que este mineral es bastante apropiado para realizar la germinación).
- (c) Sintéticos. El hule espuma, el tecnosport, los pelets o esponjas de polipropileno (trozos de plástico), el poliuretano, el poliestireno, el polietileno, la espuma plástica.

Características de algunos sustratos.

- Arena. Es un material muy común en esta región y económico, compuesto de partículas de 0.02 a 2 mm de diámetro, tiene alta capacidad de aireación con un 50 % de espacio poroso y poca retención de agua.

- Turba (Peat most). Son materiales vegetales en proceso fosilización tiene espacios porosos del 95 % es homogéneo, reteniendo bastante agua, se utiliza principalmente para la germinación de plántulas.

- Fibra de coco. Es un material de fácil manejo y bajo costo con una retención de humedad promedio del 50 % y un 68 % de aireación. Es muy utilizado en el llenado de contenedores y macetas de polietileno.

- Perlita. Es un aluminosilicato que al calentarse se expande, reduciendo su densidad aparente, tiene un excelente drenaje, es ligero con muy baja capacidad de intercambio catiónico. El más utilizado es el conocido como B12 presenta un espacio poroso del 85 % y un 25 % en retención de agua.

- Polímero (hidrogel). Hidrogeles o súper absorbentes son polímeros hidrófilos o absorbentes de agua que forman redes tridimensionales, siendo generalmente moléculas orgánicas de cadena larga y elevado peso molecular unidas mediante enlaces transversales entre las cadenas. Al aplicar los polímeros en el sustrato estos aumentan la capacidad de retención del agua en suelo y espacian la frecuencia de riegos. Se recomienda del 0.51 % en relación con el

sustrato utilizado. [dia.com.2014]

- Tierra limo. Este tipo de suelo por su textura, propiedades físicas y su estabilidad estructural permiten una buena retención de agua y nutrientes. Son materiales de bajo costo, no se recomienda llevar suelo limo de áreas de cultivo ya que tienen altos contenidos de sales.

A nivel comercial, para el cultivo en sustrato de plantas de porte alto (jitomate, melón, sandía, berenjena, pepino y pimientos) se trabaja sobre bolis, los cuales son básicamente láminas de sustrato (usualmente fibra de coco o lana de roca) previamente tamizado, lavado y esterilizado para su uso inmediato en hidroponía.

2.2.1.2 Raíz flotante y NFT

A) Raíz Flotante o DFT (ver figura 2.8). Es la principal técnica de uso comercial, donde hortalizas de baja estatura (principalmente lechugas) son sostenidas por planchas de unicel que flotan sobre una solución nutritiva, la cual es constantemente oxigenada, ya sea de manera manual o mecánicamente.

B) Técnica de la película de nutriente o NFT. Es una técnica que fue desarrollada en Inglaterra en la década de los setenta. Éste sistema consiste básicamente en una película delgada de solución nutritiva que está recirculando dentro de tubería (usualmente de PVC); y es en dicha tubería de donde las hortalizas se sujetan, de tal manera que, sus raíces están en contacto directo con la solución nutritiva y la demás parte del cuerpo de la hortaliza da hacia el exterior de la tubería para seguir recibiendo luz directa.



Figura 2.8: Técnica Raíz Flotante [dia.com.2014]

2.2.1.3 Aeroponía

La técnica consta de tener las raíces de las plantas suspendidas en el aire en un ambiente estéril como lo muestra la figura 2.9, siendo estas regadas con solución nutritiva a través de aspersores que crean una neblina que mantiene siempre húmeda la raíz.

Varias formas de esta técnica han sido probadas por más de 20 años. Atrajo mucha publicidad y hoy en día se venden una gran cantidad de sistemas para aficionados, pero a muy altos costos. Su realidad comercial es tal, que solo en 2014 se reportaron 19 hectáreas en Corea [dia.com.2014]. Anteriormente su uso se limitaba a unos pocos productores, pero eso está cambiando, ya que actualmente existe mucha más información y se sigue reportando el uso de la hidróponia para el cultivo de diferentes hortalizas.



Figura 2.9: Técnica Aeroponía [dia.com.2014]

2.2.1.4 Acuaponía

A pesar de que es una técnica muy antigua, (ya era utilizada por los Aztecas) hoy en día la Acuaponía (ver figura 2.10) está cobrando un gran valor comercial ya que combina la cría de peces y la producción de plantas en el mismo sistema, a través de una relación de mutuo beneficio en un ambiente recirculante. El agua del estanque donde se cultivan los peces es aprovechada como solución nutritiva en el desarrollo de los cultivos hidropónicos [dia.com.2014].



Figura 2.10: Técnica Acuaponía [dia.com.2014]

2.2.2 Impacto social

Tanto la papaya como el jitomate son las hortalizas que contribuyen con el 50 % de la producción en el mundo, esto refleja el impacto que tienen en el comercio y en el sistema alimentario mundial.

En México el jitomate es el producto con mayor consumo preferentemente fresco, pero también se utiliza por la industria para elaborar pastas, sopas, purés, jugos, etc.

El cambio en gustos y costumbres por los consumidores conllevan a tener un producto de mayor calidad, ya que en la mayoría de los casos, este consumidor opta por los productos de exportación ya que tienen un mejor aspecto a la vista. Esto es lo que mueve a los productores a invertir en la construcción de invernaderos y la implementación de nuevas tecnologías y sistemas de producción, que les permitan tener cultivos más cuidados y protegidos que les garanticen un producto de mayor calidad y que cumpla con todos los requerimientos de inocuidad.

Por otro lado uno de los inconvenientes que se presenta en la comercialización del jitomate son los constantes cambios de precio, ya que algunos productores dan prioridad a las exportaciones disminuyendo el suministro a mercados nacionales lo que trae como consecuencia un incremento en el precio del jitomate en el mercado interno, elevando también el precio al consumidor final.

El establecimiento de cultivos en el mismo sitio de la demanda reduce los costos de mercado y la oportunidad de ofertar el producto de manera continúa es decir durante todo el año y no solo por temporadas.

Las exportaciones son el principal objetivo de los productores de jitomate, pero debido a que la producción de esta hortaliza en ciertas épocas de año es reducida esta demanda de producto se encuentra insatisfecha. Por lo que se requieren alternativas para la producción de jitomate que abastezcan los mercados mejorando así la economía nacional.

Los cultivos hidropónicos permitirán abastecer la demanda de alimentos a una población, independientemente de los cambios climáticos que puedan ocurrir y a la vez posibilita la relación entre consumidores y productores, logrando así superar las dificultades que aquejan a numerosas familias, la mayoría de las veces con necesidades básicas insatisfechas. [Dorado.J.L.2009]

Hoy en día la problemática económica, imposibilita el acceso de alimentos y se debe destacar que esta técnica permite cultivar en sitios y lugares no aptos, no producen ningún impacto negativo sobre el medio ambiente, los productos son de alta calidad, sanos y con altos rendimientos.

2.3 Invernaderos tecnificados

Los invernaderos ayudan a los productores a tener un producto que pueda entrar más fácilmente en los mercados actuales donde la calidad juega un papel súper importante para poder colocar mejor su producto y venderlo a un mejor precio.

Los mercados son cada vez más exigentes en calidad, inocuidad, presentación y certificación del contenido, ya que el cliente final observa las diferencias entre este tipo de producto que se presenta en los mercados con respecto a otros, haciendo que los productos de invernadero estén colocados en un nivel alto.

La agricultura bajo invernadero, es producto de las condiciones ambientales desfavorables para la agricultura, de algunos países, principalmente del Hemisferio Norte, donde su principal problema y limitante para la producción es el clima. En la actualidad el uso de invernaderos está disponible para la mayor parte de los esquemas productivos y de los productores en general del resto del mundo.

México mantiene a la fecha un constante avance en la implementación de las diversas tecnologías en invernaderos nuevos y los ya existentes, tomando

en cuenta los factores climáticos de cada lugar y sobre todo que sean instalaciones económicas y eficientes que ayuden a resolver las necesidades de cada productor, llevando a cabo antes un estudio en cuanto a clima, vías de comunicación y disponibilidad de mano de obra.

- Tecnología utilizada en los invernaderos tecnificados

El objetivo principal de las modernas explotaciones agrícolas es la obtención del máximo rendimiento, en respuesta a esto surgen los cultivos protegidos de alto rendimiento, en los que es imprescindible, controlar adecuadamente principalmente dos aspectos fundamentales: el riego y la fertilización. Si bien estos dos aspectos son los esenciales de controlar, los invernaderos tecnificados actualmente cuentan con una gran variedad de recursos técnicos que han ayudado a tener sistemas automatizados logrando procesos eficaces tanto de control (condiciones de microclima dentro del invernadero, sistema de riego, fertirrigación, ventilación, calefacción, luminosidad, etc.) como de monitoreo (presencial y a distancia) contribuyendo a la reducción de gastos y el mejoramiento en el uso de los recursos naturales.

Veamos el desarrollo tecnológico de varios sistemas utilizados en la tecnificación y automatización de los invernaderos.

- Evolución de los equipos de fertirrigación automatizados

La introducción, a mediados de los 70 del siglo pasado de las primeras electroválvulas accionadas manualmente desde un cuadro eléctrico, de tal manera que permitieran controlar la sectorización del riego, fue el primer paso que se dio en la automatización de procesos en el campo agrícola.

A mediados de los 80 del siglo XX, empezaron a instalarse los primeros programadores y controladores pensados específicamente para agricultura, este tipo de programadores ya presentaba una serie de salidas independientes, que junto con una programación muy básica, permitían realizar operaciones más complejas que los anteriores.

A principios de los 90, estos programadores evolucionaron un poco más, pues permitían el uso de agitadores de abono, bombas inyectoras, electroválvulas, etc., con lo que ya se podía realizar un control del pH y de la conductividad eléctrica del agua de riego, pero tenían un inconveniente: se requerían cuadros eléctricos muy complejos (con temporizadores, retardadores, etc.), lo cual encarecía mucho su instalación.

A mediados de los noventa, con la utilización de ordenadores industriales y microprocesadores más potentes se produce un auténtico avance en la automatización agraria, ya que permiten utilizar una electrónica y programación muchísimo más compleja, lo cual se traduce en equipos que controlan de una forma muy exacta una gran cantidad de parámetros, a la vez que son totalmente configurables y adaptables a las necesidades particulares de las explotaciones en las que se instalan.

Hoy en día, como consecuencia del notable crecimiento que los cultivos protegidos de alto rendimiento y, dentro de ellos, los cultivos sin suelo, se tiende a monitorizar el entorno que rodea la planta (suelo, sustrato, ambiente, etc.), de tal manera que se puedan controlar, de una forma automática, los factores que afectan a su crecimiento. De esta forma se distinguen dos líneas claramente diferenciadas, la fertirrigación y el control climático.

En fertirrigación se están desarrollando sensores cada vez más especificados y precisos, así como programas informáticos y equipos que son capaces de interpretar las lecturas de una forma rápida y exacta con la finalidad de que sea el propio sistema el que determine el momento exacto en que deben producirse los riegos e inyecciones de los distintos abonos necesarios.

Los actuales equipos automáticos de fertirrigación han sido el resultado de la evolución producida, a lo largo de las cuatro últimas décadas en la técnica del riego localizado (evolución de los abonos para fertirrigación, evolución en los equipos de filtrado, etc.), así como de los avances tecnológicos producidos tanto en los programadores de riego, como en la automatización de sistemas hidráulicos de inyección de abono.

2.3.1 Características generales de los invernaderos tecnificados y automatizados

- El controlador

El controlador de riego es el elemento de automatización que concentra todas las órdenes que están dirigidas a un eficaz funcionamiento del sistema. Un controlador de fertirrigación completo debe contemplar la puesta en marcha y el paro en el momento preciso de bombas, válvulas de mando, agitadores y dosificadores de fertilizantes, dispositivos de control, medida, regulación, seguridad, emergencia, etc.

Todo ello como respuesta tanto a programas prefijados como a condicionantes, previsibles o fortuitos, en la instalación, suelo o sustrato, cultivo o ambiente. Además, el controlador de riego debe suministrar una información completa y permanente de lo que acontece en la instalación, programas ejecutados y en curso, tiempo y, o volumen de agua y fertilizantes aplicados, parámetros definitorios de la solución nutritiva aplicada (conductividad eléctrica, pH, temperatura, etc.), caudales, incidencias, alarmas, fallas, etc.

El mercado ofrece una enorme cantidad de controladores de fertirrigación, adaptables a cualquier tipo de instalación en función del grado de automatización que se quiera conseguir y de la relación prestación/precio de cada aparato.

- Sistemas de control

Los equipos de fertirrigación permiten la lectura del pH, la conductividad eléctrica y de los volúmenes de agua de riego y fertilizantes. Existen, sin embargo, dos posibilidades a la hora de decidir quién rige la fertirrigación.

- Por volumen: el control de la fertirrigación se realiza con base en la relación volumen de agua en la red de riego y el volumen de solución nutritiva. La programación consiste en determinar el porcentaje de inyección de cada fertilizante en función del volumen total de agua que va al cultivo. Normalmente existe un control de segundo orden que permite conocer la conductividad eléctrica del agua en cada momento. El sistema de inyección de ácido para el control del pH se realiza de forma independiente y en función del pH ideal deseado.
- Por conductividad eléctrica: el control de la fertirrigación consiste en la determinación y fijación de unos valores de conductividad eléctrica y pH ideales, a partir de los cuales, el equipo aumenta o disminuye la inyección.

Existe también la posibilidad de un control de segundo orden que indica el volumen total de agua consumida y los volúmenes de cada fertilizante. Si bien casi todos los equipos del mercado tienen como opción la utilización de ambas posibilidades, la tendencia general es el control de la fertirrigación en base a conductividad eléctrica y pH.

El control de la inyección depende del ritmo de apertura y cierre de la electroválvula que deja paso a la solución madre de los depósitos de abonos.

Las condiciones particulares de cada cabezal nos indican cómo realizar la programación de estos parámetros internos para que la consecución de los valores ideales deseados se produzca de forma rápida.

- Control del riego

Evidentemente, los equipos de fertirrigación son programadores de riego que, de forma simultánea, realizan la inyección de fertilizantes. Sin embargo, no se trata de simples programadores, son verdaderos ordenadores de riego que integran gran cantidad de posibilidades.

Por medio de la programación se puede controlar la dosis de agua y el aporte de fertilizante en las diferentes zonas de riego de la instalación. Los programadores permiten la agrupación de las distintas válvulas o sectores de riego, adaptándose a la configuración de cada instalación de riego.

- Riego por horario

La activación del riego en modo horario, permite la programación de un número importante de diferentes programas, en los programas se fija:

- Hora de inicio y hora final.
- Número de activaciones o riegos.
- Tiempo entre activaciones.
- Duración de los riegos.
- Tiempos de pre-riego y post-riego.
- Selección de sectores.
- Selección de bombas.
- Agrupación de diferentes programas.
- pH y conductividad eléctrica.
- Porcentajes de los abonos.
- Aportaciones especiales.

- Riego por humedad

Consiste en la activación del riego por sensores externos. Los factores que determinan las mayores o menores necesidades hídricas de las plantas son:

- Radiación solar.
- Temperatura ambiente.
- Humedad relativa.

-Viento.

-Humedad del suelo.

Existen sensores que determinan estos factores y que, a partir de los valores obtenidos, permitirían establecer los umbrales mínimos para la activación del riego. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la mayor o menor exigencia de agua de las plantas no dependen de un solo factor aislado, sino de la combinación de todos ellos. Se han utilizado muchos sistemas, sensores de radiación, tensiómetros, bandejas de demanda o lisímetros, etc.

Algunos de estos métodos se han desestimado, precisamente por no contemplar todos los factores que intervienen. Así por ejemplo, el riego por tensiómetros presenta el inconveniente de la heterogeneidad de los suelos de cultivo que dan lugar a lecturas incorrectas. El riego por radiación tiene el inconveniente de la falta de precisión en días nublados, pero con altas temperaturas y viento seco.

Actualmente, los métodos que se están usando se limitan a cultivos hidropónicos y bajo plástico, pues son aquéllos que permiten un mejor control y manejo de los parámetros ambientales. Los más empleados son el riego por bandeja de nivel y la demanda por radiación.

- Dispositivos de seguridad

La gran complejidad de estos sistemas y el valor añadido que supone a los cultivos en que se implantan, exige que haya unas medidas de seguridad bastante elevadas.

A continuación se describen los dispositivos normalmente empleados:

- Alarma de baja presión: ante problemas de roturas en la red de riego, o descarga de la aspiración de la bomba, el equipo activa la alarma al mismo tiempo que desconecta motores y maniobras.

- Alarma de alta presión: debido a sobrepresiones en el cabezal por válvulas no abiertas o estropeadas.

Otra protección de la instalación de riego, con que cuentan algunos programadores, consiste en el retardo de la activación de bombas y electroválvulas de riego, con el objeto de manejar la instalación en caso de líneas de agua de suministro con presión, o instalaciones con desniveles.

- Alarma de pH mínimo y conductividad eléctrica máxima: si el problema es por error en la preparación de las soluciones, se desactiva la electroválvula en cuestión. Si el problema persiste desactiva el sistema de inyección, evitando la inyección de abonos o ácido, pero si continúa con el riego.

- Alarma de pH máximo y conductividad eléctrica mínima: en estos casos se trata de un problema interno o un error de lectura en las sondas. El equipo actúa desactivando los sistemas de inyección.

- Alarma de bajo nivel en los depósitos: el equipo inactiva la electroválvula correspondiente al depósito vacío.

- Alarma de caudal. El equipo contrasta el caudal de riego real, y el programado para cada sector, si la diferencia sobrepasa unos márgenes de tolerancia, desactiva el riego. Puede ser debido a una rotura en la red, que no se haya abierto una válvula, o por el contrario que no se hayan cerrado correctamente las válvulas de otros sectores, produciéndose pérdidas.

Todas las alarmas descritas pueden limitarse a activar o desactivar los elementos problemáticos descritos, y también pueden activar dispositivos externos de aviso como sirenas, luces intermitentes, avisadores telefónicos, etc.

En las instalaciones que consta de avisadores telefónicos, es posible establecer comunicación remota con el equipo, para desactivar su funcionamiento.

Esto puede ser útil en caso de tormentas con aparato eléctrico, que suelen originar muchas averías en los equipos.

- Registro de datos

Los controladores de riego pueden almacenar algunos de los eventos más importantes, ocurridos durante el transcurso de los riegos. Eventos tales como: horarios, tiempos, conductividades eléctricas, pH, volúmenes de riego y fertilizantes, etc.

La posibilidad de comunicar el controlador de riego con un ordenador (computadora) permite poder recoger, procesar y almacenar durante un tiempo ilimitado (depende de la capacidad del disco duro del PC), toda la información y presentarla en forma de históricos o gráficos.

Se puede obtener los históricos acumulados durante un año, así como las

gráficas de la evolución conductividad eléctrica y pH, el consumo de agua y fertilizantes a lo largo de un período de tiempo.

- Hardware de control

El equipo de control constituye la pieza fundamental del sistema. Está formado por los siguientes elementos:

- Un microcontrolador o microprocesador.
- Interface de usuario.
- Interface de sistema.
- Interface de comunicación.

La comunicación puede realizarse entre PC-controlador, o entre uno o más PC y varios controladores.

Los invernaderos, finalmente, son estructuras de apoyo a la producción agrícola; y deben usarse como parte fundamental de un sistema productivo constituido por una serie de elementos, igualmente importantes para aumentar los rendimientos. Son herramientas modernas que impulsan el desarrollo de la agricultura, basadas en una serie de tecnologías que definen la agricultura de precisión, como parte de los métodos modernos de producción empleados en la agricultura tecnificada.

2.3.2 El invernadero ideal

Un material de cobertura ideal para un invernadero de cultivo hidropónico es aquel que tenga propiedades adecuadas de aislamiento térmico, permita pasar la porción visible de la luz solar, bloquee los rayos infrarrojos que las plantas no aprovechan y los ultravioleta los bloquee o los convierta por fluorescencia en luz visible para aumentar el aprovechamiento de la luz. Además debe ser flexible, resistente y poder ser elaborado en paneles anchos para ahorrar en armazones de metal de sostén, además de que tiene que ser liviano [Santander.2007].

Hay una gran cantidad de materiales que pueden ser utilizados para el recubrimiento de los invernaderos para cultivo hidropónico:

- Vidrio: Permite el paso de la luz visible y también la infrarroja y ultravioleta, aísla bien las temperaturas, es pesado e inflexible. Ha sido usado ampliamente en el cultivo hidropónico

- PVC: excelente aislante, no viene en paneles anchos, es flexible y resistente. No es biodegradable. Es usado en el cultivo hidropónico en Japón.
- Polietileno: Usado en dos capas con sistema de inflado forma un colchón de aire aislante, permite más resistencia al viento. Pero es costoso. Se puede hacer que filtre bien las bandas de luz que no interesan para el cultivo hidropónico [Santander.2007].

2.3.2.1 Características de un invernadero para el cultivo de jitomate

Entre las características o consideraciones que debe tener un invernadero para su planeación y operación se encuentran las siguientes:

1. Un invernadero para cultivar tomate debería estar diseñado para soportar carga vertical de 35 kg/m^2 .
2. El invernadero debería ser diseñado y autorizado por un ingeniero.
3. Los materiales de construcción deben ser durables y resistentes.
4. La dirección de los invernaderos debe ser de norte a sur para lograr la máxima penetración de la luz y minimizar el sombrero en las plantas durante el día.
5. Si el invernadero no tiene aberturas en el techo, la longitud estaría limitada de 36 a 40 metros para favorecer la aireación.
6. La altura del tutorado requerida para producir tomate es, como mínimo, de 2,50 m.
7. La distancia entre invernaderos debe ser, al menos, de 6 metros.
8. Un invernadero debe soportar velocidad de viento hasta 150 km/h. Es recomendable instalar tensores alrededor del invernadero para reforzar su resistencia a vientos fuertes; debería tener una vida útil de, mínimo, 10 años.
9. Los invernaderos deben ser construidos con una pendiente de 0,5 a 1,0 % tanto lineal como lateral para el eficiente drenaje de las lluvias.
10. Se debe tener una entrada accesible para la circulación del equipo y la remoción y transporte del fruto [Alzate & Castro,2012]).

2.4 Producción de jitomate hidropónico

Los pasos para una producción óptima de jitomate en invernadero se describen a continuación:

El éxito de una siembra comercial de tomate bajo invernadero radica, en dar el primer paso en forma correcta, que es precisamente la producción de plántula de buena calidad.

El establecimiento del cultivo implica la selección del híbrido adecuado, buena semilla, adecuada preparación del suelo, trasplante bajo óptimas condiciones ambientales, densidad de siembra adecuada y un buen manejo del cultivo.

En la mayoría de las hortalizas se recomienda un mínimo de 90 % de germinación y que la semilla sea nueva (dos años para el caso del tomate). La longevidad de la semilla depende principalmente de la herencia, aunque también es afectada por las condiciones durante su crecimiento, desarrollo, cosecha y almacenamiento. La semilla de tomate tiene una longevidad intermedia alrededor de 3-4 años.

2.4.1 Producción de plántula

La producción de plántulas con cepellón se define como la producción de una plántula dentro de un contenedor que le permite conservar la raíz y sustrato intacto al momento del trasplante. Se puede producir en cualquier tipo de contenedor, por ejemplo vasos de “hielo seco”, bolsas de plástico, y desde luego lo más común en “charolas” de plástico o polietileno que contienen diferente número de cavidades. El objetivo es producir una plántula con cepellón que soporte mejor el trasplante y que la plántula sufra lo menos posible al momento del trasplante [Arizpe & Velazquez,2008].

La producción profesional de plántulas por este método requiere de una estructura (invernadero con techo y paredes transparentes), mesas de trabajo, sistema de riego y charolas. Además, es importante contar con un sustrato que sea pobre en nutrientes (la fertilización se hace más uniforme en el agua de riego), que retenga humedad, que permita la aeración y que esté libre de plagas y enfermedades.

Las charolas comerciales por lo general son de una sola medida (ancho y longitud), digamos por ejemplo las más populares que son las de polietileno

(hielo seco), pueden tener 200, 242, 288 y 392 cavidades. Sin embargo, para tomate bajo invernadero se recomienda la de 200 cavidades debido a que se obtiene buena calidad de plántula. Entre menor sea el número de cavidades más grande será el cepellón y mejor será la plántula pero mayor será el costo de producción de la misma [Arizpe & Velazquez,2008].

El sistema de producción de tomate bajo invernadero se recomienda realizarlo mediante “trasplante” debido a que se tienen varias ventajas:

1. La siembra directa dentro del invernadero eleva el costo debido a que la semilla es cara por lo que es más común la producción de la plántula en semilleros.
2. Se puede aprovechar otro cultivo bajo el invernadero mientras se produce la plántula.
3. La plántula procedente de semillero tiene mayor resistencia a plagas, enfermedades y malezas que la que procede de siembra directa.
4. Se logra escapar a condiciones ambientales adversas cuando la plántula es más susceptible a daños por altas o bajas temperaturas. En un semillero se pueden controlar mejor las condiciones ambientales.

En la producción de plántulas en charola se debe de tener especial cuidado con los puntos que a continuación se mencionan [Arizpe & Velazquez,2008].

2.4.1.1 Preparar la tierra

Es importantísimo tener una tierra llena de nutrientes para que las semillas germinen y la planta crezca sana. Para esto, antes de sembrar hay que prepararla mezclando 2 partes de tierra por una de composta, y agregar un poco de tierra de hoja. Esto ayuda a que los nutrientes lleguen a la planta y no se queden en el suelo, y a que tenga mejor aireación y el agua de riego se retenga mejor.

Usar un buen sustrato: Los elaborados a base de Peat moss, vermiculita y humectantes, son los mejores. El sustrato deberá especificar que es para producción de plántulas de hortalizas. Por ejemplo, un sustrato muy común es el Sunshine mezcla #3.

Utilizar agua limpia y libre de sales: Aguas salinas incrementan los problemas y se tienen que hacer “lavados” frecuentes que consisten en dar

sobre riegos para drenar las sales, al menos cada semana, esto también dificulta la fertilización. El agua puede contener altas concentraciones de sales, por lo que debemos analizar la conductividad eléctrica, deberá ser menor a 1,200 microsiemens. Es importante aclarar que se han producido plántulas de tomate de calidad aceptable con el uso de agua de hasta 2,000 microsiemens.

Semilla de alta calidad genética, buena germinación (+ de 90%) y buen vigor: Se recomienda hacer una prueba de germinación al menos dos semanas antes de la siembra para estar seguros que la calidad de las semillas es buena. Esta práctica es muy sencilla, consiste en la siembra de dos charolas con el manejo en forma similar para ver la emergencia de las semillas. Con esta práctica sencilla conocemos con tiempo la emergencia de las semillas y evitamos problemas de planeación. Existen otros métodos tales como la prueba de germinación en papel especial, sin embargo, se requiere de mayor cuidado.

2.4.1.2 Siembra uniforme

Las semillas deben sembrarse a una profundidad igual a su tamaño, es decir, que apenas las cubra un poco de tierra. La mejor época para sembrar jitomate es la primavera, y nuestras semillas tardarán aproximadamente 13 días en germinar. Esta planta es mejor sembrarla en pequeños contenedores, que se llaman almácigos y trasplantarla después de unas semanas a la cama de cultivo, en cuanto tenga tres hojas o mida entre 5 y 8 cms. En cada espacio del contenedor podemos sembrar hasta tres o cuatro semillas.

Deberá colocar solamente una semilla por cavidad a una profundidad dos veces el tamaño de la semilla, posteriormente cubrir con una capa de un centímetro del mismo sustrato. Si podemos agregar en la parte superior algo de vermiculita, se tendrá mejor resultado.

2.4.1.3 Trasplante

Se recomienda realizarlo entre los 30 y 35 días después de la siembra. Debe realizarse con todo y cepillón, pues la raíz sufre menos stress que a raíz desnuda.

Antes de iniciar el trasplante se tiene que mojar el sustrato con agua sola hasta el punto de saturación.

Cuando el contenedor usado son las bolsas de polietileno no se requieren

trazar, pero cuando el trasplante se efectúa en bancales de cultivo, se necesita diseñar un marco de plantación para que las plantas queden a la misma distancia y alineación sobre la manguera de riego.

Se abre la cepa del tamaño del cepillon, con un palo afilado u otro objeto semejante y se realiza el trasplante, preferentemente en horas frescas, durante las mañanas o en las tardes.

Las densidades de siembra más recomendadas, de acuerdo al número de racimos que se desee permitir, son las siguientes:

- A 1 racimo, 25 plantas por metro cuadrado.
- A 2 racimos, 16 plantas por metro cuadrado.
- A 3 racimos, 12 plantas por metro cuadrado.
- A 6 racimos, 6 plantas por metro cuadrado.

2.4.1.4 Tutoreo

Debido a que las plantas de crecimiento indeterminado requieren ser soportadas, es necesario disponer de tutores que puedan ser hilos resistentes que se cuelgan de la estructura de la nave o bien, se instalan estructuras internas de metal y alambre galvanizado, para sostener las plantas.

Esta actividad se realiza de 15 a 20 días después del trasplante o cuando las plantas tengan aproximadamente 30 cm de altura.

La cuerda se cuelga de la estructura y se ata al pie del tallo de cada planta cuidando que el amarre sea holgado para que no la estrangule. Conforme va creciendo, la cuerda va dando vueltas alrededor de la planta cuidando de no lastimar las inflorescencias. Aunque se puede también colgar en forma recta, usando anillos para tutorar [cofrupo.org.mx.2006].

También es posible tutorar con malla colocada en forma horizontal o vertical. Esta malla se llama ortinova, es más cara pero dura varios años en comparación con las cuerdas.

2.4.1.5 Podas

Las podas son necesarias para retirar los brotes axilares y poder guiar la planta sobre un tallo principal, en caso de no hacerlo, las ramificaciones son excesivas, se acumula la humedad con riesgo de enfermedades, se incrementa

la competencia por luz y baja la cantidad y calidad de la producción.

La primera poda se realiza a los 45 días después de la siembra, esto significa de 5 a 10 días después del trasplante. Esta labor consiste en eliminar las yemas auxiliares que sean visibles y que se puedan manejar.

La segunda poda se realizara 15 días después de la primera y se efectuara para eliminar las yemas auxiliares siguientes o intermedias.

La tercera poda se realiza entre los 20 y 30 días después de la segunda y es para eliminar las yemas de la parte superior de la planta

La cuarta poda consiste en eliminar de 2 a 4 hojas de la base de la planta para evitar el ataque de hongos y favorecer la ventilación.

Esta cuarta poda se realiza de 15 a 20 días después de la tercera o cuando el primer racimo este bien formado y ya no se requiera el aporte de nutrientes de las hojas basales. [cofrupo.org.mx.2006]

2.4.1.5.1 Poda de hojas La poda de hojas consiste en eliminar las hojas viejas. Dado que en un sistema de producción intensiva de jitomate se hace uso de altas densidades de plantas, la poda de la hoja es obligada. De no realizarse esta práctica se genera un micro ambiente de humedad relativa en la parte inferior de las plantas, que por un lado es propicio para el desarrollo de enfermedades foliales como el tizón tardío y botrítis y, por el otro, disminuye la penetración de luz, que retarda la maduración de los frutos. Esta práctica se inicia con la eliminación de las hojas más viejas y de preferencia deben de ser de dos a tres las que se eliminaran , menos de esto encarece la práctica de eliminación de hojas y más de éstas pueden provocar enrollamiento de todas las hojas, debido a una poda severa. Otro criterio para el deshoje, es que exista al menos una hoja activa en la parte inmediata superior al racimo que todavía tiene frutos que no han alcanzado la madurez fisiológica. Después de la poda, no deben dejarse hojas o brotes en el área interior del invernadero, para evitar la de siminacion de enfermedades. La operación debe hacerse por la mañana para que las hojas se desprendan con facilidad y no se hagan desgajes, que posteriormente sean invadidos por patógenos [Sosa.2007].

2.4.1.5.2 Poda de flores Las flores dañanas o defectuosas deben eliminarse, ya que daran lugar frutos defectuosos. Tambien se leiminan para tener menos frutos por racimo, pero de buen tamaño o de tamaño regular, según

los demande el mercado. Existen cultivares híbridos que no requieren de esta práctica [Sosa.2007].

2.4.1.5.3 Poda de frutos Como la producción de jitomate en invernadero debe ser de alta calidad, es decir sin daños mecánicos, coloración uniforme y, si el mercado lo requiere de tamaño mediano a grande, se pueden eliminar uno o dos de los últimos frutos que aparezcan en el racimo. A veces este tipo de poda se justifica cuando existe manifestación de deficiencia de calcio en los frutos, lo que disminuirá la competencia entre ellos y por consecuencia, por este nutrimento [Sosa.2007].

2.4.1.5.4 Poda de brote apical La eliminación del brote apical o despunte, se realiza a los cultivares de crecimiento indeterminado que se quieren cultivar a determinado número de racimos o bien cuando el sistema de tutorado no permite el crecimiento continuo de la planta [Sosa.2007].

2.4.1.6 Polinización

El desarrollo de buenos frutos en tamaño y calidad requiere de un proceso sexual exitoso dentro de la flor del tomate. La exitosa transferencia de polen viable desde las anteras (parte masculina de la flor) hasta el estigma (parte de los órganos femeninos) y la subsecuente fertilización de los óvulos y el desarrollo de la fruta son afectados por el ambiente de la planta y por las características genéticas de las partes de la flor.

Condiciones que se deben cumplir para que se den los procesos de la transferencia de polen y la fertilización de los óvulos [Arizpe & Velazquez,2008]:

1. Se debe producir polen en las anteras.
2. El polen debe ser viable.
3. El polen debe ser transferido hacia el estigma.
4. El polen transferido debe ser en una cantidad suficiente.
5. El polen debe germinar completa y rápidamente.
6. El estigma debe estar receptivo.
7. Los tubos polínicos deben crecer a través del estilo rápidamente.

8. Se debe llevar acabo la fertilización.
9. El ovario debe ser retenido.
10. El ovario debe crecer.

La polinización se puede hacer mecánicamente moviendo las plantas, haciendo circular el viento mediante sopladores o ventiladores y la utilización de abejorros (ver figura 2.11) que son altamente eficientes para estimular este proceso.



Figura 2.11: Polinización mediante abejorros [Arizpe & Velazquez,2008]

La temperatura juega un factor muy importante en la formación y liberación del polen, la temperatura óptima requerida en la noche es de entre 20°C a 24°C y de día entre 15.5°C a 32°C. Otros factores que limitan la polinización son la luz y la húmeda relativa que pueden limitar la transferencia de la antera al estigma, lo ideal es tener una buena radiación solar y una húmeda relativa del 70 % [Moreno.2007].

2.4.1.7 Riego

Hoy en día, la técnica de hidroponía juega un papel muy importante en el desarrollo global de la agricultura. La presión por el incremento de la población, los cambios en el clima, la erosión del suelo, la falta y contaminación de las aguas, son algunos de los factores que han influenciado la búsqueda de métodos alternos de producción de alimentos y dentro de estos métodos existen diversos sistemas de riego utilizados en la hidroponía que ayudan a reducir el desperdicio de agua y la contaminación de los suelos.

2.4.1.8 Sistemas de riego en hidroponía

Las formas de riego más empleadas hasta ahora son:

(a) Riego localizado o por goteo:

Consiste en un sistema de aplicación de agua al suelo o sustrato a través de unos emisores situados en las tuberías de riego. Mediante estos dispositivos se pone el agua a disposición de la planta, a bajo caudal y de forma frecuente, originando en el suelo o sustrato una zona húmeda limitada conocida como bulbo, en la cual se mantiene la humedad constante que es donde se desarrolla una gran parte del sistema radical, y con mucha frecuencia de aplicación. Así el suelo se puede mantener a capacidad de campo o muy próximo a ella, y las plantas lo absorben sin esfuerzo. En este sistema de riego, además del elemento agua se suministran los fertilizantes y ciertos productos, como insecticidas, fungicidas, herbicidas, disueltos en el agua. Ésta, junto con la solución nutritiva, es trasladada desde un embalse a cada planta por una red de tuberías, previo filtrado, hasta el elemento fundamental del sistema que es el emisor o gotero, donde se produce una descarga gota a gota.

Los goteros son pequeñas piezas plásticas; los hay de varios tipos: los más recomendables son los autocompensados, que permiten que la presión sea igual a lo largo de toda la manguera. Este sistema garantiza que, por lo menos, el 80 % del agua se quede en el sitio donde se la necesita. Los goteros se incorporan o se superponen en una manguera de polietileno, o también se usan cintas con micro perforaciones. El agua atraviesa un laberinto interno y así pierde presión, y ésta llega a ser tan pequeña que el agua se escurre en forma de gota. El goteo es el método más eficiente en el cultivo, en términos de productividad y calidad, con un aprovechamiento del agua entre 90 y 95 % ([elmejorguia.com.2005]). Es uno de los métodos más utilizados.

(b) Riego por aspersión:

El agua se deja caer sobre el follaje desde una cierta altura a manera de lluvia. Es un sistema que se ha utilizado mucho pero que actualmente está en desuso.

(c) Subirrigación:

Esta es una técnica de riego que consiste en suministrar el agua a la base de la maceta. Esto se realiza mediante el llenado de agua de una bandeja

donde están colocadas las macetas.

Entre los sistemas más conocidos están:

Recirculante (NFT). En este caso NFT son las iniciales de Nutrient Film Technique que es una expresión en inglés que significa "la técnica de la película nutriente". También se le llama sistema de recirculación continua. Ya que consiste en recircular continuamente la solución con los nutrientes por una serie de canales de PVC de forma rectangular y de color blanco, llamados canales de cultivo. Los canales están apoyados sobre mesas o caballetes. En cada canal hay una serie de agujeros donde se colocan las plantas contenidas en pequeños vasos plásticos. Las mesas tienen una ligera pendiente que facilita la circulación de la solución. Luego, la solución es recolectada y almacenada en un tanque.

Una bomba funciona continuamente durante las 24 horas del día, con el propósito de que por los canales circule una película o lámina de apenas 3 a 5 milímetros de solución nutritiva. La recirculación mantiene a las raíces en contacto permanente con la solución nutritiva, favoreciendo la oxigenación de las raíces y un suministro adecuado de nutrientes minerales para las plantas. El sistema es muy usado para cultivos de rápido crecimiento como la lechuga y albahaca.

Raíz flotante. Es el sistema hidropónico por excelencia, ya que las raíces de las plantas están sumergidas parcialmente en la solución nutritiva. La principal técnica comercial es la Técnica de Flujo Profundo (DFT, Deep Flow Technique), donde planchas de poliestireno expandido que sostienen un determinado número de plantas, flotan sobre una solución nutritiva aireada frecuentemente a través de una compresora.

Este sistema se usa en proyectos de hidroponía social en diferentes países latinoamericanos, generalmente para cultivar hortalizas de hojas, como lechuga, albahaca, apio, menta, hierba buena, entre otras.

Es muy importante airear la solución nutritiva; esto se puede hacer inyectando aire con una compresora o manualmente, utilizando un batidor plástico limpio, por lo menos dos veces al día. De esta manera es posible redistribuir los nutrientes y oxigenar la solución. (La presencia de raíces de color oscuro es un indicador de una mala oxigenación y esto limita la absorción de agua y nutrientes, afectando el crecimiento y desarrollo de las plantas).

Aeropónico. En este sistema las plantas se colocan sostenidas en agujeros en planchas de termopor (poliestireno expandido). Las raíces están suspendidas en el aire debajo de la plancha y encerradas en una cámara de aspersión. La cámara está sellada por lo que las raíces están en oscuridad y saturadas de humedad. Por nebulización se hace llegar la solución nutritiva a las raíces. Este se hace sólo unos cuantos segundos cada 2 a 3 minutos, tiempo suficiente para humedecer y oxigenar las raíces. Este sistema hidropónico se utiliza para fines ornamentales o decorativos porque sus costos de operación son altos.

En hidroponía, los elementos minerales nutritivos esenciales son aportados exclusivamente en la solución nutritiva, a través de las sales fertilizantes que se disuelven en agua (ver cuadro (2.1). Por esta razón, la formulación y control de la solución junto a una adecuada elección de las fuentes de las sales minerales solubles, se constituyen en una de las bases para el éxito del cultivo hidropónico.

| Sal Fertilizante | gramos de químico en 450 mL de solución concentrada |
|-----------------------|---|
| Ácido Bórico | 7.50 |
| Cloruro de Manganeso | 6.75 |
| Cloruro Cúprico | 0.37 |
| Trióxido de Molibdeno | 0.15 |
| Sulfato de Zinc | 1.18 |

Cuadro 2.1: Fertilizantes. Tomado de [elmejorguia.com.2005]

2.4.1.9 Síntomas de deficiencia de elementos nutritivos

Aunque en este sistema de cultivo es más fácil y rápido de detectar deficiencias y también corregirlas, pues en el mismo día que se detecten se pueden tomar medidas correctivas, si es necesario contar con una guía que nos informe sobre el desarrollo del cultivo. A continuación se describe la sintomatología más común de deficiencias de elementos. Tanto mayores como menores [cofrupo.org.mx.2006]:

Deficiencia de nitrógeno:

1. Mal desarrollo. Plantas de menor altura. Hojas pequeñas y raquíticas. Plantas desmedradas. Entrenudos cortos.

2. Las hojas se vuelven de color verde amarillento y más tarde, completamente amarillas.
3. Los nervios toman con frecuencias color púrpuro.
4. Las flores son más pequeñas de lo normal.
5. Las raíces desarrollan con frecuencia mayor tamaño que la parte aérea.
6. la diferencia se presenta en primer lugar en las hojas inferiores. [cofrupo.org.mx.2006])

Deficiencia de fósforo:

1. Primer periodo: las hojas amarillean en los márgenes. Periodo a muerte y caída gradual de las hojas de la parte inferior de la planta.
2. Desarrollo imperfecto de la planta.
3. Sistema radicular deficiente. [cofrupo.org.mx.2006]

Deficiencia de potasio:

1. Amarillez de los márgenes de las hojas en el primer periodo, seguida de color castaño, o la muerte de esas zonas amarillas. Da la apariencia de una planta quemada.
2. Más tarde aparecen manchas en los nervios.
3. Las plantas son más susceptibles a los insectos y enfermedades.
4. La deficiencia se presenta en las hojas inferiores. [cofrupo.org.mx.2006]

Deficiencia de hierro:

1. Clorosis, amarillez del follaje.
2. Retraso del crecimiento general.
3. En las últimas fases, las hojas cloróticas se queman intensamente. Esto empieza en las puntas y los márgenes y se extiende hacia el exterior. [cofrupo.org.mx.2006]

Deficiencia de magnesio:

1. Planta desmedrada.

2. Clorosis. Los nervios permanecen verdes, en tanto que las áreas intermedias se vuelven amarillas.
item Las hojas se arrugan.
3. Hojas pequeñas.
4. El periodo de las hojas es corto.
5. En las últimas fases aparecen regiones muertas entre los nervios de las hojas. La aparición de estas regiones muertas es casi repentina (dentro de un periodo de 24 horas).
6. La floración se retrasa. Las flores tienen mal olor. [cofrupo.org.mx.2006]

Deficiencia de calcio:

1. Las raíces alimenticias mueren casi todas.
2. La planta se presenta muy desmedrada.
3. El extremo de la planta y los extremos superiores mueren. [cofrupo.org.mx.2006]

Deficiencia de manganeso:

1. Clorosis. Color verde amarillento entre los nervios y el color verde es oscuro. Esta deficiencia se distingue de la del magnesio en que la clorosis aparece primero en la parte superior de la planta, mientras que en la falta de magnesio aparece primero en las hojas inferiores.
2. Plantas algo raquíticas.
3. Las hojas tienden a abarquillarse en los márgenes hacia el envés. [cofrupo.org.mx.2006]

Deficiencia de azufre:

1. La deficiencia se manifiesta primero en la parte superior de la planta.
2. Clorosis, que difiere de las otras manifestaciones de clorosis en que los nervios toman color amarillo, mientras que el resto de las hojas permanece verde.
3. La planta alcanza menor altura.
4. En la base de las hojas aparecen manchas púrpuras de tejido muerto. [cofrupo.org.mx.2006]

2.4.1.10 Conductividad eléctrica(CE)

Es posible determinar la concentración de cada uno de los elementos nutritivos en la solución a través del análisis químico. Alternativamente a nivel de la empresa de mediana escala, operar el sistema "NFT" requiere realizar controles o estimaciones diarias de la concentración de los elementos nutritivos. En el primer caso muestrear la solución y llevarla a analizar a algún laboratorio, se transforma en una tarea engorrosa y de alto costo, además de desconocer oportunamente el estado real de la solución.

Por medio de un conductivímetro portátil en general de costo no muy alto se estima la concentración total de elementos nutritivos disueltos en la solución por medio de la conductividad eléctrica.

La efectividad del uso de este estimador -la conductividad eléctrica (C.E.)-, se basa en el concepto de la proporcionalidad de la conductividad eléctrica de una solución en relación a la concentración de sales disueltas, junto con utilizar una solución nutritiva que contiene una baja concentración de elementos no esenciales.

Por esta razón, uno de los éxitos del sistema "NFT" se encuentra en la elección de una adecuada formulación de la solución nutritiva. La unidad de la C.E. es el milisiemens (mS/cm) - anteriormente conocido como milimhos (mmhos)-, pero en hidroponía para fines prácticos, se trabaja con el Factor de conductividad (Fc), que se define como:

Factor de conductividad (Fc) = C.E. (mS/cm) x 10, es decir, un Fc=20 equivale a 2 mS/cm.

El rango de conductividad eléctrica usualmente requerido para un adecuado crecimiento del cultivo, se encuentra entre un Fc de 15 a 30. La utilización del valor inferior de este rango o uno superior dependerá de la especie y sus requerimientos según su hábito de crecimiento, como también de la C.E. del agua con la cual se prepara la solución nutritiva. Por ejemplo para un cultivo de lechuga recién establecido (con un estado de desarrollo de 5 hojas verdaderas) el factor de conductividad no debería ser superior a 15.

Por otra parte, se debe cuidar no sobrepasar el límite superior de 30, ya que debido a una mayor concentración de elementos minerales disueltos en la solución nutritiva, la absorción de agua, y por ende la de nutrientes, disminuye afectando así el crecimiento del cultivo.

La medición de la conductividad eléctrica se realiza a través de un medidor portátil o automático y no se debe descuidar la calibración del instrumento.

Los niveles de sales de 2.5 a 3.5 mmhos/cm son preferidos para cultivos como el jitomate. Niveles de sales por arriba de 4 mmhos/cm pueden dar lugar a un marchitamiento, deteniendo el desarrollo y desecando los frutos.

2.4.1.11 Control del ambiente

El jitomate es muy sensible a la temperatura. Por ello es importante sembrarlo en primavera, para cosecharlo en el otoño, antes de que lleguen las temperaturas frías. El tiempo que tarda en crecer y dar frutos para ser cosechado es entre 3 y 4 meses, dependiendo de la temperatura y de la variedad de jitomate.

El jitomate necesita por lo menos 7 horas diarias de sol directo para crecer sano y tener buen sabor. Conforme vaya creciendo se le puede amarrar una varita de madera para guiarlo y que el peso no haga que la planta caiga al suelo.

Es importante mantener la temperatura adecuada dentro del invernadero. Durante la germinación la temperatura óptima es entre 25 y 30°C con humedad relativa mayor al 90 % bajo oscuridad durante 6 a 8 días aproximadamente dependiendo del vigor de la semilla. Al momento de colocar las charolas la temperatura óptima en plántulas de tomate es entre los 20 y 25°C durante el día y de 18 a 20°C durante la noche. Es importante recalcar que se pueden tener temperaturas por encima o por debajo de las óptimas sin embargo, cuando esto sucede el crecimiento de la planta tardará más tiempo en estar lista para el trasplante. Se recomienda durante el desarrollo de la plántula que la humedad relativa sea inferior al 80 % con una intensidad de luz entre 3,500 y 7,000 foot candle. Cuando se tienen temperaturas elevadas se abren las ventanas laterales y cuando las temperaturas son bajas deberá encenderse la calefacción. Debido a un deficiente control de la temperatura se han tenido muchos fracasos en la producción de plántulas de tomate, por lo tanto, se recomienda que siempre exista al menos una persona responsable y de tiempo completo solamente para atender el semillero. Cuando una persona es responsable se evitan sobrierriegos y se puede tener la garantía de un buen manejo de ventanas laterales y cenitales, así como de los calefactores, etc [Arizpe & Velazquez,2008].

2.4.1.12 Plagas y enfermedades

El jitomate como cualquier otro cultivo presenta diferentes ataques de micro organismos (ver cuadro 2.2) o insectos (ver cuadro 2.3) y esto representa un factor importante en la economía ya que si no se atiende a tiempo o no se cuenta con un programa preventivo para estos ataques la producción de jitomate y el rendimiento del cultivo se verá mermado.

Siempre estará presente cualquier enemigo externo que atacara a los cultivos, tanto en los cultivos hidropónicos como en cualquier otro tipo de cultivo, tales como insectos, ajaros entre otros.

Además de que como el riego es diario la posibilidad de enfermedades se incrementa. En la mayoría de los cultivos se atacan a estas plagas con un patrón de aplicaciones de fungicidas, iniciando una vez la primer semana después de emergida la planta y cada tercer día las siguientes dos semanas y dos veces por semana las últimas dos semanas, con esta prevención es probable que no se tenga daño alguno por enfermedades.

El uso de malla antiáfida es indispensable para evitar la introducción de plagas tales como la mosquita blanca y la Paratrioza que transmiten virus. Se recomienda que una semana antes de extraer las plántulas se haga un tratamiento con Imidacloprid para el control de mosquita blanca. Algunos productores aplican con éxito Imidacloprid diez días después del trasplante a una dosis de un mililitro por litro de agua dándole protección a la planta por tres semanas más contra la mosquita blanca.

Una alternativa para evitar la implementación de estos químicos es el uso de métodos no convencionales que sean seguros tanto para el hidrocultor como para el consumidor del producto.

La mejor forma de evitar plagas es revisando diariamente o por lo menos cada dos días por la mañana o por la tarde el huerto, para detectar la presencia de insectos, gusanos o pulgones y los podemos eliminar con constancia y gradualmente para así romper su ciclo de vida y evitar de esta forma el esparcimiento de estas plagas por todo el invernadero.

Las plagas que más se encuentran son los insectos como lo hijos de las mariposas que nacen cuatro a cinco días después de ser puestos sus huevos detrás de las hojas.

Otra plaga son los pulgones o áfidos, que son pequeños insectos de color grisáceo, los cuales se ubican detrás de las hojas. Una plaga que causa daños considerables son las babosas, que se presentan en la épocas de lluvia y fría, ya que aumenta la humedad.

Pero no todos los insectos son dañinos existen algunos que benefician al cultivo ya que ayudan a eliminar plagas nocivas pues se alimentan con estos, entre estos tenemos a las mariquitas, el mata piojos, las avispa y hasta las lagartijas.

Además de revisar a diario el invernadero se pueden utilizar algunas de las siguientes técnicas para la eliminación de las plagas y sin ninguna afectación tanto para el producto como para el consumidor:

Aplicar extractos de algunas plantas como: ajo, ají, eucalipto, orégano, epazote, ruda, tabaco y otros tipos de extracto como jabón. La mayoría de estos extractos actúan como repelente debido a sus fuertes olores, es conveniente alternarlos cada semana para evitar que los insectos se acostumbren y se hagan inmunes a ellos.

Las principales enfermedades del jitomate son (ver cuadro 2.2):

| | Nombre común | Agente causante |
|------------|----------------|------------------------|
| Almácigo | Damping of | Phytophthora |
| | Pata negra | Ryzotocnia |
| Producción | Tizón tardío | Phytophthora infestans |
| | Tizón temprano | Alternaria solani |

Cuadro 2.2: Principales enfermedades del jitomate. [Cortes.2007]

Las principales plagas del jitomate se indican en el cuadro (2.3):

| Nombre común | Agente causante |
|--------------------|-----------------|
| Minador de la hoja | Insecto minador |
| Pulgón | Mysus ssp |
| Mosquita blanca | Trialeurodes |

Cuadro 2.3: Principales plagas del jitomate. [Cortes.2007]

Existen muchas más enfermedades y plagas pero si se tiene un buen cui-

dado fitosanitaria y se siguen las recomendaciones mencionadas arriba, como son la inspección diaria del cultivo, el uso de repelentes y un sistema preventivo con fungicidas, se puede garantizar un cultivo sano y una excelente producción.

2.4.1.13 Cosecha

La recolección del tomate cultivado en invernadero inicia cuando los frutos han llegado a su madurez fisiológica, esto se consigue a los 90-100 días después del trasplante, o a los 50-60 días después de la apertura floral. La madurez fisiológica de un tomate se define como el estado en el cual el fruto alcanzó su tamaño definitivo e inició la maduración en su interior, y a partir de ese momento ya nada ni nadie detendrá el proceso de maduración asociada al color rojo expresado en su interior.

Para saber cuándo un fruto está maduro fisiológicamente, se puede apreciar un cambio de coloración en la parte externa inferior del fruto el cual presentara una coloración blanquecina en forma de estrella. De igual forma, se puede observar por dentro del fruto haciendo un corte transversal para observar la pulpa del fruto, la cual mostrara semillas bien definidas y un cambio de coloración de la pulpa de tonalidad verde a rojo.

La cosecha se realiza durante la mañana para evitar las horas más soleadas y evitar la deshidratación de los frutos durante su traslado del invernadero hacia el centro de acopio o sala empacadora. Para el buen funcionamiento y optimización de la producción, se cosechará de acuerdo a un programa establecido en el cual se dividirá el número total de invernaderos en 2 partes, para cosechar cada 2 días la totalidad de invernaderos. Este plan o estrategia se modificará de acuerdo a las necesidades de recolección tomando en cuenta el grado de maduración en función de la planta y las condiciones climáticas, siendo necesario en ocasiones dejar de cosechar por condiciones de luz por el contrario, cuando las condiciones de luz son favorables se logra una excelente cosecha.

Una vez estudiado todo el procedimiento para la producción de jitomate desde la germinación hasta la cosecha mediante técnicas hidropónicas se ha elegido como sistema de riego hidropónico, el riego localizado o por goteo, el cual según estudios es la más óptima para la producción de jitomate de forma automatizada, además de que cumple con uno de los objetivos que es la utilización de la cantidad mínima de agua posible para la producción de jitomate, y solo se le aplica una cantidad mínima requerida de solución

nutritiva.

2.4.2 Lombricomposta

La agricultura convencional o moderna es un sistema de manejo agrícola que se basa en el uso intensivo de insumos y maquinaria. Esta forma de producir ha demostrado al pasar el tiempo, su agresividad sobre los agroecosistemas y la alta destrucción del ambiente debido al abuso con los agroquímicos (fertilizantes químicos, herbicidas, insecticidas, fungicidas, fitoreguladores, nematicidas, entre otros) los cuales se acumulan en los mantos freáticos, suelos, agua, atmósfera, representando una amenaza para la vida, por su alto grado de toxicidad [Nely.2011].

Una de las técnicas adecuadas para ir mejorando todo esto y como parte de la agricultura orgánica son: las rotaciones de cultivo, residuos de origen orgánico, abonos verdes, labranza mecánica, entre otros, con el propósito de mantener la productividad y fertilidad del suelo, así como controlar plagas, malezas y enfermedades [Nely.2011].

Como parte de las técnicas agrícolas mencionadas, la lombricultura es una herramienta de recién aplicación en el aprovechamiento de residuos orgánicos y abonos animales, ya que pueden encargarse de reciclarlos en el suelo y en el menor tiempo, generando así los abonos llamados “Lombricomposta” o “Vermicomposta”; capaces de sustituir a los fertilizantes químicos por lo que se ha convertido en una técnica que auxilia en la conservación y mejoramiento del recurso suelo [Nely.2011].

2.4.2.1 Lombricultura

La lombricultura (ver figura 2.12) se concibe como una biotecnología que permite utilizar la lombriz de tierra con el propósito de reciclar desechos orgánicos de los cuales se alimenta, generando productos tales como: proteínas para la alimentación de animales domésticos, carne para pesca, como fuente de proteínas para la alimentación humana (harina y galletas) y para el enriquecimiento de los suelos, ya sea incorporándolas al suelo o adicionando el vermiabono, que son las excretas de las lombrices, lo cual se le denomina humus de lombriz, es de color negrozco, granulado, homogéneo y con olor agradable a suelo de bosque.

Es uno de los abonos orgánicos de mejor calidad debido particularmente a su efecto de las propiedades biológicas del suelo [Nely.2011].



Figura 2.12: Proceso de la lombricultura.

Especies usadas En el mundo existen más de 8,000 especies distintas de lombrices de ellas se han descrito 3,627 especies, pero solo unas 10 a 12 de ellas pueden servir para la lombricultura. Entre estas, la más conocida es la lombriz de tierra *Lumbricus terrestris*, sin embargo, las más utilizadas en la lombricultura intensiva es la *Eisenia andrei*, *Perionyx excavatus* y *Eudrillus eugeneae*. Pero principalmente en México se ha adaptado la lombriz roja californiana *Eisenia foetida*, porque hay lugares muy ricos en materia orgánica en proceso de descomposición y que son capaces de transformarlo en abono [Nely.2011].

Implementación La lombricomposta, por ser un fertilizante orgánico, biorregulador y corrector del suelo, cuya característica fundamental es la bioestabilidad, pues no da lugar a fermentación o putrefacción. Podemos nosotros incorporarlo a las parcelas, almácigos, surcos o en bandas en su caso, en el trasplante de los cultivos a explotar; con ello estamos proporcionando una alta composición enzimática bacteriana, lo que logrará una rápida asimilación por las raíces de las plantas, aumentando y acelerando así su rendimiento y ciclo biológico a la cosecha (kg/ha) [Nely.2011].

Se utiliza como mejorador de suelo en cultivos hortícolas y como sustrato no contaminante, contiene sustancias activas que actúan como reguladoras de crecimiento, posee gran capacidad de intercambio catiónico así como alto contenido de ácidos húmicos y una gran capacidad de retención de humedad, porosidad que facilita la aireación y drenaje del suelo y de los medios de crecimiento [Solano & Garrido.2013].

Dosis en siembra y algunos cultivos Según las investigaciones realizadas por instituciones educativas, empresas interesadas en la materia, han obtenido muy buenos resultados aplicando las siguientes proporciones de este abono, en los diferentes métodos de producción y específicamente en algunos cultivos como son (ver cuadro (2.4):

Nutrientes que contiene El contenido (nivel) de nutrimentos está relacionado con el sustrato, sus características físicas, su composición bioquímica y bacteriología que le dio origen. En general se puede decir que la lombricomposta tiene los siguientes contenidos nutrimentales: pH neutro, Nitrógeno (N), Fósforo (P), potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Manganeseo (Mn), cobre (Cu), Boro (B), Zinc (Zn), Hierro (Fe), Sodio (Na), buena conductividad eléctrica (CE), buena capacidad de intercambio catiónico (CIC), ácido indol acético (AIA), ácido giberélico (AG3), ácidos fulvicos y húmicos, buena

| Cultivos y/o Métodos de siembra | Dosis |
|---------------------------------|---------------------------|
| Caña de azúcar | 3-4 ton/ha |
| Tomate (al trasplante) | 600 g/planta |
| Maíz | 2-3 ton/ha |
| Tomate (al fondo del surco) | 2.5-3.0 ton/ha |
| Praderas | 600 g/planta |
| Frutales | 2 kg/árbol |
| Hortalizas | 800 g/m ² |
| Césped | 1 kg/ m ² |
| Ornamentales | 0.5-a kg/ m ² |
| Semilleros o almácigos | 90-100 g/ m ² |
| Trasplantes | 0.5-2.0 kg/planta |
| Rosales y especies leñosas | 0.5-1.0 kg/m ² |
| Para recuperación de suelos | 1.5-2.0 ton/ha |

Cuadro 2.4: Cantidades de abono aplicado a ciertos cultivos. Tomado de [Nely.2011]

relación Carbono: Nitrógeno (C/N), excelente cantidad de organismos benéficos en el orden de 2 billones de bacterias por gramo de humus y una buena humedad de 40 a 50 %. [Nely.2011]

Beneficios

- (a) El humus de lombriz está científicamente probado que produce un aumento en el porte de las plantas y las protege de enfermedades de la raíz (ya sea por bacterias o nematodos).
- (b) En comparación con el estiércol de bovino, el humus de Lombriz contiene 4 veces más Nitrógeno, 25 veces más Fósforo, 2.5 veces más potasio y además no se aportan plagas de suelo.
- (c) Ayuda al desarrollo de la microflora y microfauna (microorganismos benéficos del suelo) en los terrenos en cultivo.
- (d) Aporta elementos nutritivos para el buen desarrollo de las plantas, además de que los libera lentamente, lo que permite que los cultivos lo aprovechen mejor. Evita la presencia de clorosis férrica en los cultivos.
- (e) Aumenta la capacidad de retención de humedad del suelo. Aumenta y mantiene un alto nivel de fertilidad de los suelos, hasta 3 años después de su aplicación.

- (f) Regula los cambios bruscos del pH y amortigua los cambios bruscos de temperaturas.
- (g) Disminuye el riesgo de erosión del suelo.
- (h) Mejora el intercambio catiónico planta-suelo. Neutraliza la presencia de algunos contaminantes (herbicidas, esteres fosfóricos, anticriptogamicos, etc.).
- (i) Mejora las características de estructuras (desligando los suelos arcillosos y agregando los suelos arenosos). [Nely.2011]

2.5 Componentes electrónicos

A continuación se describen cada uno de los componentes que conforman todo el sistema de control y monitoreo del invernadero.

Raspberry PI

Raspberry Pi (ver figura 2.13) es una computadora de placa reducida o (placa única) (SBC) de bajo costo, desarrollado en Reino Unido por la Fundación Raspberry Pi, con el objetivo de estimular la enseñanza de ciencias de la computación en las escuelas.

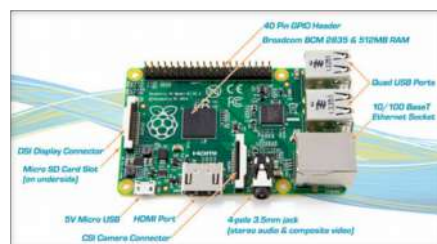


Figura 2.13: Raspberry PI [Raspberry Pi.2015]

Arduino Leonardo

Arduino Leonardo es una plataforma electrónica de hardware libre basada en una placa con un microcontrolador ATmega32u4. Cuenta con 20 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 7 se pueden utilizar como salidas PWM y 12 entradas como analógicos), un oscilador de cristal de 16 MHz, una

conexión micro USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP, y un botón de reinicio. Consta de 14 entradas digitales configurables entrada i/o salidas que operan a 5 voltios. Cada pin puede proporcionar o recibir como máximo 40 mA. Los pines 3, 5, 6, 8, 10 y 11 pueden proporcionar una salida PWM (Pulse Width Modulation). Si se conecta cualquier cosa a los pines 0 y 1, eso interferirá con la comunicación USB. También tiene 6 entradas analógicas que proporcionan una resolución de 10 bits. Por defecto miden de 0 voltios (masa) hasta 5 voltios, aunque es posible cambiar el nivel más alto, utilizando el pin Aref y algún código de bajo nivel.

Esta placa es utilizada para leer información de diferentes sensores, así como poder controlar motores, bombas etc, como es un sistema que no cuenta con teclado ni monitor es necesario hacer uso de un programa externo llamado Arduino IDE “Integrated Development Environment” (Entorno de Desarrollo Integrado) que puede ser ejecutado en una PC para poder cargar programas a esta placa (mediante conexión USB) y esta los ejecute.

Sensor de temperatura (digital) “DS18B20”

El sensor de temperatura DS18B20, es un dispositivo que está compuesto por una cubierta de acero con un metro de cable reforzado que lo mantiene protegido para evitar que se dañe, dentro de esta cubierta se encuentra una pequeña cabeza de plástico y tres patillas metálicas. En apariencia, resulta muy similar al diseño de un transistor.

Para su montaje sobre la placa Arduino, una de sus patillas irá directamente conectada al pin 5V (alimentación); otra debe conectarse a tierra (pin GND); y la tercera es la que está conectada a uno de los pines digitales. Entre la patilla que recibe la alimentación y la que va conectada al pin digital (señal), se conectó una resistencia de pull-up de $4,7k\Omega$.

En la figura 2.14 se muestra el esquema de conexión:

pinos digitales, ya que la señal de salida es digital. Lleva un pequeño microcontrolador de ocho bits interno para hacer el tratamiento de señal.

Este sensor está formado de un termistor y un sensor capacitivo para medir humedad desde 0 %-100 % RH y temperaturas de -40°C a 80°C.

Funciona con ciclos de operación de duración determinada (2s). En este tiempo, el microcontrolador externo (Arduino por ejemplo) y el microcontrolador que lleva integrado el sensor, se comunican entre si.

El DHT22 tiene rangos de medida más amplios y mayor resolución que el DHT11.

Las características del sensor DHT22 se resumen en la siguiente tabla (2.5)

| Parámetro | DHT22 |
|-------------------------------|--|
| Alimentación | $3.3 \text{ Vdc} \leq V_{cc} \leq 6 \text{ Vdc}$ |
| Señal de Salida | Digital |
| Rango de medida (Temperatura) | De -40°C a 80°C |
| Precisión Temperatura | $\pm 0.5^\circ\text{C}$ |
| Resolución Temperatura | 0.1°C |
| Rango de medida Humedad | De 0 a 100 % RH |
| Precisión Humedad | 2 % RH |
| Resolución Humedad | 0.1 % RH |
| Tiempo de sensado | 2s |
| Tamaño | 14 x 18 x 5.5 mm |

Cuadro 2.5: Características de los sensores DTH11 y DHT22. [Electronics.2013]

Por lo que se refiere al pinout, los pines del DHT22 siguen el siguiente orden. De izquierda a derecha tenemos: VCC, señal, NC, GND, la siguiente imagen (figura 2.16) la conexione entre el sensor y Arduino.

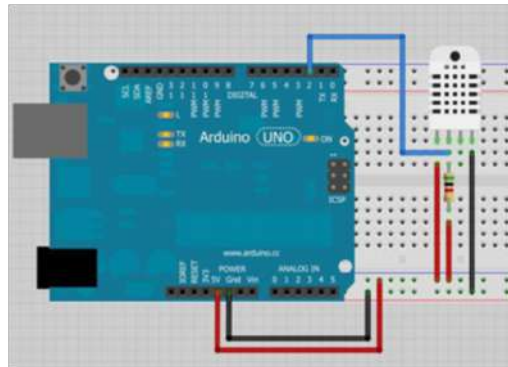


Figura 2.16: Conexión entre el sensor DHT22 y la placa Arduino. [Electronics.2013]

Sensor YL-69 con módulo YL-38

Este sensor YL-69 con módulo YL-38 (ver figura 2.17) puede leer la cantidad de humedad presente en el suelo que lo rodea.

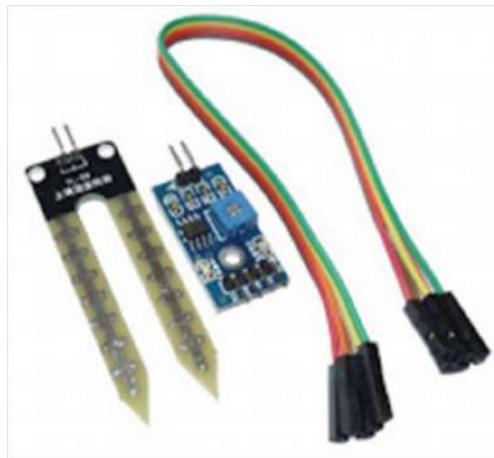


Figura 2.17: Sensor YL-69 con módulo YL-38. [Educatronica.2015]

Aplicando una pequeña tensión entre los terminales de la sonda YL-69 esta 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. Consiste en una sonda YL-69 con dos terminales separados adecuadamente y un módulo YL-38 que contiene un CI comparador LM393 SMD (de soldado superficial) muy estable. Este último presenta 2 pines de conexión hacia la

sonda YL-69 y permite ajustar el nivel lógico en esta salida, es decir pasa de bajo a alto mediante el potenciómetro. [Educatronica.2015]

El módulo YL-38 dispone de un potenciómetro con el cual se puede ajustar la sensibilidad del umbral de la salida digital para activar un relé (por ejemplo para activar una electroválvula de riego) o ser leído por un microcontrolador, además dispone de un LED de POWER de encendido y otro de activación de salida digital OUT (se activa cuando es superado el umbral) y una salida analógica que puede ser utilizada con el ADC de cualquier microcontrolador. En la salida analógica el nivel de voltaje dependerá directamente de cuanta humedad haya en el suelo. Es decir, dependiendo de cuanta conductividad (producto del agua en el suelo) haya entre las puntas del módulo, así variará el valor entregado por Arduino (entre 0 y 1023).

Características:

- Dimensiones sonda YL-69: 60mm x30mm, Módulo YL-38: 30mm x 16mm
- Tensión de alimentación: 3.3V a 5V

Pines de salida:

Pin1- VCC 5V

Pin2 -GND

Pin3-Salida Digital

Pin4 -Salida Analógica (Para ADC)

Puente H

Un Puente H o Puente en H (ver figura 2.18) es un circuito electrónico que permite a un motor eléctrico DC girar en ambos sentidos, avance y retroceso. Son ampliamente usados en robótica y como convertidores de potencia. Los puentes H están disponibles como circuitos integrados, pero también pueden construirse a partir de componentes discretos.

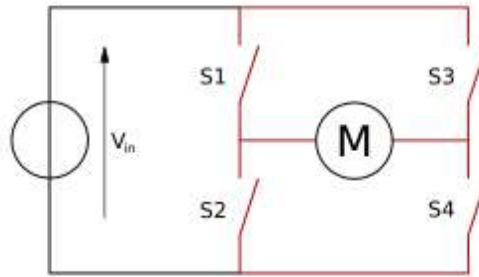


Figura 2.18: Estructura de un puente H (marcado en rojo). [La enciclopedia libre.2015]

El término "puente H" proviene de la típica representación gráfica del circuito. Un puente H se construye con 4 interruptores (mecánicos o mediante transistores). Cuando los interruptores S1 y S4 (ver figura 2.19) están cerrados (y S2 y S3 abiertos) se aplica una tensión positiva en el motor, haciéndolo girar en un sentido. Abriendo los interruptores S1 y S4 (y cerrando S2 y S3), el voltaje se invierte, permitiendo el giro en sentido inverso del motor.

Con la nomenclatura que estamos usando, los interruptores S1 y S2 nunca podrán estar cerrados al mismo tiempo, porque esto cortocircuitaría la fuente de tensión. Lo mismo sucede con S3 y S4.

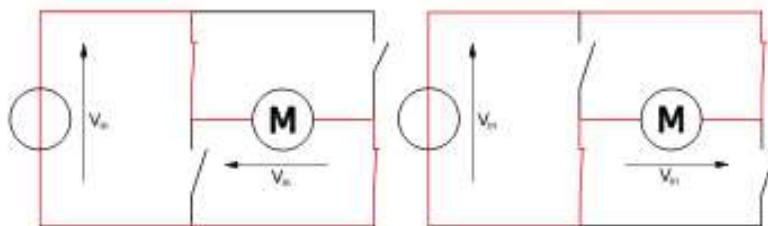


Figura 2.19: Los 2 estados básicos del circuito. [La enciclopedia libre.2015]

Como hemos dicho el puente H se usa para invertir el giro de un motor, pero también puede usarse para frenarlo (de manera brusca), al hacer un corto entre las bornas del motor, o incluso puede usarse para permitir que el motor frene bajo su propia inercia, cuando desconectamos el motor de la fuente que lo alimenta.

En el siguiente cuadro (2.6) se resumen las diferentes acciones.

| S1 | S2 | S3 | S4 | Resultado |
|----|----|----|----|--|
| 1 | 0 | 0 | 1 | Giro en avance |
| 0 | 1 | 1 | 0 | Giro en retroceso |
| 0 | 0 | 0 | 0 | El motor se detiene bajo su propia inercia |
| 1 | 0 | 1 | 0 | El motor frena (fast-stop) |

Cuadro 2.6: Acciones del motor según la lógica en las terminales. [La enciclopedia libre.2015]

Modulo Puente H L298N

Este módulo basado en el chip L298N permite controlar dos motores de corriente continua o un motor paso a paso bipolar de hasta 2 Amperes.

El módulo viene con diodos de protección y un regulador LM7805 que suministra 5V a la parte lógica del integrado L298N. Cuenta con (ver figura 2.20) jumpers de selección que permiten habilitar cada una de las salidas del módulo (A y B). La salida A está integrada por OUT1 y OUT2 y la salida B por OUT3 y OUT4. Los pines de habilitación son ENA y ENB respectivamente. En la parte inferior se encuentran los pines de control del módulo, marcados como **IN1**, **IN2**, **IN3** e **IN4**.

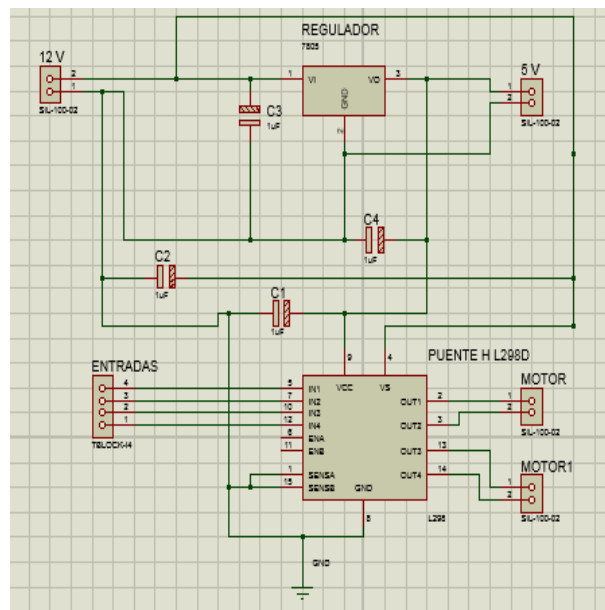
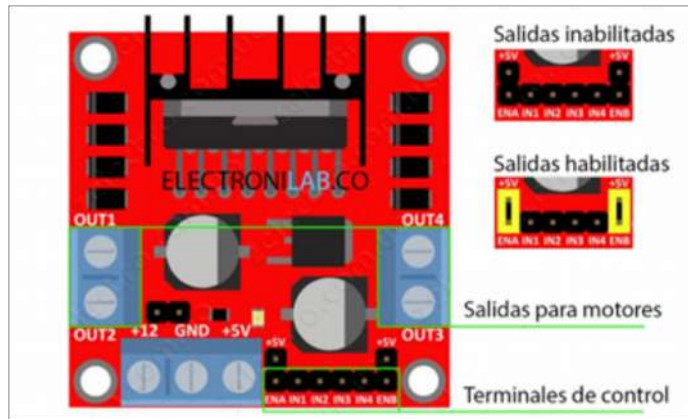


Figura 2.20: Salidas y terminales de control del modulo Puente H L298N [La enciclopedia libre.2015]

Conexión de alimentación

Este módulo se puede alimentar de 2 maneras diferentes como lo muestra la figura 2.21 gracias al regulador integrado LM7805.

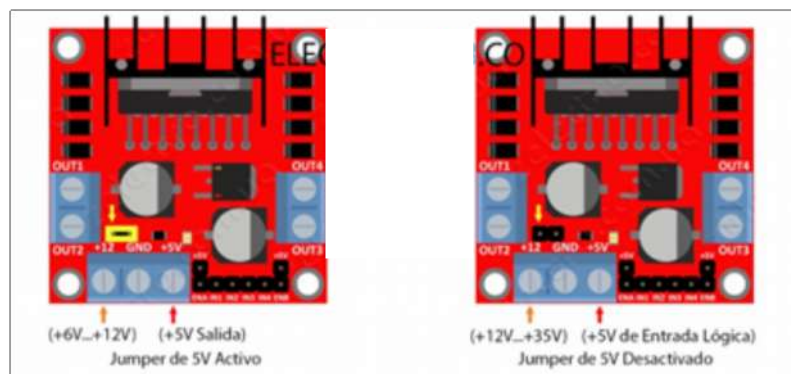


Figura 2.21: Formas de alimentación del módulo PH L298N. [La enciclopedia libre.2015]

Cuando el jumper de selección de 5V se encuentra **activo**, el módulo permite una alimentación de entre **6V a 12V DC**. Como el regulador se encuentra activo, el pin marcado como +5V tendrá un voltaje de 5V DC. Este voltaje se puede usar para alimentar la parte de control del módulo, ya sea un microcontrolador o un Arduino, pero recomendamos que el consumo no sea mayor a 500 mA.

Cuando el jumper de selección de 5V se encuentra **inactivo**, el módulo permite una alimentación de entre **12V a 35V DC**. Como el regulador no está funcionando, tendremos que conectar el pin de +5V a una tensión de 5V para alimentar la parte lógica del L298N. Usualmente esta tensión es la misma de la parte de control, ya sea un microcontrolador o Arduino. Nunca se debe conectar una tensión de entrada al pin de +5V, cuando el jumper de selección de 5V se encuentre activado. Esto provocaría un corto y podría dañar permanentemente el módulo. [Cruz.2014]

Modulo o Banco de relevadores

Un relevador (ver figura 2.22), también conocido en algunos países como relé o relay, es un interruptor cuyo control corre por cuenta de un circuito

eléctrico, que incide sobre diversos contactos para la apertura o el cierre de otros circuitos, que funcionan de manera independiente. [Definicion.2008]



Figura 2.22: Relevador, relé o relay. [Aguillon.2013]

El relevador actúa como un interruptor que puede fomentar el paso de la corriente eléctrica o su interrupción.

De acuerdo a lo que demora la desactivación y activación, la intensidad que toleran y la cantidad de contactos, es posible clasificar a los relevadores de diferentes formas: relevadores de estado sólido, relevadores de láminas, relevadores electromecánicos, relevadores de corriente alterna, etc.

Los relevadores, en definitiva, permiten una conmutación (dejar pasar o interrumpir la alimentación de corriente alterna) a distancia, controlando altas tensiones con un bajo voltaje en retorno.

El relevador permite controlar una gran cantidad de electricidad operando con una cantidad muy pequeña. Se trata de instrumentos que brindan una mayor seguridad en distintos dispositivos que funcionan con el uso de energía eléctrica, ya que sus contactos permiten abrir o cerrar circuitos eléctricos (es decir, generar o interrumpir la conexión).

Capítulo 3

Variables a controlar y diseño del invernadero

Para lograr una buena producción de jitomate en invernadero, y además sea un producto de alta calidad es necesario controlar las variables mencionadas en el capítulo 2 como son: el riego, temperatura la humedad, la iluminación, la CE (conductividad eléctrica), el PH etc., mismas que se explican a continuación.

3.1 Riego

Cuando la semilla está empezando a germinar en el contenedor, es importante regarla por goteo, sólo lo suficiente para que siempre se mantenga húmeda la tierra. Al trasplantarla, se riega más profundamente, cada 3-5 días dependiendo del clima, y sólo en las raíces, nunca en las hojas porque se pueden enfermar.

El riego se realiza a diario, sin embargo, en días muy calientes (temperaturas por encima de 35°C) se recomienda dar dos riegos por día. La cantidad de agua que se aplica debe ser la necesaria para que humedezca por completo la cavidad de la charola (aproximadamente dos litros por charola), se deberá evitar exceso de agua cuando se aplica el fertilizante y enraizado debido a que se drena y no es aprovechado por las plántulas. Se recomienda una vez por semana o cada dos semanas hacer un lavado de las sales para evitar acumulación en la cavidad, la cual afectará el crecimiento de la plántula [Arizpe & Velazquez,2008].

3.2 Temperatura

Dentro del ámbito de diseño de invernaderos, se define como, la cantidad de calor que tiene un medio determinado y en los invernaderos es esencial para el crecimiento de las plantas pues un buen control de la temperatura favorece a un mejor desarrollo de las funciones biológicas de las plantas.

Las dimensiones del invernadero afectan la temperatura, es decir, invernaderos más altos aunque tarden más en calentarse tiene mayor estabilidad comparado con invernaderos de baja altura en los que la variación de temperatura es mayor. Es decir, son más calientes en verano y más fríos en el invierno. Es importante mencionar que, entre más altos sean los invernaderos mayor será el costo de la calefacción, por lo tanto, se recomienda instalar pantallas térmicas para disminuir el gasto de combustible para elevar la temperatura cuando ésta es baja [Arizpe & Velazquez,2008].

El régimen térmico del invernadero varía a lo largo del día por el movimiento del sol. Es decir, en un día despejado se consiguen temperaturas superiores a las de campo abierto, mientras que por las noches se aproximan e incluso pueden ser inferiores al campo abierto. El productor debe intervenir en base al monitoreo de la temperatura y experiencia para que la temperatura nunca se encuentre por debajo de las mínimas del cultivo (10°C), intentando que se acerquen lo más posibles a las óptimas de cada fase de desarrollo con un costo que afecte lo menos posible la utilidad. En días nublados las temperaturas dentro y fuera del invernadero son similares, sin embargo, la humedad relativa puede ser mayor dentro del invernadero debido a la transpiración de las plantas. Por lo tanto, si la temperatura está por encima de 18°C se recomienda abrir mínimo las ventanas cenitales y una ventana lateral para propiciar la circulación [Arizpe & Velazquez,2008].

Para evitar que las temperaturas sean inferiores a las óptimas, el productor debe encender el sistema de calefacción, el más común en México es el uso de aire caliente. El cual proporciona una distribución uniforme del calor cuando es colocado en forma adecuada y con el uso de tubos de plástico perforados, no deseca el ambiente y es sencillo de manejar. A pesar de que el sistema de calefacción con aire caliente es de bajo costo inicial tiene un elevado costo de funcionamiento, por lo que el productor entre menos tenga que encenderlo mayor utilidad obtendrá.

Cuando se tienen problemas con bajas temperaturas, existen varias medidas que se pueden tomar para incrementar la temperatura dentro del in-

vernadero, por ejemplo:

- Asegurarnos de que el invernadero está adecuadamente aislado y cubierto, es decir, revisar que no existan rupturas en los plásticos, que las ventanas laterales y cenitales se encuentren cerradas.
- Colocar dobles cubiertas separadas por aire, con este método existe una mejor regulación de la temperatura.
- Pantallas térmicas, el uso de pantallas térmicas ayuda a que se incremente la temperatura con mayor rapidez, con menor consumo de gas y se mantiene el calor mayor tiempo. [Arizpe & Velazquez,2008]

Por el contrario cuando el problema es de altas temperaturas las prácticas más comunes para bajarla son las siguientes:

- Abrir ventanas cenitales, normalmente se abren las ventanas cuando la temperatura es superior a los 24°C y se cierran cuando la temperatura llega a los 20°C.
- Ventanas laterales, normalmente se abren cuando se tienen temperaturas superiores a los 26°C y se cierran y cuando son inferiores a los 18°C.
- Encalado del plástico, en el caso del tomate se recomienda encalar cuando la intensidad de luz es por encima de 7,000 foot candle.
- Abanicos, sirven para hacer circular el aire dentro del invernadero, se encienden normalmente cuando la temperatura alcanza una temperatura de 25°C.
- Incrementar la humedad relativa, es un método poco común, se puede utilizar en regiones con humedad relativa baja como es el caso de Sinaloa. Sin embargo, es riesgoso debido a que se incrementa la probabilidad de ataque por enfermedades. [Arizpe & Velazquez,2008]

La medición de la temperatura en el interior y exterior del invernadero es de suma importancia debido a que nos da las herramientas para la correcta toma de decisiones. Existen diversos tipos de termómetros por ejemplo, algunos muestran la temperatura en una escala mientras que otros son digitales. Los digitales pueden ser puntuales, es decir, muestran la temperatura al momento, pero no hay registro digital. En cambio existen termómetros

que registran la temperatura según se programen, es decir, puede ser cada minuto, varios minutos, cada hora, etc. Es común en los invernaderos encontrar termómetros de máximas y mínimas, los cuales son muy buenos debido a que nos indican los extremos de temperaturas. Sin embargo, se recomienda instalar termómetros que tomen las temperaturas en forma automática cada hora durante las 24 horas del día ver figura 3.1.



Figura 3.1: Termómetro digital que monitorea temperatura y humedad relativa y termómetro de máxima y mínima [CONEVYT.2008]

Para poder manejar un rango de temperatura adecuada para el invernadero es necesario conocer las necesidades y limitaciones de la especie a cultivar, esto mediante el conocimiento de las temperaturas mínimas, máximas y temperaturas diurnas y nocturnas soportables por la planta.

- Temperatura mínima letal. Aquella por debajo de la cual se producen daños en la planta.
- Temperaturas máximas y mínimas biológicas. Indican valores por encima y por debajo respectivamente del cual, no es posible que la planta alcance una determinada fase vegetativa, como floración, fructificación, etc.
- Temperaturas diurnas y nocturnas. Indican los valores recomendados para un correcto desarrollo de la planta.

La temperatura óptima de desarrollo del cultivo de tomate oscila entre los 20°C y 30°C durante el día y entre 10 y 17°C durante la noche. Las temperaturas superiores a los 35°C impactan negativamente sobre el desarrollo de los óvulos fecundados ya que aumenta la transpiración, se forman hojas pequeñas, tallos delgados y racimos más pequeños y disminuye la viabilidad del polen [CONEVYT.2008] y, por ende, afectan el crecimiento de los frutos. Por el otro lado, las temperaturas inferiores a 12°C afectan adversamente el crecimiento de la planta. Las temperaturas son especialmente críticas duran-

82CAPÍTULO 3. VARIABLES A CONTROLAR Y DISEÑO DEL INVERNADERO

te el período de floración, ya que por encima de los 25°C o por debajo de los 12°C la fecundación no se produce. Durante la fructificación las temperaturas inciden sobre el desarrollo de los frutos, acelerándose la maduración a medida que se incrementan las temperaturas. No obstante, por encima de los 30°C (o por debajo de los 10°C) los frutos adquieren tonalidades amarillentas y en el caso de llegar a 0°C esto causaría la muerte de la planta.

Temperatura del sustrato.

El sustrato sirve como anclaje a las raíces de las plantas como se muestra en la figura 3.2.



Figura 3.2: Raíz de la planta anclada al sustrato. [CONEVYT.2008]

La temperatura adecuada en el sustrato favorece la absorción de nutrientes. La temperatura del agua de riego o solución nutritiva afecta directamente la temperatura del sustrato.

La temperatura mínima del sustrato debe ser de 12°C. La temperatura óptima debe estar entre 20°C y 24°C. Y la temperatura máxima es de 24°C [CONEVYT.2008].

Nota: El fósforo, fierro y calcio son elementos que la planta no los absorbe cuando la temperatura de la solución nutritiva o sustrato es baja. La figura 3.3 de abajo muestra una planta con deficiencia de fósforo [CONEVYT.2008].



Figura 3.3: Deficiencia de fósforo en la planta de jitomate. [CONEVYT.2008]

Observe en la figura 3.4 la deficiencia de calcio en los frutos.



Figura 3.4: Falta de calcio en el jitomate. [CONEVYT.2008]

3.3 Humedad

Normalmente en la producción en invernadero se le da mayor importancia a la temperatura debido a que con temperaturas inferiores a los 0°C provocan que las plantas se hielan, sin embargo, a la humedad relativa se le da menor importancia, cuando la humedad relativa alta ha ocasionado más pérdidas debido a altas incidencias de hongos, que el daño ocasionado por temperaturas. Por lo tanto, consideramos que la humedad relativa es igual o incluso de mayor importancia que la temperatura dependiendo de la región y las lluvias que se presenten en el año de producción.

Al estudiar la evolución diaria de la temperatura y la humedad relativa se puede observar que se comportan en forma inversa, es decir conforme incrementa la temperatura baja la humedad relativa. Por lo tanto, la humedad relativa en un invernadero alcanza su máximo valor normalmente por la noche y primeras horas de la mañana y disminuye en las horas más calientes del día. Sin embargo, cuando se tienen temperaturas bajas durante el día se

puede también tener alta humedad relativa debido a la humedad generada por las plantas dentro del invernadero. La óptima humedad relativa para el cultivo del tomate oscila entre el 50 y 60 %. Cuando la humedad relativa es baja se deshidrata el polen reduciendo el cuaje de los frutos y cuando la humedad relativa en alta propicia el desarrollo de enfermedades principalmente de hongos y bacterias.

La prevención de la condensación de las gotas de agua es muy importante. En días soleados incrementan la transpiración de las plantas, pero debido a que la temperatura es alta la humedad no se condensa. Sin embargo, al caer la tarde o la noche que baja la temperatura el aire tiene menor capacidad de almacenar agua por lo que se condensa en la cubierta y hojas de las plantas propiciando la germinación de las esporas de hongos que pueden afectar severamente el cultivo de tomate tales como la Botrytis y Mildiu polvoriento [Arizpe & Velazquez,2008].

La humedad relativa óptima oscila entre 60 % y 80 %. Con humedades superiores al 80 % incrementa la incidencia de enfermedades en la parte aérea de la planta favorece siendo el ataque de enfermedades por hongos, bacterias y puede determinar, además, el agrietamiento de los frutos o dificultades en la polinización ya que el polen se apelmaza trayendo consigo pocos frutos por planta o menor tamaño de los mismos. En el otro extremo, una humedad relativa menor al 60 % dificulta la fijación de los granos de polen al estigma, lo que dificulta la polinización. Con una humedad relativa menor al 50 % el polen se deshidrata (ver figura 3.5) provocando una baja producción.



Figura 3.5: Deshidratación del polen. [Arizpe & Velazquez,2008]

Un fenómeno que tiene una relación directa con la humedad relativa del aire es la condensación del vapor del agua en las paredes y cubierta del invernadero. Estas gotas tienen un efecto negativo en los cultivos ya que impiden

el paso de la luz y aumentan las probabilidades del desarrollo de enfermedades.

El empleo de dobles cubiertas afecta la humedad relativa incrementándola dentro del invernadero comparada con la cubierta sencilla. Sin embargo, con un buen sistema de ventanas cenitales y laterales se puede controlar la humedad relativa.

Cuando se desea incrementar la humedad relativa en el interior del invernadero, se puede hacer a través de incrementar los riegos, llenar canaletas o balsas con agua, tener un sistema de sombreado y cerrar las cortinas por donde llegan los vientos manteniendo abiertas las cortinas del lado posterior abiertas.

Lo más difícil en un invernadero es reducir la humedad relativa, esto se regula mediante la apertura de la ventana cenital, lo cual puede ser contraproducente si la humedad relativa en el exterior es más alta. Otras prácticas para bajar la humedad relativa incluyen la poda de brotes laterales, eliminación de hojas viejas y elevar la temperatura dentro del invernadero.

En resumen el control de la humedad relativa alta se puede controlar mediante las siguientes opciones:

- Abrir ventanas cuando la humedad relativa exterior es inferior a la interior.
- Elevar la temperatura dentro del invernadero, cerrando las ventanas laterales y cenitales o con el uso de calefactores, pero es un proceso costoso.
- Poda de tallos y hojas de las plantas.
- Reducir la densidad de plantas dentro del invernadero. [Arizpe & Velazquez,2008]

3.4 Iluminación

Las plantas usan la luz para producir sus alimentos mediante el proceso que se denomina fotosíntesis, la luz es absorbida por las partes verdes (hojas y tallos) de las plantas. Los colores del arcoiris o de la luz visible que emite

el sol y que las plantas absorben en mayor proporción son el rojo y azul. Las partes verdes de la plantas reflejan el color verde, por lo tanto, no lo usan en la fotosíntesis. La iluminación es un elemento fundamental para que la producción bajo invernadero tenga éxito, debido a que la planta produce sus alimentos mediante la fotosíntesis que ocurre con la luz solar. Además, la radiación solar es la fuente de energía más económica para incrementar la temperatura dentro del invernadero, es decir, en días fríos despejados se puede elevar la temperatura dentro del invernadero hasta 15°C [Arizpe & Velazquez,2008].

La radiación también tiene una alta influencia en la calidad de los frutos, por ejemplo en el caso del tomate una baja radiación hace que se incremente el contenido del agua en el fruto, afectando su firmeza y bajando el contenido de azúcares. Otro efecto de una deficiente iluminación es una mala coloración del fruto del tomate. En cambio una elevada radiación reduce el crecimiento y desarrollo del fruto, incluso pudiendo provocar quemaduras [Arizpe & Velazquez,2008].

El tomate necesita de condiciones de muy buena luminosidad, de lo contrario los procesos de crecimiento, desarrollo, floración, polinización y maduración de los frutos pueden verse negativamente afectados.

Existen cubiertas de plástico (ver figura 3.6 adecuadas para permitir el paso de una determinada cantidad de luz y se debe seleccionar la cubierta adecuada para el cultivo.



Figura 3.6: Diferentes tipos de cubierta de plástico para invernadero. [CONEVYT.2008]

Nota: La mayor intensidad de fotosíntesis en las plantas de jitomate se produce en el rango de 5400 a 6500 luxes (1000 a 1200 micromoles/m² de radiación fotosintéticamente activa) y durante 11 a 12 horas de luz al día [CONEVYT.2008].

La cubierta plástica y la malla de sombra del invernadero disminuyen la intensidad de la luz, por lo que se debe revisar que dentro del invernadero se tenga la iluminación adecuada para el cultivo de jitomate.

El uso de bolsas de plástico de color blanco por fuera y negro por dentro ayuda a tener un mejor reflejo de la luz aumentando la fotosíntesis de las plantas.

El uso de pisos de plástico blanco (Ground cover) ayuda a reflejar la luz trayendo consigo un mejor desarrollo de la planta [CONEVYT.2008].

Un factor importante que se debe considerar es la cantidad de plantas por que se insertarán ya sea en bolsa, costal o tubo pvc, ya que necesitan un espacio adecuado entre planta y planta ya que cada una necesita una cantidad adecuada de luz y esto se ve reflejado en la cantidad de racimos de fruto que producirá, por ejemplo:

- El cultivo de una planta por bolsa, va a tener de 5 a 7 racimos por planta.
- El cultivo de 2 plantas por bolsa, van a tener hasta 3-4 racimos por planta.
- El cultivo de 3 plantas por bolsa, van a tener hasta 3 racimos por planta.

Para tener una mejor visión sobre las cubiertas veamos los tipos de invernadero que hay y sus características.

3.5 Tipos de invernaderos

El cultivo bajo invernadero siempre ha permitido obtener producciones de primera calidad y mayores rendimientos, en cualquier momento del año, a la vez que permiten alargar el ciclo de cultivo, permitiendo producir en las épocas del año más difíciles y obteniéndose mejores precios. Este incremento del valor de los productos permite que el agricultor pueda invertir tecnología ampliamente en su explotación mejorando la estructura del invernadero, los sistemas de riego localizado, los sistemas de gestión del clima, etc., que se reflejan posteriormente en una mejora de los rendimientos y de la calidad del producto final [Bouso & Gariglio.2009].

Un invernadero es toda aquella estructura cerrada cubierta por materiales transparentes (ver figura 3.7), dentro de la cual es posible obtener unas condiciones artificiales de microclima, y con ello cultivar plantas fuera de estación en condiciones óptimas. [Hancco.2013]



Figura 3.7: Diferentes tipos de invernaderos [Hancoo.2013]

Las ventajas del empleo de invernaderos son:

1. Precocidad en los frutos.
2. Aumento de la calidad y del rendimiento.
3. Producción fuera de época.
4. Ahorro de agua y fertilizantes.
5. Mejora del control de insectos y enfermedades.
6. Posibilidad de obtener más de un ciclo de cultivo al año. [Hancoo.2013]

Inconvenientes:

1. Alta inversión inicial.
2. Alto costo de operación.
3. Requiere personal especializado, de experiencia práctica y conocimientos teóricos. [Hancoo.2013]

3.5.1 Principales tipos de invernaderos

Los invernaderos se pueden clasificar de distintas formas [Hancoo.2013]:

Según se atiende a determinadas características de sus elementos constructivos (por su perfil externo, según su fijación o movilidad, por el material de cubierta, según el material de la estructura, etc.).

La elección de un tipo de invernadero está en función de una serie de factores o aspectos técnicos:

Tipo de suelo.

Se deben elegir suelos con buen drenaje y de alta calidad aunque con los sistemas modernos de fertilización y riego es posible utilizar suelos pobres con buen drenaje o sustratos artificiales.

- (a) Topografía. Son preferibles lugares con pequeña pendiente orientados de norte a sur.
- (b) Vientos. Se tomarán en cuenta la dirección, intensidad y velocidad de los vientos dominantes.
- (c) Exigencias bioclimáticas de la especie en cultivo.
- (d) Características climáticas de la zona o del área geográfica donde vaya a construirse el invernadero.
- (e) Disponibilidad de mano de obra (factor humano).
- (f) Imperativos económicos locales (mercado y comercialización).

Según la conformación estructural, los invernaderos se pueden clasificar en:

- Planos o tipo parral.
- Tipo raspa y amagado.
- Asimétricos.
- Capilla (a dos aguas, a un agua)
- Doble capilla
- Tipo túnel o semicilíndrico.
- De cristal o tipo Venlo.

3.5.1.1 Invernadero plano o tipo parral

El invernadero plano o tipo parral como lo muestra la figura 3.8, se utiliza en zonas poco lluviosas, aunque no es aconsejable su construcción.



Figura 3.8: Invernadero plano o tipo parral [Hancco.2013]

La estructura de estos invernaderos se encuentra constituida por dos partes claramente diferenciadas, una estructura vertical y otra horizontal:

- La estructura vertical: Está constituida por soportes rígidos que se pueden diferenciar según sean perimetrales (soportes de cerco situados en las bandas y los esquineros) o interiores (pies derechos). Los pies derechos intermedios suelen estar separados unos 2 m en sentido longitudinal y 4m en dirección transversal, aunque también se presentan separaciones de 2x2 y 3x4. Los soportes perimetrales tienen una inclinación hacia el exterior de aproximadamente 30° con respecto a la vertical y junto con los vientos que sujetan su extremo superior sirven para tensar las cordadas de alambre de la cubierta. Estos apoyos generalmente tienen una separación de 2 m aunque en algunos casos se utilizan distancias de 1,5 m. Tanto los apoyos exteriores como interiores pueden ser rollizos de pino o eucalipto y tubos de acero galvanizado.

- La estructura horizontal: Está constituida por dos mallas de alambre galvanizado superpuestas, implantadas manualmente de forma simultánea a la construcción del invernadero y que sirven para portar y sujetar la lámina de plástico. Los invernaderos planos tienen una altura de cubierta que varía entre 2,15 y 3,5 m y la altura de las bandas oscila entre 2 y 2,7 m. Los soportes del invernadero se apoyan en bloques tronco-piramidales prefabricados de hormigón colocados sobre pequeños pozos de cimentación. [Hancco.2013]

Las principales ventajas de los invernaderos planos son:

- Su economía de construcción.

- Su gran adaptabilidad a la geometría del terreno.
- Mayor resistencia al viento.
- Aprovecha el agua de lluvia en periodos secos.
- Presenta una gran uniformidad luminosa.

Las desventajas que presenta son:

- Poco volumen de aire.
- Mala ventilación.
- La instalación de ventanas cenitales es bastante difícil.
- Demasiada especialización en su construcción y conservación.
- Rápido envejecimiento de la instalación.
- Poco o nada aconsejable en los lugares lluviosos.
- Peligro de hundimiento por las bolsas de agua de lluvia que se forman en la lámina de plástico.
- Peligro de destrucción del plástico y de la instalación por su vulnerabilidad al viento.
- Difícil mecanización y dificultad en las labores de cultivo por el excesivo número de postes, alambre de los vientos, piedras de anclaje, etc.
- Poco estanco al goteo del agua de lluvia y al aire ya que es preciso hacer orificios en el plástico para la unión de las dos mallas con alambre, lo que favorece la proliferación de enfermedades fúngicas. [Hancco.2013].

3.5.1.2 Invernadero en raspa y amagado

Su estructura es muy similar al tipo parral pero varía la forma de la cubierta. Se aumenta la altura máxima del invernadero en la cumbre, que oscila entre 3 y 4,2 m, formando lo que se conoce como raspa (ver figura 3.9). En la parte más baja, conocida como amagado, se unen las mallas de la cubierta al suelo mediante vientos y horquillas de hierro que permite colocar los canalones para el desagüe de las aguas pluviales. La altura del amagado oscila de 2 a 2,8 m, la de las bandas entre 2 y 2,5 m. La separación entre apoyos y los vientos del amagado es de 2x4 y el ángulo de la cubierta oscila entre 6 y 20°, siendo este último el valor óptimo. La orientación recomendada es en dirección este-oeste [Hancco.2013].



Figura 3.9: Invernadero en raspa y amagado [Hanco.2013]

Ventajas de los invernaderos tipo raspa y amagado:

- Su economía.
- Tiene mayor volumen unitario y por tanto una mayor inercia térmica que aumenta la temperatura nocturna con respecto a los invernaderos planos.
- Presenta buena estanqueidad a la lluvia y al aire, lo que disminuye la humedad interior en periodos de lluvia.
- Presenta una mayor superficie libre de obstáculos.
- Permite la instalación de ventilación cenital situada a sotavento, junto a la arista de la cumbrera. Inconvenientes:
 - Diferencias de luminosidad entre la vertiente sur y la norte del invernadero.
 - No aprovecha las aguas pluviales.
 - Se dificulta el cambio del plástico de la cubierta.
 - Al tener mayor superficie desarrollada se aumentan las pérdidas de calor a través de la cubierta [Hanco.2013].

3.5.1.3 Invernadero asimétrico o inacral

Difiere de los tipo raspa y amagado en el aumento de la superficie en la cara expuesta al sur, con objeto de aumentar su capacidad de captación de la radiación solar como se muestra en la figura 3.10.

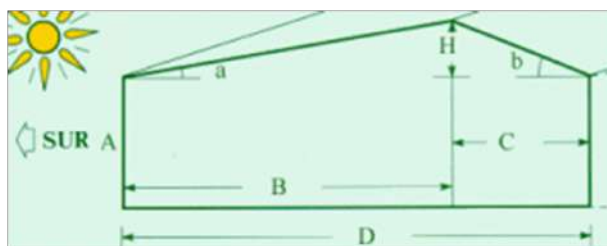


Figura 3.10: Invernadero asimétrico con la cara expuesta al sur [Hanco.2013]

Para ello el invernadero se orienta en sentido este-oeste, paralelo al recorrido aparente del sol.

La inclinación de la cubierta de este invernadero debe ser aquella que permita que la radiación solar incida perpendicularmente sobre la cubierta al mediodía solar durante el solsticio de invierno, época en la que el sol alcanza su punto más bajo. Este ángulo deberá ser próximo a 60° pero ocasiona grandes inconvenientes por la inestabilidad de la estructura a los fuertes vientos. Por ello se han tomado ángulos comprendidos entre los 8 y 11° en la cara sur y entre los 18 y 30° en la cara norte.

La altura máxima de la cumbrera varía entre 3 y 5 m, y su altura mínima de $2,3$ a 3 m. La altura de las bandas oscila entre $2,15$ y 3 m. La separación de los apoyos interiores suele ser de 2×4 m.

Ventajas de los invernaderos asimétricos:

- Buen aprovechamiento de la luz en la época invernal.
- Su economía.
- Elevada inercia térmica debido a su gran volumen unitario.
- Es estanco a la lluvia y al aire.
- Buena ventilación debido a su elevada altura.

- Permite la instalación de ventilación cenital a sotavento. Inconvenientes de los invernaderos asimétricos:
- No aprovecha el agua de lluvia.
- Se dificulta el cambio del plástico de la cubierta.
- Tiene más pérdidas de calor a través de la cubierta debido a su mayor superficie desarrollada en comparación con el tipo plano [Hanco.2013].

3.5.1.4 Invernadero de capilla

Los invernaderos de capilla simple (ver figura 3.11, tienen la techumbre formando uno o dos planos inclinados, según sea a un agua o a dos aguas.



Figura 3.11: Invernadero de capilla simple [Hanco.2013]

Este tipo de invernadero se utiliza bastante, destacando las siguientes ventajas:

- Es de fácil construcción y de fácil conservación.
- Es muy aceptable para la colocación de todo tipo de plástico en la cubierta.
- La ventilación vertical en paredes es muy fácil y se puede hacer de grandes superficies, con mecanización sencilla. También resulta fácil la instalación de ventanas cenitales.
- Tiene grandes facilidades para evacuar el agua de lluvia.
- Permite la unión de varias naves en batería.

La anchura que suele darse a estos invernaderos es de 12 a 16 metros. La altura en cumbre está comprendida entre 3,25 y 4 metros.

Si la inclinación de los planos de la techumbre es mayor a 25° no ofrecen inconvenientes en la evacuación del agua de lluvia.

La ventilación es por ventanas frontales y laterales. Cuando se trata de estructuras formadas por varias naves unidas la ausencia de ventanas cenitales dificulta la ventilación [Hanco.2013].

3.5.1.5 Invernadero doble capilla

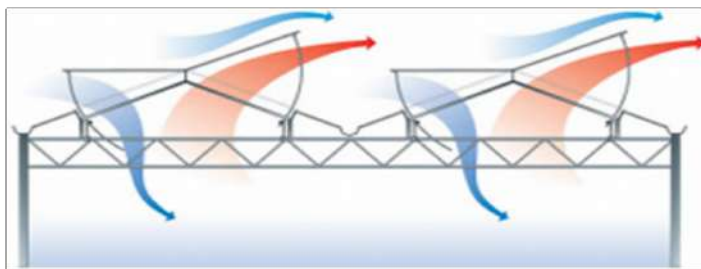


Figura 3.12: Invernadero de doble capilla [Hanco.2013]

Los invernaderos de doble capilla como lo muestra la figura 3.12, están formados por dos naves yuxtapuestas. Su ventilación es mejor que en otros tipos de invernadero, debido a la ventilación cenital que tienen en cumbre de los dos escalones que forma la yuxtaposición de las dos naves; estas aberturas de ventilación suelen permanecer abiertas constantemente y suele ponerse en ellas malla mosquitera. Además también poseen ventilación vertical en las paredes frontales y laterales.

Este tipo de invernadero no está muy extendido debido a que su construcción es más dificultosa y cara que el tipo de invernadero capilla simple a dos aguas [Hanco.2013].

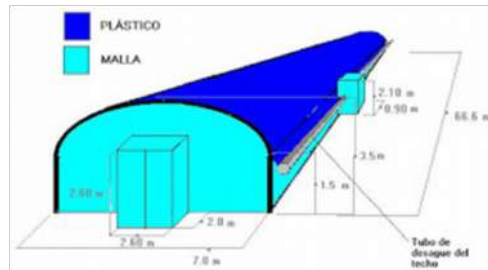
3.5.1.6 Invernadero túnel o semicilíndrico

Figura 3.13: Invernadero Túnel o semicilíndrico. [Hanco.2013]

El invernadero túnel o semicilíndrico como se muestra en la figura 3.13, se caracteriza por la forma de su cubierta y por su estructura totalmente metálica. El empleo de este tipo de invernadero se está extendiendo por su mayor capacidad para el control de los factores climáticos, su gran resistencia a fuertes vientos y su rapidez de instalación al ser estructuras prefabricadas.

Los soportes son de tubos de hierro galvanizado y tienen una separación interior de 5x8 o 3x5 m. La altura máxima de este tipo de invernaderos oscila entre 3,5 y 5 m. En las bandas laterales se adoptan alturas de 2,5 a 4 m.

El ancho de estas naves está comprendido entre 6 y 9 m y permiten el adosamiento de varias naves en batería. La ventilación es mediante ventanas cenitales que se abren hacia el exterior del invernadero [Hanco.2013].

Ventajas de los invernaderos tipo túnel:

- Estructuras con pocos obstáculos en su estructura.
- Buena ventilación.
- Buena estanqueidad a la lluvia y al aire.
- Permite la instalación de ventilación cenital a sotavento y facilita su accionamiento mecanizado.
- Buen reparto de la luminosidad en el interior del invernadero.
- Fácil instalación.

Inconvenientes:

- Elevado costo.
- No aprovecha el agua de lluvia.

3.5.1.7 Invernadero construido

El invernadero que se construyó para este trabajo es del tipo semicilíndrico de 3m x 3m x 4m de alto lo cual permite tener un anclaje para el tutorado de 3 m cumpliendo así con el requerimiento para un buen tutorado que es de 2.5m, cuenta con un arco de 1.5m que permite el drenado del agua de lluvia, está orientado de norte a sur para aumentar su capacidad de captación de la radiación solar para lograr un buen aprovechamiento de la luz y que esta se distribuya de manera uniforme dentro de todo el invernadero, tiene gran resistencia a vientos fuertes y cuenta con ventanas verticales que le permiten la entrada de aire brindando una buena ventilación, su estructura es de fácil manejo y sin obstáculos dentro del invernadero que puedan dificultar las tareas dentro de este, además pueden colocarse varias naves en serie sin perjudicarse entre ellas.

Es una estructura de tubo metálico, está cubierto con plástico blanco de polietileno, el cual refleja la radiación infrarroja que no es utilizada por las plantas y convierte los rayos ultravioleta en luz visible que si es aprovechada por él cultivo, las ventanas están cubiertas con malla antiafidos que evitar la entrada de insectos y plagas que dañen el cultivo.

Las siguientes tablas (3.1 y 3.2) muestran las variables que se controlaron dentro del invernadero y los rangos entre los cuales deben estar estas para tener un buen desarrollo de la plantación.

Tabla que muestra las variables a controlar dentro del invernadero.

| Variable | Rango permitidos |
|-------------------|-------------------|
| Temperatura | min10°C - max38°C |
| Humedad relativa | min20 % - max80 % |
| Humedad del suelo | min50 % - max90 % |

Cuadro 3.1: Variables a controlar.

Tabla con los valore requeridos de temperatura humedad relativa y humedad del sustrato para el desarrollo óptimo del jitomate durante las diferentes etapas de crecimiento

| Etapa de desarrollo del cultivo | Valor requerido | | |
|---------------------------------|-----------------|------------------|-------------------|
| | Temperatura | Humedad relativa | Humedad del suelo |
| Germinación | 25°C | 50 % | 90 % |
| Crecimiento | 20°C - 30°C | 60 % | 70 % |
| Floración | 15°C - 35°C | 65 % | 60 % |
| Fructificación | 22°C - 35°C | 60 % | 70 % |

Cuadro 3.2: Condiciones climáticas y de suelo requeridas por las patatas en cada etapa de crecimiento.

Capítulo 4

Diseño electrónico

El sistema electrónico de control y monitoreo del invernadero está dividido en dos grandes bloques como se muestra en la figura 4.1. El primer bloque está compuesto por las tarjetas arduino leonardo, las cuales se encargan de la adquisición de datos de los sensores y del envío de las señales de control hacia los actuadores. El segundo bloque está integrado por una tarjeta raspberry pi b+, la cual se encarga del manejo de las comunicaciones y base de datos del sistema.

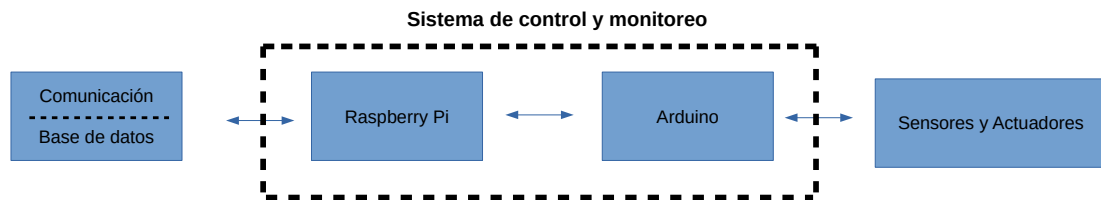


Figura 4.1: Sistema de control y monitoreo.)

4.1 Dispositivos utilizados

Plataforma Raspberry Pi

La tarjeta Raspberry Pi que se utilizó en este trabajo es la tipo B+, se eligió esta tarjeta, por que cuenta con la memoria suficiente donde se generó una base de datos, la cual es la encargada de almacenar la información procedente de los Arduino Leonardo, además esta tarjeta cuenta con un moduló Wifi que me permitió conectarme a la red de la universidad para

poder estar monitoreando el funcionamiento del sistema de riego así como los sistemas de calefacción, ventilación y las condiciones climáticas dentro del invernadero, todo esto, mediante la página web que se creó y montó sobre la misma tarjeta Raspberry Pi.

Otro punto importante por lo que se decidió trabajar con esta tarjeta, es que cuenta con entradas USB que facilitaron la comunicación con los Arduino Leonardo para la recepción, transmisión y presentación de los datos enviados por los diferentes sensores.

En este trabajo la tarjeta Raspberry Pi contiene una base de datos, que se encarga de guardar las lecturas de todos los sensores (temperatura, humedad relativa, humedad del suelo) además en ella se encuentra el servidor y la página web que muestra las lecturas de los sensores de temperatura, humedad relativa y humedad del suelo graficando su comportamiento, también se muestra la acción realizada por algunos actuadores del sistema en tiempo casi real.

Plataforma Arduino Leonardo

Esta plataforma se utilizó ya que se contaba con una tarjeta y esto ayudó a minimizar el gasto, lo cual es uno de los objetivos de este trabajo, además de que existe mucha información sobre su programación, el manejo de datos y la comunicación con la tarjeta Raspberry Pi.

Además es una tarjeta que ya cuenta con las librerías necesarias que se requieren para poder recibir los valores de temperatura, humedad y humedad del suelo, de los diferentes sensores que se implementaron por lo que nos ahorra tiempo ya que no se tuvo que realizar esta programación, solo se cargaron estas librerías que están de forma libre en la misma página de Arduino.

Ya que la plataforma Arduino nos permite recopilar multitud de información del entorno sin excesiva complejidad y gracias a que sus pines de entrada, nos permiten utilizar toda una gama de sensores como temperatura, luminosidad, presión, entre otros, y que además nos brindan la capacidad de controlar o actuar sobre ciertos factores del entorno que le rodean, como por ejemplo: controlando luces, accionando motores, activando alarmas etc., y muchos otros actuadores, es por ello que para este trabajo se utilizaron dos tarjetas Arduino Leonardo, una se encarga de todo el sistema de riego y la otra del sistema de temperatura y humedad dentro del invernadero, es decir son las encargadas de controlar y monitorear el invernadero, ya que son

las que activan o desactivan algún sistema, esto en base a las lecturas de los sensores de temperatura, humedad relativa y humedad del suelo, la función de estos sistemas es mantener el clima óptimo para el mejor desarrollo y crecimiento de los jitomates (sistema de temperatura, sistema de humedad, sistema de riego).

Sensor de temperatura “DS18B20”

Para medir la temperatura dentro del invernadero se utilizó el sensor de temperatura DS18B20, por que es un termómetro de alta precisión, es de bajo costo y su empaquetado permite que no sufra daños por humedad o agua.

Además su interfaz de funcionamiento es sencilla ya que entrega de forma digital los valores de temperatura, esto mediante la comunicación One Wire este mismo protocolo lo maneja Arduino y solo se tuvo que cargar las librerías OneWire y Dallas Temperature, esto redujo y facilito la programación para la captura y desplegado del valor de la temperatura.

La temperatura medida por el DS18B20 es registrada por el Arduino cada 2 segundos y es comparada todo el tiempo, cuando este valor se sale de los límites máximos y mínimos de temperatura requeridos para el cultivo entonces se accionara alguno de los sistemas de control de temperatura ya sea el de calefacción cuando la temperatura es baja o el de ventilación cuando la temperatura es alta.

Sensor de humedad relativa DHT22

Este sensor de humedad tiene un porcentaje de precisión mayor en relación con el DHT11, por lo que fue la razón principal para elegirlo, además ya viene calibrado de fabrica y cuenta con un integrado que se encarga de realizar la conversión de resistencia a % de humedad, esto permitió que la tarjeta Arduino desplegara de forma casi directa el porcentaje de humedad relativa.

Por otro lado este dispositivo es pequeño y de fácil manejo, que permitió poder manipularlo e instalarlo de manera sencilla y sin dificultad alguna, además su empaquetado lo hace resistente a daños ocasionados por las altas temperaturas, la corrosión y el agua.

Este sensor DHT22 se encarga de medir la humedad relativa dentro del invernadero, y envía a una de las tarjetas Arduino Leonardo el valor de la

humedad del ambiente, esta información es adquirida por el arduino cada 2 segundos.

Sensor YL-38 con modulo YL-69 para medir la humedad del suelo

Para medir la humedad del suelo se eligió el sensor YL-69 con modulo YL-38, ya que puede enviar el valor de la humedad del suelo de forma digital haciendo esto mas fácil la comunicación con arduino y así mismo se pudo desplegar en pantalla estos valores al igual que se logro enviarlos a la base de datos en la raspberry pi para que se graficaran.

Es un dispositivo de bajo costo, esto permitió, que se compraran varios sensores y lograr el censado de la humedad del sustrato en mas plantas ubicadas en diferente lugar.

Otra ventaja de este sensor, es que ya viene calibrado de fabrica, pero trae un potenciómetro, que permite ajustar y modificar esta calibración si se requiere.

Estos sensores son los encargados de censar en todo momento la cantidad de agua contenida en las plantas de jitomate, estos valor de humedad son enviados a uno de los arduinos y este tiene la tarea de verificar si el valor de humedad corresponde al requerido por las plantas para su óptimo crecimiento, en caso de que la humedad este por debajo del valor necesario, entonces se activara el sistema de riego. Por lo que es de vital importancia que estos sensores se encuentren en excelentes condiciones y perfectamente calibrados, para evitar daños en el cultivo por falta de nutrientes.

Módulo PH L298N

Para controlar los motores encargados de abrir o cerrar las cortinas del invernadero se utilizó un módulo de control basado en un puente H L298N, se utilizó este módulo, por que, ya se había trabajado anteriormente con el y ya se conocía su funcionamiento, también por que nos permite controlar dos motores de DC al mismo tiempo y puede entregar una corriente de 2 amperes, esta corriente es la necesaria por el sistema, ya que el consumo de corriente por los motores que se colocaron en las ventanas es de 1.5 amperes.

Además es un módulo de bajo costo y de tamaño reducido, que ayudo en la reducción de gastos y en el tamaño del tablero, pues al estar, éste dentro

del invernadero se requiere que ocupe poco espacio, para evitar ocupar un espacio, que puede ser ocupado por una o varias planta, y esto genere una perdida de ingresos.

Control de los motores de DC con el módulo PH L298N

Los motores de DC están colocados en cada una de las ventanas del invernadero y cumplen la función de abrir o cerrar las cortinas, es decir, suben o bajan, ayudando así a la ventilación o al sistema de calefacción del invernadero.

La lógica para controlar el sentido de giro del motor se muestra en el siguiente cuadro (4.1):

| | | | | | |
|-----------|-----|-----|-----------|-----|-----|
| Motor 1 | IN1 | IN2 | Motor 2 | IN3 | IN4 |
| Avance | 1 | 0 | Avance | 1 | 0 |
| Retroceso | 0 | 1 | Retroceso | 0 | 1 |
| Freno | 1 | 1 | Freno | 1 | 1 |

Cuadro 4.1: Lógica de control de los motores de las cortinas del invernadero.

Una vez establecida la lógica para el control de los motores que abren y cierran las cortinas, se realizó un programa en Arduino, que, dependiendo las condiciones de temperatura y humedad dentro del invernadero mandará las señales digitales correspondientes a los pines de salida donde se encuentra conectado el modulo PH L298N cuando así se requiera, es decir , si la temperatura es alta, el Arduino accionaran los motores con la lógica 1-0 para que avancen y suban las cortinas en caso de que la temperatura sea baja entonces el Arduino mandara la lógica 0-1 para que los motores retrocedan y por ende las cortinas bajen.

El diagrama eléctrico de la conexión de este módulo con La tarjeta Arduino lo muestra la figura 4.2

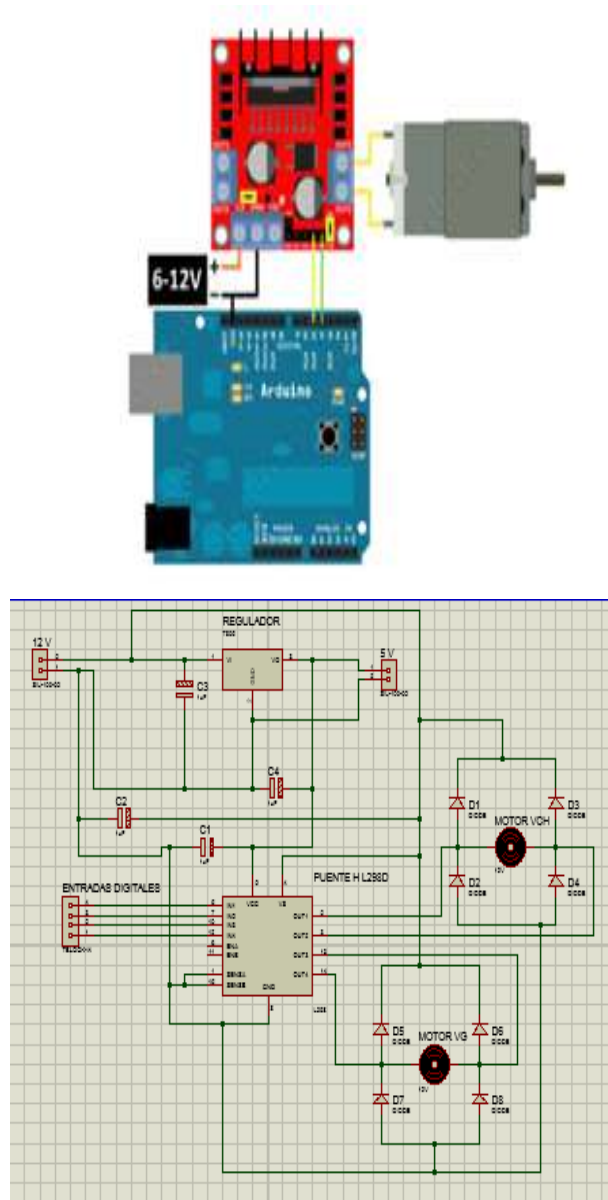


Figura 4.2: Motor de DC conectado al puente H L298N y al Arduino. [La enciclopedia libre.2015]

Módulo de relevadores

En un principio se pensó, en utilizar un PLC para controlar el encendido y apagado de bombas, electrovalvulas y ventilador, pues todos estos dispositivos requieren de 127V para poder funcionar, el inconveniente es que al tener que ser controlados por una plataforma como arduino esta no puede suministrar ni el voltaje ni la corriente necesaria que demandan dichos dispositivos por lo que se requiere de un elemento adicional que pueda utilizar la señal digital enviada por arduino y se accione un interruptor, que permita el paso de la línea eléctrica 127V y una corriente de 3A, el PLC cumple con esta función y requerimientos de voltaje y corriente, pero es costoso, lo que llevo que se buscara un dispositivo que realizara la misma acción, pero fuera mucho mas barato. Es por esta razón que se compraron dos módulos de relevadores, uno por que cumplen con los requisitos de voltaje y corriente necesarios para la operación de los dispositivos comentados arriba y otro por que su costo es mucho menor al de un PLC.

Los módulos de relevadores que se compraron son como el que se muestra en la figura 4.3, cada módulo cuenta con 4 relé que son activados con un voltaje de 5V y al accionarse permiten el paso del voltaje de la línea 220V y una corriente máxima de 10A.

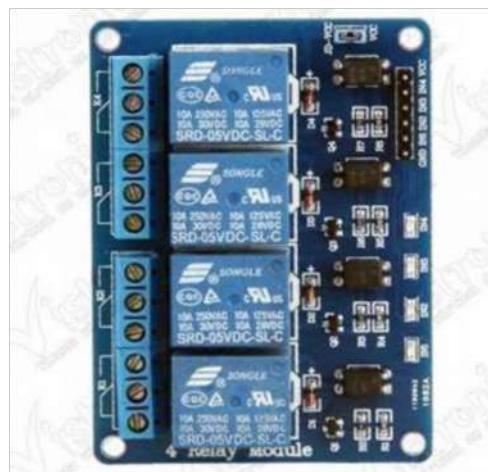


Figura 4.3: Banco de relevadores. [Definicion.2008]

Estos relé son controlados por una señal digital (5V) la cual es mandada por el Arduino, esta señal digital será la que accionara cada relé dependiendo el sistema que se esté trabajando , por ejemplo si esta encendido el sistema de riego , entonces el Arduino mandara cuatro señales digitales dos para las

bombas y dos para las electroválvulas de paso, una vez que el finaliza el riego entonces el Arduino dejara de mandar las señales digitales y así se desactivaran los relé una vez desactivados el flujo de voltaje de 127V deja de pasar provocando que se apaguen las bombas y electroválvulas. Lo mismo ocurre al accionar el ventilador.

En la figura 4.4 se muestra el diagrama de conexión del banco de relevadores y la tarjeta arduino.

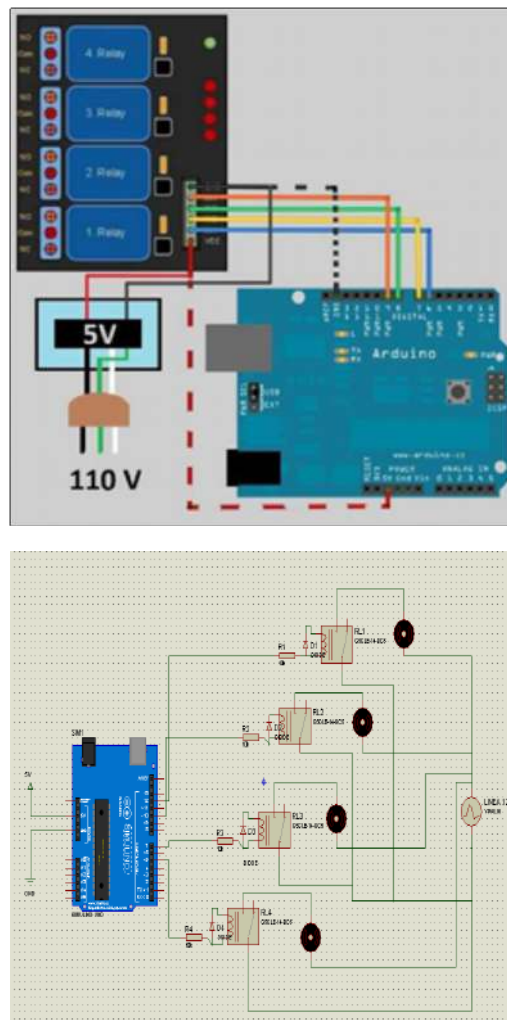
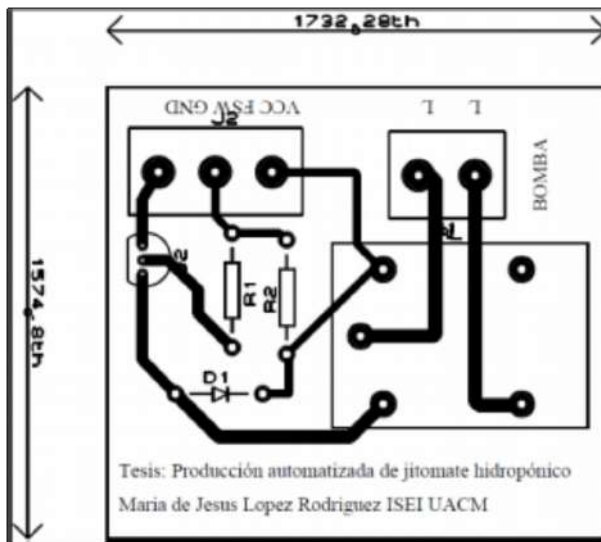


Figura 4.4: Banco de relevadores conectado al Arduino.

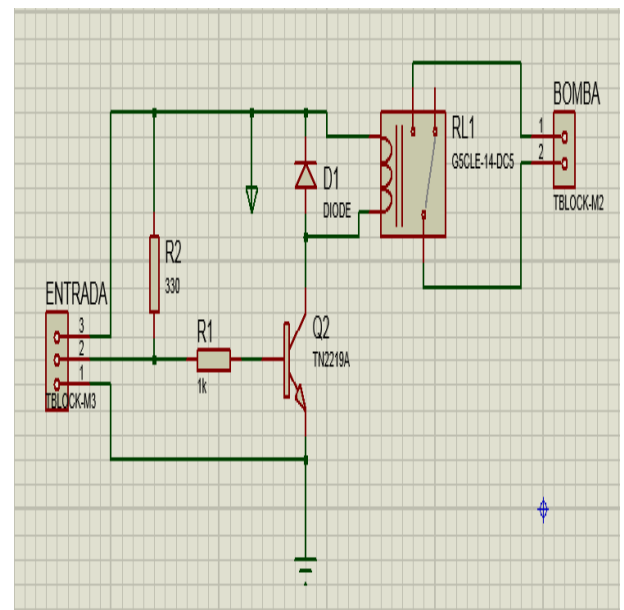
Para el calefactor se diseñó una placa aparte, esta con un relevador de mayor potencia ya que el consumo de potencia del calefactor es de 11A, por

lo que se utilizó un relé de 220V a 12A pues cumple con el amperaje necesario para que pueda operar sin problema el calefactor, junto con un transistor PN2222A , un diodo IN4007, una resistencia de precisión de $1K\Omega$ y dos borneras, una de 2 celdas para flujo o cierre de voltaje hacia el calefactor, y una de 3 celdas, dos para la alimentación del transistor y una para la señal digital de control.

El PCB se diseñó con el programa Proteus, se plancho, perforo y soldo la placa la cual se muestra en las figuras a) y b) de abajo.



(a) Diseño de la placa para imprimir



(b) Diagrama eléctrico

Figura 4.5: PCB.

4.2 Sistema automático de riego

El sistema de riego es por goteo como se explicó anteriormente, este sistema está controlado mediante sensores de humedad de suelo YL-69 y YL-38 insertados en las bolsas de sustrato, las lecturas de estos sensores son capturadas por el Arduino Leonardo, quien dependiendo de la lectura y en base a la humedad requerida (véase tabla 4.2) para que el jitomate se desarrolle de forma óptima se activara o se desactivara el riego.

Si la humedad es menor a 700 (70%) entonces el Arduino manda un alto a los pines 5,6 donde se encuentran conectados los relevadores que se encarga-

| Rango de Humedad en el suelo | Estado del suelo | |
|------------------------------|------------------|-----------------|
| 1024-900 | 0 % | Suelo seco |
| 850 | 40 % | Suelo Semi seco |
| 500-700 | 70 % | Suelo Humedo |
| 70-100 | 100 % | Suelo Mojado |

Cuadro 4.2: Estado de la humedad del suelo.

ran de accionar las bombas para el riego tanto con humus como con solución nutritiva, estos sistemas son independientes uno de otro, es decir, que si la humedad del sustrato que es regado con humus esta dentro del rango que se quiere entonces solo se accionara el riego con solución nutritiva y viceversa si el sustrato que es regado con solución nutritiva esta con la humedad adecuada entonces solo se accionara el riego con humus.

Cuando la humedad del sustrato de todas las plantas esta dentro del rango necesario para el crecimiento de la planta entonces los sistemas de riego tanto de solución nutritiva como de humus permanecerán apagados.

Con este sistema se controla en gran medida la cantidad de agua, humus y solución nutritiva que se utiliza ya que se le aplica a cada planta la requerida sin desperdiciar líquido, pues al suministrársele por goteo la planta tiene tiempo suficiente para absorber los nutrientes y el sustrato se mantiene con la humedad correcta.

Materiales y Proceso

- 1 Tarjeta Arduino Leonardo
- 6 Sensores de Humedad de Suelo YL-69, YL-38
- 1 Modulo de 4 Relevadores input 5V output 10A 127V
- 2 Bombas 127V 800W
- 1 Bomba de 1/2 HP
- 2 Switch Botón
- 2 Batidores
- 2 Electrovalvulas 1 vía
- 3 Sensores de nivel (flotadores domésticos para tinaco)
- 3 Tinacos de 1500 Lts.
- 10 Metros de manguera 1/2"
- 7 Metros de manguera tubin de 5/3 mm
- 6 Goteros para riego localizado de 4 LPH
- 6 Distribuidores de 2 y 4 salidas para microtubo de 45 mil

Se realizó en Arduino un programa para el control del sistema de riego, este programa se encarga de controlar tanto las bombas para el riego como la bomba de suministro de agua de los tanques donde se realizan las mezclas de agua con humus y agua con solución nutritiva, también se encarga de activar o desactivar los batidores que están dentro de cada tambo estos ayudan a que se mezcle de manera uniforme la solución nutritiva con el agua y el humus puro con agua, además está a la espera de que se presionen los botones que indican que se ha vaciado a cada tambo la solución nutritiva en polvo o el humus líquido puro una vez que se han llenado de agua, también revisa constantemente los sensores humedad de suelo y verifica que estas mediciones estén dentro del rango requerido, lee en todo momento los sensores de nivel de cada tambo, esto por si alguno de los que son para el riego se llega a vaciar manda la instrucción para que se active la bomba del tanque de agua y los llene, si es el tambo de agua el que está vacío entonces manda una alerta visual que dice “Tanque de agua vacío” y al mismo tiempo desactiva la bomba para evitar que se llegue a quemar.

A continuación se muestran los diagramas de flujo del sistema de control de riego que se explicó líneas arriba.(4.6 y 4.7)

Sistema de control de riego con solución nutritiva

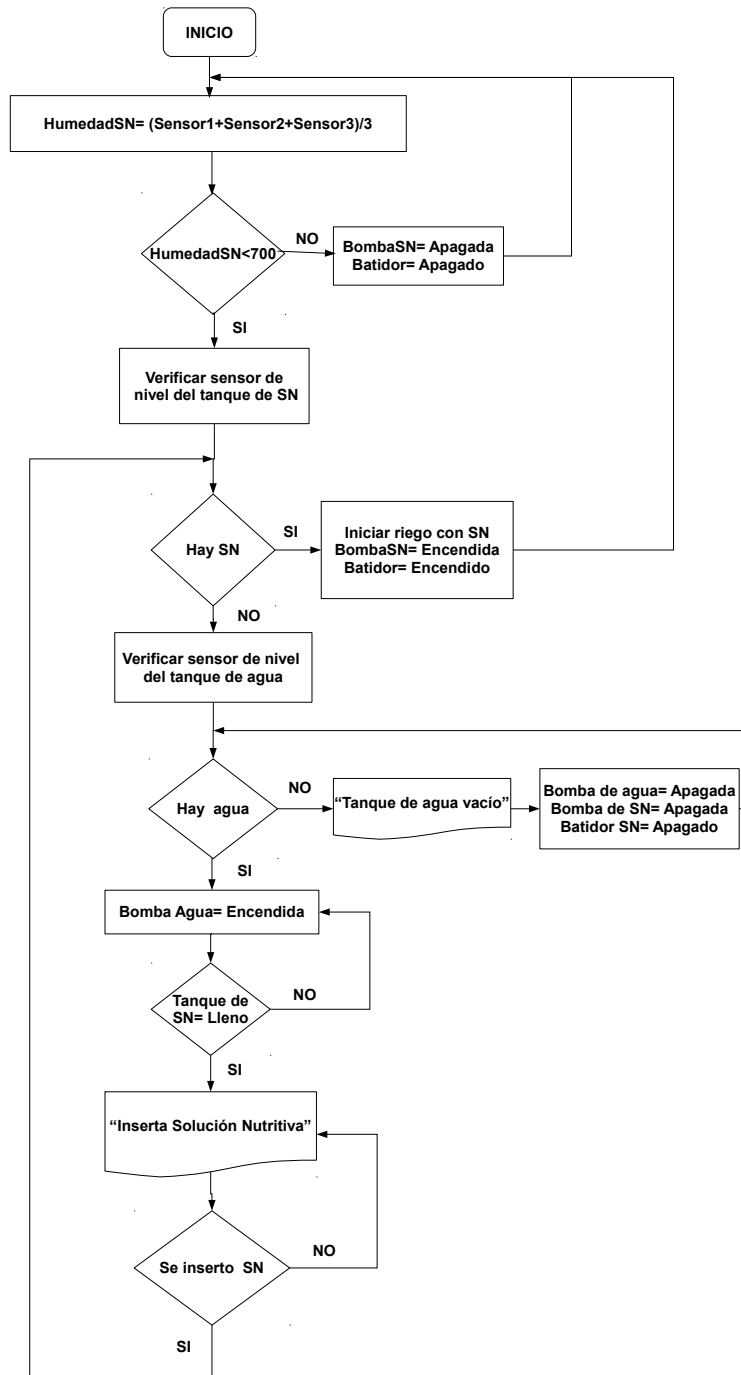


Figura 4.6: Diagrama de flujo del riego con SN

Sistema de control de riego con solución agua-humus

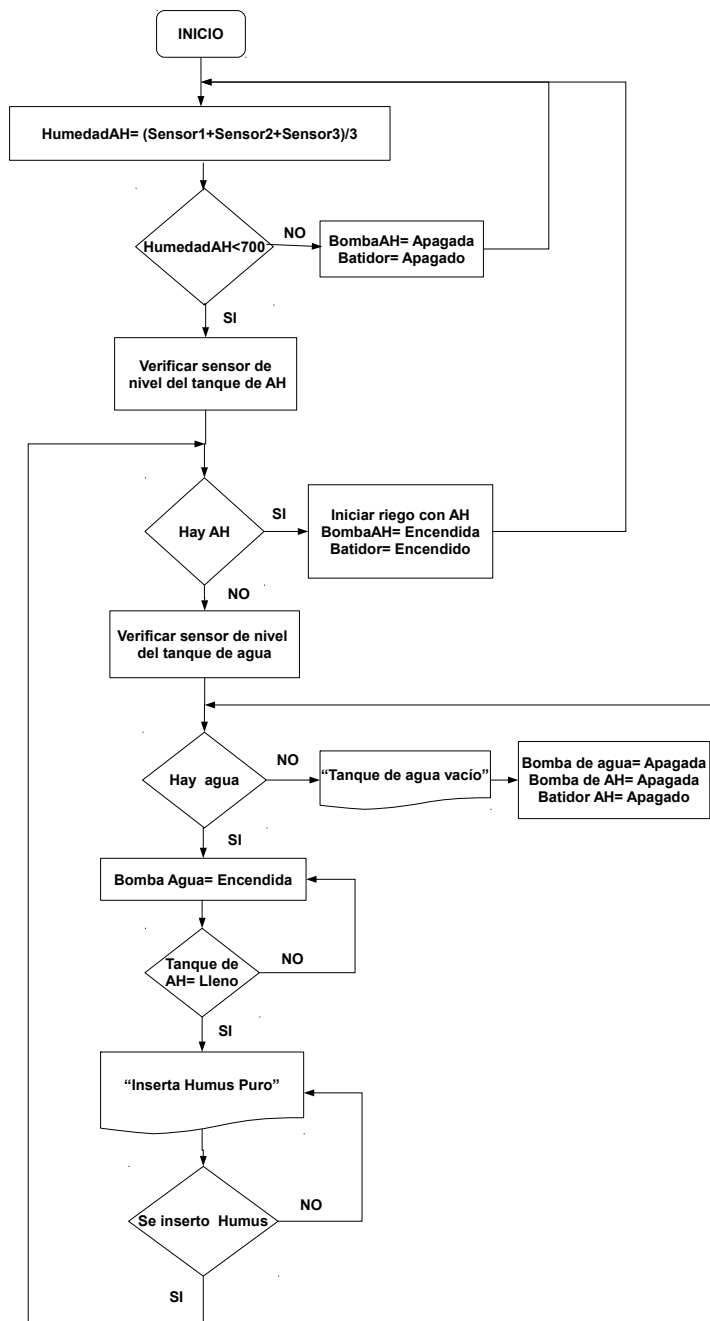


Figura 4.7: Diagrama de flujo del riego con AH

4.3 Control de temperatura

Para el control de temperatura se utilizó el sensor DS18B20 el cual está basado en un termómetro digital, requiere solamente una línea de datos (y tierra) para la comunicación con un microprocesador central y tiene un rango de temperatura de funcionamiento de -55°C a $+125^{\circ}\text{C}$ y tiene una precisión de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ en el rango de -10°C a $+85^{\circ}\text{C}$.

Este sensor manda al Arduino Leonardo la lectura de temperatura y en base a esta lectura el Arduino verificara si la temperatura esta dentro del rango de temperaturas máximas y mínimas óptimas para el crecimiento de la planta de jitomate.

Materiales y Proceso

- 1 Tarjeta Arduino Leonardo
- 1 Sensor de temperatura DS18B20
- 1 Termo-ventilador
- 1 Relevador de 127V a 12A
- 1 Cortina automática de 1m2
- 1 Cortina automática de 4m2

Cuando la lectura del sensor DS18B20 excede la temperatura óptima entonces el Arduino es el encargado de accionar los sistemas de ventilación y calefacción del invernadero según sea el caso, es decir, si la temperatura es menor a la que se estableció como temperatura mínima para el cultivo entonces se accionara el sistema de calefacción para aumentar el calor dentro del invernadero, en caso de que las ventanas del invernadero estén abiertas el sistema controlado por el Arduino primero se encargara de accionar los motores para cerrar las cortinas de las ventanas y después encenderá la calefacción, esto para evitar perdida de calor y que se pueda obtener una temperatura adecuada en el menor tiempo posible. En caso de que la temperatura este por arriba del valor permitido se accionara el sistema de ventilación para lo cual el Arduino mandara la señal para accionar el ventilador y en caso de que las ventanas se encuentren cerradas entonces también mandara la señal para que se accionen los motores y se suban las cortinas de las ventanas.

Las ventanas están cubiertas por malla antiafidos y las cortinas que las cubren son del mismo plástico blanco de polietileno con el que se construyó el invernadero, estas cortinas están montadas sobre palos de madera redondos, los cuales están sujetos a motores de DC a 12V los cuales al ser accionados subirán o bajaran las cortinas, esto en base a la lógica del programa que se

encuentra en el Arduino Leonardo.

Cada ventana cuenta con dos sensores limit swich que son los encargados de mandar una señal digital al arduino cuando las cortinas hayan bajado o subido por completo esto para que en ese momento se apaguen los motores de cada cortina.

El calefactor y ventilador es uno solo, es decir, el mismo aparato cumple una u otra función es un sistema termo-ventilador (ver figura 4.8) y su rango de calefacción y ventilación va de los $13m^2$ a los $19m^2$, por lo que es más que suficiente para el invernadero pues este tiene $9m^2$.



Figura 4.8: Termo-ventilador Modelo BDHF85-CL de la marca Black & Decker.

A continuación se muestran el diagrama de flujo tanto para temperatura alta (ver diagrama de la figura 4.9) como para temperatura baja (ver diagrama de la figura 4.10)

Diagrama de flujo de temperatura alta.

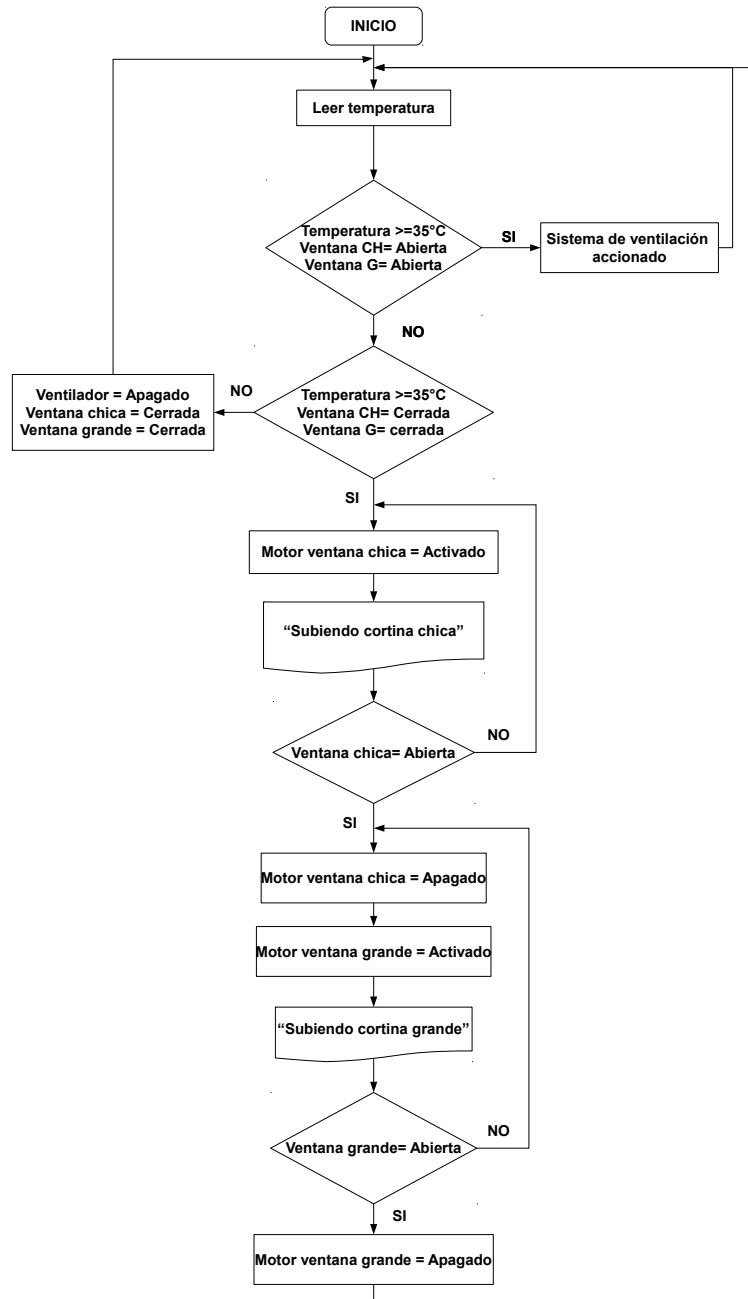


Figura 4.9: Diagrama de flujo de temperatura alta

Diagrama de flujo de temperatura baja

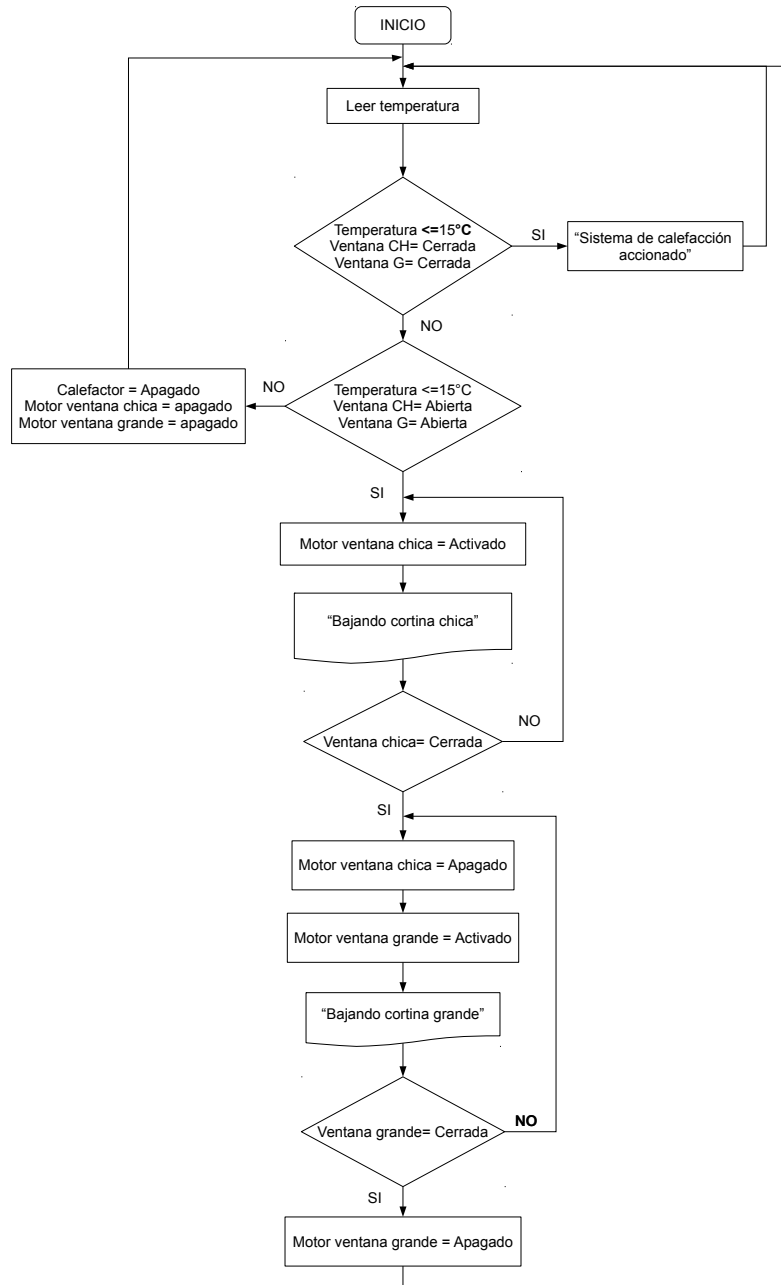


Figura 4.10: Diagrama de flujo de temperatura baja

4.4 Control de humedad relativa

Existe una relación entre la humedad relativa y el riego, pues una forma de incrementar la humedad dentro del invernadero es a través de tener riegos más prolongados o más seguidos, aunque también existen otras formas de aumentar la humedad como la utilización de canaletas donde se deja circular agua, regar los pisos del invernadero siempre que se tenga por donde drene el agua, para evitar encharcamientos dentro del invernadero y otra es la utilización de humidificadores colocados en el techo del invernadero aunque esta técnica es muy poco utilizada.

Para controlar la humedad dentro del invernadero se utilizo el sensor DHT22 el cual es un sensor de precisión que mide temperatura y humedad pero en este caso solo estaremos trabajando con las lecturas de humedad. Este sensor está formado de un termistor y un sensor capacitivo para medir humedad desde 0 %-100 % RH y temperaturas de -40°C a 80°C.

Materiales y Proceso

- 1 Tarjeta Arduino Leonardo
- 1 Sensor de precisión DHT22
- 1 Bomba de agua de 1/2 Hp
- 5 Aspersores
- 5 Metros de Manguera de 1/2 pulgada

El sensor DHT 22 se encarga de sensar la humedad relativa dentro del invernadero, cuando la humedad baja del valor que requiere el cultivo entonces el Arduino manda una señal digital para accionar la bomba de agua (la misma que se utiliza para llenar los contenedores para las mezclas de agua-solución nutritiva y agua-humus) la cual manda el agua través de la manguera que está en el piso del invernadero esta tiene conectados los aspersores que son los encargados de regar el agua en el piso del invernadero, ayudando así, a aumentar la humedad relativa para que el jitomate pueda tener un desarrollo pleno.

Cuando la humedad es alta dentro del invernadero entonces el Arduino manda una señal digital para accionar los motores de las cortinas haciéndolas subir para que el aire del exterior circule dentro del invernadero ayudando así a bajar la humedad.

Se muestran los diagramas de flujo (ver figuras 4.11 4.12) del sistema de control de humedad relativa.

Diagrama de flujo del control de humedad relativa alta

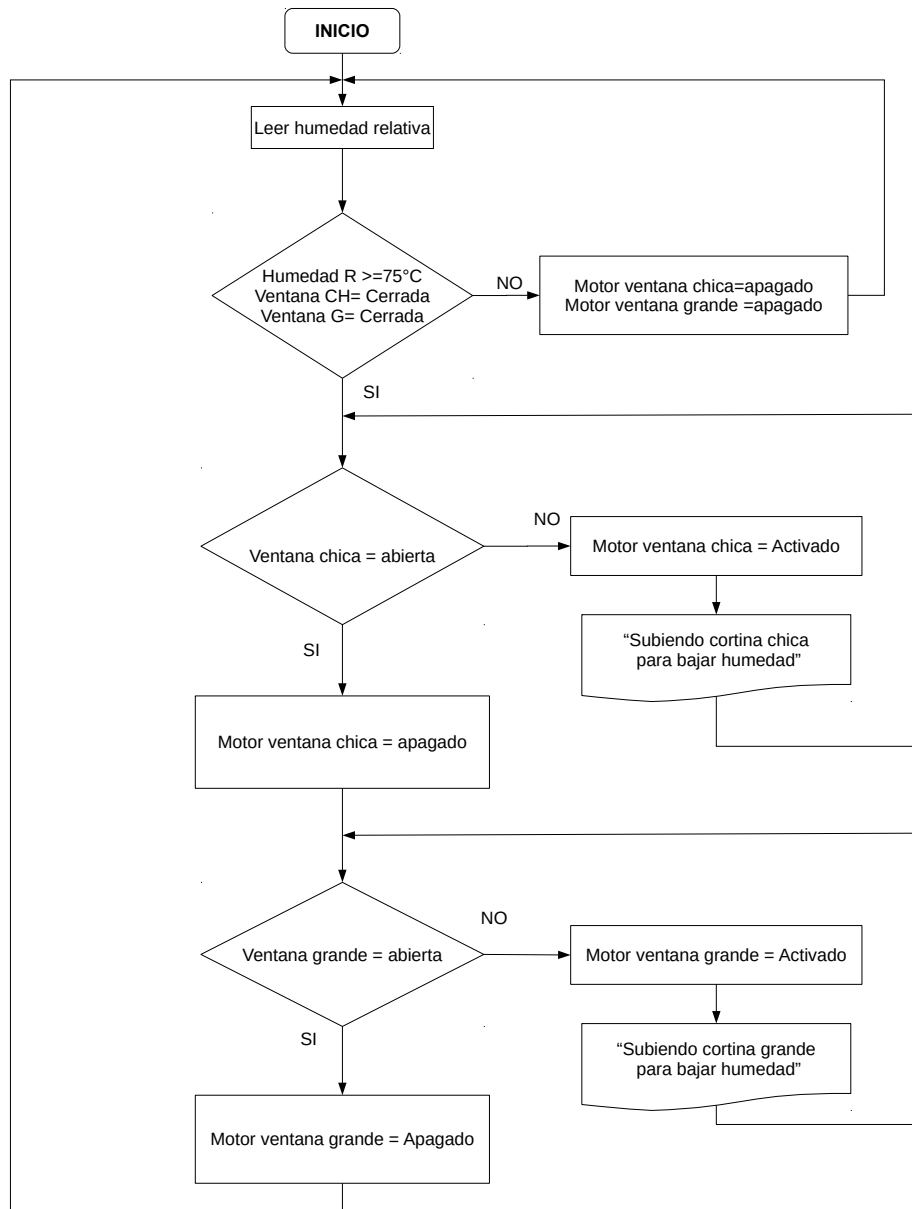


Figura 4.11: Diagrama de flujo del control de humedad relativa alta

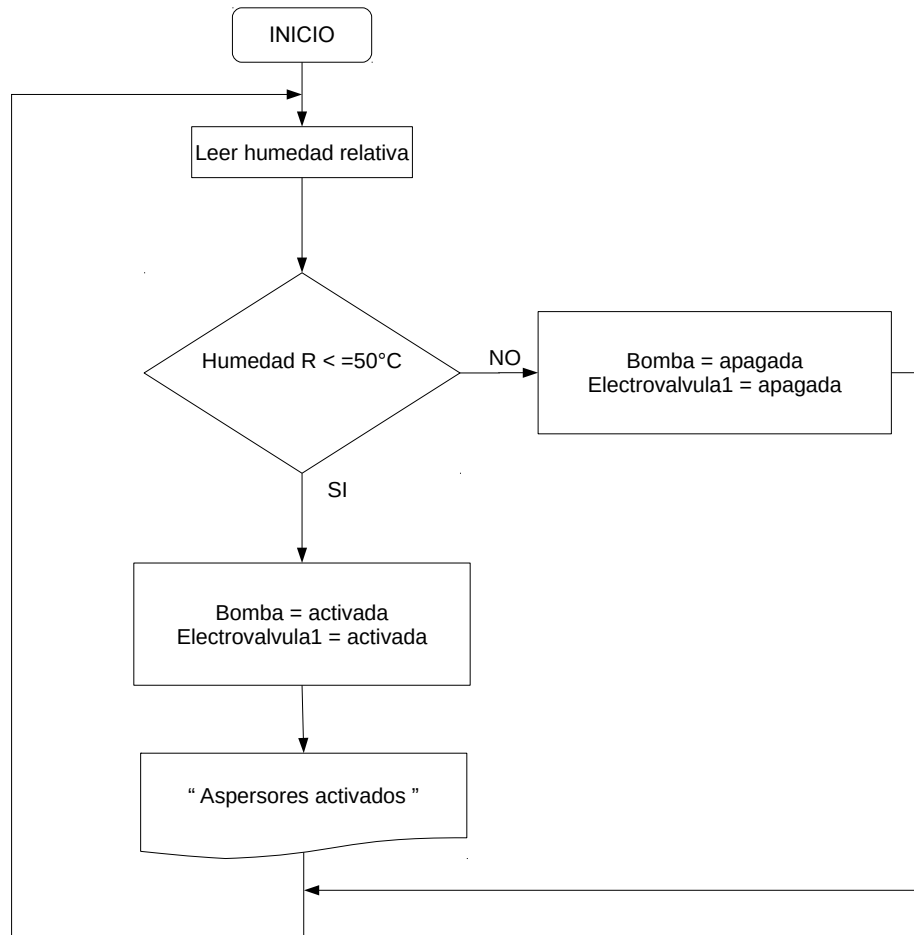
Diagrama de flujo del control de humedad relativa baja

Figura 4.12: Diagrama de flujo del control de humedad relativa baja

4.5 Control de humedad del suelo

Para mantener una humedad óptima para el crecimiento del jitomate se utilizaron sensores de humedad YL-38 con módulo YL-69 este sensor manda una señal digital que es procesada por el Arduino, esta señal es un valor entre 0-1023, donde 700 (70%) es la humedad requerida.

Cuando la humedad del sustrato es menor a la requerida entonces se enciende el riego por goteo, este permanecerá encendido hasta que se haya

alcanzado el valor de humedad que necesita el jitomate.

Mientras la humedad del sustrato este dentro del rango especificado el riego permanecerá apagado.

Esta forma de sensar la humedad del sustrato, ayuda a tener un mayor ahorro tanto de agua como de solución nutritiva y humus pues solo se aplica riego cuando sea necesario.

En el siguiente diagrama de flujo se muestra el sistema de control de humedad del suelo (ver diagrama 4.13).

Humedad del suelo

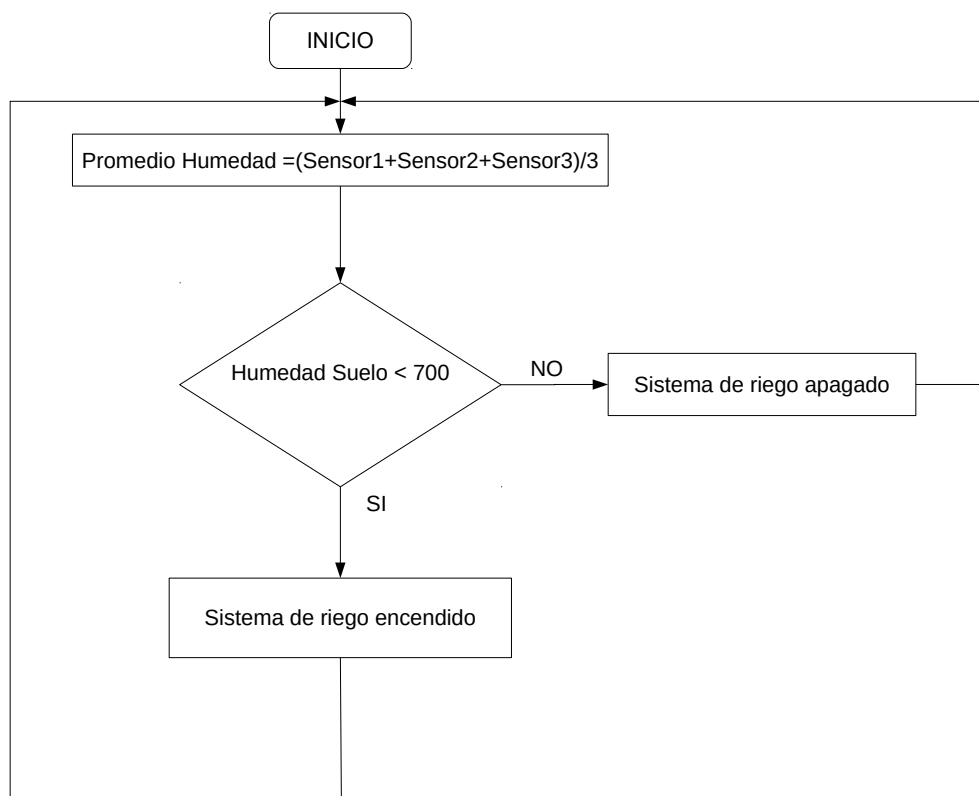


Figura 4.13: Diagrama de flujo del sistema de control de humedad del suelo

Capítulo 5

Sistema de control embebido

La automatización del invernadero es un conjunto de tareas específicas realizadas en tiempo real llevadas a cabo por varias tarjetas (Raspberry Pi y Arduino Leonardo) estas tareas cubren una necesidad específica: mantener las condiciones climáticas favorables para el óptimo desarrollo y producción de jitomate, a estos sistemas se les llama sistemas embebidos, pero ¿qué es un sistema embebido?, veamos su definición.

Sistema embebido Un sistema embebido SE (anglicismo **embedded**) o empotrado (integrado, incrustado) es un sistema de computación diseñado para realizar una o varias funciones dedicadas, frecuentemente en un sistema de cómputo en tiempo real. Al contrario de lo que ocurre con las computadoras de propósito general (como por ejemplo una computadora personal o PC) que están diseñados para cubrir un amplio rango de necesidades, los sistemas embebidos se diseñan para cubrir necesidades específicas. En un sistema embebido la mayoría de los componentes se encuentran incluidos en la placa base (la tarjeta de vídeo, audio, módem, etc.) y muchas veces los dispositivos resultantes no tienen el aspecto de lo que se suele asociar a una computadora. Algunos ejemplos de sistemas embebidos podrían ser dispositivos como un taxímetro, un sistema de control de acceso, la electrónica que controla una máquina expendedora o el sistema de control de una fotocopiadora entre otras múltiples aplicaciones.

Por lo general los sistemas embebidos se pueden programar directamente en el lenguaje ensamblador del micro controlador o microprocesador incorporado sobre el mismo, o también, utilizando los compiladores específicos, pueden utilizarse lenguajes como C o C++; en algunos casos, cuando el tiempo de respuesta de la aplicación no es un factor crítico, también pueden usarse lenguajes como JAVA.

Los programas de sistemas embebidos se enfrentan normalmente a tareas de procesamiento en tiempo real. [Sistema embebido.2015]

Componentes de un sistema embebido

- En la parte central se encuentra el microprocesador, microcontrolador, DSP, etc. Es decir, la CPU o unidad que aporta capacidad de cómputo al sistema, pudiendo incluir memoria interna o externa, un micro con arquitectura específica según requisitos.
- La comunicación adquiere gran importancia en los sistemas embebidos. Lo normal es que el sistema pueda comunicarse mediante interfaces estándar de cable o inalámbricas, por lo que normalmente incorporará puertos de comunicación del tipo RS-232, RS-485, SPI, I²C, CAN, USB, IP, Wi-Fi, GSM, GPRS, DSRC, etc.
- El subsistema de presentación tipo suele ser una pantalla gráfica, táctil, LCD, alfanumérico, etc.
- Se denominan actuadores a los posibles elementos electrónicos que el sistema se encarga de controlar. Puede ser un motor eléctrico, un conmutador tipo relé etc. El más habitual puede ser una salida de señal PWM para control de la velocidad en motores de corriente continua.
- El módulo de E/S analógicas y digitales suele emplearse para digitalizar señales analógicas procedentes de sensores, activar diodos LED, reconocer el estado abierto cerrado de un conmutador o pulsador, etc.
- El módulo de reloj es el encargado de generar las diferentes señales de reloj a partir de un único oscilador principal. El tipo de oscilador es importante por varios aspectos: por la frecuencia necesaria, por la estabilidad necesaria y por el consumo de corriente requerido. El oscilador con mejores características en cuanto a estabilidad y costo es el de cristal de cuarzo. Mediante los sistemas PLL ¹, se obtienen otras frecuencias con la misma estabilidad que el oscilador patrón.
- El módulo de energía (power) se encarga de generar las diferentes tensiones y corrientes necesarias para alimentar los circuitos del sistema embebido. Usualmente se trabaja con un rango de posibles tensiones de

¹PLL (del inglés phase-locked loop) lazos de seguimiento de fase, bucles de enganche de fase

entrada que mediante convertidores ac/dc o dc/dc generan las tensiones necesarias para alimentar los diversos componentes activos del circuito.

- Además de los convertidores ac/dc y dc/dc, cuenta también con módulos de filtrado, reguladores de voltaje, etc.
- El consumo de energía puede ser determinante en el desarrollo de algunos sistemas embebidos que necesariamente se alimentan con baterías, con lo que el tiempo de uso del SE suele ser la duración de la carga de las baterías. [Sistema embebido.2015]

Normalmente estos sistemas poseen un interfaz externa para efectuar un monitoreo del estado y hacer un diagnóstico del sistema, se debe señalar que el uso de sistemas embebidos en productos complejos implica un desafío de la seguridad en TI (seguridad informática o seguridad de tecnologías de la información) para proteger la información contenida en el sistema embebido y también la que es transmitida desde y hacia el dispositivo por redes privadas o Internet. El diseño de un producto que incorpora sistemas embebidos generalmente está orientado a minimizar los costos y maximizar la confiabilidad, pero también es esencial incorporar en el diseño consideraciones de seguridad, incluyendo funciones y protocolos criptográficos que protejan la información durante todas las fases. Los sistemas embebidos a menudo operan en un ambiente dedicado con condiciones operacionales y escenarios muy específicos.

En este caso el sistema embebido está compuesto por el cerebro la Raspberry + los Arduinos Leonardo que son los encargados del manejo y monitoreo de todo el sistema, es decir manejan y controlan a los sensores y actuadores presentes en el invernadero y dan al usuario la posibilidad de monitorearlo a través de una página web mediante comunicación wifi.

El siguiente diagrama (ver figura5.1) muestra los componentes del sistema embebido con sus actuadores y subsistemas:

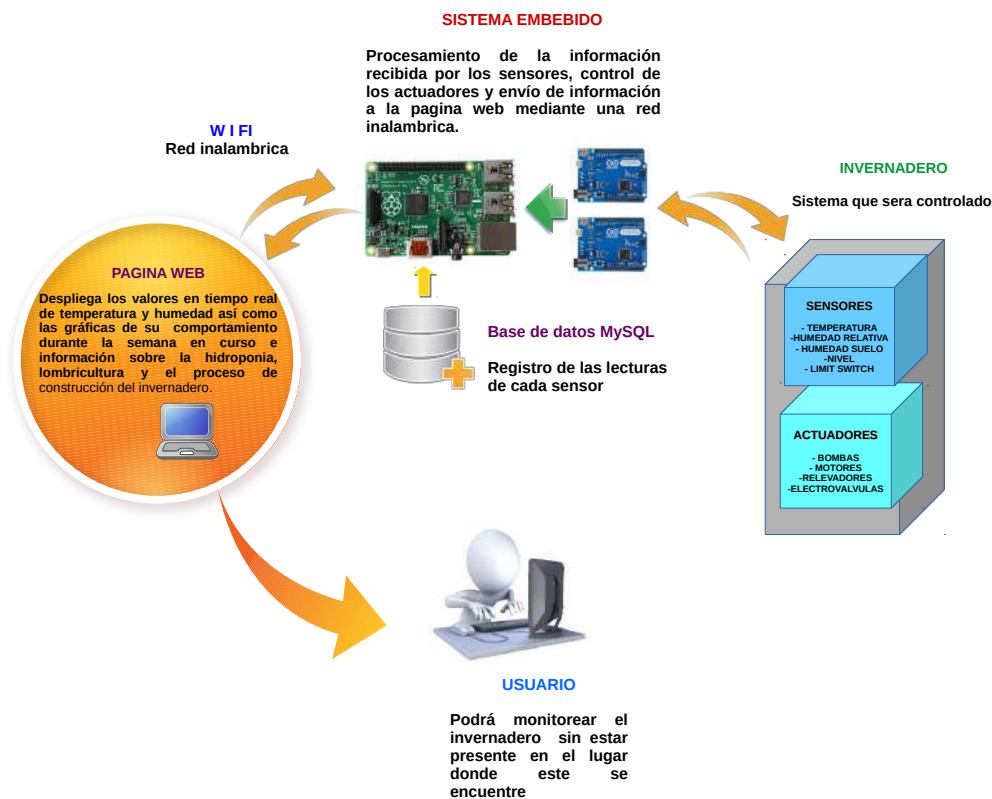


Figura 5.1: Sistema embebido del invernadero.

5.1 Características de las tarjetas de control

5.1.1 Raspberry Pi

Con el desarrollo de la computadora personal hubo un giro lejos de las computadoras de una tarjeta, con computadoras que tenían una placa base que debía ser conectada a tarjetas de extensión que proveían los puertos seriales, controlador para discos duros, de gráficos y de sonido. Recientemente esta tendencia parece haberse invertido ya que los fabricantes cada vez ponen más características como el sonido, red, E/S e incluso gráficos en la placa base. Esta arquitectura no se usa tanto en las computadoras personales (aunque las tendencias indican que esto puede cambiar) sino se usan en entornos industriales o en sistemas embebidos dentro de otros que sirven como controladores e interfaces.

Debido a los grandes niveles de integración y reducción de componentes y conectores, las computadoras en una tarjeta suelen ser más pequeños, livianos, más confiables y con un mejor manejo de la potencia eléctrica que las computadoras de múltiples tarjetas.

Esta tarjeta es una excelente opción para nuestro sistema ya que es una mini PC en la cual podemos almacenar información en una base de datos elaborada en MySQL, al mismo tiempo procesarla y desplegarla en la página web con la que interactuara el usuario. Además permite tener una comunicación vía serial con los Arduinos Leonardo que son los encargados de controlar todo el sistema. La Raspberry Pi será la herramienta base para que exista una comunicación entre el usuario y todo el sistema de automatización del invernadero pues mediante la comunicación wifi el usuario podrá monitorear el comportamiento del sistema sin estar presente en el lugar. Esto le favorece al usuario ya que podrá realizar otras actividades sin la preocupación de tener que ir a donde se encuentre el invernadero.

5.1.2 Tarjeta Arduino Leonardo

Características electrónicas

Las características eléctricas de la tarjeta Arduino Leonardo se muestran en la siguiente tabla 5.1

| | |
|----------------------------------|---|
| Microcontrolador | ATmega32u4 |
| Tensión de funcionamiento | 5V |
| Voltaje de entrada (recomendado) | 7-12V |
| Voltaje de entrada (límites) | 6-20V |
| Digital pines I/O | 20 |
| Canales PWM | 7 |
| Canales de entrada analógicos | 12 |
| Corriente DC por Pin I/O | 40 mA |
| Corriente DC de 3.3V Pin | 50 mA |
| Memoria Flash | 32 KB (ATmega32u4) de los cuales 4 KB utilizado por el gestor de arranque |
| SRAM y EEPROM | 2,5 KB y 1KB (las dos ATmega32u4) |
| Velocidad del reloj | 16 MHz |
| Longitud, Ancho y peso | 68,6 mm , 53,3 mm , 20g |

Cuadro 5.1: Características eléctricas de Arduino Leonardo. [Arduino.2015]

Comunicación El Leonardo tiene una serie de instalaciones para comunicarse entre una computadora, otro Arduino, u otros micro controladores.

El ATmega32u4 incorpora comunicación serie UART TTL (5Volts) disponible en los pines digitales 0 (RX) y 1 (TX). Este microcontrolador también permite establecer una comunicación serial a través de USB (CDC) y aparecer como puerto COM virtual en nuestro sistema operativo. El integrado también actúa a modo de dispositivo de máxima velocidad USB 2.0, utilizando los drivers estándar de COM USB. El IDE de Arduino incluye un monitor de puerto serie que nos va a proporcionar la opción de transmitir texto desde la placa Arduino y, hacia la misma. Los TX y RX tienen un led en la placa que parpadearán cuando se transmitan datos a través de la conexión USB a la computadora (pero no para la comunicación serie en los pines 0 y 1). La librería Software Serial permite establecer una comunicación serie en cualquiera de los pines digitales de Arduino.

El ATmega32u4 también es compatible con la comunicación I2C (TWI) y SPI. Mediante Arduino Leonardo, podemos emular un teclado y un ratón genérico, y puede ser programado para controlar estos dispositivos de entrada utilizando clases Keyboard & Mouse.

Programación El Leonardo se puede programar con el software de Arduino. Los ATmega32U4 en el Arduino Leonardo vienen precargados con un gestor de arranque que le permite cargar nuevo código a él sin el uso de un programador de hardware externo. Se comunica usando el AVR109 protocolo.

También puede pasar por alto el gestor de arranque y programar el microcontrolador a través del ICSP (In-Circuit Serial Programming) utilizando Arduino ISP o similar.

Protección multifunción USB El Leonardo tiene un fusible reajutable que protege a los puertos USB de su computadora de cortos y sobre corriente. Aunque la mayoría de las computadoras ofrecen su propia protección interna, el fusible proporciona una capa adicional de protección. Si hay más de 500 mA aplicados al puerto USB, el fusible rompe automáticamente la conexión hasta que el corto o la sobrecarga se eliminen.

Esta tarjeta Arduino Leonardo es fácil de programar además cuenta con librerías que permiten la lectura de los sensores de temperatura y humedad haciendo mucho más fácil la creación de los programas de control de los sistemas tanto de riego como de temperatura y humedad, es una tarjeta de

bajo costo lo cual es una ventaja para el usuario ya que con una baja inversión se obtiene un sistema eficiente.

5.2 Descripción de los programas de control

Ya se habló de cada uno de los subsistemas que controlan la temperatura, la humedad, el riego etc., pero ahora se describirá el sistema de control en general así como el programa realizado en Arduino, este sistema de control está dividido en dos partes (cada una de las partes está cargada en un Arduino diferente) las cuales se describen a continuación:

- 1ra Parte Control de temperatura y humedad relativa.
- 2da Parte Control del riego.

1ra Parte Control de temperatura y humedad Dentro de esta 1ra parte se encuentran los subsistemas, control de temperatura baja, control de temperatura alta, control de humedad baja y control de humedad alta, que son los que realizan la tarea controlar a sensores y actuadores para mantener la humedad y la temperatura dentro de los rangos que necesita el jitomate para su óptimo desarrollo.

El sistema principal se encarga de monitorear las condiciones de temperatura y humedad que le son enviadas por cada uno de los sensores. Estas lecturas son analizadas por el sistema de control y si alguna esta fuera de los rangos que se requieren entonces invocara a la función que se encargara de corregir esta variable (temperatura o humedad relativa).

El programa de control de temperatura y humedad relativa realizado en Arduino es el siguiente:

Control de temperatura y humedad

Este sistema se encarga de monitorear tanto la temperatura como la humedad relativa dentro del invernadero, además con dicha información tomara una serie de decisiones , es decir si la temperatura o la humedad llegaran a salirse de los rangos establecidos para que la planta tenga un optimo desarrollo entonces determinara que acción tomar dependiendo cual sea el caso, si la temperatura es alta se accionara el sistema de ventilación y se abrirán las ventanas si es el caso que se encuentren cerradas, cuando la humedad sea baja entonces se encenderán los aspersores para ayudar a elevar la humedad

relativa, y así para cuando la temperatura sea baja y la humedad sea alta el programa tiene una serie de instrucciones que serán ejecutadas por los actuadores para mantener las condiciones deseadas por el usuario.

La siguiente función **mostrar-temp-amb** recupera el valor enviado por el sensor de temperatura.

```

1 void mostrar_temp_amb ()
2 {
3 // llamar sensors.requestTemperatures () para emitir una
  temperatura global
4 sensors.requestTemperatures (); // obtener temperaturas
5 Serial.print ( "Temperatura_Ambiente:_" );
6 Serial.print(sensors.getTempCByIndex (0));
7 Serial.print("_\t");
8 Serial.println("_C\t");
9 }

```

La función **temperatura-baja** se encarga de accionar el sistema de calefacción para incrementar la temperatura dentro del invernadero.

```

1 ///////////////FUNCION TEMPERATURA BAJA ////////////
2 void temperatura_baja ()
3 {
4 inicio :
5 temperatura =sensors.getTempCByIndex (0);
6 if (temperatura <=25 && digitalRead (sensorVG2)==HIGH &&
  digitalRead (sensorVCH2)==HIGH )
7 {
8 digitalWrite (calefaccion ,HIGH);
9 Serial.println ( "Sistema_de_calefaccion_accionado_..." );

```

La función **temperatura-alta** se encarga de accionar el sistema de ventilación para disminuir la temperatura dentro del invernadero.

```

1 ///FUNCION TEMPERATURA ALTA////////
2 void temperatura_alta ()
3 {
4 temperatura =sensors.getTempCByIndex (0);
5 if (temperatura >=35&&digitalRead (sensorVG1)==
6 HIGH&&digitalRead (sensorVCH1)==HIGH)
7 {
8 digitalWrite (ventilador ,HIGH); //se acciona el ventilador
9 Serial.println ( "Ventilador_accionado_..." );
10 Serial.println ( "Sistema_de_ventilacion_accionado_..." );

```

Para la humedad relativa la siguiente función **leer-humedad-relativa** recibe el valor enviada por el sensor

```

void leer_humedad_relativa(){ //Reading temperature or humidity
    takes about 250 milliseconds!
2 float h = dht.readHumidity();
3 if (isnan(h)) {          // si la lectura del sensor no es la
    correcta manda mensaje de alerta
4 //Serial.println("Error al leer el sensor DHT");
5     } else {
6 //Serial.print("Humedad Relativa: ");
7   Serial.print(h);
8   Serial.print(" \t");
9 // Serial.print(" %\t");
10  Serial.println(" \t");

```

Las siguientes funciones **control-aspersor-hbaja** , **control-aspersor-halta** se encargan de corregir la humedad relativa dentro del invernadero :

```

1 ///////////////////////////////////////////////////HUMEDAD BAJA//////////////////////////////////////
2 void control_aspersor_hbaja()//cuando la humedad es BAJA se
    activa el aspersor ,
3 {          // para aumentar la humedad en el ambiente
4 float h = dht.readHumidity();
5 float x=0;
6 x = dht.readHumidity();
7
8 if (isnan(h) || x==0) {
9   digitalWrite(aspersor ,HIGH);
10  digitalWrite(electroval ,HIGH);
11 }
12 else{
13 if (x <= 60.0){
14   digitalWrite(aspersor ,LOW);
15   digitalWrite(electroval ,LOW);
16 //Serial.println ( "Aspersor accionado ..." );
17
18 ///////////////////////////////////HUMEDAD ALTA//////////////////////////////////////
19
20 void control_aspersor_halta()//cuando la humedad es ALTA
    se activa la ventana ,
21 {          // para bajar la humedad en el ambiente
22 float h = dht.readHumidity();
23 float x=0;
24 x=dht.readHumidity();
25 Serial.println ( "Subiendo_Cortinas_VG_para_bajar_humedad..."
    );
26 Serial.println ( "Subiendo_Cortinas_VCH_para_bajar_humedad..."
    );

```

2da Parte Control del riego Este sistema se encarga de controlar el sistema de riego esto lo hace a través de unos sensores que miden la humedad del sustrato, cuando esta humedad esta fuera de los rangos que se piden entonces el sistema principal manada a llamar a la función que se encarga de encender el riego una vez que se normaliza la humedad entonces el sistema principal le ordenara el apagado del riego

El programa de control del riego realizado en Arduino es el siguiente:

Control del riego

Este sistema de control del riego se activa cuando el sensor de humedad marca una humedad por debajo de la requerida por el cultivo, siempre y cuando los tanques de SN y HA contengan la cantidad suficiente para cubrir el riego. Cada tanque cuenta con un sensor de nivel que indica si el tanque está lleno o vacío y en caso de que alguno este vacío se accionara una alerta y también la bomba de agua para llenarlos, una ves llenos se apagaran las alertas y la bomba.

La función **Medir-HumedadSN** se encarga de recuperar el valor de la humedad del sustrato enviada por los sensores de humedad y verificar que este dentro del parámetro requerido (70% de humedad) en caso de no ser así accionara el riego.

```

1 void Medir_HumedadSN()
2 {
3   humedadSN = ((analogRead(A0)+ analogRead(A2)+ analogRead(A4)
4     )/ 3);
5   if(humedadSN >= 500) {
6     nil2 = digitalRead(nivel2);
7     if (nil2==LOW)
8       {
9         while(humedadSN >= 500 && digitalRead(nivel2)==LOW)
10          {
11            digitalWrite(rele1 , LOW);
12            digitalWrite(SN,LOW);
13            Serial.println(" Sistema de riego encendido");

```

La función **llenado-SN** se encarga de accionar las bombas y electroválvulas para llenar los tanques, siempre y cuando alguno de estos se encuentre vacío.

```

1 void Llenado_SN()
2 {

```

```

3  nil1 = digitalRead(nivel1);
4  if (nil1==LOW){
5      sn = digitalRead(boton);
6      while (digitalRead(boton)==LOW){
7          Serial.println(" Insertar SN en polvo");
8      }
9      while (digitalRead(nivel2)==HIGH && digitalRead(nivel1)==
           LOW){
10         digitalWrite(rele3,LOW); // encendemos la bomba del
           tanque de agua y la electrovalvula que permite el
           paso del agua al tanque
           donde se realizara la mezcla de sn

```

En el apéndice A se muestra el código completo de los sistemas de control de temperatura, humedad y riego.

5.3 Interfaz WEB

La interfaz web fue creada con el propósito de proporcionar al usuario un monitoreo vía remota. Esta página le dará información sobre el comportamiento de la temperatura, humedad y humedad del suelo en el momento que acceda a ella, también le muestra con gráficas el comportamiento de estas variables de la semana en curso. Además contiene información sobre que es la hidroponía y la lombri-cultura que puede ser de interés para quien no conozca mucho sobre estas técnicas, finalmente cuenta con una galería de fotos de la construcción del invernadero y del proceso de producción del jitomate desde la germinación hasta la cosecha.

Esta página web está montada sobre un servidor Apache-PHP que se creó en la tarjeta Raspberry Pi, además tiene un manejador de base de datos MySQL, este nos permite almacenar y manipular las lecturas que arrojan los distintos sensores que se encuentran dentro del invernadero.

A continuación se detalla el procedimiento de la creación de la página web así como de cada una de las herramientas utilizadas en todo el proceso.

Comenzaremos por explicar algunas cosas como:

5.3.1 Definición de servidor Web

Un servidor web o servidor HTTP es un protocolo informático que procesa una aplicación del lado del servidor, realizando conexiones bidireccionales

y/o unidireccionales, síncronas o asíncronas con el cliente y generando o cediendo una respuesta en cualquier lenguaje o aplicación del lado del cliente. El código recibido por el cliente suele ser interpretado y ejecutado por un navegador web. Para la transmisión de todos estos datos suele utilizarse algún protocolo. Generalmente se usa el protocolo HTTP para estas comunicaciones, que pertenece a la capa de aplicación del modelo OSI².

5.3.2 Apache

Apache es un poderoso servidor web, cuyo nombre proviene de la frase inglesa “a patchy server” y es completamente libre, ya que es un software Open Source y con licencia GPL. Una de las ventajas más grandes de Apache, es que es un servidor web multiplataforma, es decir, puede trabajar con diferentes sistemas operativos y mantener su excelente rendimiento. Desde el año 1996, es el servidor web más popular del mundo, debido a su estabilidad y seguridad. Apache sigue siendo desarrollado por la comunidad de usuarios desarrolladores que trabaja bajo la tutela de Apache Software Foundation. [Culturación]

Principales características de Apache Entre las principales características de Apache, se encuentran las siguientes:

- Soporte de seguridad SSL y TLS.
- Puede realizar autenticación de datos utilizando SGDB.
- Puede dar soporte a diferentes lenguajes, como Perl, PHP, Python y tcl.

Usos de Apache Apache es utilizado principalmente, para realizar servicio a páginas web, ya sean estáticas o dinámicas. Este estupendo servidor se integra a la perfección con otras aplicaciones, creando el famoso paquete XAMP con Perl, Python, MySQL y PHP, junto a cualquier sistema operativo, que por lo general es Linux, Windows o Mac OS. [Culturación]

Como ya vimos Apache es un servidor web muy noble y eficaz por lo que es ideal para la creación de la página web, pues manejaremos HTML

²En 1977, la Organización Internacional de Estándares (ISO), creó un subcomité para desarrollar estándares de comunicación de datos que promovieran la accesibilidad universal y una interoperabilidad entre productos de diferentes fabricantes. El resultado fue el Modelo de Referencia Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI), que es un lineamiento para tareas de comunicación y, no especifica un estándar para dichas tareas

Python y PHP. Además se creó una base de datos la cual será la encargada de almacenar y gestionar las lecturas que arrojen los diferentes sensores que se encuentran en el invernadero. Esta base de datos se creó con MySQL, a continuación se explicara un poco sobre que es una base de datos y MySQL.

5.3.3 Bases de datos

Una base de datos, como su nombre indica, es el lugar donde se guardan una serie de datos de manera organizada. No sólo permite guardarlos, sino también es posible recuperarlos para trabajar con ellos en un momento dado. Estas organizan la información en tablas, las tablas pueden estar relacionadas entre sí, de manera que los datos de una tabla tengan relación con los de otra.

Hay distintos programas de gestión de base de datos, tales como Oracle, Microsoft access, etc. Sin embargo MySQL es el que mejor se adapta al lenguaje php por esta razón se optó por MySQL ya que el servidor que se creó esta en php.

5.3.3.1 Base de datos en MySQL

MySQL es un manejador de bases de datos, en el que podemos crear y administrar las bases de datos en formato ".sql". Este manejador es compatible con php, de modo que utilizándolo dentro de php podemos utilizar las bases de datos en las páginas web; El programa phpMyAdmin nos permite crear bases de datos de forma gráfica, que luego pueden ser utilizadas en las páginas web. Esto tiene la ventaja de poder, por ejemplo, guardar registros de clientes o usuarios, con sólo hacer que rellenen un formulario. Los datos del formulario se guardarán en la base de datos, y si es necesario, se puede, por ejemplo, crear nuevas tablas, borrarlas, o incluso crear una nueva base de datos o borrar una ya existente, y todo esto de una manera bastante sencilla y desde la propia web.

5.3.3.2 Funcionamiento de una base de datos

La forma de estructurar los datos en una base de datos es mediante tablas. Las tablas son parecidas a las que siempre se han hecho en papel para estructurar los datos, tienen una cabecera que indica qué tipo de datos queremos poner en cada columna. Las columnas muestran cada una un tipo de dato distinto, y las filas que se corresponden con una entidad (objeto, persona, etc.) a la cual se le indican los datos concretos que posee dentro del tipo

de datos mostrado en las columnas.

A las filas o datos correspondientes a una misma entidad, se le llama registro, el registro es como una ficha de la persona u objeto de la que queremos guardar la información. Cada columna de la tabla es un campo, y almacena un tipo de dato específico, como por ejemplo un nombre, una fecha, un número de teléfono, una dirección de correo, etc.

La confluencia de cada fila con cada columna, nos da las celdas de la tabla, en cada una de las cuales sólo puede haber un dato.

Comunicación entre Arduino Leonardo y Raspberry Pi En este trabajo python permitió poder recuperar y guardar en la base de datos que se encuentra en la Raspberry Pi los datos enviados por los arduinos, que son las lecturas de los sensores de temperatura, humedad relativa y humedad del sustrato, mediante la comunicación USB.

Python Se trata de un lenguaje de programación multiparadigma, ya que soporta orientación a objetos, programación imperativa y, en menor medida, programación funcional, su sintaxis y tipado dinámico, junto con su naturaleza interpretada, hacen de éste un lenguaje ideal para scripting y desarrollo rápido de aplicaciones en diversas áreas y sobre la mayoría de las plataformas.

Python es administrado por la Python Software Foundation con licencia de código abierto, denominada Python Software Foundation License, que es compatible con la licencia pública general de GNU a partir de la versión 2.1.1, e incompatible en ciertas versiones anteriores.

El intérprete de Python y la extensa biblioteca estándar están a libre disposición en forma binaria y de código fuente para las principales plataformas desde el sitio web de Python, <http://www.python.org/>, y puede distribuirse libremente.

Python usa tipado dinámico y conteo de referencias para la administración de memoria, cuenta con la resolución dinámica de nombres; es decir, lo que enlaza un método y un nombre de variable durante la ejecución del programa (también llamado enlace dinámico de métodos). Es un lenguaje con facilidad de extensión y se pueden escribir nuevos módulos fácilmente en C o C++. Python puede incluirse en aplicaciones que necesitan una interfaz

programable.

En el apéndice A se muestra el código en Python con el que se establece la comunicación serial y la recuperación de datos del arduino

Para la página web se utilizo una combinación de **HTML, PHP, JAVASCRIPT, AJAX**

5.3.4 HTML, PHP, JAVASCRIPT Y AJAX

PHP PHP es un lenguaje de código abierto para desarrollo web que puede ser incrustado en HTML, es decir, que en un mismo archivo puede combinar código PHP con código HTML, existe un gran número de páginas y portales web creados con PHP, es de uso libre y gratuito para todos los programadores que quieran usarlo.

Lo que distingue a PHP de JavaScript es que el código es ejecutado en el servidor, generando HTML y enviándolo al cliente como si fuera una página web estática. El cliente recibirá los resultados que el servidor devuelve después de interpretar el código PHP, sin ninguna posibilidad de determinar qué código ha producido el resultado recibido. Es decir, a través de nuestro navegador podríamos ver el código HTML, pero nunca el código PHP que dio lugar al resultado HTML. El servidor web puede ser incluso configurado para que los usuarios no puedan saber si estás o no utilizando PHP.

Entre las habilidades de PHP se incluye la creación de imágenes a partir de datos, puede utilizar y presentar resultados en otros estándares de datos o lenguajes propios de los desarrollos web, como XHTML y cualquier otro tipo de ficheros XML. PHP puede autogenerar estos archivos y almacenarlos en el sistema de archivos en vez de presentarlos en la pantalla, utilizando estos ficheros para generar contenido dinámico. Es decir, el contenido dinámico puede surgir de otros sitios además de desde bases de datos. También se puede interactuar con otros servidores usando cualquier protocolo y puede enlazarse con otros lenguajes muy potentes como Java.

JavaScript JavaScript fue desarrollado originalmente por Brendan Eich de Netscape con el nombre de Mocha, el cual fue renombrado posteriormente a Livescript, para finalmente quedar como JavaScript.

Comúnmente abreviado como “JS” es el lenguaje interpretado orientado a objetos que se utiliza en millones de páginas web y aplicaciones de servidor

en todo el mundo. JavaScript de Netscape es un superconjunto del lenguaje de scripts estándar de la edición de ECMA-262 3 (ECMAScript) que presenta sólo leves diferencias respecto a la norma publicada.

Se utiliza principalmente en su forma del lado del cliente (client-side), implementado como parte de un navegador web permitiendo realizar mejoras en la interfaz del usuario y las páginas web dinámicas, existe también JavaScript del lado del servidor llamado (Server-side JavaScript o SSJS).

JavaScript normalmente depende del entorno en el que se ejecute (por ejemplo, en un navegador web) para ofrecer objetos y métodos por los que los scripts pueden interactuar con el "mundo exterior", por ejemplo en HTML para importar o incluir scripts se utiliza el tag `<script>`.

AJAX **AJAX**, acrónimo de "Asynchronous JavaScript And XML" (JavaScript asíncrono y XML), es una técnica de desarrollo web para crear aplicaciones interactivas o RIA (Rich Internet Applications). Estas aplicaciones se ejecutan de lado del cliente, es decir, en el navegador de los usuarios mientras se mantiene la comunicación asíncrona con el servidor en segundo plano. De esta forma es posible realizar cambios sobre las páginas sin necesidad de recargarlas, mejorando la interactividad, velocidad y usabilidad en las aplicaciones.

Ajax es una tecnología asíncrona, en el sentido de que los datos adicionales se solicitan al servidor y se cargan en segundo plano sin interferir con la visualización ni el comportamiento de la página, aunque existe la posibilidad de configurar las peticiones como síncronas de tal forma que la interactividad de la página se detiene hasta la espera de la respuesta por parte del servidor.

JavaScript es el lenguaje interpretado (scripting language) en el que normalmente se efectúan las funciones de llamada de Ajax mientras que el acceso a los datos se realiza mediante XMLHttpRequest, objeto disponible en los navegadores actuales. En cualquier caso, no es necesario que el contenido asíncrono esté formateado en XML.

Ajax es una técnica válida para múltiples plataformas y utilizable en muchos sistemas operativos y navegadores dado que está basado en estándares abiertos como JavaScript y Document Object Model (DOM). Ajax es una combinación de cuatro tecnologías ya existentes:

- XHTML (o HTML) y hojas de estilos en cascada (CSS) para el diseño que acompaña a la información.

- Document Object Model (DOM) accedido con un lenguaje de scripting por parte del usuario, especialmente implementaciones ECMAScript- como JavaScript y JScript, para mostrar e interactuar dinámicamente con la información presentada.
- El objeto XMLHttpRequest para intercambiar datos de forma asíncrona con el servidor web. En algunos frameworks y en algunas situaciones concretas, se usa un objeto iframe en lugar del XMLHttpRequest para realizar dichos intercambios. PHP es un lenguaje de programación de uso general de script del lado del servidor originalmente diseñado para el desarrollo web de contenido dinámico también utilizado en el método Ajax.
- XML es el formato usado generalmente para la transferencia de datos solicitados al servidor, aunque cualquier formato puede funcionar, incluyendo HTML preformateado, texto plano, JSON y hasta EBML.

Ya se habló de todas las herramientas que se ocuparon para la creación de la página web, pero ahora veamos que es una página web, para que nos sirva y cuáles son sus características

5.3.5 Página Web

Una página web es un documento creado en formato HTML, el cual puede contener, textos, imágenes, sonido y video, se pueden visualizar a través del monitor de la computadora, y obtener la información contenida en ellas, y además, la información a la que se puede ingresar, a través de ellas, por medio de los “links” o hipervínculos, los cuales dan acceso a la información del contenido de la página, y de otras páginas del mismo sitio web, o de otros sitios relacionados con algún tema en concreto. O para acceder a alguna descarga de algún contenido en particular, como podría ser, un archivo de texto, imágenes, audio, vídeos u otro tipo de archivo contenido en una base de datos.

Existen varios tipos de páginas web, pero hay dos categorías principales, las cuales son:

- Páginas web estáticas.
- Páginas web dinámicas.

Las páginas web estáticas Son páginas enfocadas principalmente a mostrar una información permanente, se crean mediante el lenguaje HTML,

que NO permite grandes libertades para crear efectos o funcionalidades más allá de los enlaces, pero que haciendo uso de otros recursos se pueden obtener muy buenos resultados llegando a ser páginas muy similares a las dinámicas en cuando a su visualización se refiere.

Esta es una opción más que suficiente para aquellos que simplemente ofrecen una descripción de su empresa, quiénes somos, donde estamos, servicios, etc. ideal para empresas que no quieren muchas pretensiones con su sitio Web, simplemente informar a sus clientes de sus productos y dar a conocer su perfil de empresa, entre otros.

La principal ventaja de este tipo de páginas es lo económico que pueden resultar más sin embargo pueden con toda seguridad llenar las expectativas deseadas, con un diseño elegante, moderno y funcional incluyendo las imágenes y el texto con el cual se desea mantener informados a nuestros clientes en todo momento. Estas web tienen un costo mucho menor que las web dinámicas.

Las páginas web dinámicas Se construyen haciendo uso de otros lenguajes de programación, siendo el más utilizado de todos el PHP, con lo cual podemos definir las funciones y características que se deben cumplir de acuerdo a nuestras necesidades.

Estas permiten la creación de aplicaciones dentro de la propia Web, ofrecen también una mayor interactividad con los usuarios que la visiten. Otras funcionalidades que se pueden crear mediante las web dinámicas son las aplicaciones como encuestas y votaciones, foros de soporte, libros de visita, envío de e-mails inteligentes, reserva de productos, pedidos on-line, atención al cliente de manera personalizada, entre otros.

La creación de una página web dinámica es más compleja, ya que se requiere de conocimientos específicos de lenguajes de programación y gestión de bases de datos.

Sus ventajas: Realmente sus ventajas y posibilidades son infinitas, con este tipo de páginas web se puede hacer todo lo que se desee, desde una simple web informativa, hasta una potente herramienta de trabajo rica en contenido dinámico, sistemas contable capaces de llevar lo que es el inventario de la empresa, además de que puede ser manejada y actualizada incluso por el propietario de la web sin la intervención de un programador. Lo que hoy

se conoce como web 2.0 es precisamente la web dinámica, esa en la cual los usuarios interactúan con la información contenida en la web, ya que dicha información varía en tiempo real de acuerdo a las opciones tomadas por el usuario.

5.3.5.1 Características de una página web

Una página web debe cumplir con ciertas características para que sean atractivas al usuario y no abandone fácilmente nuestra página, al mismo tiempo tiene que ofrecerle información y ayuda en lo que está buscando sin tanta complicación. A continuación se muestran las 10 características básicas que debe tener una página web. [MK.2015]

- Utilidad.
- Facilidad de navegación.
- Apariencia.
- Estructura clara.
- Información actualizada, sencilla, creíble y concisa.
- Rapidez de descarga.
- Pocos clicks.
- Evita malos hábitos.
Registros innecesarios, ventanas emergentes, necesidad de instalar software, enlaces que no funcionan, contenido que no existe, etc.
- Interactividad.
El usuario ya no solo demanda información sino, además, la posibilidad de interactuar en la misma página.
- Información de contacto.

Una vez que ese estudiaron y se trabajaron todas estas herramientas entonces se generó la siguiente página web, que como explicamos anteriormente cuenta con información sobre la hidroponía y sus diversas técnicas, la lombricultura el proceso de construcción del invernadero y el desarrollo del jitomate desde la germinación hasta la siembra; así como las diversas graficas de temperatura humedad, etc. y las mediciones de temperatura y humedad dentro del invernadero en tiempo real. Se consideraron los 10 puntos para tener una

página atractiva y de fácil manejo para el usuario así como la información que se da sea relevante e útil.

La siguiente imagen 5.2 muestra la cara principal de la página web:

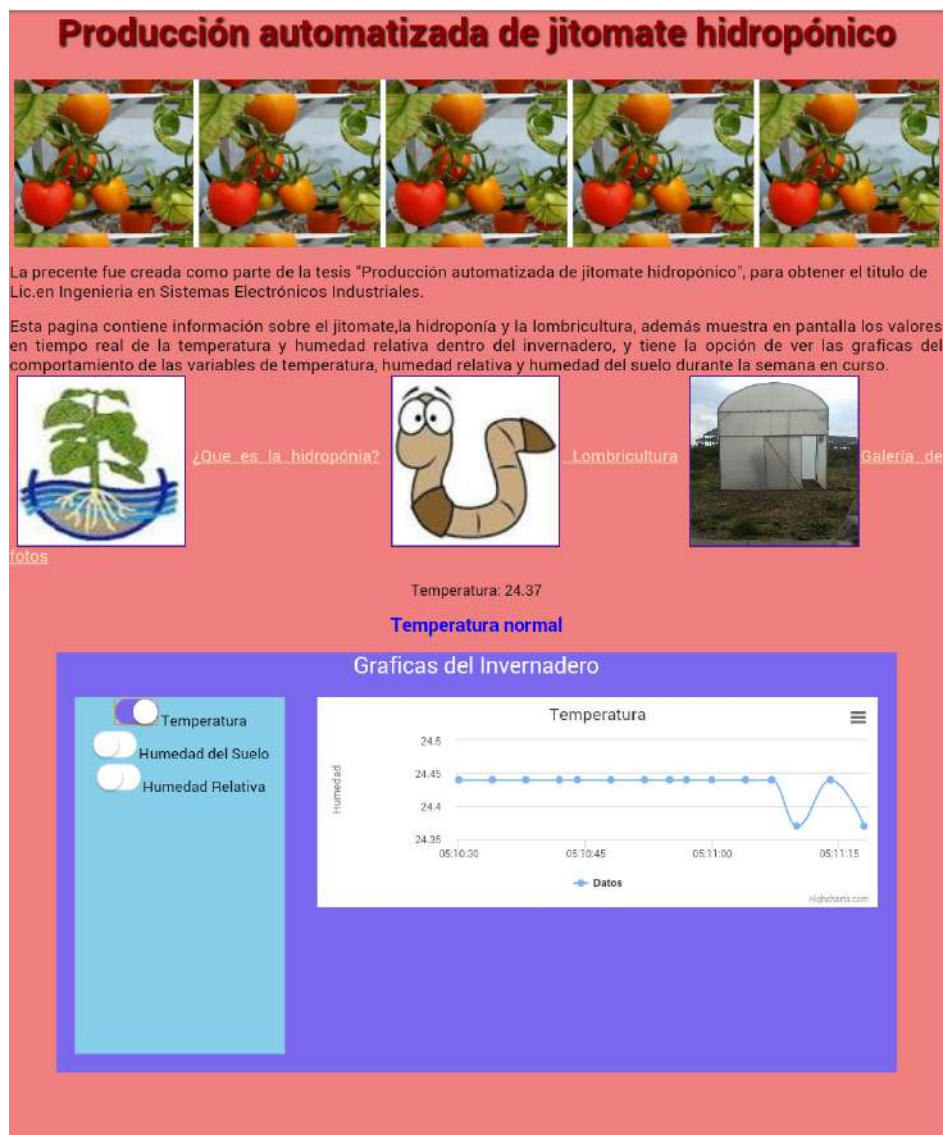


Figura 5.2: Cara principal de la página Web.

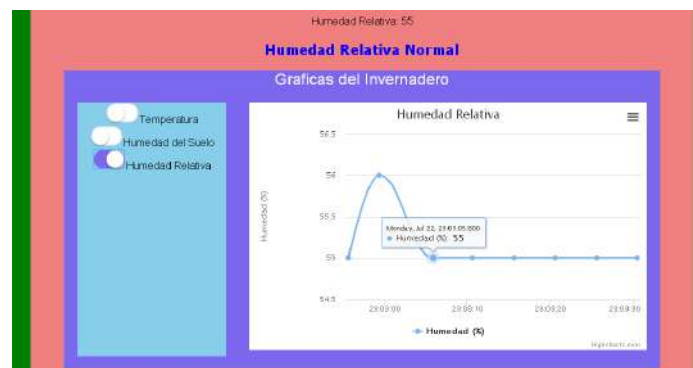
Para las graficas de temperatura, humedad relativa y humedad del sustrato (ver figura 5.3 a), b) y c)) se utilizó javascrip junto con ajax, estas graficas muestran en la página web los valores en tiempo real de las mediciones de temperatura y humedad tomadas por los sensores.



(a) Gráfica de temperatura



(b) Gráfica de humedad del sustrato.



(c) Gráfica de humedad relativa.


Figura 5.3: Gráficas

Las siguientes imágenes muestran los enlaces a las páginas de hidroponía (figura 5.4), la lombricultura (figura 5.5) y la galería de fotos del invernadero (figuras 5.6).



Figura 5.4: Hidroponía (página web).

Lombricultura



La lombricultura: se concibe como una biotecnología que permite utilizar la lombriz de tierra con el propósito de reciclar desechos orgánicos de los cuales se alimenta, generando productos tales como: proteínas para la alimentación de animales domésticos, carne para pesca, como fuente de proteínas para la alimentación humana (harina y galletas) y para el enriquecimiento de los suelos, ya sea incorporándolas al suelo o adicionando el vermiabono, que son las excretas de las lombrices, lo cual se le denomina humus de lombriz, es de color negruzco, granulado, homogéneo y con olor agradable a suelo de bosque. Es uno de los abonos orgánicos de mejor calidad debido particularmente a su efecto de las propiedades biológicas del suelo.

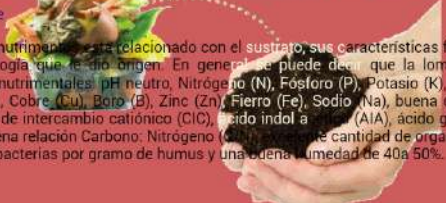
Especies usadas

En el mundo existen más de 8,000 especies distintas de lombrices de ellas se han descrito 3,627 especies, pero solo unas 10 a 12 de ellas pueden servir para la lombricultura. Entre estas, la más conocida es la lombriz de tierra *Lumbricus terrestris*, sin embargo, las más utilizadas en la lombricultura intensiva es la *Eisenia andrei*, *Perionyx excavatus* y *Eudrillus eugeneae*. Pero principalmente en México se ha adaptado la lombriz roja californiana *Eisenia foetida*, porque hay lugares muy ricos en materia orgánica en proceso de descomposición y que son capaces de transformarlo en abono.

Implementación

La lombricomposta, por ser un fertilizante orgánico, biorregulador y corrector del suelo, cuya característica fundamental es la bioestabilidad, no da lugar a fermentación o putrefacción. Podemos nosotros incorporarlo a las parcelas, almácigos, surcos o en bandas en su caso, en el trasplante de los cultivos a explotar, con ello estamos proporcionando una alta composición enzimática bacteriana, lo que logrará una rápida asimilación por las raíces de las plantas, aumentando y acelerando así su rendimiento y ciclo biológico a la cosecha (kg/ha).

Nutrientes que contiene



El contenido (nivel) de nutrientes se relaciona con el sustrato, sus características físicas, su composición bioquímica y bacteriología que le dio origen. En general se puede decir que la lombricomposta tiene los siguientes contenidos nutrimentales: pH neutro, Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Manganeseo (Mn), Cobre (Cu), Boro (B), Zinc (Zn), Hierro (Fe), Sodio (Na), buena conductividad eléctrica (CE), buena capacidad de intercambio catiónico (CIC), ácido indolacético (AIA), ácido giberélico (AG3), ácidos fúlvicos y húmicos, buena relación Carbono: Nitrógeno (C/N), alta cantidad de organismos beneficiosos en el orden de 2 billones de bacterias por gramo de humus y una buena humedad de 40 a 50%.

Beneficios

- a) El humus de lombriz está científicamente probado que produce un aumento en el porte de las plantas y las protege de enfermedades de la raíz (ya sea por bacterias o nematodos).
- b) En comparación con el estiércol de bovino, el humus de Lombriz contiene 4 veces más Nitrógeno, 25 veces más Fósforo, 2.5 veces más potasio y además no se aportan plagas de suelo.
- c) Ayuda al desarrollo de la microflora y microfauna (microorganismos beneficiosos del suelo) en los terrenos en cultivo.
- d) Aporta elementos nutritivos para el buen desarrollo de las plantas, además de que los libera lentamente, lo que permite que los cultivos lo aprovechen mejor. Evita la presencia de clorosis férrica en los cultivos.
- e) Aumenta la capacidad de retención de humedad del suelo. Aumenta y mantiene un alto nivel de fertilidad de los suelos, hasta 3 años después de su aplicación.
- f) Regula los cambios bruscos del pH y amortigua los cambios bruscos de temperaturas.
- g) Disminuye el riesgo de erosión del suelo.
- h) Mejora el intercambio catiónico planta-suelo. Neutraliza la presencia de algunos contaminantes (herbicidas, esteroides fosfóricos, anticriptogámicos, etc.).
- i) Mejora las características de estructuras (desligando los suelos arcillosos y agregando los suelos arenosos).

Figura 5.5: Lombricultura (página web).

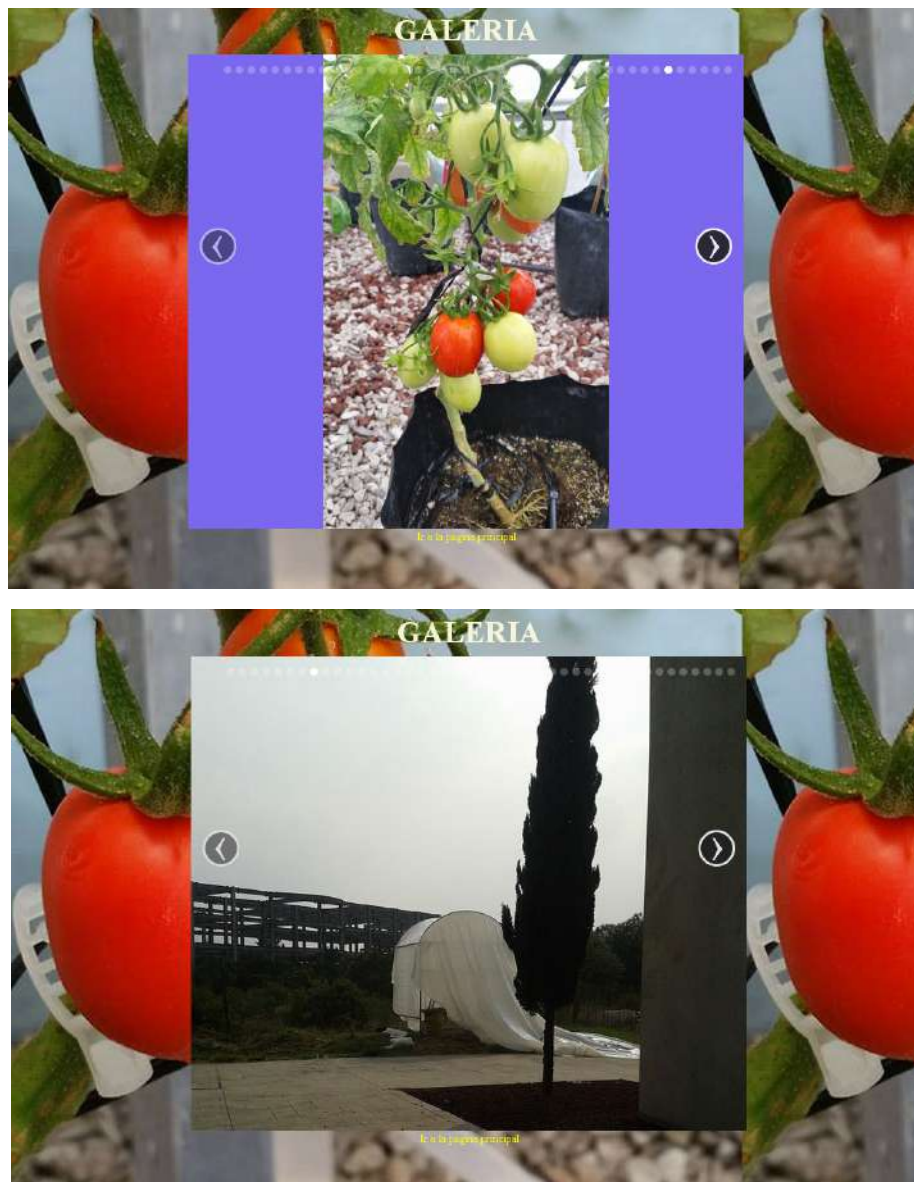


Figura 5.6: Galería (página web).)

Capítulo 6

Análisis financiero

El análisis económico nos ayuda a determinar cuál es el monto de los recursos económicos necesarios para la realización del proyecto, cuál será el costo total de la operación de la planta abarcando las funciones de producción y ventas, así como otra serie de indicadores que servirán para la evaluación económica del proyecto.

Costos de producción

El invernadero automatizado está planeado hasta ahora para tener dos temporadas cosechas al año es decir se sembró en octubre del año pasado 2014 para tener la 1er cosecha en Abril-Mayo del presente año 2015 y se realizó la segunda siembra en Mayo del 2015 para cosechar en los meses de Septiembre-Octubre del 2015 y así concluir en tiempo que se nos otorgó por La Universidad Autónoma de la Ciudad de México para la realización de este trabajo. Esto se muestra en la tabla (6.1)

Cuadro 6.1: Aprovechamiento de la instalación durante un Año (Octubre 2014- octubre 2015).

| Periodo Semestral | Producción Semestral (Kilogramos) |
|---------------------------|-----------------------------------|
| Octubre 2014 - Abril 2015 | 312 Kg |
| Mayo 2015 - Octubre 2015 | 312 Kg |

Presupuesto de costos de producción

El costo de producción está conformado por todas aquellas partidas que intervienen directamente en producción. En las tablas de la 6.2 a la 6.5 se muestra cada una de ellas.

Cuadro 6.2: Costo de materia prima.

| Materia prima | Cantidad por lote (Siembra-Cosecha) | Costo en pesos (Kg) | Consumo anual | Costo total anual (pesos) |
|-----------------------|-------------------------------------|---------------------|---------------|---------------------------|
| Solución Nutritiva | 36 Kg | 100 | 72Kg | \$ 7,200.00 |
| Fibra de coco | 50Kg | 5 | 140Kg | \$ 400.00 |
| Agrolita | 40Kg | 2.8 | 100Kg | \$ 210.00 |
| Semilla | 3gr | 20(por sobre) | 20(un sobre) | \$ 20.00 |
| Insecticida-fungicida | 90gr | 15(por gotero) | 12(goteros) | \$ 180.00 |
| - | - | - | Total | \$ 8,010.00 |

Nota: Un lote tiene 40 plantas dentro del invernadero En un principio la solución nutritiva se compró ya preparada lo que ocasiona un costo mayor, pero como trabajo a futuro y con el fin de reducir el costo de esta se optara por prepararla comprando todos los nutrientes, de esta forma se pretende reducir el gasto y mejorar la calidad del producto.

Cuadro 6.3: Costo de envases y embalajes.

| | Cantidad por lote | +3 %de la merma | Costo por pieza | Consumo anual | Costo anual (pesos) |
|-----------------------|-------------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------------|
| Bolsa negra | 40 | 43 | 0.90 | 86 | \$ 77.50 |
| Charolas germinadoras | 1 | - | 60 | 2 | 120.00 |
| Caja de cartón | 32 | 35 | 5 | 70 | 350.00 |
| | | | | Total | \$ 547.50 |

Cuadro 6.4: Otros materiales.

| | Consumo bimensual | Consumo anual | Costo unitario | Costo anual (pesos) |
|-------|-------------------|---------------|----------------|---------------------|
| Jabón | 0.5 | 3Kg | 25 | \$75 |
| Cloro | 0.5 | 3Lts | 10 | \$30 |
| Fibra | 2 | 12pz | 8 | \$96 |
| | | | Total | \$ 201.00 |

Consumo de energía eléctrica.

El consumo de energía eléctrica se calcula tomando en cuenta el consumo de los equipos instalados y el precio por /kw/h de la región obteniendo el costo total a pagar en un año de energía eléctrica. La siguiente tabla 6.5 muestra el consumo individual por día y por año de cada uno de los equipos que requieren electricidad para su funcionamiento.

Cuadro 6.5: Consumo de energía eléctrica.

| Equipo | Unidades | Número de motores | HP motor | Consumo Kw/h/motor | h/día | Consumo Kw-h/día |
|------------------|----------|-------------------|----------|--------------------|--------------|------------------|
| Bomba de agua | 1 | 1 | 1/2 Hp | 0.368 | 1 | 0.368 |
| Bomba centrífuga | 1 | 1 | - | 0.18 | 1.5 | 0.27 |
| Fuente PC | 1 | - | - | 0.25 | 24 | 6 |
| Calefactor | 1 | - | - | 1.15 | 6 | 9 |
| | | | | | Total | 15.638 |

Consumo anual = consumo diario total x 300 = 15.638 x 365 = 5,708 kw/h

Más un 5% adicional de imprevistos:

Consumo total = 5,708 x 1.05 = 5,994 kw/año

Carga total por hora = 5,994 kw/año x 1 año/12mese x 1 mes/ 30 días x 1 día/24 h= 0.6938 kw/h

Demanda concentrada = 70% de la carga total = 0.6938 x 0.7 = 0.5 kw/h

Cargo por mantenimiento: 25% adicional sobre la carga total

Carga total neta = 5,994 kw/año x 1.25 = 7,495 kw/año

Costo = 0.727 pesos/kw/h (costo tomado de un recibo de luz emitido por la CFE)

Horas por año = 24 h/día x 365 días/año = 8,760 h

Costo anual = 0.5 kw/h x 8,760 h/año x 0.727 pesos/kw = 3,185 pesos/año

Consumo de agua

El agua consumida diariamente es:

- Riego diario a 40 plantas = 48 Litros
- Aspersores para aumentar la humedad = 10 Litros

Consumo diario total = 58 litros

- Lavado de sustrato cada 6 meses = 300 litros
- Lavado de tanques cada 6 meses = 50 litros

-Consumo semestral total= 350 litros

-Consumo anual = 58 L/día x 365 + 350 L/semestral x 2 = 21,870 litros

-Consumo anual total = 21,870 L/año + 5 % imprevistos = 23 m³/año

De acuerdo con la tarifa vigente para el consumo industrial de agua, que es de 16.17 ([CONAGUA]) pesos/m³, se tiene un costo anual de:

-Costo anual = 16.17 pesos/m³ x 23 m³/año = 372 pesos/año

Mantenimiento

El costo del mantenimiento implica una revisión periódica de los sistemas de bombeo, de la circuitería en general y la tubería con los goteros utilizados en el sistema de riego. Los equipos que necesitan mantenimiento son:

- Bombas de agua
- Calefactor
- Ventilador
- Tablero de control
- Tubería y goteros para el riego

El costo por aplicar mantenimiento preventivo a los equipos mencionados asciende a un 4% al año de su valor de adquisición. [Urbina.2007] Esto es:

Costo de adquisición de equipos x 0.04 = 3460 x 0.04 = 139 pesos/año

El costo interno por proporcionar mantenimiento a la planta se calcula

como el 2% del costo total del inmueble, sin incluir a los activos que recibirán mantenimiento externo. [Urbina.2007] Este costo asciende a \$198.00 anuales. Por lo tanto, el costo de mantenimiento anual es:

- Costo de mantenimiento externo \$ 139.00
- Costo de mantenimiento interno \$ 198.00
- Total anual \$ 337.00

Costo total de producción del invernadero

En la tabla 6.6 se muestra el costo total que tendría la producción anual de kilogramos de jitomate.

Cuadro 6.6: Costo total de producción.

| Concepto | Costo total anual |
|-------------------------------|---------------------|
| Materia prima | \$ 8,010.00 |
| Costos de envases y embalajes | \$547.50 |
| Otros materiales | \$201.00 |
| Energía eléctrica | \$3,185.00 |
| Agua | \$372.00 |
| Mantenimiento | \$337.00 |
| Total | \$ 12,652.50 |

Inversión inicial en activo fijo

La inversión en activo fijo se define como la inversión monetaria en todo lo necesario para operar la empresa desde el punto de vista de producción, administración y ventas.

En la siguiente tabla 6.7 se muestra la inversión en activo fijo.

Cuadro 6.7: Activo fijo de producción.

| Cantidad | Equipo | Precio unitario en pesos | Costo Total en pesos |
|----------|------------------------------|--------------------------|----------------------|
| 1 | Sensor de temperatura D18B20 | 45 | 45 |
| 1 | Sensor de Humedad DHT22 | 100 | 100 |

Continúa en la siguiente página

Continuación de la tabla

| Cantidad | Equipo | Precio unitario en pesos | Costo Total en pesos |
|-----------------|--|---------------------------------|-----------------------------|
| 6 | Sensor de humedad relativa YL-69 | 70 | 420 |
| 1 | Transistor 2n2222 | | 15 |
| 1 | Integrado 74LS08 | 18 | 18 |
| 2 | Switch Botón | 5 | 10 |
| 1 | Relevador 127V a 12A | 25 | 25 |
| 2 | Banco de relevadores | 85 | 170 |
| 1 | Modulo puente h | 80 | 80 |
| 1 | Diodos de potencia | 5 | 5 |
| 3 | Motores de DC a 12V | 100 | 300 |
| 4 | Limit swich | 20 | 80 |
| 2 | Tarjeta Arduino Leonardo | 320 | 640 |
| 1 | Tarjeta Raspberry Pi | 1000 | 1000 |
| 1 | Termo-Ventilador | 150 | 150 |
| 1 | Bomba de agua de 1/2 Hp | 400 | 400 |
| 2 | Bomba de agua | 220 | 440 |
| 1 | Bomba sumergible | 100 | 100 |
| 3 | Electrovalvulas 1 vía | 60 | 180 |
| 2 | Flotadores Eléctricos para tinaco | 130 | 260 |
| 1 | Canaleta blanca tira de 2mts | 18.5 | 18.5 |
| 45 | Cable de uso rudo de 2 vías por metro | | 357 |
| 5 | Cable de potencia calibre 12 por metro | 18 | 90 |
| 1 | Cable telefónico de 8 vías por metro | 180 | 180 |
| 1 | Contacto dúplex | 23 | 23 |
| 1 | Clavija | 16.5 | 16.5 |
| 1 | Cable convertidor HDMI-VGA | 160 | 160 |
| 2 | Fuente de 12 V y 5V | 50 | 100 |
| | Conectores para protoboard con 40 pz | 200 | 200 |

Continúa en la siguiente página

Continuación de la tabla

| Cantidad | Equipo | Precio unitario en pesos | Costo Total en pesos |
|----------|--|--------------------------|----------------------|
| | Otros(terminales, placa fenolica, termofil, soldadura, etc.) | 170 | 170 |
| | | TOTAL | \$5,753.00 |

Con los costos totales de producción y el costo de los activos fijos de producción el costo total para la operación del invernadero es de \$19,355.50 pesos.

Terreno y obra civil

El terreno donde se colocó el invernadero fue prestado por la Universidad Autónoma de la Ciudad de México. La superficie construida es:

$$\text{Área de Producción} = 9m^2$$

Construcción con estructura en forma de cubo hecha con tubo de acero de 2" , arco para el techo tubo de acero de 1 1/4 " y tubo de acero de 1" para la puerta, cubierta de plástico blanco de polietileno para cubrir el invernadero y malla antiafidos para las ventanas, todo esto con un costo de \$ 4,232.00 pesos.

Nota: Este costo incluye el gasto de la pintura con la que se pintó la estructura.

La zona donde se encuentran los tanques, tiene un área de $1.2m^2$ y se colocó una estructura de acero para que se montaran sobre esta los tanques. Esta estructura tiene un costo de \$ 350.00 pesos. La siguiente tabla 6.8 muestra los costos de terreno y obra civil.

Presupuesto final

A través del análisis económico realizado a este proyecto, donde se obtuvieron los costos de operación, producción y el costo de la obra civil en la siguiente tabla 6.9 se muestra el costo total del invernadero para producir jitomate durante un año.

Cuadro 6.8: Costo total del terreno y obra civil.

| Concepto | Costo en pesos |
|------------------------------|-------------------|
| Terreno | — |
| Construcción del invernadero | \$ 4,232.00 |
| Zona de tanques | \$ 350.00 |
| Total | \$ 4582.00 |

Cuadro 6.9: Presupuesto para producir jitomate durante un año.

| Concepto | Costo en pesos |
|---------------------------|---------------------|
| Costo total de operación | \$12,652.50 |
| Activo fijo de producción | \$ 5,753.00 |
| Terreno y obra civil | \$ 4,582.00 |
| Total | \$ 22,987.50 |

El presupuesto necesario para producir jitomate durante un año es de \$ 22,987.50 cabe señalar que este costo incluye desde la construcción del invernadero hasta la cosecha de jitomate durante 2 periodos.

INVERSIÓN INICIAL

En las siguientes tablas 6.10 y 6.11 se enlistan cada uno de los materiales que se compraron para la construcción física, así como los circuitos electrónicos utilizados en la automatización de todo el sistema, estos materiales se muestran tanto en cantidad como en costo.

Cuadro 6.10: Material electrónico utilizado en la automatización del invernadero.

| Piezas | Descripción del material electrónico | Costo unitario en pesos | Costo Total en pesos |
|--------|--------------------------------------|-------------------------|----------------------|
| 1 | Sensor de temperatura D18B20 | 45 | 45 |
| 1 | Sensor de Humedad DHT22 | 100 | 100 |
| 6 | Sensor de humedad relativa YL-69 | 70 | 420 |
| 1 | Transistor 2n2222 | | 15 |
| 1 | Integrado 74LS08 | 18 | 18 |
| 2 | Switch Botón | 5 | 10 |

Continúa en la siguiente página

Continuación de la tabla

| Piezas | Descripción del material electrónico | Costo unitario en pesos | Costo Total en pesos |
|---------------|---|--------------------------------|-----------------------------|
| 1 | Relevador 127V a 12A | 25 | 25 |
| 2 | Banco de relevadores | 85 | 170 |
| 1 | Modulo puente h | 80 | 80 |
| 1 | Diodos de potencia | 5 | 5 |
| 3 | Motores de DC a 12V | 100 | 300 |
| 4 | Limit swich | 20 | 80 |
| 2 | Tarjeta Arduino Leonardo | 320 | 640 |
| 1 | Tarjeta Rasberry Pi | 1000 | 1000 |
| 1 | Termo-Ventilador | 150 | 150 |
| 1 | Bomba de agua de 1/2 Hp | 400 | 400 |
| 2 | Bomba de agua | 220 | 440 |
| 1 | Bomba sumergible | 100 | 100 |
| 3 | Electrovalvulas 1 vía | 60 | 180 |
| 2 | Flotadores Eléctricos para tinaco | 130 | 260 |
| 1 | Canaleta blanca tira de 2mts | 18.5 | 18.5 |
| 45 | Cable de uso rudo de 2 vías por metro | | 357 |
| 5 | Cable de potencia calibre 12 por metro | 18 | 90 |
| 1 | Cable telefónico de 8 vías por metro | 180 | 180 |
| 1 | Contacto dúplex | 23 | 23 |
| 1 | Clavija | 16.5 | 16.5 |
| 1 | Cable convertidor HDMI-VGA | 160 | 160 |
| 2 | Fuente de 12 V y 5V | 50 | 100 |
| | Conectores para protoboard con 40 pz | 200 | 200 |
| | Otros(terminales, placa fenolica, termofil, soldadura, etc..) | 170 | 170 |
| | | TOTAL | \$5,753.00 |

Cuadro 6.11: Material e insumos para la construcción del invernadero.

| Descripción del material | Piezas | Costo unitario en pesos | Costo Total en pesos |
|---|---------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Tubo de 2" de acero para invernadero 6m | 8 | 156 | 1248 |
| Tubo de 1" de acero para puerta 6m | 1 | 80 | 80 |
| Tubo de 1" 1/4 de acero para arcos | 2 | 132 | 264 |
| Esquineros de acero de 3" 1/2 | 50 | 3.5 | 175 |
| Solera de 13x3 MM | 6 | 31.5 | 189 |
| Solera 25x3 MM | 2 | 61 | 122 |
| Pija de acero 12 x 3/4 suelta | 100 | 36 | 36 |
| Pija de acero 12x3/4 caja con 100pz | 3 | 21.5 | 64.5 |
| Remaches 5/32 a 1/4" | 100 | 0.43 | 43 |
| Brocas para acero | 10 | 10 | 100 |
| Pintura de aceite color gris 1Lt | 1 | 95 | 95 |
| Pintura en aerosol color gris en lata | 1 | 42 | 42 |
| Thiner galón | 1 | 83.5 | 83.5 |
| Broche para puerta | 1 | 8.5 | 8.5 |
| Plástico Blanco para invernadero por kilo | 18.6 | 70 | 1302 |
| Malla antiafidos para invernadero por metro | 5 | 80 | 400 |
| Charola para germinar | 2 | 50 | 100 |
| Tanque para fumigar 2Lts | 1 | 55 | 55 |
| Semilla de jitomate saladette en sobre | 1 | 20 | 20 |
| Agrolita en bolsa de 1kg | 5 | 15 | 75 |
| Agrolita en saco | 1 | 9 | 95 |
| Fibra de coco en bolsa de 1KG | 5 | 15 | 75 |
| Fibra de coco en paca | 2 | 182 | 364 |
| Solución nutritiva | 9 | 50 | 450 |
| Insecticida orgánico | 5 | 30 | 150 |
| Repelente orgánico (ajo) | 2 | 30 | 60 |
| Bolsa negra para maceta por kg | 1 | 44 | 44 |

Continúa en la siguiente página

Continuación de la tabla

| Descripción del material | Piezas | Costo unitario en pesos | Costo Total en pesos |
|--|---------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Tanques de agua 150 Lts. | 2 | 200 | 400 |
| Tapones de plástico de 1"1/2 | 5 | 5 | 25 |
| Gotero Autocompensante para riego localizado de 4 LPH Negro | 20 | 3.2 | 64 |
| Micro Estaca de Laberinto para Riego Localizado | 30 | 1.57 | 47.1 |
| Adaptador o Distribuidor de 2 salidas para gotero | 10 | 0.78 | 7.8 |
| Adaptador o Distribuidor de 4 salidas para microtubo de 5 mm | 10 | 1.63 | 16.3 |
| Metro de Micro Tubín de 5/3 de milímetro | 20 | 3.2 | 64 |
| Metro de manguera o poliducto de 16 mm. Diámetro, calibre 45 mil | 10 | 4.24 | 42.4 |
| Anillo o Clip para tutorar Tomate por pieza | 30 | 0.49 | 14.7 |
| Costo del envío estafeta más IVA | | 147.35 | 147.35 |
| Tubo pvc de 1"6mts | 1 | 105 | 105 |
| Tubo pvc de 3/4"6mts | 1 | 100 | 100 |
| Codos, coplees , tapones y adaptadores de pvc | 30 | 380 | 380 |
| Abrazaderas, tornillos, tuercas, etc. | | 180 | 180 |
| Manguera de plástico color verde de 1/2" por metro | 50 | 6 | 300 |
| Manguera de plástico transparente de 1" por metro | 2 | 12 | 24 |
| Manguera de plástico color azul de 1/2" por metro | 2 | 10 | 20 |
| Palos de madera de 1" | 2 | 55 | 110 |
| Material Hydroenvironment | 1 | 1075 | 1075 |
| Curso de Jitomate hidropónico | 1 | 1012.5 | 1012.5 |
| Cancel | 1 | 350 | 350 |
| Cajón de madera para el tablero | 1 | 200 | 200 |
| Tablero de madera de 70x55cm | 1 | 40 | 40 |

Continúa en la siguiente página

Continuación de la tabla

| Descripción del material | Piezas | Costo unitario en pesos | Costo Total en pesos |
|--|--------|-------------------------|----------------------|
| Otros (hule cristal, palos de madera, rafia negra, etc...) | | | 60 |
| Total | | | \$10,525.65 |

Como inversión inicial para construir el invernadero y una producción durante 1 año fue de \$ 16,278.65 esta cifra incluye todo el material y la circuitería electrónica que se utilizó, pero no incluye el gasto en agua y energía eléctrica ya que este fue absorbido por la universidad.

6.1 Análisis del punto de equilibrio

El análisis del punto de equilibrio es una técnica útil para estudiar las relaciones entre los costos fijos, los costos variables y los beneficios. El punto de equilibrio es el nivel de producción en el que los beneficios por ventas son exactamente iguales a la suma de los costos fijos y los costos variables.

La utilidad que se le da en general a este cálculo es que es posible determinar con mucha facilidad el punto mínimo de producción al que debe operarse para no incurrir en pérdidas, sin que esto signifique que aun que haya muchas estas sean suficientes para hacer rentable el proyecto. [Urbina.2007]

El punto de equilibrio se puede calcular de forma gráfica tal como se muestra en grafica de la figura 6.1 y de forma matemática como se describe a continuación.

Los ingresos están calculados como el producto del volumen vendido por su precio, $\text{ingresos} = P \times Q$. Se designa por costos fijos a CF , y los costos variables se designan por CV . En el punto de equilibrio, los ingresos e igualan a los costos totales:

$$P \times Q = CF + CV$$

| Concepto | Costo en pesos |
|------------------|----------------|
| Ingresos | \$ 32,000.00 |
| Costos totales | \$ 12,652.50 |
| Costos variables | \$ 350.00 |
| Costos fijos | \$ 12,311.50 |

Cuadro 6.12: Clasificación de costos.

Para determinar el punto de equilibrio por la formula $Q = F/P-V$ donde: Q= punto de equilibrio en unidades; F= Costos fijo= 12,311.50; P=precio unitario del producto = 20.00 precio/kg; V= costo variable unitario = \$ 0.22 precio/kg.

De la tabla 6.12 se toman los valores para hacer el cálculo:

$$\text{Costo variable unitario} = 350 \div 1600 = 0,22\text{precio/kg}$$

$$Q = 12,311.50 / 20 - 0.22 = 622.42 \text{ Kg de jitomate}$$

Punto de equilibrio en pesos es:

$$F / (1 - v/p) = 12448,43\text{pesos}$$

Para graficar el punto de equilibrio se traza una línea paralela al eje horizontal a un nivel de costos fijos de \$12,311.50. Luego, desde el origen se traza otra línea hasta el punto donde esta un ingreso de \$ 32,000.00. El punto donde se cruzan las dos líneas es el punto de equilibrio donde tenemos una producción de 623 kg y unos costos totales de 12,625.50.

Para obtener la gráfica utilizar las siguientes expresiones:

$$Y = m * x + b$$

Ingreso total = precio de venta por unidad * x

Costo total= costo variable unitario * x + costo fijo

x es la cantidad de producto.

Graficar las dos ecuaciones.

La siguiente gráfica 6.1 muestra el punto de equilibrio del invernadero implementado.

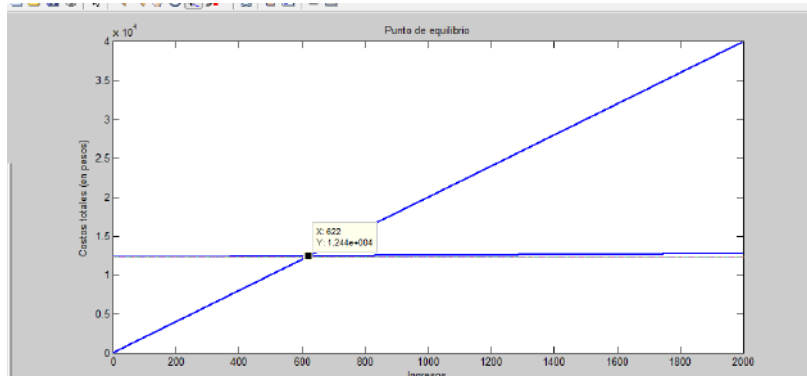


Figura 6.1: Gráfica que muestra el punto de equilibrio del invernadero. (Elaboración propia)

6.2 Análisis FODA

La sigla FODA, es un acrónimo de Fortalezas (factores críticos positivos con los que se cuenta), Oportunidades, (aspectos positivos que podemos aprovechar utilizando nuestras fortalezas), Debilidades, (factores críticos negativos que se deben eliminar o reducir) y Amenazas, (aspectos negativos externos que podrían obstaculizar el logro de nuestros objetivos).

También se puede encontrar en diferentes bibliografías en castellano como “Matriz de Análisis DAFO”, o bien “SWOT Matrix” en inglés. (Matrizfoda.com)

DAFO: Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades.
SWOT: Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats.

La matriz FODA es una herramienta de análisis que puede ser aplicada a cualquier situación, individuo, producto, empresa, etc, que esté actuando como objeto de estudio en un momento determinado del tiempo. Es como si se tomara una radiografía” de una situación puntual de lo particular que se esté estudiando. Las variables analizadas y lo que ellas representan en la matriz son particulares de ese momento. Luego de analizarlas, se deberán tomar decisiones estratégicas para mejorar la situación actual en el futuro.

El análisis FODA es una herramienta que permite conformar un cuadro de la situación actual del objeto de estudio (persona, empresa u organización, etc) logrando de esta manera obtener un diagnóstico preciso que permite, en

función de ello, tomar decisiones acordes con los objetivos y políticas formulados.

Luego de haber realizado el primer análisis FODA, se aconseja realizar sucesivos análisis de forma periódica teniendo como referencia el primero, con el propósito de conocer si estamos cumpliendo con los objetivos planteados en nuestra formulación estratégica. Esto es aconsejable dado que las condiciones externas e internas son dinámicas y algunos factores cambian con el paso del tiempo, mientras que otros sufren modificaciones mínimas. La frecuencia de estos análisis de actualización dependerá del tipo de objeto de estudio del cual se trate y en qué contexto lo estamos analizando.

El objetivo primario del análisis FODA consiste en obtener conclusiones sobre la forma en que el objeto estudiado será capaz de afrontar los cambios y las turbulencias en el contexto, (oportunidades y amenazas) a partir de sus fortalezas y debilidades internas. Ese constituye el primer paso esencial para realizar un correcto análisis FODA. Cumplido el mismo, el siguiente consiste en determinar las estrategias a seguir.

Para comenzar un análisis FODA se debe hacer una distinción crucial entre las cuatro variables por separado y determinar qué elementos corresponden a cada una.

A su vez, en cada punto del tiempo en que se realice dicho análisis, resultaría aconsejable no sólo construir la matriz FODA correspondiente al presente, sino también proyectar distintos escenarios de futuro con sus consiguientes matrices FODA y plantear estrategias alternativas.

Tanto las fortalezas como las debilidades son internas de la organización, por lo que es posible actuar directamente sobre ellas. En cambio las oportunidades y las amenazas son externas, y solo se puede tener injerencia sobre ellas modificando los aspectos internos.

A continuación se explicara cada una de las partes de la matriz FODA [Matrizfoda.com]:

Fortalezas: son las capacidades especiales con que cuenta la empresa, y que le permite tener una posición privilegiada frente a la competencia. Recursos que se controlan, capacidades y habilidades que se poseen, actividades que se desarrollan positivamente, etc.

Oportunidades: son aquellos factores que resultan positivos, favorables, explotables, que se deben descubrir en el entorno en el que actúa la empresa, y que permiten obtener ventajas competitivas.

Debilidades: son aquellos factores que provocan una posición desfavorable frente a la competencia, recursos de los que se carece, habilidades que no se poseen, actividades que no se desarrollan positivamente, etc.

Amenazas: son aquellas situaciones que provienen del entorno y que pueden llegar a atentar incluso contra la permanencia de la organización.

En base a la definición anterior y después de realizar un estudio de nuestro sistema (Invernadero) se elaboró la siguiente matriz FODA (ver cuadro 6.13) donde se expresan cada uno de los campos: fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas.

ANÁLISIS FODA

Dentro de las fortalezas de nuestro análisis se destaca la utilización de un sistema de bajo costo y de fácil mantenimiento como ejemplo de esto se tiene los sensores de nivel que son flotadores eléctricos comunes que se utilizan en los hogares y que se encuentran fácilmente, además de que la instalación de estos es muy fácil y por ello si se llegara a dañar también es posible reemplazarlos de forma muy sencilla esto hace posible la reducción del personal de mantenimiento externo que en la mayoría de los casos es muy costosa, otro ejemplo son las tarjetas que controlan al sistema, son tarjetas baratas y que se encargan de toda la lógica del sistema de automatización en caso de que se dañen también pueden reemplazarse fácilmente, en caso de que no se dañe por completo pero se presente alguna falla en el sistema es posible una reprogramación para corregir el error, lo cual resulta sencillo ya que la programación es modular, una vez encontrado el error solo bastara con cambiar algunas líneas de código lo cual llevara poco tiempo sin verse afectada la producción. Y solo se requerirá de una persona que tenga conocimiento del lenguaje de programación que tienen las tarjetas.

Otro de los grandes beneficios de este sistema es que puede ser monitoreado desde cualquier otro lugar fuera del invernadero es decir desde una PC o un teléfono celular solo se necesita acceso a internet y la dirección de la página web que es la encargada de mostrar el funcionamiento del invernadero, esto es una gran herramienta para el usuario ya que podrá realizar otras

| | |
|--|---|
| <p>FORTALEZAS</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Automatización con sistemas de bajo costo y de fácil mantenimiento. ▪ Monitoreo vía remota sin estar en el sitio ▪ Escalabilidad ▪ Sistema adaptable a diferentes climas. ▪ Reducción de personal | <p>OPORTUNIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Tendencia actual de utilizar técnicas alternativas de producción agrícolas y energías sustentables ▪ Mercado en crecimiento y poco explotado ▪ Posibilidad de manejo de diferentes especies de jitomate |
| <p>DEBILIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Capacidad financiera limitada para escalar el sistema ▪ Falta de experiencia en el cuidado y producción del jitomate ▪ Falta de conocimiento en el preparado de la solución nutritiva | <p>AMENAZAS</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Mala calidad del agua ▪ Zona de diversas plagas ▪ Costos variados del jitomate en la zona ▪ Costo alto en la solución nutritiva |

Cuadro 6.13: ANALISIS FODA

actividades y al mismo tiempo saber el comportamiento del sistema.

En cuanto a la escalabilidad del sistema, el invernadero puede ser de un mayor o menor tamaño dependiendo las necesidades del usuario y esto por ende traerá consigo un incremento o reducción en el costo de diseño y construcción del invernadero.

Este sistema puede adaptarse a las condiciones climáticas de cada zona, ya que se monitorean las condiciones climáticas como temperatura, humedad relativa y humedad del suelo y en base a estas el sistema escapas de controlar y modificar estas variables, para que dentro del invernadero se tengan las condiciones óptimas para el desarrollo y producción del jitomate.

En lo que se refiere a las oportunidades se pretende como trabajo a futuro utilizar energías renovables como la solar o la eólica (dependiendo de las condiciones de viento de la zona) para alimentar al sistema.

También se piensa la producción de algunas otras variedades de jitomate y algunas otras hortalizas que puedan desarrollarse dentro del mismo invernadero sin modificaciones al sistema o algunas muy pequeñas.

Como es un mercado con poco desarrollo se pretende darle difusión exponiendo los beneficios que contrae este tipo de sistemas como lo son un producto de mejor calidad una mayor producción y una inversión inicial baja en comparación con las ganancias obtenidas.

Una de las debilidades que más afecto este trabajo fue la poca experiencia en el cuidado y producción del jitomate, pues al ser la primera vez que se maneja un cultivo no se cuenta con los conocimientos y experticia necesaria para el cuidado de las plantas, esto contrajo que se presentaran diversas enfermedades y plagas o algunas deficiencias en la solución nutritiva lo que aminoro la producción y redujo el número de plantas. Esta falta de conocimiento se vio mermada, ya que no se tenían los recursos financieros necesarios para poder tomar más cursos sobre el tema. Una forma de aminorar o eliminar esta debilidad es mediante la obtención de recursos monetarios, ya sea con algunos productores o instituciones a las que les interese este sistema.

Las amenazas con las que se está trabajando son: la mala calidad del agua, esto afecta directamente a nuestra planta, ya que existe una variación en el pH de la mezcla de solución nutritiva con el agua y esto provoca que la planta no absorba de manera correcta la solución nutritiva generando pro-

ductos de mala calidad, enfermos y en el peor de los casos enfermedades en las plantas y muerte de estas; otra amenaza es la diversidad de plagas que se encuentran en la zona, esto repercutió en mucho en el crecimiento de las plantas ya que era necesario tener un tratamiento de fungicidas más fuerte para poder eliminar o controlar mejor cada una de las plagas que se presentaron, el fungicida que se maneja es un fungicida orgánico y aunque en un principio ayudo en el control de plagas cuando se presentaron infecciones por hongos solo ayudo a controlarlas pues no se logró eliminarlos por completo.

El costo alto en la solución también es una amenaza para nuestro sistema ya que uno de los objetivos es minimizar costos pero al comprar la solución ya preparada esto no se pudo conseguir, para poder contrarrestar esto se pretende comprar todos los elementos y preparar la solución esto ayudará de dos formas una minimizar costos y dos que es el más importante tener una solución adecuada para cada etapa de crecimiento de la planta ya que necesita diferentes cantidades de nutrientes durante su desarrollo.

Una vez identificadas las oportunidades y amenazas estas se podrán corregir con ayuda de las fortalezas y debilidades de nuestro sistema y esto es para trabajo a futuro.

En la siguiente matriz 6.14 se muestran las estrategias a seguir para maximizar fortalezas y oportunidades y minimizar debilidades y amenazas.

6.2. ANÁLISIS FODA

| Factores externos | Factores internos | |
|--|--|---|
| <p>OPORTUNIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Tendencia actual de utilizar técnicas alternativas de producción agrícolas y energías sustentables. ▪ Mercado en crecimiento y poco explotado. ▪ Posibilidad de manejo de diferentes especies de jitomate. | <p>FORTALEZAS</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Automatización con sistemas de bajo costo y de fácil mantenimiento. ▪ Monitoreo vía remota sin estar en el sitio ▪ Escalabilidad ▪ Sistema adaptable a diferentes climas. ▪ Reducción de personal | <p>DEBILIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Capacidad financiera limitada para escalar el sistema ▪ Falta de experiencia en el cuidado y producción del jitomate ▪ Falta de conocimiento en el preparado de la solución nutritiva. |
| <p>AMENAZAS</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Mala calidad del agua ▪ Zona de diversas plagas ▪ Costos variados del jitomate en la zona ▪ Costo alto en la solución nutritiva | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Establecer alianzas estratégicas con productores de jitomate para el intercambio de conocimientos y tecnología. ▪ Integrar sistemas de alimentación eléctrica con energías renovables. ▪ Buscar la posibilidad de producir otras hortalizas | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Buscar programas de apoyo al campo y la agricultura para utilizar nuevas tecnologías en su producción, generando así recursos financieros. ▪ Desarrollar e impulsar el uso de humus orgánico en la producción de jitomate. ▪ Dar difusión de la hidroponía y sus beneficios a la gente de la zona mediante pequeños cursos. |
| | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Elaboración de una solución nutritiva propia. ▪ Optimizar los recursos eléctricos para reducir gastos y mejorar el precio de venta del producto. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Buscar orientación especializada en el manejo y producción de jitomate, así como en la elaboración de la solución nutritiva. ▪ Implementar programas de mejora continua y calidad total para evitar enfermedades y deficiencias y así obtener un producto de calidad. |

Cuadro 6.14: MATRIZ FODA (Elaboración propia)

Capítulo 7

Resultados, discusión y conclusiones

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos en este proyecto.

Se describen los resultados de la integración tecnológica para el desarrollo de toda la automatización y control de los sistemas de temperatura, humedad y riego, así como un estudio sobre el producto y su consumo, esto para poder comprobar la calidad del jitomate obtenido comparándolo con productos que se encuentran actualmente en el mercado.

7.1 Parámetros de calidad

Dentro de la industria del jitomate existen una serie de parámetros que debe cumplir el jitomate para ser un producto de buena calidad y este sea adecuado para su venta.

En el caso de pequeños productores generalmente no se cumplen todos estos parámetros de calidad, pero si tratan de cubrir las más importantes para que su producto sea atractivo al cliente y tenga una venta exitosa.

A continuación se enlistan los parámetros que debe cumplir el jitomate para ser un producto de calidad.

- **Color.**El color del fruto maduro debe ser rojo intenso y uniforme. Además la variedad del jitomate, está influenciado por el estado de maduración del fruto en el momento de la recolección. El color en el tomate es

una característica de calidad extremadamente importante, ya que determina la madurez y vida post cosecha, y es el factor determinante en cuanto a la aceptabilidad por parte del consumidor.

- Contenido en sólidos totales y sólidos solubles. Ambos índices informan sobre la cantidad de sólidos del fruto de tomate y están correlacionados. A nivel práctico se utiliza normalmente el contenido en sólidos solubles conocido como ° Brix, por ser más fácil de determinar analíticamente mediante el equipo denominado refractómetro. Es el índice que más influye sobre el rendimiento de la producción puesto que el objetivo del proceso de transformación es aumentar la concentración en sólidos solubles hasta los límites requeridos por la legislación (puré, concentrado simple, concentrado doble, triple concentrado, etc.) La mayor parte de las variedades contienen entre 4,5° y 5,5° Brix, aunque, más que la etapa de maduración, lo que influye sobre el contenido en sólidos solubles son factores agrológicos, especialmente la climatología durante el período de maduración y el riego (volumen total de agua, momento de corte de riego, etc.) que pueden hacer variar el contenido en ° Brix para frutos de una misma variedad entre 4° y 7°.
- pH. Informa sobre la acidez del tomate. El valor de pH hace que el tomate sea un producto relativamente fácil de manejar a nivel industrial. Su bajo pH lo hace poco atractivo a la contaminación microbiana siendo suficiente la pasteurización para su envasado tras el proceso de concentrado.
- Consistencia. Este parámetro es fundamental en el tomate concentrado para la fabricación posterior de algunos elaborados que requieren alto espesor, especialmente el "Ketchup". La viscosidad (o consistencia) es una característica inherente a la variedad de tomate. Una buena consistencia se mide mediante el contenido de sólidos y solubles Bostwick (12° Brix a 20°C) y esta debe ser máxima 12 cm³/seg.
- Test de Blotter. Este parámetro está relacionado con la textura del producto transformado de tomate. Para su análisis se emplea un papel de porosidad especial. Los productores de tomate controlan la textura del tomate como criterio de calidad para la venta de sus productos usando el Blotter test, técnica rápida, cómoda y sencilla. Este debe tener una tolerancia máxima de 12mm determinado a 12,5° Brix, 7ml a 25°C durante 30min.
- Carotenoides y licopeno. El licopeno es un pigmento vegetal, soluble en grasas, que aporta el color rojo característico a los tomates y a otras

frutas y verduras. Pertenece a la familia de los carotenoides como el β -caroteno o la luteína, sustancias que no sintetiza el cuerpo humano, sino los vegetales y algunos microorganismos, debiéndolo tomar en la alimentación como micronutriente. Posee propiedades antioxidantes y actúa protegiendo a las células del organismo del estrés oxidativo producido por los radicales libres. El contenido de caroteno y licopeno en el tomate fresco se cuantifica mediante el secado por aspersión, utilizando cromatografía de líquidos de alta resolución para la cuantificación.

- Acidez total y azúcares reductores. Ambos caracteres influyen sobre el sabor del fruto. La acidez es calculada como porcentaje en ácido cítrico contenido en el fruto este va desde 0.2 % hasta 0.09 % y este descenso en el grado de acidez se da debido al proceso de maduración.
- Control microbiológico. Paralelamente a la caracterización físico-química del producto elaborado a base de tomate, hay que hacer un análisis exhaustivo para garantizar la inocuidad del producto, es decir un control microbiológico, ya que la seguridad es la base para ingresar en los mercados más exigentes. . Dentro de este control se tienen los siguientes parámetros:

- La temperatura es un factor importante en el deterioro de alimentos desde el punto de vista microbiológico, ya que la tasa de crecimiento específica y el tiempo de latencia microbiana es altamente dependiente de este parámetro.

- El pH es un valor que indica si un alimento es ácido, neutro o básico. El pH controla las diversas reacciones químicas, bioquímicas y microbiológicas que ocurren en los productos vegetales, en general, las bacterias crecen con mayor rapidez a pH comprendidos entre 6,0 y 8,0; las levaduras entre 4,5 y 6,0 y los hongos filamentosos entre 3,5 y 4,0. El pH afecta de forma significativa a dos aspectos de una célula microbiana: el funcionamiento de sus enzimas y el transporte de nutrientes al interior de la célula.

- El potencial redox es un parámetro utilizado para caracterizar el ambiente en que un microorganismo es capaz de generar energía y sintetizar nuevas células. Los microorganismos aerobios necesitan para crecer valores redox positivos (presencia de oxígeno), mientras que los anaerobios requieren valores redox negativos (ausencia de oxígeno). La

mayoría de los microorganismos importantes para la salud, en los alimentos, son facultativos, osea, pueden crecer en presencia y ausencia de oxígeno.

- La actividad de agua (a_w) se refiere al agua que se encuentra en los alimentos, no involucrada o ligada con el soluto. La mayoría de los microorganismos y especialmente, las bacterias se desarrollan a a_w cercanas a 1 (0,993 a 0,998), siendo la a_w del agua pura de 1. A medida que disminuye la a_w , la velocidad de crecimiento disminuye y la fase de latencia aumenta, conservándose mejor los alimentos.

- Manipulación del producto. Las frutas y hortalizas, una vez que han sido cosechadas, se contaminan debido a la manipulación, el contacto con el suelo y con superficies y/o equipos contaminados. Cuando se producen daños mecánicos tales como cortaduras y golpes, aumenta la posibilidad y la tasa de deterioro, ya que los microbios invaden los tejidos internos.

- Los principales síntomas producidos por bacterias en el tomate son: secreciones, podredumbres suaves o blandas, podredumbres secas, chancros, manchas en el fruto, entre otros. En particular, el género *Lactobacillus* se encuentra en la mayoría de las hortalizas, si no en todas, junto con algunas otras bacterias acidolácticas, al igual que el género *Pseudomonas*, conformado por bacterias típicas de la tierra y el agua, que están muy difundidas en los alimentos, en particular entre las hortalizas, y son el grupo de bacterias más importante de las que alteran los productos refrigerados.

- Residuos. Otros parámetros a tener en cuenta a la hora de evaluar la calidad y la inocuidad de un producto a base de tomate, es su contenido en residuos de plaguicidas, toxinas y metales pesados. Los plaguicidas se usan en gran cantidad en la producción, manipulación y almacenaje de cultivos en general. Algunos de los pesticidas pueden utilizarse sin causar un gran peligro a la salud general del consumidor ni al medio ambiente en caso que se sigan ciertas precauciones en su uso respecto de las dosis, la forma y tiempo de aplicación. Sin embargo, otros plaguicidas son altamente tóxicos, y requieren medidas estrictas de control respecto de su aplicación para asegurar una adecuada protección a la salud humana y animal, y al medio ambiente mismo. Las listas de niveles máximos seguros de residuos de plaguicidas en los alimentos,

emitidas por los Comités del Códex Alimentarius se consideran la mejor referencia en este sentido. (“Legislación Internacional de Residuos Contaminación microbiológica de productos a base de tomate: *Staphylococcus aureus*, *Sigheilla* y gérmenes mesófilos aerobios de Plaguicidas y Contaminantes en Productos Vegetales”. Secretaría de Estado de Turismo y Comercio, Secretaría General de Comercio Exterior), la detección de estos contaminantes y su cuantificación se llevan a cabo mediante técnicas de absorción atómica (AA) y de espectrofotometría de plasma (ICP). [Ascension, Torre & Gonzales]

En este proyecto para el producto obtenido varios de los parámetros no se lograron medir como la cantidad de sólidos totales y solubles, el Test de Blottery, el estudio de residuos y el control microbiológico, ya que no se cuentan con el equipo necesario para realizar dichas pruebas.

7.1.1 Calidad del producto, mediante pruebas de color, sabor, tamaño etc.

Nuestro jitomate fue de color rojo intenso, en cuanto el tamaño fue variado unos alcanzaron los 6cm y otro se quedaron con un tamaño de 4cm como se muestra en la figura 57, por otro lado se le proporciono el producto a una familia para que lo probaran en crudo y en diferentes guisados y se hizo una tabla donde se les pidió que evaluaran al producto en color, tamaño, sabor, textura y acides y lo calificaran como bueno, regular o malo (Bueno, Regular, Malo) ver tabla 7.1 con los resultados.

| Persona | Color | Tamaño | Sabor | Textura | Acides |
|----------------|--------------|---------------|--------------|----------------|---------------|
| | R B M | R B M | R B M | R B M | R B M |
| 1 | X - - | - X - | X - - | X - - | X - - |
| 2 | X - - | - X - | X - - | X - - | X - - |
| 3 | X - - | - X - | X - - | X - - | - X - |
| 4 | - X - | - X - | - X - | X - - | - X - |
| 5 | - X - | - - X | - X - | X - - | X - - |

Cuadro 7.1: Resultados de la encuesta realizada a 5 personas sobre la calidad del jitomate.

Podemos concluir en base a la tabla anterior que el producto es de buena calidad ya que la calificación con mayor puntaje fue la de bueno ya sea en crudo o guisado, el jitomate producido tiene buen color, tamaño, sabor, textura y acidez.



Figura 7.1: Tamaño variado de jitomate.

7.2 Resultados

La automatización de todo el sistema estuvo listo cuando las plantas tenían 3 meses después de la siembra, antes de esto el riego fue manual, se les regaba por la mañana 250 ml y por la tarde antes de meterse el sol el riego era más ligero es decir de unos 150ml. Además del riego también se llevaron a cabo tareas de fumigación estas se realizaron cuando se presentaron plagas como la mosquita blanca y el pulgón rojo y se aplicó el insecticida orgánico una vez al mes si la plaga era moderada y cada 3er día cuando la plaga era intensa.

Durante este tiempo se monitoreo la temperatura y humedad a través de un Termómetro-Higrómetro el cual fue recomendado por un productor de jitomate en Pachuca-Hidalgo donde se utiliza este instrumento de medición para medir la temperatura y la humedad en los invernaderos.

El instalar el sistema automático permitió tener un mejor monitoreo de las variables físicas (temperatura, humedad relativa y humedad del suelo) con estas lecturas y a través de las tarjetas de control las condiciones climáticas dentro del invernaderos se controlan mediante los diferentes sistemas implementados como el calefactor, el ventilador, los aspersores , los motores

encargados de abrir o cerrar las ventanas, logrando así mantener las lecturas dentro de los rangos especificados para una producción y desarrollo de una planta saludable.

Con los sensores de humedad de suelo el riego se mantuvo mejor controlado pues hace posible que el sustrato que sostiene a la planta permanezca con la humedad adecuada para el desarrollo de la planta, y mediante la técnica de riego por goteo la planta es capaz de absorber de manera más eficiente los nutrientes que se le son suministrados. Este sistema de riego reduce el desperdicio tanto de agua como de solución nutritiva ya que la humedad y riego que requiere la planta es tal que no se filtra casi nada fuera de las bolsas de cultivo.

El comportamiento del cultivo fue variado ya que algunas plantas presentaron mayor follaje, una mayor altura y un número mayor de frutos (ver foto 7.2) en cambio otras su altura fue menor pero su producción fue buena y pocas fueron las que tuvieron muy poco crecimiento con casi nada de follaje y solo algunos frutos.



Figura 7.2: Desarrollo de las plantas.

Se presentaron una serie de plagas y enfermedades como el hongo café una bacteria llamada mancha negra del tomate, la mosquita blanca y el pulgón rojo estas plagas y enfermedades fueron atacadas con insecticidas y fungicidas orgánicos, la aplicación de estos se muestra en la siguiente tabla (7.2):

| Plaga | Intensidad | Insecticida | Fungicida | Tiempo de aplicación | Estado de la planta |
|-----------------|------------|-------------|-----------|--------------------------------|--|
| Mosquita blanca | Moderada | x | x | Una vez al mes | Excelente |
| Pulgón rojo | Ligero | x | x | 3 veces por mes (abril y mayo) | Excelente |
| Hongo café | Fuerte | x | - | Cada 3er día (durante 1 mes) | Poco crecimiento y baja producción de frutos |
| Bacteria | Fuerte | - | - | - | Muerte de la planta |

Cuadro 7.2: Plagas y enfermedades que se presentaron.(Elaboración propia)

Tanto el fungicida como el insecticida son orgánicos y en un principio funcionaron bien en el control de las plagas, aunque si se presentaran plagas más fuertes se sugiere utilizar alguno de mayor efectividad.

Durante la etapa de fructificación se presentó un hongo llamado café, el cual ocasiono que las plantas dejaran de crecer aunque siguieron dando frutos estas ya no alcanzaron un tamaño mayor a los 80cm. También se presentó una bacteria (llamada mancha negra)(ver foto D.1)la cual produjo agrietamientos en los tallos de las plantas, hojas de color negro y en poco menos de una semana se murieron todas las plantas que fueron atacadas por esta bacteria.



Figura 7.3: Bacteria (mancha negra) presentada durante la fructificación.

El periodo de cosecha fue entre los meses de abril-junio el primer corte se realizó el 17 de abril y se obtuvo una producción de 2.5 kg de jitomate de 5 plantas, el segundo corte se realizó el de 30 de abril y se obtuvo 1.7 kg de jitomate de 4 plantas el tercer corte fue el 7 de mayo y fue de 1.5 kg, antes de este corte se presentó la bacteria lo cual redujo la producción ya que se murieron varias plantas, los últimos cortes se realizaron en junio y se obtuvo cerca de 4.5 kg, después de estos últimos cortes las plantas dejaron de producir.

En la segunda siembra que se realizó, el sistema ya estaba totalmente automatizado y las plantas se produjeron dentro del invernadero desde la germinación hasta la cosecha. Esto tuvo un impacto significativo en el cultivo ya que al producirse dentro del invernadero y con todo el sistema ya automatizado el desarrollo, crecimiento y producción de las plantas aumento significativamente.

A continuación se muestra una tabla 7.3 que muestra una comparación entre la 1ra y 2da siembra y cuáles fueron las mejorías y aumentos en cuanto producción, tamaño del fruto etc.

| | Primera siembra | Segunda siembra | Mejorías presentadas en la 2da siembra |
|----------------------|--|--|---|
| Tamaño planta | 60cm - 75cm | 65cm - 140cm | Aumento del 100 % en tamaño. |
| Tamaño fruto | 3cm - 5cm | 6cm - 8cm | Aumento en tamaño del 62.5 % |
| Producción | 10.2 Kg | 20.5 Kg | Aumento en un 100 % la producción. |
| Enfermedades | Hongo del café, bacteria (llamada mancha negra) y tizón | Tizón | Reducción de enfermedades |
| Estado de la siembra | Muerte de casi todas las plantas | Se logró combatir el tizón y solo se murió una planta. | Plantación completa |
| Plagas | Pulgón y mosquita blanca (no se logró eliminarlas en su totalidad) | Pulgón y mosquita blanca (se eliminaron por completo) | Combate de plagas en su totalidad. |

Cuadro 7.3: Comparación entre la 1ra y 2da siembra.

En la siguiente imagen (ver foto 7.4 se puede observar como el follaje y la altura de las plantas de la segunda cosecha es mayor así como el número de frutos.



Figura 7.4: a) Plantas de la 1ra siembra b) Plantas de la 2da siembra.

En cuanto el tamaño de los frutos se puede notar que aumento pues en la primera cosecha los frutos alcanzaron entre 3cm y 5cm, en la segunda cosecha los frutos tuvieron un tamaño de entre 6cm y 8cm. El color de los jitomates de la segunda cosecha fue un rojo más intenso y la textura y sabor también mejoraron.

A continuación se muestran las gráficas tomadas en diferentes fechas de la segunda siembra sobre el comportamiento de la temperatura, la humedad relativa y la humedad del suelo.



tenía dentro del invernadero en esa fecha y el número de datos o muestras que se tomaron, estos datos son enviados por el sensor de temperatura al arduino, luego a la pantalla de la raspberry pi y por ultimo a la página web.

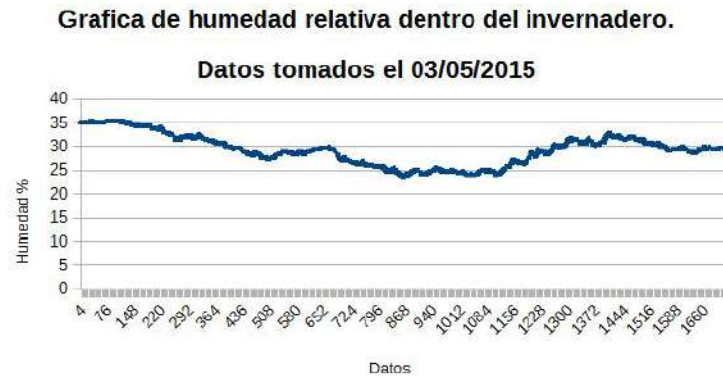


Figura 7.6: Gráfica de la humedad relativa el día 3 de Mayo del 2015

Esta gráfica 7.6 muestra el comportamiento de la humedad relativa dentro del invernadero en esa fecha, el número de datos o muestras que se tomaron, fueron enviados al arduino por el sensor de humedad, luego a la pantalla de la raspberry pi y por ultimo a la página web.

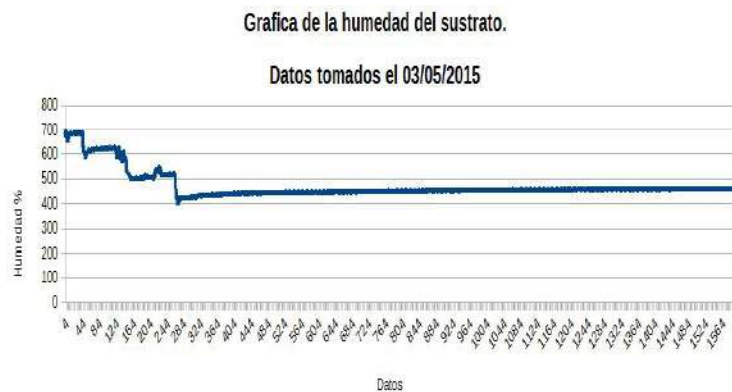


Figura 7.7: Gráfica de la humedad del sustrato el día 3 de Mayo del 2015

Esta gráfica 7.7 muestra la humedad del sustrato en las plantas, el número de datos o muestras que se tomaron, fueron enviados por los sensores de humedad del suelo al arduino, luego a la pantalla de la raspberry pi y finalmente a la página web.

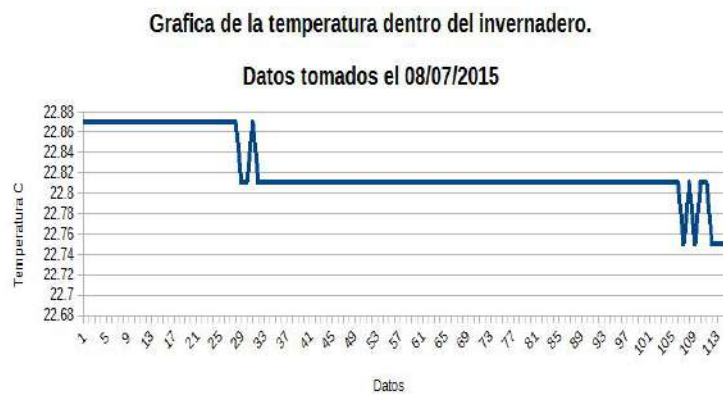


Figura 7.8: Gráfica de la temperatura el día 8 de Julio del 2015

Esta gráfica 7.8 muestra el comportamiento de la temperatura que se tenía dentro del invernadero en esa fecha y el número de datos o muestras que se tomaron, estos datos son enviados por el sensor de temperatura al arduino, luego a la pantalla de la raspberry pi y por ultimo a la página web.

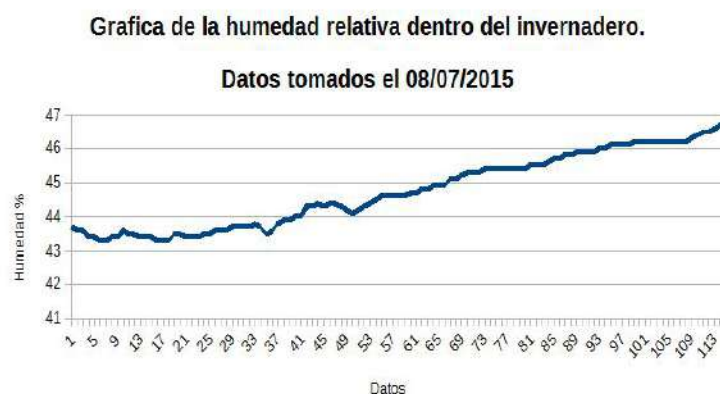


Figura 7.9: Gráfica de la humedad relativa el día 8 de Julio del 2015

Esta gráfica 7.9 muestra el comportamiento de la humedad relativa dentro del invernadero en esa fecha, el número de datos o muestras que se tomaron, fueron enviados al arduino por el sensor de humedad, luego a la pantalla de la raspberry pi y por ultimo a la página web.

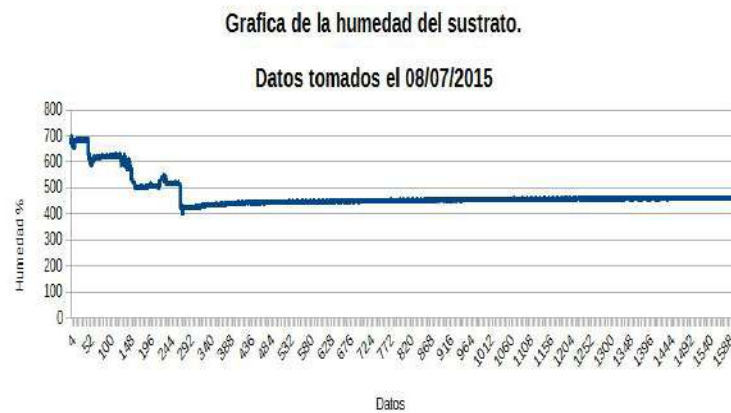




Figura 7.12: Gráfica de la humedad relativa el día 21 de Octubre del 2015

Esta gráfica 7.12 muestra el comportamiento de la humedad relativa dentro del invernadero en esa fecha, el número de datos o muestras que se tomaron, fueron enviados al arduino por el sensor de humedad, luego a la pantalla de la raspberry pi y por ultimo a la página web.

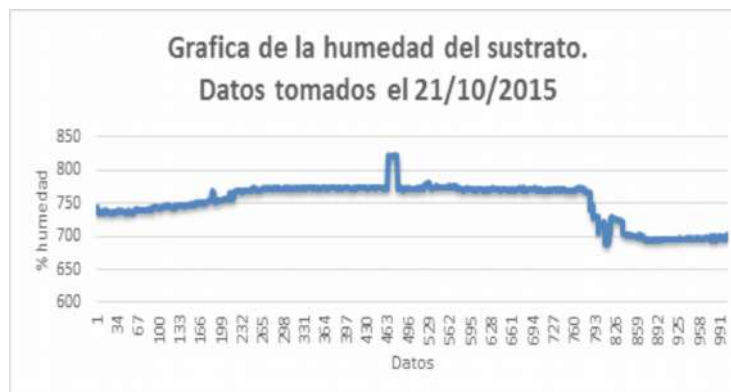


Figura 7.13: Gráfica de la humedad del sustrato el día 21 de Octubre del 2015

Esta gráfica 7.13 muestra la humedad del sustrato en las plantas, el número de datos o muestras que se tomaron, fueron enviados por los sensores de humedad del suelo al arduino, luego a la pantalla de la raspberry pi y finalmente a la página web.

Como se puede observar en las diferentes gráficas las condiciones óptimas para el desarrollo del jitomate se cumplieron ya que se requiere tener:

Temperatura mínima 22- máxima 35

Humedad relativa mínima 25 % - máxima 70 %

Humedad del sustrato mínima 50 %(500) - máxima 85 %(850)

A continuación se muestra una tabla comparativa (ver 7.4) entre los rangos teóricos (temperatura, humedad relativa y humedad del sustrato) y el promedio de los obtenidos con las gráficas anteriores.

| Variables | Rangos teóricos | Promedios de las gráficas |
|------------------------|------------------------|----------------------------------|
| Temperatura °C | Min 16°C –Max 35°C | 24.5°C |
| Humedad relativa % | Min 30 % - Max 70 % | 40 % |
| Humedad del sustrato % | Min 30 %- Max 80 % | 55 % |

Cuadro 7.4: Comparación entre rangos teóricos y rangos que se alcanzaron.

Se observa que se mantuvieron dentro de la media todas las variables que se controlaron dentro del invernadero, lo cual favoreció el crecimiento de la planta ya que se mantuvo un ambiente controlado y óptimo para ellas.

7.3 Conclusiones

Durante el desarrollo de este trabajo se presentaron algunos contratiempos los cuales influyeron negativamente en el crecimiento y producción de jitomate mencionaremos brevemente estos sucesos:

- Se presentaron intensos vientos que provocaron que el invernadero se volara llevándose consigo las plantas y toda la infraestructura como los tambos, el calefactor y el sistema de riego. Este fue el mayor problema presentado durante el desarrollo del trabajo pues al volarse el invernadero se destruyeron varias plantas disminuyendo el número de plantas y de producción, pues se redujo al 30 % de ocupación del invernadero.

- Crecimiento masivo de plagas en toda la zona y sus alrededores del invernadero, esto causo numerosas plagas y enfermedades dentro del invernadero que impactaron en el desarrollo de la planta, para contrarrestar esto, se aplicaron tratamientos intensivos con insecticidas orgánicos.

- Crecimiento masivo de maleza en todo el contorno del invernadero, esto genero que se tuviera que estar limpiando constantemente el terreo ya que la

maleza alcanzaba gran tamaño y obstruía las ventanas puerta del invernadero.

Aun con todos estos sucesos se logró el objetivo principal de este trabajo que es la automatización del invernadero.

Después de un intenso análisis sobre la cantidad de agua que requiere una planta de jitomate así como de las técnicas hidropónicas que se pueden implementar para la producción de jitomate se optó por la técnica de riego por goteo, esta técnica permitió el ahorro de agua optimizando así este recurso natural, lo cual fue uno de los principales objetivos de este trabajo.

Una vez decidida esta técnica se realizó la automatización del sistema de riego, este sistema es controlado y monitoreado todo el tiempo mediante sensores de humedad del suelo, los cuales están tomando lecturas de la humedad cada 2 segundos, estas lecturas también son enviadas a la página web permitiendo que el usuario tenga conocimiento de la humedad del sustrato en todo momento.

También se automatizó el sistema de control de temperatura y humedad del invernadero esto fue posible mediante el uso de sensores de humedad y temperatura los cuales censan estas variables todo el tiempo y cuando alguna se sale de los límites requeridos para el crecimiento de la planta entonces el sistema es capaz de accionar diversos actuadores (como calefactor, ventilación, aspersores así como los motores encargados del abrir y cerrar de ventanas) para controlar y mantener una temperatura y una humedad óptima. Estas lecturas de temperatura y humedad también son desplegadas en la página web además se tiene una gráfica que refleja el comportamiento de estas durante el día.

Al poderse controlar tanto la humedad como la temperatura dentro del invernadero, este sistema, es viable si se desea instalar el invernadero en otra zona del país con condiciones climáticas diferentes, esto es posible ya que solo bastaría con hacer una pequeña modificación al programa que está en las tarjetas para que el sistema de control responda a los cambios de temperatura y humedad de la nueva zona y de esta manera se tengan las condiciones climáticas necesarias para la producción de jitomate. Esta viabilidad es otro de los objetivos planteados al comienzo de este trabajo.

Uno de los beneficios de este sistema automatizado es que puede ser implementado en un invernadero de mayor tamaño, así como también, el mismo

invernadero puede ser reproducido a mayor escala ya que cumple con las características necesarias de infraestructura de un invernadero comercial como los que existen en diversas zonas del país.

El uso de fertilizantes e insecticidas naturales puesto que, estos productos están hechos a base de aceite de nil para el insecticida y por humus de lombriz en el caso del fertilizante, permitieron y ayudaron en el control de plagas que se presentaron durante el primer ciclo de trabajo del invernadero (noviembre 2014-mayo 2015) y ayudaron al crecimiento de las plantas, eliminando así el uso de fertilizantes sintéticos que causan daño al medio ambiente lo cual fue otro objetivo que se planteó en este trabajo.

A través de la automatización del sistema mediante el uso de las tarjetas de control (Arduino Leonardo y Raspberry Pi) se logró implementar un sistema de bajo costo y de fácil mantenimiento.

En cuanto al diseño electrónico no se modificó nada pues los componentes escogidos cumplieron con los requerimientos tanto de censado, voltaje y corriente. Los únicos que presentaron deficiencia en la etapa final del trabajo fueron los sensores de humedad del suelo ya que la corrosión adherida a estos ocasionó fallas en las lecturas de humedad, por lo que se cambiaron aquellos que presentaron deficiencia en el censado provocando alteraciones en las lecturas.

Sobre los programas cargados en las tarjetas Arduino Leonardo se realizaron algunos cambios ya que durante la implementación y pruebas del sistema completo se tenían algunos errores y estos afectaban el buen funcionamiento del sistema. Una vez corregidas estas deficiencias en la programación la automatización del sistema completo estuvo terminada y trabajando de forma correcta.

En cuanto a los costos se logró observar que la producción de jitomate en este invernadero es redituable ya que al estar automatizado se tiene un control de todas las variables que influyen en la producción de jitomate logrando tener un producto de buena calidad y una producción mucho mayor en un pequeño espacio. Además de que se reducen los gastos en agua y mano de obra.

Con todo el trabajo realizado podemos decir que mediante la implementación del sistema automatizado y aplicando las recomendaciones de las buenas prácticas agrícolas, es posible producir jitomates inocuos que pueden compe-

tir con mercados más exigentes en cuanto a normas de calidad, beneficiando así la economía del productor al tener un sistema rentable que le aportara grandes beneficios monetarios una vez que se tiene acceso a mercados y puntos de venta específicos, representando esto una alternativa de desarrollo económico dignificando así la vida de los productores y sus familias.

Apéndice A

CÓDIGO DE LOS SISTEMAS DE CONTROL (tempertura, humedad relativa y humedad del suelo)

Control de temperatura y humedad relativa

```
1 #include "DHT.h"
2 #include <SPI.h>
3 #define DHTPIN 11 // pin 11 dato del sensor DHT22 (hum amb)
4 #define DHTTYPE DHT22 // DHT 22 (AM2302)
5 DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
6
7 ///////////////biblioteca para el sistema de temperatura ambiente
8 ///////////////
9 #include <DallasTemperature.h>
10 #include <OneWire.h>
11 #define ONE_WIRE_BUS 12 //pin 12 dato del sensor ds18b20
12 OneWire OneWire (ONE_WIRE_BUS);
13 DallasTemperature sensors(&OneWire);
14
15 /////////////// variables para el sistema de humedad relativa (
16 /////////////// ambiente)////////////////////
17
18 int aspensor=13; // hum rel
19 int electroval=A0; // para aspersores
20
21 ///////////////variables para el sistema de temperatura amb////////
22 int temperatura;
23 int ventilador=6;
24 int calefaccion=1;
```



```

23  ////////variables para ambosistemas////////
24
25  int ventana1=2; // hum rel VENTANA GRANDE
26  int ventana2=3; // hum rel VENTANA GRANDE
27  int ventana3=4; // hum rel VENTANA CHICA
28  int ventana4=5; // hum rel VENTANA CHICA
29  int sensorVG1=7;
30  int sensorVG2=8;
31  int sensorVCH1=9;
32  int sensorVCH2=10;
33  int VG1;
34  int VCH1;
35  int VG2;
36  int VCH2;
37  ////////////////////////////////////
38
39  void setup()
40  {
41    Serial.begin(9600);
42
43    //// sist hum rel////////////////////////////////////
44    //Serial.println("DHTxx test!");
45    dht.begin();
46    pinMode(aspensor,OUTPUT);
47    pinMode(electroval,OUTPUT);
48    //////////sistem temp amb //////////////////////////////////
49    //Serial.println("Dallas temperatura IC de control de
      biblioteca Demo");
50    sensors.begin();
51    pinMode(ventilador,OUTPUT);
52    pinMode(calefaccion,OUTPUT);
53
54    //////////PARA LOS DOS SISTEMAAS//
55    pinMode(ventana1,OUTPUT);
56    pinMode(ventana2,OUTPUT);
57    pinMode(ventana3,OUTPUT);
58    pinMode(ventana4,OUTPUT);
59    pinMode(sensorVG1,INPUT);
60    pinMode(sensorVG2,INPUT);
61    pinMode(sensorVCH1,INPUT);
62    pinMode(sensorVCH2,INPUT);
63  }
64
65  //////////funciones sist de hum relativa //////////////////////////////////
66
67  void leer_humedad_relativa(){ //Reading temperature or
      humidity takes about 250 milliseconds!
68  float h = dht.readHumidity();
69  if (isnan(h)) { /// si la lectura del sensor no es la
```

```

    correcta manda mensaje de alerta
70 //Serial.println("Error al leer el sensor DHT");
71     } else {
72 //Serial.print("Humedad Relativa: ");
73 Serial.print(h);
74 Serial.print(" \t");
75 // Serial.print(" %\t");
76 Serial.println(" \t");
77     }
78 }
79
80 ///////////////////////////////////////////////////HUMEDAD BAJA ////////////////////////////////////////
81 void control_aspersor_hbaja()//cuando la humedad es BAJA se
    activa el aspersor ,
82 { // para aumentar la humedad en el ambiente
83 float h = dht.readHumidity();
84 float x=0;
85 x = dht.readHumidity();
86
87 if (isnan(h) || x==0) {
88 digitalWrite(aspersor ,HIGH);
89 digitalWrite(electroval ,HIGH);
90 }
91 else{
92 if (x <= 60.0){
93 digitalWrite(aspersor ,LOW);
94 digitalWrite(electroval ,LOW);
95 //Serial.println ( "Aspersor accionado ..." );
96     }
97     else{
98         digitalWrite(aspersor ,HIGH);
99         digitalWrite(electroval ,HIGH);
100     }
101 }
102 }
103
104 ///////////////////////////////////////////////////HUMEDAD ALTA ////////////////////////////////////////
105
106 void control_aspersor_halta()//cuando la humedad es ALTA
107 se activa la ventana ,
108 { // para bajar la humedad en el ambiente
109 float h = dht.readHumidity();
110 float x=0;
111 x=dht.readHumidity();
112
113 if (isnan(h)) {
114 digitalWrite(ventana1 ,LOW);
115 digitalWrite(ventana2 ,LOW);
116 digitalWrite(ventana3 ,LOW);

```

```

117 digitalWrite(ventana4,LOW);
118     }
119 else if (x>=75.0&&digitalRead(sensorVG2)==HIGH &&
        digitalRead(sensorVCH2)==HIGH)
120     {
121         if(digitalRead(sensorVG1)==LOW)
122         {
123             digitalWrite(ventana1,HIGH);
124             digitalWrite(ventana2,LOW);
125             Serial.println ( "Subiendo_Cortinas_VG_para_bajar_
                humedad..." );
126         }
127     else
128     {
129         digitalWrite(ventana1,LOW);
130         digitalWrite(ventana2,LOW);
131     }
132     if(digitalRead(sensorVCH1)==LOW)
133     {
134         digitalWrite(ventana3,HIGH);
135         digitalWrite(ventana4,LOW);
136         Serial.println ( "Subiendo_Cortinas_VCH_para_
                bajar_humedad..." );
137     }
138     else{
139         digitalWrite(ventana3,LOW);
140         digitalWrite(ventana4,LOW);
141     }
142     }
143 else{
144     digitalWrite(ventana1,LOW);
145     digitalWrite(ventana2,LOW);
146     digitalWrite(ventana3,LOW);
147     digitalWrite(ventana4,LOW);
148     }
149 }
150
151 ////////funciones del sistema de temperatura ambiente////////
152 /// Funcion mostrar temp amb//////////
153 void mostrar_temp_amb()
154 {
155 // llamar sensors.requestTemperatures () para emitir una
temperatura global
156 sensors.requestTemperatures (); // obtener temperaturas
157 Serial.print ( "Temperatura_Ambiente_es:_ " );
158 Serial.print(sensors.getTempCByIndex (0));
159 Serial.print("_\t");
160 Serial.println(" _C\t");
161 }

```

```

162
163 ///FUNCION TEMPERATURA ALTA////////
164 void temperatura_alta()
165 {
166 temperatura =sensors.getTempCByIndex (0);
167 if(temperatura>=35&&digitalRead(sensorVG1)==
168 HIGH&&digitalRead(sensorVCH1)==HIGH)
169 {
170 digitalWrite(ventilador ,HIGH);//se acciona el ventilador
171 Serial.println ( " Ventilador _accionado _..." );
172 Serial.println ( " Sistema _de _ventilacion _accionado _..." );
173 }
174 else {
175 digitalWrite(ventilador ,LOW);
176 }
177 if(temperatura>=35&&digitalRead(sensorVG2)==
178 HIGH&&digitalRead(sensorVCH2)==HIGH )
179 {
180 //while (digitalRead(sensorVG1)==LOW || digitalRead(
181 sensorVCH1)==LOW)
182 while (digitalRead(sensorVG1)==LOW )//SE ACCIONAN LOS
183 MOTORES
184 {
185 if(digitalRead(sensorVG1)==LOW)
186 {
187 digitalWrite(ventana1 ,HIGH);
188 digitalWrite(ventana2 ,LOW);
189 Serial.println ( " Subiendo _Cortinas ..." );
190 }
191 else
192 {
193 digitalWrite(ventana1 ,LOW);
194 digitalWrite(ventana2 ,LOW);
195 }
196 }
197 while ( digitalRead(sensorVCH1)==LOW)
198 {
199 if(digitalRead(sensorVCH1)==LOW)
200 {
201 digitalWrite(ventana3 ,HIGH);
202 digitalWrite(ventana4 ,LOW);
203 Serial.println ( " Subiendo _Cortinas ..." );
204 }
205 else{
206 digitalWrite(ventana3 ,LOW);
207 digitalWrite(ventana4 ,LOW);
208 }
209 }
210 }
211 digitalWrite(ventana1 ,LOW);

```

```

209 digitalWrite(ventana2,LOW);
210 digitalWrite(ventana3,LOW);
211 digitalWrite(ventana4,LOW);
212 }
213 }
214
215
216 ///////////////FUNCION TEMPERATURA BAJA ///////////////
217 void temperatura_baja()
218 {
219 inicio:
220 temperatura =sensors.getTempCByIndex (0);
221 if (temperatura <=25 && digitalRead(sensorVG2)==HIGH &&
    digitalRead(sensorVCH2)==HIGH )
222 {
223 digitalWrite(calefaccion ,HIGH);
224 Serial.println ( " Sistema_de_calefaccion_accionado..." );
225 }
226 else
227 {
228 digitalWrite(calefaccion ,LOW);
229 }
230 if (temperatura <=25 && digitalRead(sensorVG1)==HIGH &&
    digitalRead(sensorVCH1)==HIGH )
231 {
232
233 // while (digitalRead(sensorVG2)==LOW || digitalRead(
    sensorVCH2)==LOW)
234 while (digitalRead(sensorVG2)==LOW ) //
235 {
236     if(digitalRead(sensorVG2)==LOW)
237     {
238 digitalWrite(ventana1,LOW);
239 digitalWrite(ventana2,HIGH);
240 Serial.println ( " Bajando_cortinas_VG..." );
241     }
242     else{
243         digitalWrite(ventana1,LOW);
244         digitalWrite(ventana2,LOW);
245     }
246 }
247 while (digitalRead(sensorVCH2)==LOW)
248 {
249     if(digitalRead(sensorVCH2)==LOW)
250     {
251 digitalWrite(ventana3,LOW);
252 digitalWrite(ventana4,HIGH);
253 Serial.println ( " Bajando_cortinas_VCH..." );
254     }

```

```

255     else {
256         digitalWrite(ventana3,LOW);
257         digitalWrite(ventana4,LOW);
258     }
259 }
260
261 digitalWrite(ventana1,LOW);
262 digitalWrite(ventana2,LOW);
263 digitalWrite(ventana3,LOW);
264 digitalWrite(ventana4,LOW);
265 }
266 }
267
268 void loop()
269 {
270     //////funciones del sist de humedad relativa//////
271     leer_humedad_relativa();
272     mostrar_temp_amb();
273     temperatura_alta();
274     temperatura_baja();
275
276     //////funciones del sistema temperatura ambiente//////
277     leer_humedad_relativa();
278     control_aspersor_hbaja();
279     control_aspersor_halta();
280 }

```

Control del riego

```

1 #include <stdio.h>
2 // variables//
3 int boton=8; // interruptor para indicar si se vacio la SN en
   polvo al tanque
4 int boton1=9; // interruptor para indicar si se vacio humus al
   tanque
5 int SN=10 ; // batidor para SN
6 int AH=11 ; // batidor para AH
7 int nivel1=2; // lectura del sensor de nivel del tanque de
   agua
8 int nivel2=3; // lectura del sensor de nivel del tanque de SN
9 int nivel4=4; // lectura del sensor de nivel del tanque de
   humus con agua
10 int nil1; // valores leidos por los sensores de nivel
11 int nil2; //
12 int nil4; //
13 int sn;
14 int humedadSN;
15 int humedadAH;
16 int rele1=5; // rele q activa la bomba para riego con SN
17 int rele2=6; // rele q activa la bomba para riego con AH

```

```

18 int rele3=7; // rele q activa la bomba del tanque de agua
    para l llenar los contenedores de SN y AH
19 int electrovalSN=12;//rele que activallendo tanque agua para
    SN
20 int electrovalAH=13; //rele que activa electro valvula para
    llenar el tanque de agua para preparar AH
21
22 int humedadSN1 = A0;//pin para el sensorhum 1 del suelo con SN
23 int humedadAH1 = A1;//pinpara el sensorhum1 del suelo con AH
24 int humedadSN2 = A2;//pin de entrada para el sensorhum 2 con
    SN
25 int humedadAH2 = A3;//pin de entrada para el sensorhum 2 con
    AH
26 int humedadSN3 = A4;//pin de entrada para el sensorhum 3 con
    SN
27 int humedadAH3 = A5;//pin de entrada para el sensorhum 3 con
    AH
28
29 void setup()
30 {
31   Serial.begin(9600);
32   pinMode(humedadSN1, INPUT); // configuracion del pin (entrada
    ) para el sensor de humedad
33   pinMode(humedadAH1, INPUT);
34   pinMode(humedadSN2, INPUT); // configuracion del pin (entrada
    ) para el sensor de humedad
35   pinMode(humedadAH2, INPUT);
36   pinMode(humedadSN3, INPUT); // configuracion del pin (entrada
    ) para el sensor de humedad
37   pinMode(humedadAH3, INPUT);
38
39   pinMode(rele1 ,OUTPUT); // bomba para riego con SN
40   pinMode(rele2 ,OUTPUT); // bomba para riego con AH
41   pinMode(rele3 ,OUTPUT); // bomba contenedor de agua
42   pinMode(electrovalSN ,OUTPUT); // electro valvula SN
43   pinMode(electrovalAH ,OUTPUT); // electro valvula AH
44
45   pinMode(SN,OUTPUT); // batidor SN
46   pinMode(AH,OUTPUT); // batidor AH
47
48   pinMode(nivel1 ,INPUT); // sensor de nivel agua
49   pinMode(nivel2 ,INPUT); // sensor de nivel SN
50   pinMode(nivel4 ,INPUT); // sensor de nivel AH
51   pinMode(boton ,INPUT);
52   pinMode(boton1 ,INPUT);
53   digitalWrite(boton ,HIGH);
54   digitalWrite(boton1 ,HIGH);
55   //digitalWrite(rele3 ,HIGH);
56   digitalWrite(electrovalSN ,HIGH);

```

```

57 }
58
59
60 void Medir_HumedadSN()
61 {
62   humedadSN = ((analogRead(A0)+ analogRead(A2)+ analogRead(A4)
63     )/ 3);
64   if(humedadSN >= 500) {
65     nil2 = digitalRead(nivel2);
66     if (nil2==LOW)
67     {
68       while(humedadSN >= 500 && digitalRead(nivel2)==LOW)
69       {
70         digitalWrite(rele1 , LOW);
71         digitalWrite(SN,LOW);
72         Serial.println(" Sistema de riego con SN encendido");
73         delay(1);
74         humedadSN = ((analogRead(A0)+ analogRead(A2)+
75           analogRead(A4))/3);
76       }
77     }
78   }
79   else{
80     digitalWrite(rele1 , HIGH);
81     digitalWrite(SN,HIGH);
82     Llenado_SN();
83   }
84   else{
85     digitalWrite(rele1 , HIGH);
86     digitalWrite(SN,HIGH);
87   }
88 }
89
90 void Medir_HumedadAH()
91 {
92   humedadAH = ((analogRead(A1)+ analogRead(A3)+ analogRead(A5))
93     /3);
94   if(humedadAH >= 500) {
95     nil4 = digitalRead(nivel4);
96     if (nil4==LOW)
97     {
98       while(humedadSN >= 500 && digitalRead(nivel2)==LOW)
99       {
100        digitalWrite(rele2 , LOW);
101        digitalWrite(AH,LOW);
102        Serial.println(" Sistema de riego con AH encendido
103          ");
104        delay(1);

```

```

101         humedadAH = ((analogRead(A1)+ analogRead(A3)+
102             analogRead(A5))/3);
103     }
104     else {
105         digitalWrite(rele2 , HIGH);
106         digitalWrite(AH,HIGH);
107         Llenado_HA ();
108     }
109     else{
110         digitalWrite(rele2 , HIGH);
111         digitalWrite(AH,HIGH);
112     }
113 }
114
115 void Llenado_SN ()
116 {
117     nil1 = digitalRead(nivel1);
118     if (nil1==LOW){
119         sn = digitalRead(boton);
120         while (digitalRead(boton)==LOW){
121             Serial.println(" Insertar SN en polvo");
122         }
123         while (digitalRead(nivel2)==HIGH && digitalRead(nivel1)==
124             LOW){
125             digitalWrite(rele3 ,LOW); // encendemos la bomba del
126                 tanque de agua y la electrovalvula que permite el
127                 paso del agua al tanque
128                 donde se realizara la mezcla de sn
129             digitalWrite(electrovalSN ,LOW); //
130         }
131         digitalWrite(rele3 ,HIGH); // APAGAMOS BOMBA AGUA
132         digitalWrite(electrovalSN ,HIGH); // APAGAMOS ELECTRO
133             VALVULA
134         Serial.println(" Tanque lleno ...");
135         delay(100);
136         digitalWrite(SN,LOW);
137         Serial.println(" Lista SN");
138         delay(100);
139     }
140     else {
141         digitalWrite(rele3 ,HIGH);
142         digitalWrite(electrovalSN ,HIGH);
143         Serial.println(" Tanque de agua vacio ....");
144         delay(100);
145     }
146 }
147 void Llenado_HA ()

```

```

144 {
145   nil1 = digitalRead(nivel1);
146   if (nil1==HIGH){
147     while(digitalRead(boton1)==LOW){
148       Serial.println("Insertar humus liquido");
149     }
150     while(digitalRead(nivel4)==LOW && digitalRead(
151       nivel1)==HIGH){ // mientras el tanque agua
152       // tenga agua y el tanque de
153       // AH no este lleno
154       digitalWrite(rele3 ,LOW); // encendemos
155       // bomba de tanque de agua
156       digitalWrite(electrovalAH ,LOW); // encendemos
157       // electro valvula que permite paso de agua al
158       // tanque para la mezcla AH
159     }
160     digitalWrite(rele3 ,HIGH); // apagamos
161     // bomba
162     digitalWrite(electrovalAH ,HIGH); //apagamos
163     // electro valvula
164     Serial.println("Tanque de humus-agua lleno...");
165     delay(100);
166     digitalWrite(AH,LOW);
167     Serial.println("Lista AH");
168     delay(100);
169   }
170   else{
171     Serial.println("Tanque de agua vacio....");
172     delay(100);
173     digitalWrite(rele3 ,HIGH);
174   }
175 }
176
177 void Mostrar_Humedad()
178 {
179   Serial.print("Humedad SN: ");
180   humedadSN=((analogRead(A0)+ analogRead(A2)+analogRead(A4))/3);
181   // Serial.println(humedadSN);
182   delay(100);
183   Serial.print(" \t"); //tab
184   Serial.print("Humedad AH: ");
185   humedadAH=((analogRead(A1)+ analogRead(A3)+ analogRead(A5))
186     /3);
187   //Serial.println(humedadAH);
188   delay(100);
189   Serial.print(" \t");
190   Serial.print(" \t");
191 }
192 void loop()

```

```
184 {  
185   Medir_HumedadSN();  
186   Medir_HumedadAH();  
187   Mostrar_Humedad();  
188 }
```


Apéndice B

DIAGRAMAS ELÉCTRICOS

Figura B.1: Diagrama eléctrico del control del riego

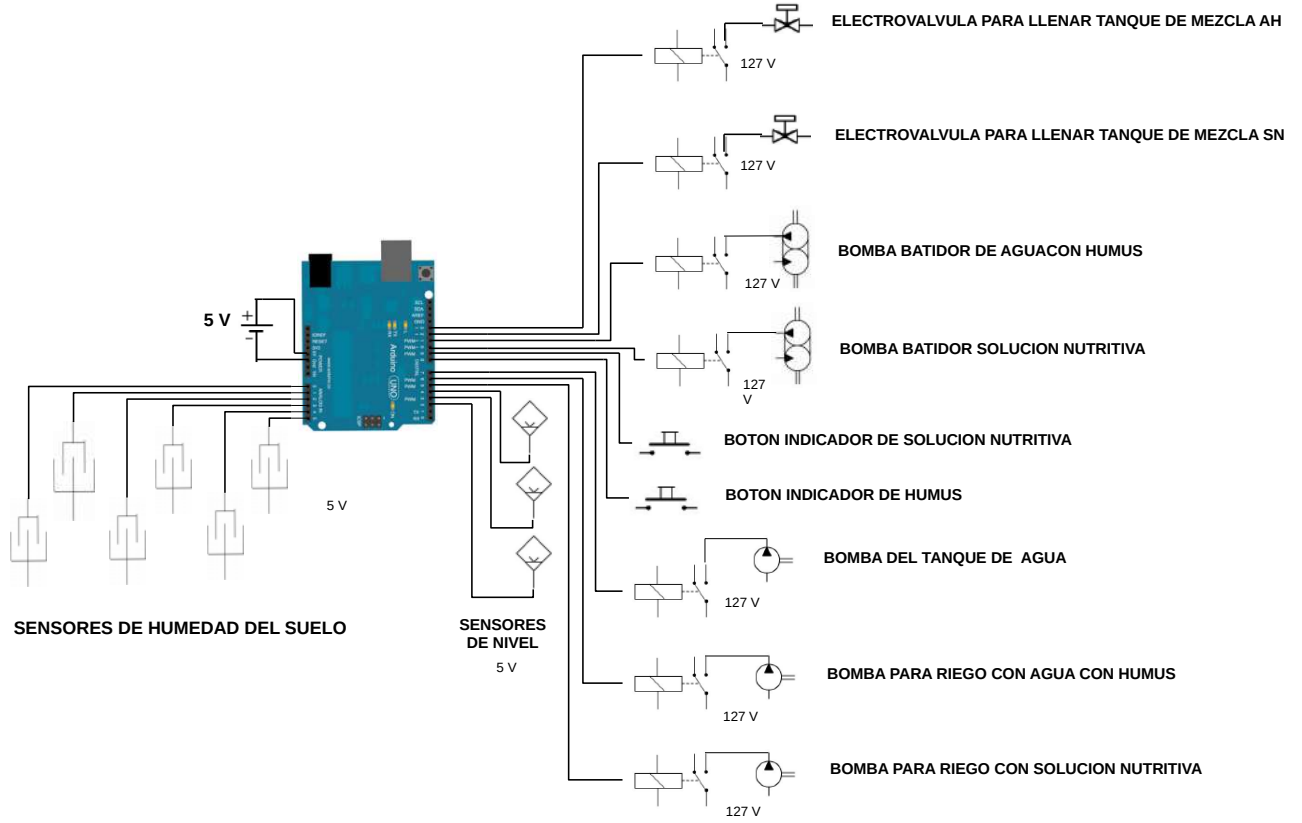
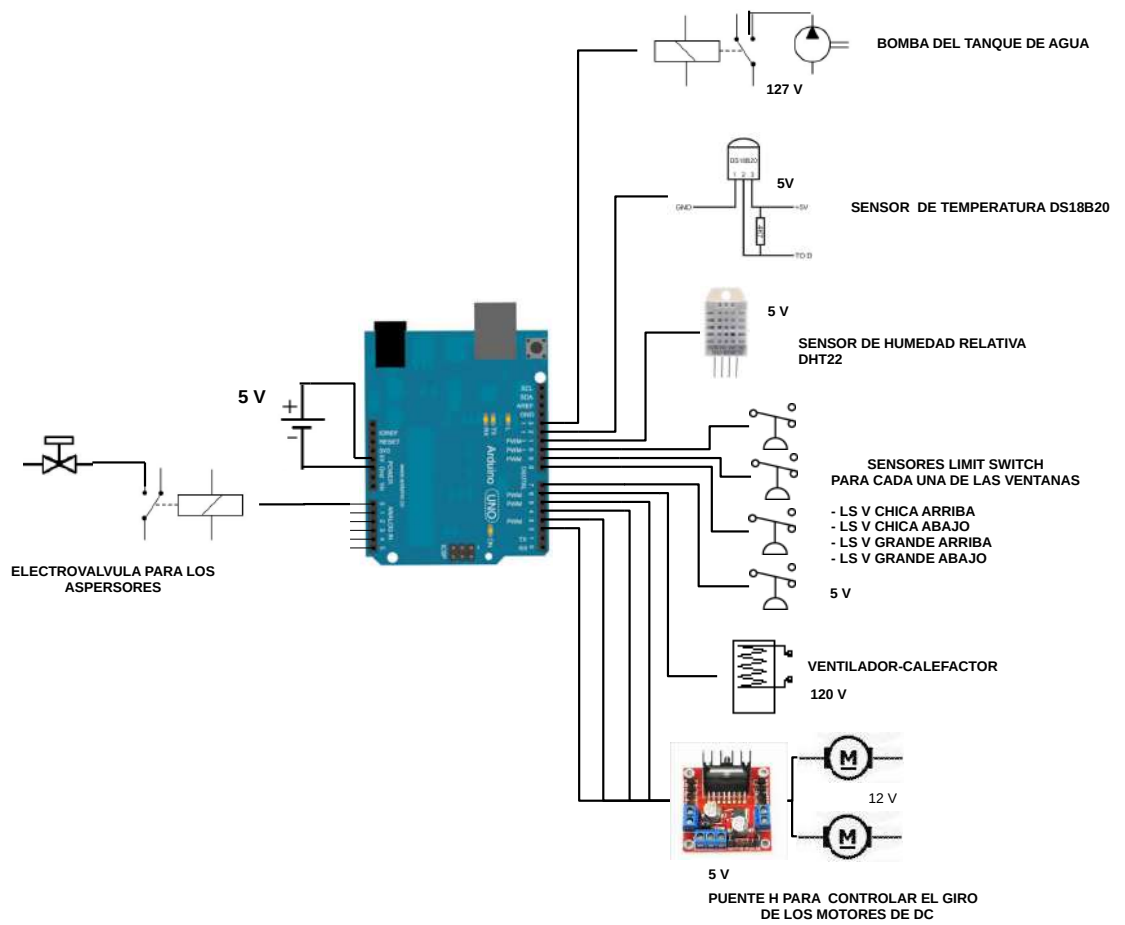


Figura B.2: Diagrama eléctrico del control de temperatura y humedad.



Apéndice C

HOJAS DE DATOS

Figura C.1: Sensor de temperatura

PRELIMINARY

DS18B20

**Programmable Resolution
1-Wire® Digital Thermometer**

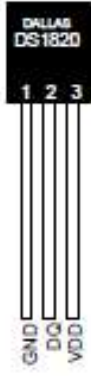
DALLAS SEMICONDUCTOR

www.dalsemi.com

FEATURES

- Unique 1-Wire interface requires only one port pin for communication
- Multidrop capability simplifies distributed temperature sensing applications
- Requires no external components
- Can be powered from data line. Power supply range is 3.0V to 5.5V
- Zero standby power required
- Measures temperatures from -55°C to +125°C. Fahrenheit equivalent is -67°F to +257°F
- ±0.5°C accuracy from -10°C to +85°C
- Thermometer resolution is programmable from 9 to 12 bits
- Converts 12-bit temperature to digital word in 750 ms (max.)
- User-definable, nonvolatile temperature alarm settings
- Alarm search command identifies and addresses devices whose temperature is outside of programmed limits (temperature alarm condition)
- Applications include thermostatic controls, industrial systems, consumer products, thermometers, or any thermally sensitive system

PIN ASSIGNMENT




DALLAS
DS18B20

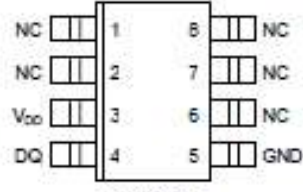
1 2 3

GND GND GND

BOTTOM VIEW



DS18B20 To-92
Package



DS18B20Z
8-Pin SOIC (150 mil)

PIN DESCRIPTION

GND - Ground
DQ - Data In/Out
V_{CC} - Power Supply Voltage
NC - No Connect

DESCRIPTION


The DS18B20 Digital Thermometer provides 9 to 12-bit (configurable) temperature readings which indicate the temperature of the device.

Information is sent to/from the DS18B20 over a 1-Wire interface, so that only one wire (and ground) needs to be connected from a central microprocessor to a DS18B20. Power for reading, writing, and performing temperature conversions can be derived from the data line itself with no need for an external power source.

Because each DS18B20 contains a unique silicon serial number, multiple DS18B20s can exist on the same 1-Wire bus. This allows for placing temperature sensors in many different places. Applications where this feature is useful include HVAC environmental controls, sensing temperatures inside buildings, equipment or machinery, and process monitoring and control.

Figura C.2: Sensor de humedad relativa

Digital output relative humidity & temperature sensor module
DHT22 (DHT22 also named as AM2302)



Copyright © 2005, AOSONG ELECTRONICS CO., LTD.

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

1. Feature & Application:

- * Full range temperature compensated * Relative humidity and temperature measurement
- * Calibrated digital signal * Outstanding long-term stability * Extra components not needed
- * Long transmission distance * Low power consumption * 4 pins packaged and fully interchangeable

2. Description:

DHT22 output calibrated digital signal. It utilizes exclusive digital-signal-collecting-technique and humidity sensing technology, assuring its reliability and stability. Its sensing elements is connected with 8-bit single-chip computer.

Every sensor of this model is temperature compensated and calibrated in accurate calibration chamber and the calibration-coefficient is saved in type of programme in OTP memory, when the sensor is detecting, it will cite coefficient from memory.

Small size & low consumption & long transmission distance(20m) enable DHT22 to be suited in all kinds of harsh application occasions.

Single-row packaged with four pins, making the connection very convenient.

3. Technical Specification:

| | | |
|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| Model | DHT22 | |
| Power supply | 3.3-6V DC | |
| Output signal | digital signal via single-bus | |
| Sensing element | Polymer capacitor | |
| Operating range | humidity 0-100%RH; | temperature -40~80Celsius |
| Accuracy | humidity +2%RH(Max +-5%RH); | temperature <+-0.5Celsius |
| Resolution or sensitivity | humidity 0.1%RH; | temperature 0.1Celsius |
| Repeatability | humidity +-1%RH; | temperature +-0.2Celsius |
| Humidity hysteresis | +-0.3%RH | |
| Long-term Stability | +-0.5%RH/year | |
| Sensing period | Average: 2s | |
| Interchangeability | fully interchangeable | |
| Dimensions | small size 14*18*5.5mm; | big size 22*28*5mm |

Figura C.3: Puente H 1298

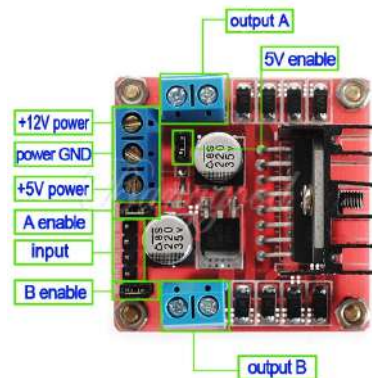
Driver dual para motores (Full-Bridge) – L298N

Descripción:

Este módulo es el complemento ideal para proyectos de robótica y Router CNC.

Permite controlar hasta 2 motores de corriente continua o un motor paso a paso bipolar. También permite controlar un motor paso a paso unipolar configurado como bipolar de forma muy sencilla y eficaz.

El módulo permite controlar el sentido de giro y velocidad mediante señales TTL que se pueden obtener de microcontroladores y tarjetas de desarrollo como Arduino, Raspberry Pi y lauchpads de Texas Instruments.



Características

Voltaje de alimentación, mínimo de 5 V. Posee dos entradas, una de 5V para controlar la parte lógica y otra para alimentar las salidas al motor, que pueden ser de 5V o más.

La tarjeta tiene la opción de habilitar un regulador LM7805 integrado en ella para alimentar la parte lógica con lo que se puede alimentar la tarjeta con 12V por ejemplo.

Corriente máxima 2 Amperios.

Posee 6 entradas de control (ver tabla de control)

Admite entradas de señal PWM para el control de velocidad.

Dimensiones: 43 mm x 23,9 mm x 43 mm.

Salidas: para 2 motores de DC o para un motor bipolar paso a paso.

ESQUEMA

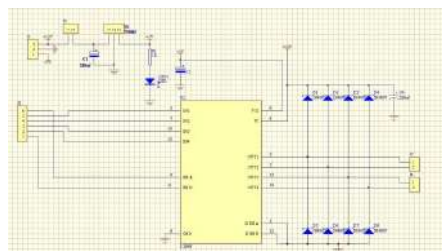


Figura C.4: Banco de relevadores

Módulo relé 4 canales 5V - AC250V 10A optoacoplador

Puede ser controlado directamente por el microcontrolador (Arduino, 8051, AVR, PIC, DSP, ARM, ARM, MSP430, TTL Logic

Características técnicas:

100% Nuevo y alta calidad

5V 4-Canales placa interface relé, necesita 15-20mA de corriente para excitar el driver.

Entrada protegida por optoacoplador.

Equipado con un relé de alta corriente, AC250V 10A ; DC30V 10A

Interface standard puede ser controlado directamente por un microcontrolador (Arduino , 8051, AVR, PIC, DSP, ARM, ARM, MSP430, TTL logic)

Contactos independientes para aislar y proteger el circuito.

Dimensiones 7.5 x 5.5 x 1.8cm

Peso 61 gr

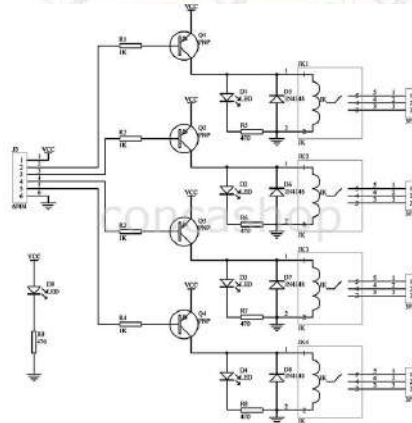


Figura C.5: Bomba, electroválvula y electronivel



Apéndice D

GALERÍA DE FOTOS DEL INVERNADERO DESDE SU CONSTRUCCIÓN HASTA LA COSECHA

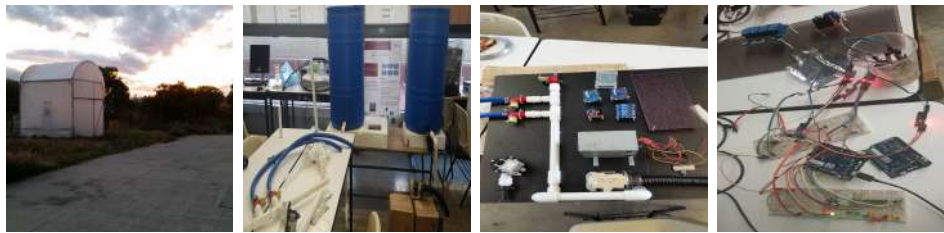
Figura D.1: Proceso del invernadero desde su construcción hasta la obtención del jitomate.



(a) Materiales (b) Cortado y pin-tado (c) Armado del in-vernadero. (d) Estructura completa



(e) Puesta del plástico. (f) Puesta de la malla. (g) Malla y plástico terminado. (h) Invernadero terminado.



(i) Invernadero. (j) Construcción del sistema de riego (k) Construcción del tablero. (l) Pruebas con sensores.



(m) Riego por go-teo (n) Tutorado (ñ) Desarrollo de las plantas. (o) Floración.



(p) Desarrollo de frutos. (q) Frutos. (r) Cosecha. (s) Invernadero automatizado

Bibliografía

- [Aguillon.2013] Aguillon, S. M. (2013). *Libreta virtual*. Recuperado el abril de 2015, de <http://sergiocetis71.blogspot.mx/2013/02/el-relevador-los-relevadores-permiten.html>
- [Alzate & Castro,2012)] Alzate, M. L., & Castro, C. (Abril de 2012). *Infojardin*. Recuperado el Julio de 2014, de <http://articulos.infojardin.com/huertos/tomate.plagas.htm>.
- [Arduino.2015] *Arduino*. (2015). Recuperado el 19 de Marzo de 2015, de <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardLeonardo>
- [Arizpe & Velazquez,2008] Arizpe, M. G., and Velazquez, M. M. (Junio de 2008). Manual para la producción de tomate en invernadero en suelo en el estado de Nuevo León. *Manual para la producción de tomate en invernadero en suelo en el estado de Nuevo León*. Nuevo León: Sagarpa.
- [Ascension,Torre & Gonzales] Ascension,C.,and Torre, R. d., and Gonzales., C. (s.f.). *Unex.es*. Recuperado en Mayo de 2015, de <http://www.unex.es/conoce-la-uex/centros/eia/archivos/iag/2007/2007-09%20Parametros%20de%20calidad%20en%20el%20tomate%20para%20industria.pdf>
- [Botanical Garden of Cordoba.1994] Botanical Garden of Cordoba.(1994). *FAO Plant Production and Protection Series*(26).
- [Bouso & Gariglio.2009] Bouso, C. A., and Gariglio, N. F. (2009). *ecofisiohort.com.ar*. Recuperado el Abril de 2014, de <http://www.ecofisiohort.com.ar/wp-content/uploads/2009/10/Tipos-de-Invernaderos.pdf>
- [cofrupo.org.mx.2006] cofrupo.org.mx.(12 de septiembre de 2006).*cofrupo.org.mx*. Recuperado en marzo de 2014, de <http://www.cofupro.org.mx/cofupro/archivo/fondo/62michoacan.pdf>

- [CONAGUA] CONAGUA.(s.f.). *CONAGUA, Comisión nacional del agua*. Recuperado el Mayo de 2015, de <http://www.conagua.gob.mx/Tarifas/Consultas.aspx>
- [CONEVYT.2008] CONEVYT, G. d. (2008). Técnicas de Hidroponia, Módulo Técnico. *Producción de Jitomate*. México, D.F: SEP, Instituto Nacional de Educación para el Adulto Mayor.
- [Cortes.2007] Cortes, J. A. (2007). Cultivo de jitomate mediante hidroponia. Una alternativa viable de inversión. Sahagún, Hidalgo.
- [Culturacion] Culturacion. (s.f.). Recuperado el 05 de 2015, de <http://culturacion.com/que-es-apache/>
- [Cruz.2014] Cruz, A. (17 de Mayo de 2014). *ElectroniLab, Ingeniería y diseño electrónico*. Recuperado el Mayo de 2015, de <http://electronilab.co/tutoriales/tutorial-de-uso-driver-dual-l298n-para-motores-dc-y-paso-a-paso-con-arduino/>
- [Definicion.2008] *Definicion*.(2008). Recuperado el 20 de Marzo de 2015, de <http://definicion.de/relevador/>
- [dia.com.2014] dia.com, H. a. (2014). Recuperado 2015 de <http://www.hidroponiaaldia.com/2010/09/tecnicas-hidroponicas-y-cultivo-del.html>.
- [Dominguez.2000] Dominguez, A. C. (2000). Sistema de control de temperatura a travez de arduino y la tecnologia GPRS/GSM.
- [Dorado.J.L.2009] Dorado.J.L. (marzo de 2009). Proyectos de ingenieria de la Universidad iberoamericana Puebla. *Tu Zona Cholula, Ejemplar gratuito, publicacion catorcenal, Ejemplar No.1*, Pp.8.
- [Educatronica.2015] Educatronica. (2015). *Educatronicablogspot*. Obtenido de <http://educatronica.blogspot.mx/p/blog-page-29.html>
- [Electronics.2013] Electronics, O. (03 de Mayo de 2013). *Opirom electronics Todo sobre los sensores DHT11 y DHT22*. Recuperado 2015 de <http://www.opirom.com/portfolio/todos-sobre-los-sensores-dht11-dht22-by-opirom-2>
- [elmejorguia.com.2005] elmejorguia.com. (2005). *elmejorguia.com*. Recuperado el Abril de 2014, de <http://www.elmejorguia.com/hidroponia/Tomate-Hidroponico>

- [español,A.R] Español,A.R.(s.f.).*Aprende Robotica en español*. Recuperado de <http://www.aprenderobotica.com/group/eslaprimera vez/page/principiantes-arduino>
- [fupronay.org.mx] Fupronay.org.mx.(s.f.).*fupronay.org.mx*. Recuperado el Junio de 2014, de <http://www.google.com.mx>
- [Garcia.2011] García, C. G. (Diciembre de 2011). Validación de cinco sistemas hidroponicos para la producción de jitomate y lechuga en invernadero. Veracruz, Xalapa de Enriquez.
- [Graves, C. (1983)] Graves, C. (1983). The nutrient film technique. Hort, Num 5, P1-44.
- [Gutierrez] Gutiérrez,E.G.(s.f.).*Aprender a programar.com*. Recuperado en Mayo de 2015,de <http://www.aprenderaprogramar.com/index.php?option=com-attachments/>
- [Hanco.2013] Hanco, E. H. (21 de Octubre de 2013).<http://es.slideshare.net/edwihuaman7/principales-tipos-de-invernaderos>.
- [Hydroenvironment.2008] Hydroenvironment. (2008).*hidroenv.com.mx*. Recuperado el Viernes de Julio de 2014, de <http://www.hydroenv.com.mx/>
- [hydroenvironment] hydroenvironment. (s.f.).*www.hydroenv.com.mx/catalogo/index*. Recuperado en Marzo de 2014, de <http://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main-page=page/id..>
- [Jensen & Malter.1995] Jensen, M. a. (1985). Hydroponic vegetable production. Hort(Núm.7), P. 483-559.
- [La enciclopedia libre.2015] *La enciclopedia libre*. (2015). Recuperado el 20 de marzo de 2015, de <http://es.wikipedia.org/wiki/Puente-H%28electr%C3%B3nica%29>
- [Lopez,Uriarte & Rivera.2001] Lopez, B. A., Uriarte, B. O., and Rivera,, E. T. (2001).*Primaria TIC, publicaciones*. Recuperado en Marzo de 2014, de basica.primariatic.sep.gob.mx/descargas/.../red.../tomate/tomate.htm
- [Matrizfoda.com] Matrizfoda.com. (s.f.).*MatrizFODA*. Recuperado el 05 de 2015, de <http://www.matrizfoda.com/>

- [MK.2015] MK, A. (mayo de 2015). *accionmk* Asesoría y consultoría de comercialización y marketing.
- [McEnany.2007] McEnany, N. (2007). *Wikipedia*. Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Solanum-lycopersicum>.
- [Moreno.2007] Moreno, R. N. (Noviembre de 2007). Manual de producción de tomate rojo bajo condiciones de invernadero para el valle de Mexicali, Baja California. México, Mexicali, Baja California.
- [Nely.2011] Nely. (23 de febrero de 2011). Lombricomposta. Nayarit: Fundación produce Nayarit, A.C. Recuperado el Junio de 2014, de <http://www.google.com.mx>
- [Nocetti & Hernandez.2012] Nocetti, E. G., and Hernández, J. R. (20 de septiembre de 2012). Inforural. Recuperado el Marzo de 2014, de <http://www.inforural.com.mx/jitomate-o-tomate-rojo-produccion-nacional/>
- [Peralta.2007] Peralta, I. a. (2007). History, origin and early cultivation of tomato (Solanaceae). USA: Science Publishers, Enfield.
- [Raspberry Pi.2015] Raspberry Pi. (03 de agosto de 2015). *Wikipedia, La enciclopedia libre* Recuperado el enero de 2015, de <http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Raspberry-Pi&oldid=84190983>
- [34] Resh, H. (1992). *Cultivos Hidroponicos* (Vol. 3ra. Edición). Madrid, España: Mundi-Prensa.
- [Sagarpa.2010] Sagarpa. (Agosto de 2010). *sagarpa.gob.mx/agronegocios/Monografias/Jitomate.pdf*. Recuperado en Marzo de 2014, de <http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/pablo/Documentos/Monografias/Jitomate.pdf>
- [Sagarpa.2014] Sagarpa. (Marzo de 2014). *sagarpa.gob.mx/agronegocios/documents/estudios/tomate.pdf*. Recuperado en Marzo de 2014, de www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/documents/estudios/tomate.pdf
- [Santander.2007] Santander, F. (2007). *monografias.com*. Recuperado el Febrero de 2014, de <http://www.monografias.com/trabajos40/tomates-hidroponicos/tomates-hidroponicos.shtml>

- [Simplificada.2007] Simplificada, I. d. (Junio de 2007). Curso basico de cultivos hidroponicos. México, Tehuacan, Puebla. Recuperado en Abril de 2014, de <http://www.slideshare.net/bemaguali/curso-basico-de-hidroponia>
- [Sistema embebido.2015] Sistema embebido.(2015, 1 de junio). Wikipedia,*La enciclopedia libre*. Fecha de consulta Abril 2015 desde <http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Sistema-embebido&oldid=82889909>
- [Solano & Garrido.2013] Solano, L. G., and Garrido., A. M. (Enero de 2013). Rendimiento y costos del cultivo de jitomate con sustrato inerte complementado con lombricomposta como alternativa para reducir los fertilizantes químicos. Veracruz, Xalapa de Enríquez, México.
- [Sosa.2007] Sosa, M. L. (Diciembre de 2007). Producción de jitomate en invernadero. Estado de México: ICAMEX.
- [Urbina.2007] Urbina, G. (2007). Estudio económico. En *Estudio económico* (págs. 167-216). México: McGraw-Hill.
- [WIKIPEDIA.2015] WIKIPEDIA. (2015). Obtenido de <http://es.wikipedia.org/wiki/Placa-computadora>

