



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA

**“LA IMPORTANCIA DE LA AUTOMATIZACIÓN EN
INVERNADEROS PARA EL CULTIVO DE JITOMATE
EN EL ESTADO DE MORELOS”**

**TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECATRÓNICO**

PRESENTA

DANIEL ALFREDO JIMÉNEZ GARRIDO

DIRECTOR DE TESIS:

M. en I. JESÚS VICENTE GONZÁLEZ SOSA

MÉXICO D.F 2011

Tabla de contenido

RESUMEN	1
OBJETIVO	2
INTRODUCCCIÓN	2
CAPÍTULO 1. INVERNADEROS DE JITOMATE EN EL ESTADO DE MORELOS	7
1.1.INVERNADEROS TRADICIONALES DE JITOMATE	8
1.2.INVERNADEROS AUTOMATIZADOS DE JITOMATE	14
1.3.COMPARACIÓN ENTRE SISTEMAS DE INVERNADEROS TRADICIONALES Y AUTOMATIZADOS	22
1.4.CULTIVO DE JITOMATE EN EL ESTADO DE MORELOS	23
CAPÍTULO 2. AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMAS PARA EL CULTIVO DE JITOMATE	34
2.1. SISTEMAS APLICADOS EN LOS INVERNADEROS DE JITOMATE	35
2.2. ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE LOS INVERNADEROS	41
2.3. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS A UTILIZAR EN LOS INVERNADEROS DE JITOMATE	52
2.4. DIAGRAMAS DE BLOQUE PARA EL SISTEMA DENOMINADO INVERNADERO	56
2.5. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN PARA AUTOMATIZAR INVERNADEROS DE JITOMATE	57
CAPÍTULO 3. APLICACIÓN DIRECTA DE LA AUTOMATIZACIÓN EN UN INVERNADERO EN EL ESTADO DE MORELOS	62
3.1. CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES DE LOS INVERNADEROS EN EL ESTADO DE MORELOS	63
3.2. COSTO DE LA IMPLEMENTACIÓN AUTOMÁTICA	67
3.3. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS	83
3.4. SOLUCIÓN DE LA ALTERNATIVA	86

CAPÍTULO 4. PROTOTIPO DE INVERNADERO	89
4.1. BOSQUEJO DE LA SOLUCIÓN	90
4.2. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA	91
4.3. PROTOTIPO	100
4.4. RESULTADOS DEL PROTOTIPO DE INVERNADERO	106
CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN	115
5.1. EVALUACIÓN	116
CONCLUSIONES	119
BIBLIOGRAFÍA	121

Resumen

El presente trabajo está dirigido a la producción del jitomate en la región del Estado de Morelos, a partir de las características que presenta él mismo en el cultivo.

Se investigan las características de la región del Estado de Morelos, a partir de las mismas se logra la producción del jitomate de temporal y bajo invernaderos.

Para la obtención de los principales tipos de invernaderos se estudio la región del Estado de Morelos con lo cual se presentan las principales características de los mismos.

Se desarrollaron los sistemas aplicados en los invernaderos de jitomate, propiciando que se obtuviera el planteamiento de soluciones de alternativas de invernaderos para el Estado de Morelos.

Mediante las principales características de la región del Estado de Morelos se proporcionó el costo de la implementación para la solución de la alternativa de invernadero en la región.

Con el prototipo se tiene el cultivo del jitomate bajo condiciones ambientales reguladas, el invernadero es de tipo automatizado, controlando los parámetros necesarios de los sistemas para un desarrollo óptimo como: temperatura y humedad.

El resultado fundamental después de analizar de manera sistémica los diferentes procedimientos del cultivo del jitomate, es la aplicación de los medios tecnológicos en un invernadero automatizado para que se puedan incrementar los niveles de producción, reducir los costos y mejorar la calidad del producto, por otra parte se propone una nueva forma de trabajo del agricultor para incrementar los beneficios de esta actividad agrícola.

Objetivo

Establecer las condiciones necesarias e idóneas para obtener jitomates de buena calidad en el Estado de Morelos, por medio de los recursos suministrados en las condiciones óptimas dentro de un invernadero automatizado.

Mediante esta metodología se determinarán las condiciones más adecuadas para el jitomate que permitan el mejoramiento de los recursos materiales, económicos y humanos de tal manera que se reduzcan costos e incrementar las utilidades para el mejoramiento directo de la calidad de vida de los agricultores.

Introducción

El presente trabajo es una investigación con enfoque sistémico acerca del cultivo del jitomate en México, en la región de Morelos bajo un ambiente controlado. La cual presenta la siguiente estructura:

En el Capítulo I. Se presentan los diferentes tipos de estructuras a utilizar para la producción, ubicación geográfica de la zona de estudio, condiciones y características del cultivo del jitomate.

En el Capítulo II. Se establecen las características generales de la automatización para el cultivo del jitomate, descripción de los elementos y alternativas para la solución de la automatización de invernaderos.

En el Capítulo III. Se presenta la aplicación directa de la automatización en el Estado de Morelos, así mismo se presenta la importancia y la posible solución para la alternativa de un invernadero para el cultivo de jitomate.

En el Capítulo IV. Se realizó la automatización del prototipo de invernadero en el Estado de Morelos, presentando las características necesarias de cada uno de los elementos del invernadero con el fin de obtener la construcción del mismo.

A continuación se presentan datos importantes que permiten un desarrollo apropiado de este trabajo bajo condiciones específicas como lo es:

1. Localización
2. Clima
3. Productividad
4. Nivel de población

En los siguientes párrafos se describen de forma breve los aspectos antes mencionados.

1. Localización

Morelos se localiza en la parte noroeste del estado, entre los 19° 36' 11" y los 19° 51' 22" de latitud norte y entre los 99° 31' 11" y los 99° 45' 11" de longitud oeste, a una altura de 2,715 mts., sobre el nivel del mar. Limita al noreste, con Chapa de Mota; al noroeste con Timilpan; al este con Villa del Carbón; al sur con Jiquipilco; al suroeste con Jocotitlán y al oeste con Atlacomulco. Su distancia aproximada a la capital del estado es de 63 km.

2. Clima

El clima es templado, subhúmedo con lluvias en verano, pero en invierno es semifrío. La temperatura media anual es de 15°C, con una máxima de 37°C y una mínima de 3°C. La pluviosidad anual promedio es de 970 mm. Los vientos dominantes son del norte.

3. Productividad

A continuación se detallan los principales sectores, productos y servicios del estado de Morelos.

Agricultura

De los cultivos anuales, destacan el maíz, caña de azúcar, sorgo, algodón, jitomate, cacahuate, frijol y cebolla. Tienen importancia también, pero menor, el melón, tomate en cáscara, las hortalizas (pepino, jícama, elotes y calabacitas), la alfalfa y los rosales. A continuación se muestra la producción agrícola en Morelos en comparación con la productividad nacional, especificando la superficie sembrada y superficie cosechada (Tabla 1).

Producción agrícola			
Ubicación	Morelos	Nacional	Edo/Nal %
Superficie sembrada (Ha)	130,747	21,902,573	0.60
Superficie cosechada (Ha)	128,304	20,502,834	0.63
Valor Producción (miles de pesos)	4,691,717	305,950,646	1.53

Tabla 1.- Comparación de superficies sembradas con superficies cosechadas en Morelos.

Con relación a la superficie cosechada de los cultivos producidos anualmente en el Estado de Morelos se puede generar la siguiente estadística, observando en que cantidades se cosecharon las variedades de cultivo (Fig.1).

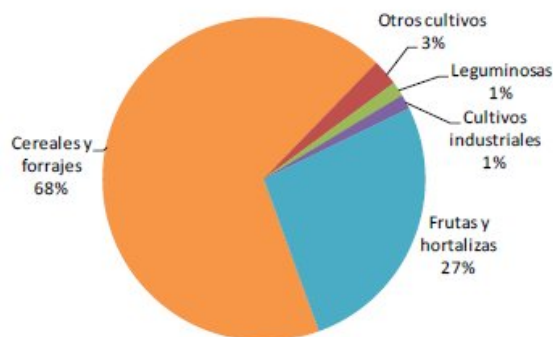


Fig.1.- Variedad de cultivos cosechada en el estado de Morelos.

Entre algunos productos cosechados se encuentran sorgo grano, maíz grano, tomate rojo, avena forrajera, cebolla, tomate verde, caña de azúcar, nopalitos, aguacate, durazno y alfalfa verde. A continuación se muestra la Tabla 2 en la cual se contabiliza el total de superficie cosechada, producción y el municipio líder de la misma.

Cultivo	Superficie cosechada (Ha)	Producción (Tons.)	Lugar Nacional	Municipio líder
Sorgo grano	41,426	179,712	6°	Yecapixtla
Maíz grano	26,979	81,676	23°	Yecapixtla
Tomate rojo	2,056	67,093	9°	Atlatlahuac
Avena forrajera	1,795	66,925	19°	Huitzilac
Cebolla	2,083	62,578	7°	Ayala
Tomate verde	2,451	34,176	9°	Totoloapan
TOTAL:	82,734	547,876		

Cultivo	Superficie cosechada (Ha)	Producción (Tons.)	Lugar Nacional	Municipio líder
Caña de azúcar	15,262	1,830,361	9°	Tlaltizapan
Nopalitos	2,745	274,300	1°	Tlalnepantla
Aguacate	3,254	31,442	3°	Ocuituco
Durazno	2,058	21,364	3°	Tetela del Volcán
Alfalfa verde	196	8,139	21°	Ayala
TOTAL:	24,713	2,188,213		

Tabla 2.- En esta tabla se muestra la cantidad de superficie cosechada y la producción de cada cultivo en el estado de Morelos.¹

Ganadería

Se cría ganado bovino, porcino y caballar. Así mismo se explota la avicultura de engorda y postura y la apicultura. En la Tabla 3 se muestra la distribución de la ganadería en el estado de Morelos.

Tipo	Bovino	Porcino	Ovino	Caprino	Equino	Aves	Abejas
Cabezas	106,602	81,063	21,327	25,917	37,708	25,776,622	25,447

Tabla 3.- Relación de ganadería en el estado de Morelos²

Comercio

Los sectores químico-farmacéuticos, metal-mecánico, automotriz y textil son las principales áreas de comercio en el estado. Los productos exportados principalmente son automóviles, químico-farmacéuticos, agrícolas, agroindustriales, artesanías y cerámica, flores y miel, los cuales se venden principalmente a Estados Unidos, Canadá, Japón y a la Comunidad Económica Europea.

Pesca

En 1982 se inició el programa de pesca, que a la fecha se ha convertido en una realidad y garantiza su operación a largo plazo con el abastecimiento de crías de mojarra y tilapia, producidas en las piscifactorías del Rodeo y Zacatepec.

Industria

El parque industrial Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca (CIVAC) y el Parque Industrial de Cuautla (PINC), se convierten en atractivas zonas para los inversionistas. Pero también en los demás municipios se han localizado zonas especialmente aptas para la instalación de industrias, donde las autoridades municipales promueven su establecimiento.

4. Nivel de población

Morelos ocupa el lugar número 22 a nivel nacional en cuanto a habitantes, cuenta con 837,588 mujeres y 775,311 hombres.

¹ FUENTE: INEGI, SIAP Y SAGARPA

² Fuente: INEGI, *Anuario Estadístico del Estado de Morelos*, México 2000.

En la Fig.2 se muestra la distribución de habitantes por edad y sexo.

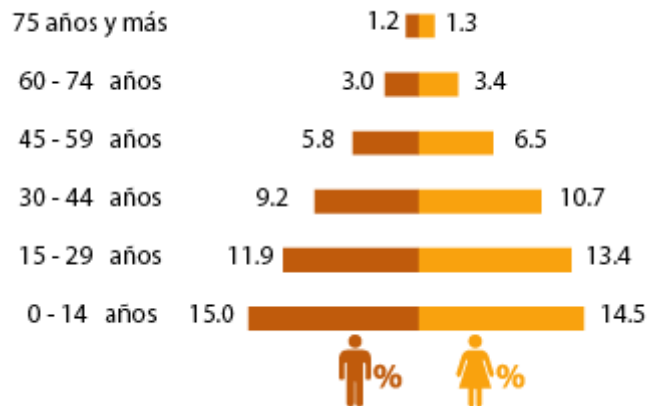


Fig.2.-Porcentaje de relación de habitantes en cuanto a edad y sexo

Escolaridad

En Morelos, la población de 15 años y más en promedio, ha concluido dos grados de secundaria (grado promedio de escolaridad 8.4).

De cada 100 personas de 15 años y más...

- 9 No tienen ningún grado de escolaridad.
- 12 Tienen la primaria incompleta.
- 16 Concluyeron la primaria.
- 4 No tienen la secundaria concluida.
- 25 Finalizaron la secundaria.
- 6 No concluyeron la educación media superior.
- 14 Completaron la educación media superior.
- 4 No concluyeron la educación profesional.
- 9 Finalizaron la educación profesional.
- 1 Tiene estudios de posgrado.

CAPÍTULO I

INVERNADEROS DE JITOMATE EN EL ESTADO DE MORELOS

1.1 INVERNADEROS TRADICIONALES DE JITOMATE

1.2 INVERNADEROS AUTOMATIZADOS DE JITOMATE

1.3 COMPARACIÓN ENTRE SISTEMAS DE INVERNADEROS TRADICIONALES
Y AUTOMATIZADOS

1.4 CULTIVO DE JITOMATE EN EL ESTADO DE MORELOS

1.1 INVERNADEROS TRADICIONALES DE JITOMATE

EL INVERNADERO

La producción de cultivos bajo invernadero es una de las técnicas más modernas que se utilizan actualmente en la producción agrícola. Un invernadero provee un ambiente apropiado, tanto en el suelo como en el aire, para el cultivo de especies vegetales. Las razones principales que llevan a cultivar en invernaderos pueden enumerarse en:

- Proveen un microclima especial para el mejor crecimiento de los cultivos.
- Logran extender los tiempos de producción.
- Protegen a los cultivos de las inclemencias del tiempo.

Pueden construirse invernaderos de casi cualquier forma y tamaño, que en cada ocasión vendrán determinadas principalmente por el emplazamiento, cosechas que se intenta cultivar, materiales utilizados para la construcción y capital disponible. En general, los invernaderos pueden clasificarse de acuerdo con el revestimiento empleado para el tejado, los grupos principales que existen: contruidos de madera según el sistema tradicional, contruidos de aluminio y aquellos otros cuyo fundamento son las cristaleras holandesas.

Y de acuerdo a la clasificación de estos invernaderos se generan expectativas de evaluación que se verán reflejadas en los siguientes capítulos del trabajo para la elección del invernadero a desarrollar.

1.1.1 INVERNADEROS DE MADERA TRADICIONALES

Los invernaderos de este grupo pueden ser fundamentalmente de tres tipos: emparrado, aeroplano y pepino.

Tipo emparrado. Cada nave tiene una anchura de 8,5 a 9 metros, 1,5-1,8 metros hasta los canalones y 3,6 a 4,2 metros hasta la cumbre del tejado. Suelen construirse sobre paredes de ladrillo, bloques prefabricados o cemento de 45 a 60 cm. de altura, el resto de la estructura lateral esta encristalado. El tejado tiene como soporte dos filas de postes sustentadores y travesaños, colocados a distancias de 1,8-3 metros. Este tipo de invernaderos sirve para toda clase de cosechas. (Fig.3).

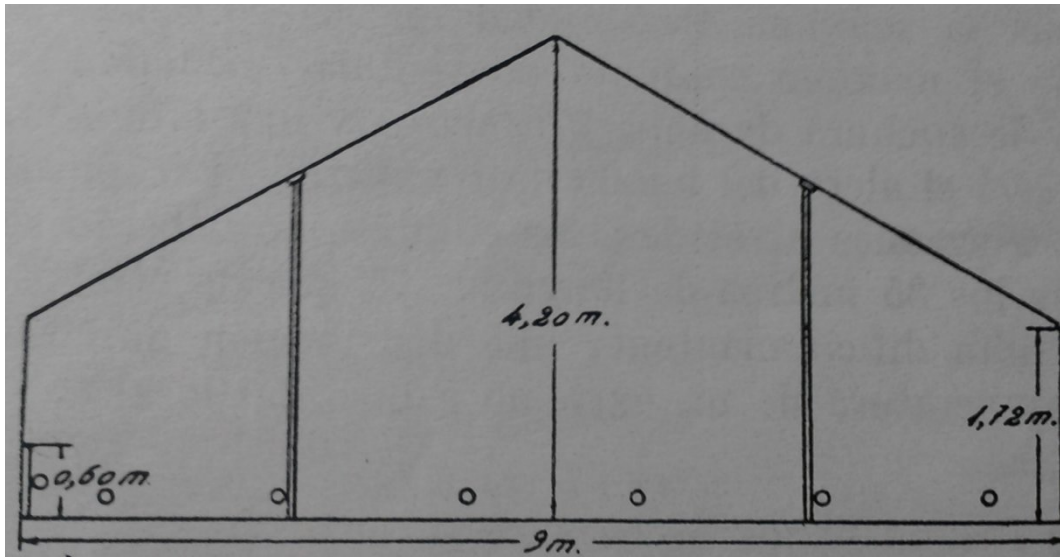


Fig.3.-Invernadero tipo emparrado

En este invernadero se puede observar que pueden construirse naves con toda su anchura libre de obstáculos, posee tuberías de agua caliente de 10cm de diámetro, con una elevación de la temperatura interior de 19.5°C.

Tipo aeroplano. Los edificios tienen una anchura de 4,2 a 4,5 metros, 1,80 a 2,10 metros hasta los canalones y 3 a 3,90 metros hasta la cumbre del tejado. Los edificios se construyen sobre paredes enanas similares a las empleadas en el tipo anterior. Sirve para la mayor parte de los cultivos, aunque no resulta tan adecuado como el tipo anterior para cultivar pepinos o flores en macizos. (Fig.4).

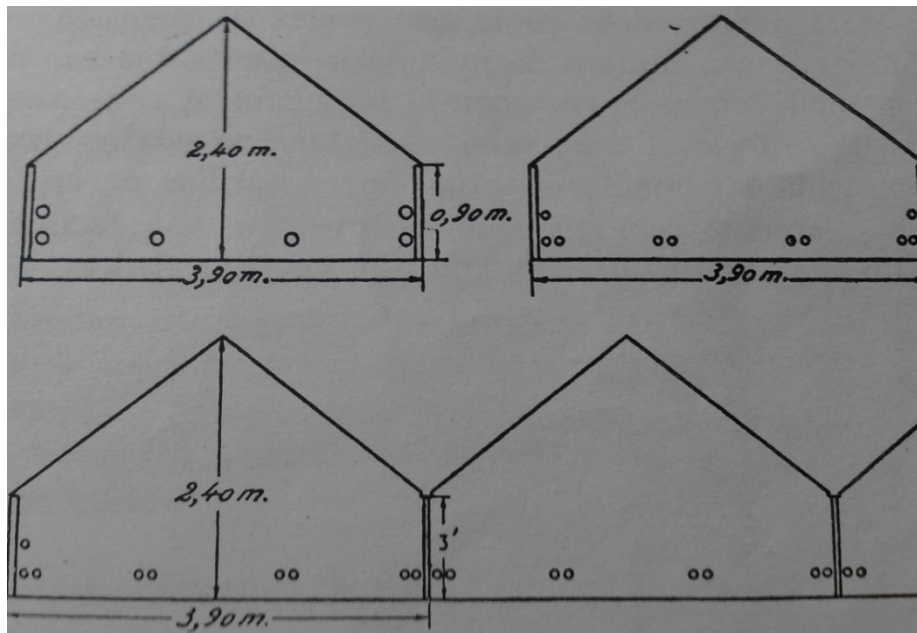


Fig.4.-Invernadero tipo aeroplano

Este tipo de invernadero es el más popular en el noroeste de Inglaterra. Resulta peor iluminado, aunque mejor ventilado que una superficie similar cubierta.

Tipo pepino. Suelen ser bajos y estrechos, 3,6 a 4,2 metros de anchura, 0,6-0,9 metros hasta los canalones y 2,4-2,5 metros hasta la cumbre del tejado. Este tipo de locales carece de flexibilidad de cosechas y ya no se construye (Fig.5).

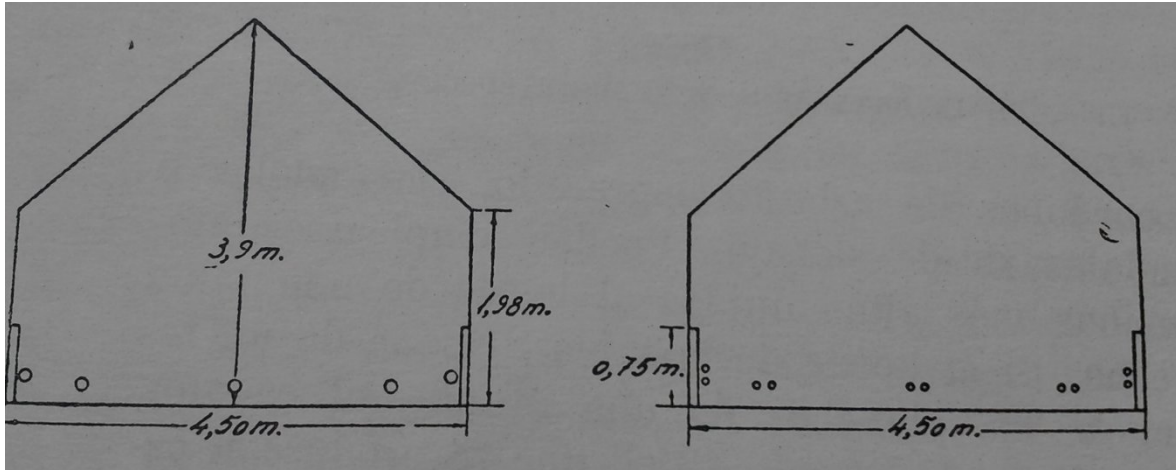


Fig.5.-Invernadero tipo pepino

Y la ventaja de éste se considera de manera tangible, debido a que cuando se suscita la necesidad de reconstruir un edificio de este tipo se suele transformar en un invernadero tipo emparrado.

Tipo diente de sierra. Una variación de los invernaderos capilla, que se comenzó a utilizar en zonas con muy baja precipitación y altos niveles de radiación, fueron los invernaderos a una vertiente.

Estos invernaderos contaban con una techumbre única inclinada en ángulos que variaban entre 5° y 15° (orientados en sentido este-oeste y con presentación del techo hacia la posición del sol -norte para el hemisferio sur-). El acoplamiento lateral de este tipo de invernaderos dio origen a los conocidos como dientes de sierra. La necesidad de evacuar el agua de precipitación, determinó una inclinación en las zonas de recogida desde la mitad hacia ambos extremos (Fig.6).

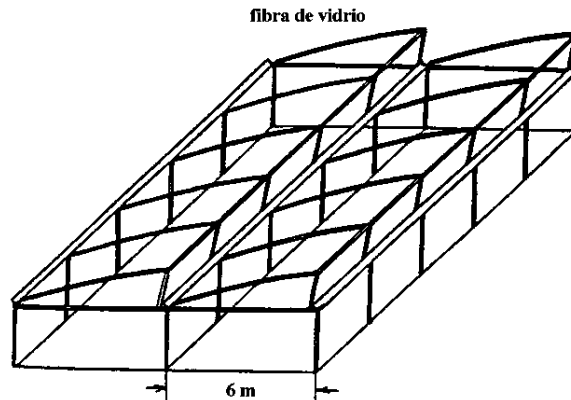


Fig.6.-Invernadero tipo diente de sierra

1.1.2 INVERNADEROS DE ALUMINIO

En este tipo de invernaderos, los cristales se colocan sobre las barras de aluminio, sujetos mediante listones de cierre no endurecibles, y se aseguran con grapas o cubre-listones. Resulta muy caro mandarlos construir de este material según un diseño o tamaño especial. La anchura de los diversos modelos existentes oscila entre 2,5 y 9 metros, aunque los más interesantes para cultivos comerciales son los que tienen tramos de 5,4 a 6,6 y 9 metros. Las cristaleras, canalones, postes y armaduras se fabrican casi siempre de aluminio, pero los puentes en forma de bastidor, los soportes de los canalones situados entre nava y nave y los postes sustentadores se fabrican en algunas ocasiones de tubo o sección de acero. El tejado carga todo el peso sobre las estructuras principales y, por lo general, las paredes enanas no soportan peso.

Los invernaderos de aluminio proporcionan un elevado estándar de eficiencia, mientras que en los de madera se producen oscilaciones de calidad más amplias. Los edificios construidos con aleaciones de aluminio, más populares entre los cultivadores comerciales, poseen un contorno y un diseño general similar a los de tipo emparrado y vienen a resultar un 10-15% más caro que los invernaderos similares de madera. Sin embargo los de aluminio tienen unos gastos de mantenimiento más bajos, transmiten una mayor proporción de la luz incidente, suelen ser mejor ventilados y el mecanismo de ventilación puede automatizarse con facilidad. Los elevados rendimientos de los invernaderos de aluminio se reflejan en la elevada proporción en que se construyen (Fig.7).



Fig.7.-Invernadero de aluminio

La mayor desventaja que muestra este tipo de invernadero es en su construcción, ya que esta tiene un incremento en el costo considerable de un 15% en comparación con un invernadero de madera.

1.1.3 INVERNADEROS HOLANDESES

Los invernaderos holandeses se diferencian de los restantes modelos en que utilizan cristales grandes, con medidas de 140 x 72 cm., las cristaleras son siempre secas y sueltas. La estructura puede ser de madera o de acero y suele levantarse sobre prefabricados de hormigón. Suelen utilizarse sin calefacción, este tipo de invernaderos es menos hermético que los tradicionales, y bien contruidos, de madera o aluminio, aunque recientes mejoras en su diseño permiten el empleo eficaz de la calefacción, que compensa al proteger contra heladas. Este tipo de invernaderos permite cubrir la tierra con cristal a menor coste, aunque no con tanta eficacia como con los otros dos tipos. (Fig.8)



Fig.8.-Estructura de un invernadero holandés.

En la imagen anterior se muestra la estructura de un invernadero tipo holandés así como la manera de la utilización de grandes cristalerías en la estructura.

Los invernaderos existentes dentro de este grupo se clasifican de la siguiente manera:

1. Revestimiento del tejado con cristaleras únicas
 - a) Una nave de 3,9 metros con sostén propio. Se reúnen cuatro cristaleras, provistas de carriles especiales en su parte superior e inferior y frecuentemente con engranes laterales, mediante pernos y riostras y grapas que las sujetan a los aleros y a las cumbre del tejado formando una arcada.
 - b) Estructuras de madera. Cristaleras estándar o ensambladas se ajustan a una estructura de madera con canalones moldeados en la madera. Estos invernaderos se construyen en anchuras de 3 metros y mediante secciones de 3 metros de longitud. Esta es la estructura tradicional del invernadero tipo holandés que proporciona buena cobertura de cristal a un precio mínimo.
 - c) Estructuras de tubo de acero. La estructura es de acero y los canalones pueden fabricarse de madera o de acero. El revestimiento del tejado puede realizarse mediante cristaleras estándar o ensambladas y la ventilación a base de cristaleras especiales.

2. Revestimiento del tejado con cristaleras múltiples

El tejado y las paredes de este tipo de invernaderos, va revestido permanentemente con secciones ya encristaladas con 2-4 cristales. Los canalones suelen ser de acero galvanizado y las estructuras principales de tubos de acero o de perfiles rectangulares huecos. Los edificios pueden consistir, en naves aisladas o múltiples, con anchuras de nave de 4,2, 5,4, 6 o 6,6 metros.

3. Tejado encristalado sobre barras

La estructura principal es de acero galvanizado. Las barras de las cristaleras poseen surcos en los que encajan los cristales. Las cristaleras ajustan sobre el borde del canalón y cumbre del tejado. La anchura de los cristales del tejado es de 72 cm, y se coloca un solo cristal desde la cima del tejado hasta el canalón. Es, posiblemente, el mejor de todos los tipos de cristaleras holandesas para la transmisión de la iluminación y proporcionar una combinación equilibrada de eficiencia y coste relativamente bajo (Fig.9).



Fig.9.-Estructura de un invernadero holandés de tipo tejado encristalado sobre barras.

En la imagen anterior se muestra la cantidad de barras utilizadas en la estructura con el fin de sostener las grandes cantidades de cristales que van montadas en los invernaderos tipo holandeses.

1.2 INVERNADEROS AUTOMATIZADOS DE JITOMATE

En los invernaderos automatizados de nivel tecnológico alto se incluyen instalaciones con dispositivos automatizados con sensores y actuadores para controlar el riego. Un ejemplo son los temporizadores o timers, que se propagan para encender y apagar bombas, así como foto celdas para apagar y encender luces, o sensores para operar calentadores y otros dispositivos similares. Algunos invernaderos automatizados tienen actividades controladas por computadora.

Los sistemas automáticos proporcionan cierta independencia en el manejo de los cultivos ya que se tiene el control de aspectos vitales, sin la dependencia de los operadores, que están en función de las variaciones ambientales y su efecto sobre las condiciones internas.

Los invernaderos automatizados de nivel tecnológico más altos son aquellos con ambientes controlados, en función de datos internos y externos. La mayor parte de los procesos se controlan por computadoras, las cuales se encargan de operar los equipos de riego, mantener estable la temperatura y realizar o inyectar las soluciones nutritivas, así como abrir y cerrar ventanas automáticamente. Cuentan con una serie de sensores que detectan las variaciones ambientales y envían señales a las computadoras para operar los dispositivos que se encargan de compensar o corregir las variaciones.

En este tipo de instalaciones existe un control automatizado completo del ambiente y la nutrición de los cultivos, con sistemas de fertirrigación y el uso de pantallas térmicas y mallas de sombreo. Son instalaciones herméticas y usan los insumos y equipo de aplicación más modernos, como aplicación de CO₂, uso de acolchados blancos dentro del invernadero para el manejo de la luz, hormonas y abejorros para la polinización.

Para saber que corresponde automatizar dentro de un invernadero, se debe de tener en cuenta lo que se puede de controlar, entre estos se tiene: temperatura, humedad, luz, CO₂. A continuación se muestra la Tabla 4 comparativa de elementos entre un invernadero convencional y un automatizado.

ELEMENTOS DENTRO DE UN INVERNADERO	CONVENCIONAL	AUTOMATIZADO
Estructura	Si	Si
Control de temperatura	No	Si
Control de humedad	No	Si
Ventilación automática	No	Si
Ventilación	Si	Si
Iluminación artificial	Si	Si
Control de CO₂	No	Si

Tabla 4.- Comparación de elementos en un invernadero convencional y automatizado.

De la Tabla 4 se puede observar cada uno de los elementos asociados con cada invernadero, aunque el costo de un invernadero automatizado sería más elevado, se podría obtener una mayor y mejor producción con un sistema como el antes mencionado.

TEMPERATURA EN INVERNADEROS

Generalmente, la temperatura mínima requerida para las plantas de invernadero es de 10-15°C, mientras que 30°C es la temperatura máxima.

Una diferencia de 5-7°C entre las temperaturas diurnas y nocturnas suele resultar beneficiosa para las plantas. La temperatura del suelo es incluso más importante que la temperatura del aire en un invernadero.

Cuando la temperatura del suelo está por debajo de 7°C, las raíces crecen más despacio y no absorben fácilmente el agua ni los nutrientes.

Para mantener una temperatura agradable dentro del invernadero puede que tengamos que bajar la intensidad de la iluminación (Fig.10).

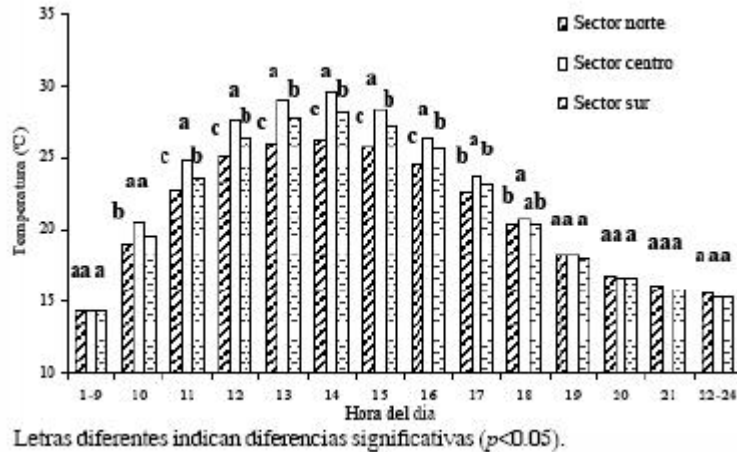


Fig.10.- Temperatura en un invernadero en un periodo de un día.

La Fig.10 muestra las variaciones de temperatura que puede tener un invernadero en un periodo de 24 horas.

CALEFACCIÓN DE INVERNADEROS

Dependiendo del emplazamiento y de las plantas que vayamos a cultivar, necesitaremos una fuente de calor adicional para complementar el que genera la radiación solar. Aunque supone un desembolso extra, nos permite alargar la época de plantación. Debemos usar la fuente de calor adicional en el momento en que se ponga el sol.

Opciones:

* Instalación de tuberías de agua caliente en el perímetro interno del invernadero es un método muy empleado (Fig.11).



Fig.11.- Calefacción en un invernadero mediante tuberías.

* Otra forma de hacer circular aire caliente dentro del invernadero consiste en instalar un ventilador cerca de una parrilla o estufa de gas o aceite (Fig.12).

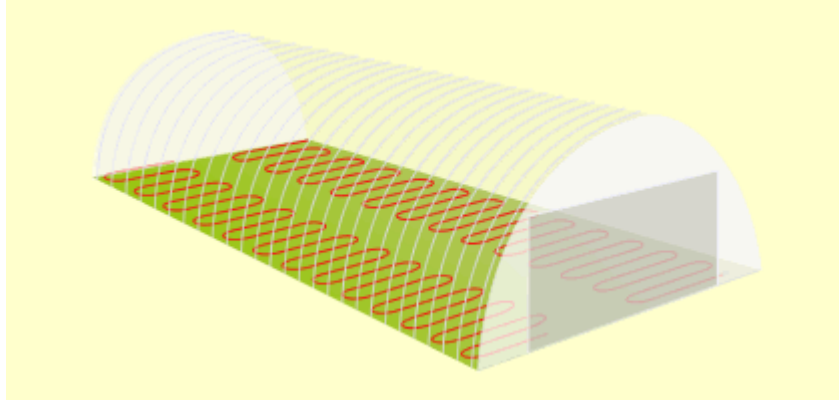


Fig.12.- Calefacción en un invernadero mediante parrillas.

VENTILACIÓN DE INVERNADEROS

La ventilación es muy importante, tanto para expulsar el aire caliente como para hacer que circule dentro del recinto, a la hora de evitar plagas y enfermedades (Fig.13).



Fig.13.-Apertura automática de la ventilación en invernaderos

La figura 13 muestra como se genera la ventilación en un invernadero con lo cual se logra el descenso de temperatura, una mejor oxigenación para un rápido desarrollo del cultivo. Normalmente la apertura automática se realiza con ayuda de sensores y actuadores.

HUMEDAD DE INVERNADEROS

La humedad es la masa de agua en unidad de volumen, o en unidad de masa de aire. La humedad relativa es la cantidad de agua contenida en el aire, en relación con la máxima que sería capaz de contener a la misma temperatura.

La mayoría de las plantas prefieren una humedad relativa del aire entre el 45 y el 60%. Se coloca un higrómetro para conocer la humedad relativa del aire.



Fig.14.-Defectos provocados por exceso de humedad.

En la fig. 14 se muestra como el sobrepasar los niveles de humedad afectan la calidad del cultivo provocando que comiencen a pudrirse en algunos casos.

ILUMINACIÓN

A mayor luminosidad en el interior del invernadero se debe aumentar la temperatura, la HR y el CO₂, para que la fotosíntesis sea máxima; por el contrario, si hay poca luz pueden descender las necesidades de otros factores. Para mejorar la luminosidad natural se usan los siguientes medios:

- Materiales de cubierta con buena transparencia.
- Orientación adecuada del invernadero.
- Materiales que reduzcan el mínimo las sombras interiores.
- Aumento del ángulo de incidencia de las radiaciones sobre las cubiertas.
- Acolchados del suelo con plástico blanco.

En verano para reducir la luminosidad se emplean:

- Blanqueo de cubiertas.
- Mallas de sombreo.
- Acolchados de plástico negro.

Iluminación artificial de invernaderos

En ciertas ocasiones es preciso aplicar iluminación artificial o simplemente regular la iluminación natural en el interior del invernadero (Fig.15). Esto puede hacerse con el fin de:

- Aumentar la asimilación neta, forzando una mayor tasa de fotosíntesis, durante los meses invernales. La iluminación otoño-invernal supletoria ayuda a incrementar los rendimientos productivos en la mayor parte de las especies hortícolas y en numerosas ornamentales (claveles, Anthurium, gerbera, orquídeas, etc.).
- Aumentar la duración del día, en plantas de día largo que no florecerían de otra manera, durante el otoño-invierno. Destaca su empleo en plantas ornamentales como Anthirrinum, Dahlia, Calceolaria, Gegonia tuberosa, etc.
- Romper la continuidad del periodo oscuro en plantas ornamentales de día corto (crisantemo, Poinsetia, Kalanchoe, etc.) con la finalidad de favorecer el crecimiento vegetativo en una época en que se vería favorecida la floración sin que las plantas tuvieran el adecuado tamaño, o bien para provocar la floración en plantas de día largo en épocas de poca iluminación.
- Disminuir la intensidad luminosa en siembras estivales de hortalizas como el apio, la cebolla, cubriendo los semilleros con mallas, cañizos, etc.
- Disminuir la duración del período iluminado, con el fin de que plantas puedan florecer en épocas en que la duración del día es demasiado elevada.



Fig.15.- Representación esquemática de la iluminación artificial en un invernadero.

En la figura 15 se muestra como se coloca la iluminación artificial dentro de un invernadero, dependiendo del cultivo, clima, día (nublado, soleado, lluvioso) se coloca el tipo de lámpara de acuerdo con las características necesarias para un desarrollo óptimo dentro del invernadero.

En la Tabla 5 se muestran los diferentes tipos y características de las lámparas empleadas en la iluminación artificial de invernaderos.

Tipos y características de lámparas empleadas en iluminación de invernaderos

Características	Incandescentes	Vapor de mercurio	Incandescentes y vapor de mercurio	Fluorescentes
Luz producida	Rojo e infrarrojo (elevado poder calorífico)	Visible y ultravioleta	Mixta	Mixta con preponderancia de azul y rojo
Potencia	3 W/m ²	150-200 W/m ²	-	-
Rendimiento luminoso	10 %	90 %	30%	90% (emana poco calor)
Duración	1000 horas	3500 horas	2000 horas	3500 horas
Aplicación	Invernadero de grandes dimensiones. Adelanto o retraso de la floración	Crecimiento de plantas	Adelanto de la floración	Crecimiento de plantas
Observaciones	Bajo costo de instalación; elevado uso	Atención al tipo comercial que se elige	Elevado costo de uso	Débil intensidad luminosa, colocación en batería de 3-4

Tabla 5. Tipos de lámparas utilizadas en los invernaderos.

DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂)

El anhídrido carbónico de la atmósfera es la materia prima imprescindible de la función clorofílica de las plantas. El enriquecimiento de la atmósfera del invernadero con CO₂, es muy interesante en muchos cultivos, tanto en hortalizas como en flores.

La concentración normal de CO₂ en la atmósfera es del 0,03%. Este índice debe aumentarse a límites de 0,1-0,2%, cuando los demás factores de la producción

vegetal sean óptimos, si se desea el aprovechamiento al máximo de la actividad fotosintética de las plantas. Las concentraciones superiores al 0,3% resultan tóxicas para los cultivos.

En los invernaderos que no se aplique anhídrido carbónico, la concentración de este gas es muy variable a lo largo del día. Alcanza el máximo de la concentración al final de la noche y el mínimo a las horas de máxima luz que coinciden con el mediodía. En un invernadero cerrado por la noche, antes de que se inicie la ventilación por la mañana, la concentración de CO₂ puede llegar a límites mínimos de 0,005-0,01%, que los vegetales no pueden tomarlo y la fotosíntesis es nula. En el caso que el invernadero esté cerrado durante todo el día, en épocas demasiado frías, esa concentración mínima sigue disminuyendo y los vegetales se encuentran en situación de extrema necesidad en CO₂ para poder realizar la fotosíntesis.

Los niveles aconsejados de CO₂ dependen de la especie o variedad cultivada, de la radiación solar, de la ventilación, de la temperatura y de la humedad. El óptimo de asimilación está entre los 18 y 23° C de temperatura, descendiendo por encima de los 23-24° C. Respecto a la luminosidad y humedad, cada especie vegetal tiene un óptimo distinto (Fig.16).

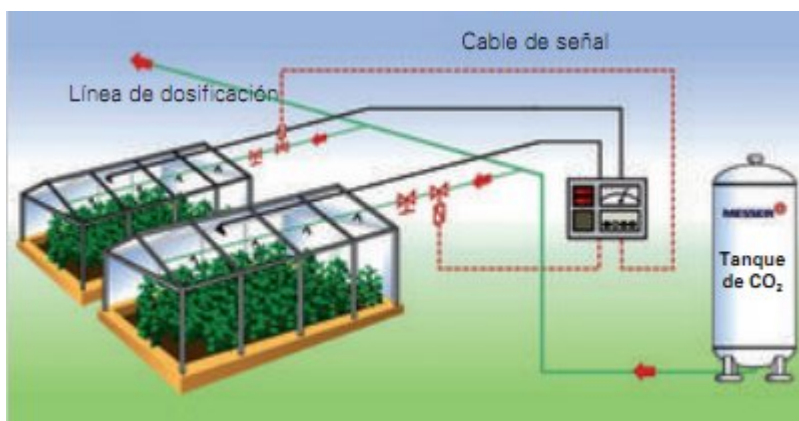


Fig.16.- Suministro de CO₂ dentro de un invernadero.

El efecto que produce la fertilización con CO₂ sobre los cultivos hortícolas, es el de aumento de la precocidad de aproximadamente un 20% y aumento de los rendimientos en un 25-30%, mejora la calidad del cultivo así como la de su cosecha.

Sin embargo, no se puede hablar de una buena actividad fotosintética sin una óptima luminosidad. La luz es factor limitante, y así, la tasa de absorción de CO₂ es proporcional a la cantidad de luz recibida, además de depender también de la propia concentración de CO₂ disponible en la atmósfera de la planta. Se puede decir que el periodo más importante para el enriquecimiento carbónico es el mediodía, ya que es la parte del día en que se dan las máximas condiciones de luminosidad.

1.3 COMPARACIÓN ENTRE SISTEMAS DE INVERNADEROS TRADICIONALES Y AUTOMATIZADOS

La ventaja del sistema de invernadero sobre el método tradicional a cielo abierto, es que, bajo invernadero, se establece una barrera entre el medio ambiente externo y el cultivo. Esta barrera limita un microclima que permite proteger el cultivo del viento, lluvia, plagas, enfermedades, hierbas y animales. Igualmente, esta protección permite al agricultor controlar la temperatura, la cantidad de luz y aplicar efectivamente control químico y biológico para proteger el cultivo. Es por ello que mediante tecnología de invernaderos es posible pasar en jitomate, por ejemplo, de 7 kg/m² en las mejores condiciones de cielo abierto y buena tecnología de riego a 15 kg/m² en invernaderos manuales o 50 kg/m² con tecnología automatizada (Tabla 6).

Sistema	Consumo de agua Litros/m ²	Rendimiento kg/m ²	Rendimiento Litros/kg
Campo abierto	624	7	89
Invernadero con sistema abierto	1,200	25	48
Invernadero con sistema cerrado	1000	50	20

Tabla 6. Comparativas de producción de jitomate en 3 tipos de sistemas

Como se puede observar, una de las soluciones a la problemática del agua en el país es la producción bajo invernadero, de acuerdo a la Comisión Nacional del Agua 80% del consumo de agua en el país se realiza para actividades agrícolas, es por ello que un sistema que haga un uso más eficiente del mismo es de vital importancia. Como puede observarse, un sistema automatizado de producción bajo invernadero proporciona un ahorro de más de 400% de agua.

De manera general 70% de los ambientes en que se práctica la horticultura en México se ubica en climas de trópico o subtropical árido o semiárido. En tales condiciones la disponibilidad de agua se va haciendo cada vez más restringida tanto por la demanda de la creciente población como por la falta de recarga suficiente de los acuíferos.

En ese contexto, el uso del agua para el riego de hortalizas se refleja en costos cada vez más altos. Se estima que en el país, en las hortalizas se tiene un desperdicio por la práctica actual de riego de por lo menos 40 %. Existen casos más críticos o más conocidos, por ejemplo, en Guanajuato para regar las hortalizas salen de los acuíferos 416.25 millones de m³ de agua, en promedio llegan a los campos de cultivo 307.91 millones de m³ y se estima que para regar la superficie hortícola sólo se requieren 121.86 millones de m³. En este caso la

ineficiencia a nivel parcelario es poco más de 150 % y de casi 250% en todo el proceso.

En el año de 1995 México produjo en 80,000 hectáreas dedicadas a jitomate 1.5 millones de toneladas, cifra igual a la de Holanda pero en 2,000 hectáreas, lo que se puede observar del impacto de tecnología de automatización en la misma (LEI-DLO, 1996).

Así mismo, la productividad por metro cuadrado se incrementa en varias veces al usar tecnología de automatización en invernaderos. En un invernadero manual, es imposible manejar un clima adecuado para la planta dado que la apertura y cierre de ventanas se maneja en las mañanas muy temprano y en las noches, sin importar que pase en el transcurso del día. Con un sistema automatizado se ahorra mano de obra para el riego y el control del clima y se evitan errores humanos, logrando aumento de producciones pasando de 15 kg en modo manual hasta 50 kg en el caso Automatizado.

PRODUCIR FUERA DE LA ÉPOCA NORMAL

Generalmente el tomate se planta a finales de junio y se empiezan a recoger los primeros tomates a partir de octubre. Esto no es casual, ya que el tomate no podría crecer con las condiciones climáticas que hay durante el invierno: los tomates se helarían.

Sin embargo, si tenemos unas buenas condiciones de iluminación (Tiempo despejado y soleado, podemos poner un invernadero donde siempre vamos a tener una temperatura mayor que en el exterior, y por tanto cultivar tomates durante el invierno. Es decir, que gracias a los invernaderos puedes comer tomates en invierno o fuera de su estación normal de crecimiento. Y lo mismo ocurre con otras muchas plantas: berenjena, pimiento, melón, sandía, pepino, etc.

No obstante con el empleo de invernaderos se consiguen además otra serie de ventajas: aumento de la calidad de los frutos y mejora del control de insectos y enfermedades.

1.4 CULTIVO DE JITOMATE EN EL ESTADO DE MORELOS

El jitomate es una planta originaria de la zona del Perú y Ecuador, desde donde se extendió al resto de América. El tomate es un fruto en baya de la planta del tomate (*Lycopersicon esculentum*) de la familia de las solanáceas, a la que también pertenecen la patata, el pimiento y la berenjena.

El jitomate madura en verano, aunque gracias a los cultivos de invernadero se puede gozar de él durante todo el año. (Fig.17)



Fig.17.- Tomate

1.4.1 CARACTERÍSTICAS TAXONÓMICAS Y BOTÁNICAS DEL JITOMATE

A continuación se describen las características principales del jitomate, así como los requerimientos necesarios para el mejor desarrollo de la planta procedente.

Características principales del jitomate:

1. **Clase**-Dicotiledóneas
2. **Orden**-Solanales (Personatae)
3. **Familia**-Solanaceae
4. **Subfamilia**-Solanoideae
5. **Tribu**-Solancae
6. **Genero**-Lycopersicon
7. **Especie**-esculentum

Basándose en el hábito de la planta y vigor, esta puede ser de crecimiento determinado o indeterminado, presentando los primeros en el ápice de crecimiento, la diferenciación de vegetativo a floración y así deteniendo su crecimiento. Teóricamente se dice que todos los tipos indeterminados son plantas perennes y los de tipo determinados, anuales (Fig. 18 y 19).



Fig.18.- a) determinado

b) indeterminado

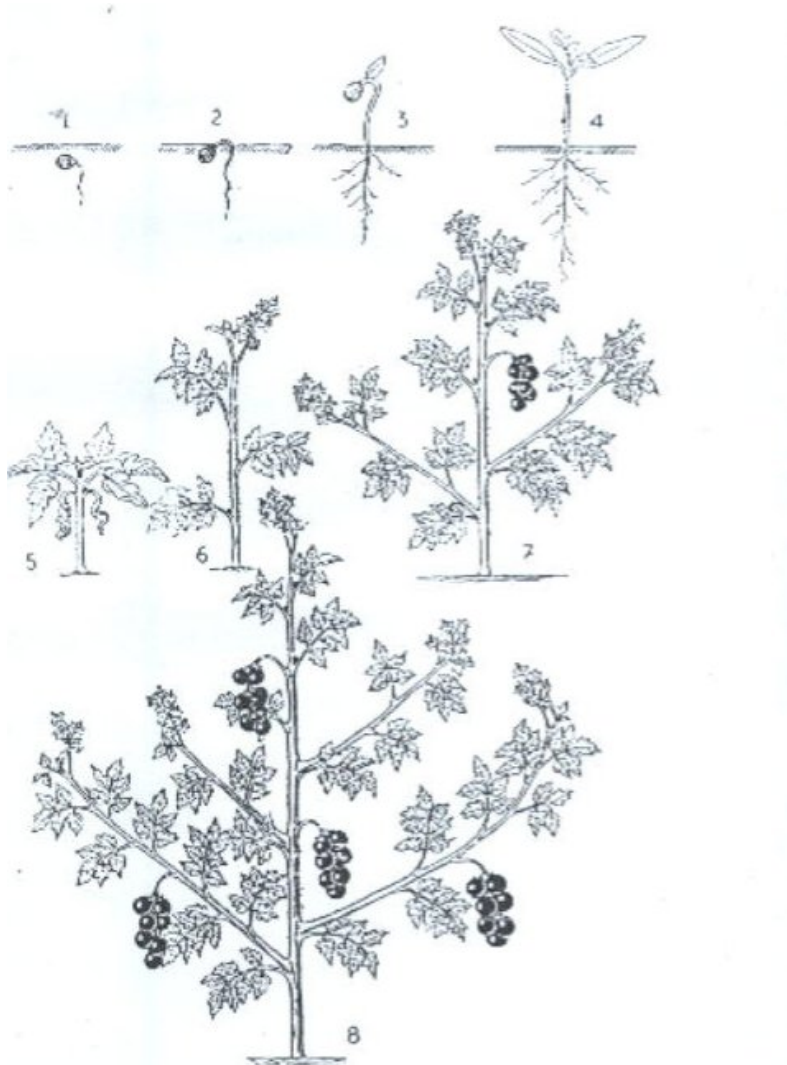


Fig.19.- Representación esquemática del desarrollo de la planta

1.4.2 SEMILLA

De forma lenticular, con un diámetro de 3 a 5 mm, constituida por el embrión, el endospermo y la testa. El embrión, a su vez, está constituido por la yema apical, dos cotiledones, el hipocotilo y la radícula (Fig. 20 y 21).

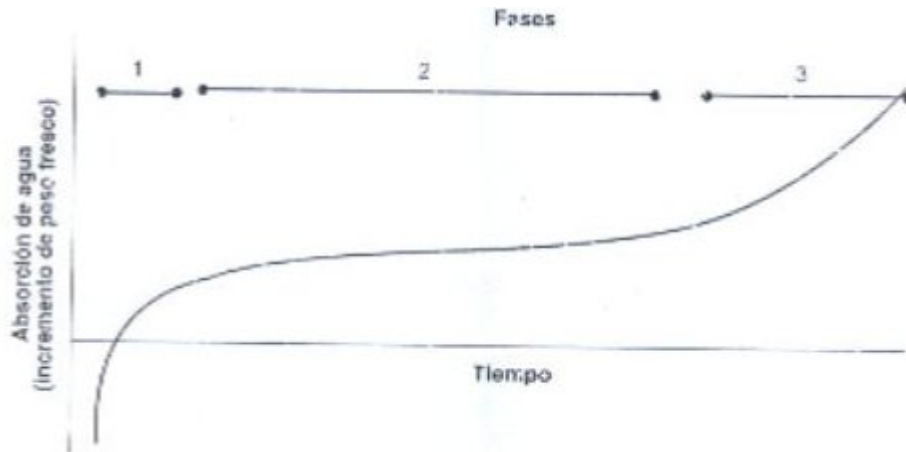


Fig. 20.- Hidratación de la semilla. Fase 1.- Imbibición de la semilla, Fase 2.- Activación enzimática, Fase 3 Iniciación de la división celular y elongación, Fase 4.- No se muestra es la emergencia de la raíz.

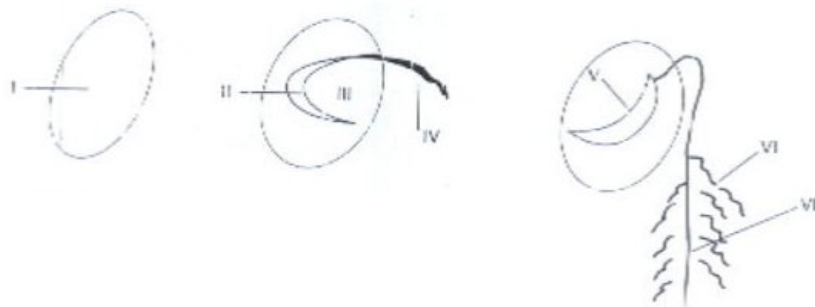


Fig.21.-Esquema de la germinación de una semilla de tomate: I Testa, II Embrión, III Endospermo, IV Emergencia de radícula, V Cotiledones, VI Raíces laterales, VII Raíz principal.

Para que se realice la germinación, los tejidos de almacenamiento que contienen carbohidratos, grasas y proteínas deben de ser hidrolizados y degradados a formas químicas más simples y móviles, las cuales serán translocadas a los puntos de crecimiento del embrión y transformadas en nuevos tejidos.

1.4.3 RAÍZ

La función de la raíz es la absorción y transporte de nutrientes, así como el anclaje de la planta al suelo. El sistema radicular está constituido por una raíz principal, raíces secundarias y raíces adventicias (Fig.22).

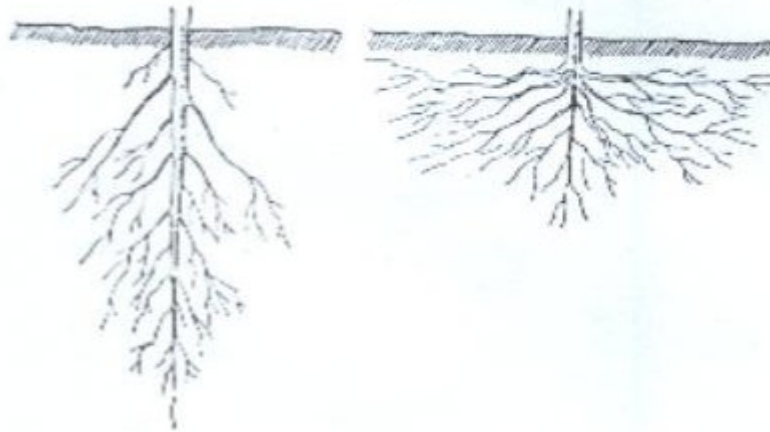


Fig.22.-El aparato radicular procedente de semilla tiende a desarrollar una raíz principal; cuando pertenece a plantas trasplantadas se extiende lateralmente.

1.4.4 PARTE AÉREA

La estructura de la planta es la de un simpodio, el tallo principal forma de 6 a 12 hojas que crecen lateralmente con una filotaxia de 2/5 antes que la yema principal se transforme en una inflorescencia (Fig.23).



Fig.23.- Hoja de tomate compuesta por 7,9 y a veces 11 hojas simples.

El crecimiento subsiguiente se produce a partir de la yema axilar de la última hoja, la cual desarrolla un tallo secundario que crece como una prolongación del tallo primario y desplaza lateralmente la inflorescencia.

Los siguientes segmentos del tallo se desarrollan de forma similar produciendo una inflorescencia cada tres hojas a partir de la primera que la tiene tras la quinta a séptima hoja.

1.4.5 TALLO

El diámetro típico de un tallo puede variar de 2 a 4 cm en la base y está cubierto por pelos glandulares y no glandulares que salen de la epidermis.

En la parte superior del tallo principal está ubicado el meristemo apical, una zona donde se presenta una gran actividad celular y donde se inician los primordios foliares y flores. Tiene forma de cúpula y está protegido por las hojas recién formadas (Fig.24).



Fig.24.- Tallo principal de un jitomate.

En la Figura 24 se observa el diámetro adecuado para el tallo principal de una planta de jitomate, el cual se encuentra protegido por numerosas ramificaciones.

1.4.6 HOJAS

Presenta hojas pinnadocompuestas. Tiene un foliolo terminal y hasta ocho foliolos laterales, que pueden a su vez ser compuestos. Son peciolados y lobulados irregularmente con bordes dentados. Las hojas compuestas se insertan sobre los diversos nudos, en forma alterna. (Fig.25).



Fig.25.- Hojas de la planta jitomate.

En la figura 25 se muestra la coloración óptima de una hoja de jitomate, la cual rodea al tallo principal a través de las diferentes ramificaciones.

1.4.7 FLORES

La diferenciación floral y el desarrollo de las mismas constituyen las etapas previas a la fructificación, este proceso se puede ver afectado por la temperatura, iluminación, nutrición, estrés hídrico, la competencia con otros órganos de la planta y los tratamientos con reguladores de crecimiento, dando como resultado, una influencia en la precocidad, rendimiento y calidad del fruto.

La flor del tomate es perfecta, regular e hipógina, consta de cinco o más sépalos, de cinco o más pétalos dispuestos de forma helicoidal de un número igual de estambres que se alternan con los pétalos y de un ovario bi o plurilocular.

El tiempo que pasa entre el cuajado de la flor y la maduración del fruto depende de las condiciones de cultivo y atmosféricas más que de la variedad; por término medio se pueden calcular unos 45-60 días (Fig. 26).

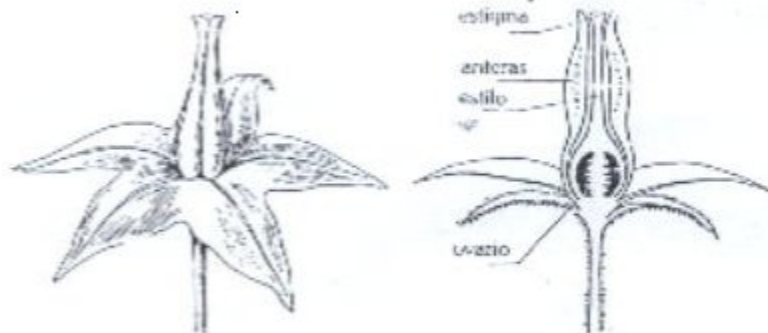


Fig.26.- La flor está tomada por pétalos soldados entre si y 5 estambres estrechamente unidos en torno o pistilo.

1.4.8 FRUTOS

La coloración del fruto maduro se debe a la presencia de dos pigmentos: la licopina (rojo) y la carotina (amarillo). Una sombra moderada favorece la formación de la licopina (rojo), mientras que la carotina (amarillo) se da de forma más abundante si el fruto está expuesto a la luz intensa. El fruto se compone de piel, pulpa, placenta y semillas. El grosor de la piel aumenta en el primer estado del desarrollo, después se adelgaza y va madurando. La pulpa está formada por las paredes de los compartimentos y es siempre, en mayor o menor medida, rica en zumo constituyendo la materia prima de la industria conservera.

En el interior de cada compartimento, envueltas en el mucilago placentario, se encuentran las semillas, más o menos numerosas según la variedad a que pertenece el tomate. Las semillas maduras tienen forma ovalada y están achatadas por los lados (Fig.27).

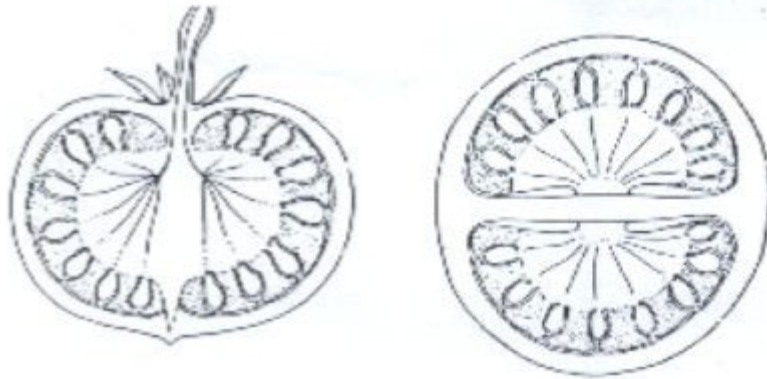


Fig.27.- Disposición de las semillas en el fruto. Las semillas están inmersas en el mucilago de la placenta.

No obstante su forma puede variar notablemente, porque la longitud oscila de 3 a 5 mm y la anchura de 2 a 4. La superficie externa, de color amarillo-grisáceo, está cubierta de pelos grises o plateados y de escamas, que representan los restos del tegumento más externo que los revestía. El diámetro de los frutos varía entre 3 y 16 cm.

Entre las variedades más populares, destacan las siguientes:

- Jitomate en rama, de pequeño tamaño y piel fina, apreciado sabor y textura, además se conserva muy bien.
- Jitomate de pera, adecuado para elaborar conservas, debido a su sabor y aroma.
- Jitomate canario, muy rojo y redondo, de sabor dulce. Se suele utilizar para untar el pan de tostadas.
- Jitomate cherry, que tiene un sabor afrutado y se utiliza más bien como elemento decorativo de platos y en ensaladas.

- Jitomate verde, de color poco intenso, esconde una pulpa dura y es muy apreciado para ensaladas.
- Jitomate de Monserrat, de aspecto lobuloso y achatado, es muy aromático y sabroso e ideal para ensaladas.
- Jitomate raf, muy parecido a los de Monserrat, pero con más pulpa, también ideal para ensaladas (Fig.28).



Fig.28.- Variedades de jitomate.

Hay más de 7500 variedades de tomates. Hay tomates rosados, blancos, grises, tomates a rayas, tomates piel de durazno. Tomates redondos, largos, con forma de pera, con gajos. Tomates del tamaño de un dedo o de dos manos. Sin embargo hoy casi todos son uniformes, rojos y redondos, y algunos amarillos. Los primeros jitomates cultivados eran naranja claro, los reprodujeron los Aztecas en México y los llamaron *xitomatl*, que quiere decir *cosa regordeta con ombligo*.

1.4.9 REQUERIMIENTOS DEL CULTIVO

CLIMA Y TERRENO

El tomate, planta de origen tropical, necesita de temperaturas sensiblemente elevadas para asegurarse un ciclo total de vegetación y llevar sus frutos a una maduración completa; por término medio, una temperatura diurna de 23-24 °C y una temperatura nocturna de 14 °C. de 24 a 31 °C las plantas se desarrollan rápidamente, a 33 °C disminuyen el ritmo de crecimiento y a 35 °C se detienen.

Los terrenos que mejor se prestan a su cultivo son los neutros o ligeramente ácidos (pH de 7 a 5.8), aunque se adaptan bastante bien a terrenos más ácidos, o aquellos con un pH alcalino.

En los terrenos compactos las plantas pueden sufrir por el exceso de humedad o por la intensa sequía. En ellos el desagüe es de capital importancia; su permeabilidad puede ser mejorada con labores profundas y complementado el trabajo del arado con pases de cultivador. Estos terrenos son por lo general fríos, y las plantas no solo tardan en nacer, sino que durante el primer periodo de vida crecen lentamente.

Otro aspecto importante que debe ser tomado en cuenta es la humedad relativa del aire, sobre todo durante la dehiscencia polínica y la consiguiente polinización, siendo quizá el rango más adecuado entre 55 y 60 %.

RIEGO Y FERTILIZACIÓN

La casi totalidad del tomate que se hace para consumo en fresco se realiza en condiciones de cultivo intensivo o semi-intensivo, por lo tanto el sistema de nutrición se basa en fertirrigación en riego localizado de alta frecuencia. Los aportes de agua y nutrientes al suelo están en función, entre otros factores, del estado fenológico de la planta, de la calidad del agua de riego, de la textura del suelo y de las condiciones de forzado en que se cultiva.

Existen estudios realizados sobre las necesidades en agua del cultivo del tomate, estando estas entre los 4000 y 6000 m³ por hectárea, dependiendo del ciclo de cultivo, otoño, primavera o ciclo largo (entre 8-9 meses la planta desarrollándose sobre el suelo). Las necesidades de agua en época de máximo consumo oscilan entre los 4 y 6 mm al día, lo que nos lleva a regar en función de la densidad de los goteros y caudal de los mismos a riegos diarios de 20 a 45 minutos.

La utilización de sensores de humedad, como instrumentos de ayuda para la toma de decisiones en cuanto y cuando regar, son de gran ayuda.

El aporte de nutrientes al suelo, dentro del concepto de sostenibilidad de los sistemas agrarios, nos hace concebir el suelo como un recipiente que una vez se ha llegado con él a límites normales de fertilidad, dando en él un balance de materia (nutrientes)cero, en que solo se debe de tener presente el proceso de mineralización de la materia orgánica, para realizar también el aporte de esta y obtener los beneficios que nos genera la misma desde el punto de vista estructural y biológico.

Una solución nutritiva media para un cultivo de tomate sería la formada por 11mmol/L de NO_3 ; 1,5 mmol/L de PO_4 ; 2 mmol/L de SO_4 ; 7,5 mmol/L de K; 5 mmol/L de Ca y 2 mmol/L de Mg. En cuanto a las necesidades en micros, las cantidades que se barajan, expresadas en ppm, podrían ser de 1,5 para Fe; 1,5 para Mn; 0,5 para B, Cu y Zn y 0,1 para Mo.

CAPÍTULO II

AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMAS PARA EL CULTIVO DE JITOMATE

- 2.1. SISTEMAS APLICADOS EN LOS INVERNADEROS DE JITOMATE
- 2.2. ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE LOS INVERNADEROS
- 2.3. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS A UTILIZAR EN LOS INVERNADEROS DE JITOMATE
- 2.4. DIAGRAMAS DE BLOQUE PARA EL SISTEMA DENOMINADO INVERNADERO
- 2.5. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN PARA AUTOMATIZAR INVERNADEROS DE JITOMATE

2.1. SISTEMAS APLICADOS EN LOS INVERNADEROS DE JITOMATE

Dentro de los principales sistemas aplicados en un invernadero se tienen los siguientes:

-SISTEMA MANUAL

Consiste en aquellos invernaderos que requieren en su totalidad de ayuda humana para el cultivo de la planta, realizando actividades como apertura de ventanas, riego, suministro de nutrientes para el crecimiento de la planta y dependencia de la energía solar transmitida.

-SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO

Es aquel invernadero que posee parcialmente una automatización, ya sea el control de temperatura, la humedad o la iluminación, sin embargo aun requiere de la ayuda en algún bloque dentro del invernadero para el cultivo de la planta.

-SISTEMA AUTOMÁTICO

Es aquel invernadero que posee un sistema automático de: control de temperatura, control de humedad, control de CO₂ y riego de manera que el humano únicamente supervisa el funcionamiento y el desarrollo de la planta.

Dentro de cada uno de estos sistemas se ve involucrada una subclasificación de ellos mismos, de la siguiente manera:

1. MECÁNICO

Los tres sistemas anteriormente mencionados poseen una parte mecánica, ya sea por parte de la estructura, un ventilador, una bomba de agua, o ventilación automatizada.

2. ELÉCTRICO

Los invernaderos que utilizan el sistema eléctrico son el semiautomático y el automático, en pocas ocasiones es utilizado por un sistema manual. Los elementos más utilizados son dentro de la iluminación artificial, son los focos, lámparas etc.

3. HIDRÁULICO

Sistema utilizado en general en los invernaderos semiautomáticos y automáticos. Este es utilizado particularmente en el riego y el suministro de nutrientes para la planta.

4. TÉRMICO

Sistema utilizado en los tres invernaderos: manual, semiautomático y automatizado, es el sistema encargado de suministrar el calor necesario dentro del invernadero con el objetivo de mantener el sistema a una temperatura deseada. El

elemento principal es la energía solar y en condiciones adversas se utilizan calentadores de diferentes tipos.

Al conjuntar cada uno de los subsistemas mecánico, eléctrico, hidráulico y térmico se llega a tener un sistema que es un invernadero automatizado, a continuación se muestra el conjunto de elementos (Fig.29):



Fig.29.- Sistemas aplicados a los invernaderos automatizados

La conjunción de cada uno de los elementos anteriormente ilustrados nos lleva a la obtención de un sistema automatizado, con lo cual se pueden controlar variables como temperatura y humedad.

A continuación se describen los elementos aplicados en los invernaderos de jitomates:

- ILUMINACIÓN

A mayor luminosidad en el interior del invernadero se debe aumentar la temperatura, la HR y el CO₂, para que la fotosíntesis sea máxima; por el contrario, si hay poca luz pueden descender las necesidades de otros factores (Fig.30).



Fig.30.- Sistemas de iluminación en invernaderos.

La iluminación artificial es esencial para días nublados y noches, es de uso necesario para la formación de la coloración del cultivo.

- TEMPERATURA

Es el factor más importante ya que el crecimiento y/o desarrollo de los cultivos se detienen por debajo de los 10-12 °C y por encima de los 30-32 °C. El exceso de temperatura causa daño en la morfología y en los distintos procesos fisiológicos de las plantas, como son la formación floral, la quemadura de hojas, la mala calidad del fruto, el exceso de transpiración, el acortamiento de la vida del cultivo, la reducción de la fotosíntesis neta debido al exceso de respiración (Fig.31).



Fig.31.- Hojas quemadas por el exceso de temperatura.

Es importante mantener la temperatura óptima para no causar daños a la planta, con lo cual se provoque la muerte total.

- CALEFACCIÓN

El calor cedido por la calefacción puede ser aportado al invernadero básicamente por convección o por conducción. Por convección al calentar el aire del invernadero y por conducción se localiza la distribución del calor a nivel del cultivo.

Los diferentes sistemas de calefacción aérea o de convección más utilizados se pueden clasificar en:

- Tuberías aéreas de agua caliente.
- Generadores de aire caliente (Fig.32).
- Generadores y distribución del aire en mangas de polietileno.



Fig.32.- Generador de aire caliente.

Los sistemas de distribución de calor por conducción se basan en tuberías de agua caliente, las diferencias entre ellos se encuentran en la temperatura del agua y su localización:

- Suelo a nivel de cultivo.
- Tuberías enterradas.
- Banquetas.

- VENTILACIÓN

La ventilación consiste en la renovación del aire dentro del recinto del invernadero. Al renovar el aire se actúa sobre la temperatura, la humedad, el contenido en CO₂ y el oxígeno que hay en el interior del invernadero. La ventilación puede hacerse de una forma natural o forzada (Fig.33).

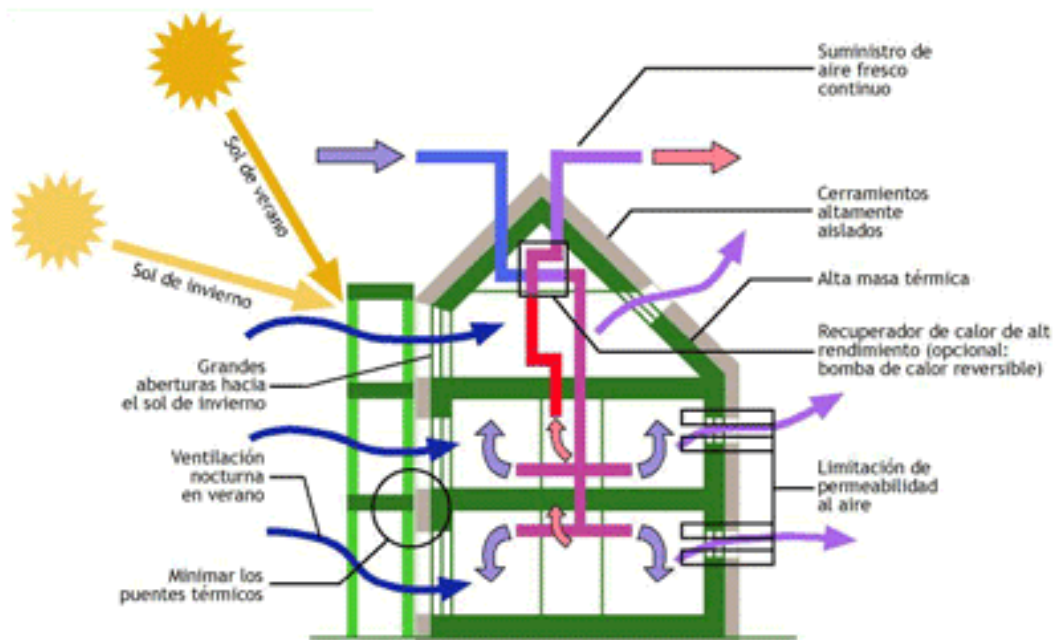


Fig.33.- Ventilación en un invernadero.

Un invernadero debe contar con la ventilación requerida, con lo cual se logra que la fotosíntesis sea mayor obteniendo un mejor y más rápido desarrollo de la planta.

- HUMEDAD

La humedad relativa es la cantidad de agua contenida en el aire. La humedad relativa es un factor climático que puede modificar el rendimiento final de los

cultivos. Cada especie tiene una humedad ambiental idónea para vegetar en perfectas condiciones.

Existe una relación inversa de la temperatura con la humedad por lo que a elevadas temperaturas, aumenta la capacidad de contener vapor de agua y por lo tanto disminuye la humedad relativa (Fig.34).



Fig.34.- Jitomates con exceso de humedad.

La humedad alta favorece a la transmisión de plagas, enfermedades y abortos florales. La humedad baja podría secar las plantas.

- ESTRUCTURA

La estructura de invernaderos será uno de los factores más importantes a tener en cuenta, no solo porque mantendrá nuestro invernadero en pie, sino que estará bien montado para captar la mayor parte de energía solar posible, sobre todo en el invierno. Por ello, adecuar la altura del invernadero, la ventilación, y el largo, será parte fundamental al querer generar un invernadero que funcione bien (Fig.35).



Fig.35.- Estructura de invernadero tipo túnel.

La estructura debe ser diseñada con los requerimientos necesarios para que el cultivo de la planta sea el mejor. Con la estructura se debe obtener la protección contra lluvias, heladas o sol incidente a todo momento y resistencia a los vientos.

2.2. ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE LOS INVERNADEROS

SISTEMA DE CONTROL DE ILUMINACIÓN DE UN INVERNADERO

SENSOR DE LUZ

Colocado en el interior. Encargado de recolectar los datos de la luminosidad interior, en caso de ser bajos (días nublados) se encenderán las lámparas de sodio de alta resistencia para que la plantación puede seguir con el proceso de fotosíntesis y trabajará con el sistema de riego para que los días fríos y de poca iluminación acorte el riego y evitar un exceso de humedad (Fig.36).

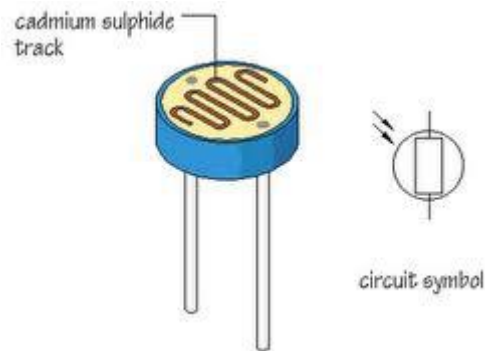


Fig.36.- Sensor de luz.

El sensor de luz es una resistencia que varía su valor en función de la luz que incide sobre su superficie.

SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA DE UN INVERNADERO

Para poder desarrollar cada uno de los sistemas de control es conveniente dentro de un invernadero se describen a continuación algunas definiciones básicas para explicar el funcionamiento del sistema invernadero y cada uno de sus subsistemas.

Para controlar el microclima en el interior de un invernadero se utiliza un sistema de control realimentado, que se compone de cuatro partes fundamentales:

- Proceso: Variable a controlar
- Sistema de medida o elementos que realizan una estimación del valor de la variable a controlar y las demás variables que necesite el controlador (Ej. Sensor de temperatura).
- Controlador: Sistema que compara el valor actual de la variable a controlar con el valor deseado de ésta y toma las decisiones oportunas para que la diferencia entre estos dos valores sea nula. (Ej. Computador y herramienta informática que controlen las variaciones de temperatura).
- Actuadores: Son los dispositivos al que el controlador ordena funcionar para mantener a la variable en los límites deseados. (Ej. Ventilación, calefacción, etc.).

SENSOR DE TEMPERATURA

Encargado de medir la temperatura interna del Invernadero. Cuando esta se encuentra por debajo del rango permitido, el sistema da la orden de cerrar las ventanas laterales y si es necesario encender la calefacción para mantener el calor interior y proteger al cultivo de las heladas y cuando se encuentra por encima del rango permitido, las ventanas laterales se abren en caso de estar cerradas, el sistema activa el extractor.

Ventilación lateral. Ventana diseñada para operar de forma automática, por decisión del controlador.

Extractor colocado en la parte alta del invernadero para expulsar el aire caliente y renovarlo de accionamiento automático.

Refrigeración por evaporación de agua. Este actuara en un día caluroso en el que el sistema de ventilación no logre disminuir la temperatura máxima.

Reducción de la radiación solar con malla negra colocada por afuera de la cubierta de polietileno con protección UV.

A continuación se muestra un sistema de control retroalimentado el cual se controla por medio de sensores, en donde los valores obtenidos del medio ambiente son comparados de tal manera que se puedan accionar los actuadores y así poder obtener una temperatura adecuada en el invernadero (Fig.37).



Fig.37.- Sistema de control retroalimentado en un invernadero.

En un invernadero, se deben controlar todas las variables simultáneamente, climáticas y no climáticas; internas y externas al invernadero. Por tanto, al controlador deben llegar las señales de todos los sensores que miden las variables anteriores. Para eso es necesario disponer de un multiplexor que recoja todas las señales para que el controlador pueda trabajar con ellas.

Una vez que el controlador recibe las señales procedentes de los sensores que le informan sobre el estado de las variables, comprueba que éstas se encuentren en los límites permitidos y da las órdenes oportunas a los actuadores para alcanzar el estado global deseado. Si una de las variables no se encuentra dentro de su intervalo permitido da la orden al actuador correspondiente para que opere en consecuencia. Para activar un actuador se utilizan los relés, que son como interruptores que cierran los circuitos cuya misión es el arranque de estos actuadores.

Debido a que el control del clima de un invernadero se compone de varios lazos de control, necesitando una gran capacidad de cálculo y decisión, se suele utilizar una computadora como controlador del sistema.

SISTEMA DE CONTROL DE CALEFACCIÓN DE UN INVERNADERO:

A continuación se muestra el diagrama de bloques para el sistema de calefacción dentro de un invernadero (Fig.38).

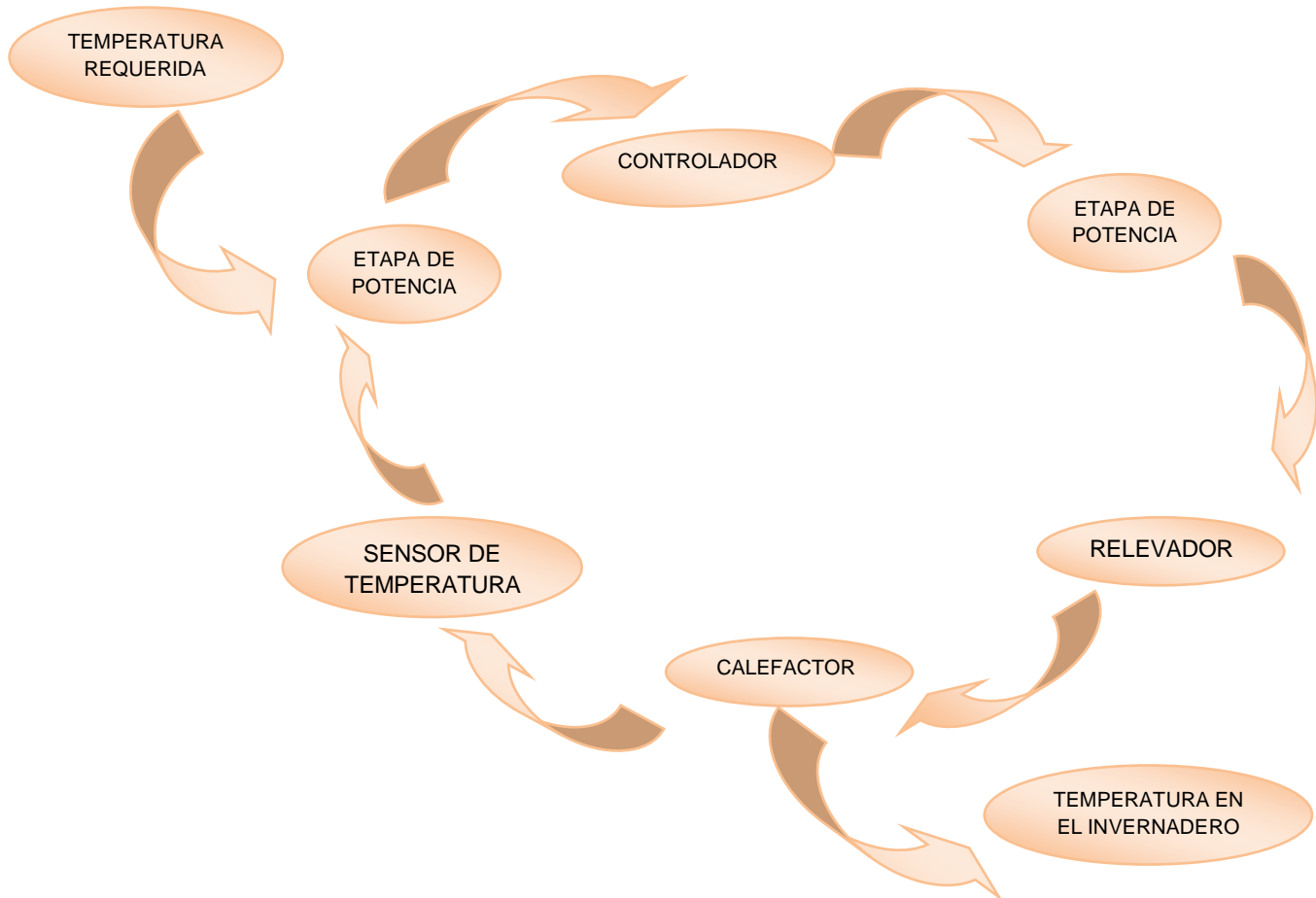


Fig.38.- Sistema de control retroalimentado de calefacción en un invernadero.

Para el control de la temperatura se pueden utilizar varios calefactores como son: resistencia eléctrica, energía solar y calefacción por agua caliente etc. A continuación se explican algunos de los tipos de calefacción más utilizados en los invernaderos de jitomate.

CALEFACCIÓN POR AGUA CALIENTE

Es el sistema de calefacción aérea más tradicional y se basa en la circulación de agua caliente o vapor procedente de un foco calorífico (caldera, bomba de calor, etc.) por una red de tuberías. En la caldera el agua se calienta a 80-90° C y las tuberías se colocan a unos 10 cm sobre el suelo, que pueden ser fijas o móviles. Los sistemas antiguos tenían las tuberías colgadas del techo lo que incrementaba los costos energéticos.

La distribución del calor dentro del invernadero por el sistema de calefacción central por agua caliente se puede hacer de dos formas diferentes:

- Por termofusión, con tubos de diámetro grande, con una ligera pendiente unidescendiente.
- Por impulsión de bombas o aceleradores con tubería de diámetro menor y una temperatura en el agua de retorno más elevada que en el caso anterior.

Las características del sistema de calefacción del suelo por agua caliente que más destacan, son:

- Al estar el calor aplicado en la base, la temperatura del aire del invernadero es mucho más uniforme en comparación con la calefacción tradicional por tubo caliente colgado del techo.
- Para calentar el suelo se puede utilizar agua entre 30 y 40° C y por tanto es una forma de aplicación de energías alternativas como la geotérmica, calor residual industrial y solar a baja temperatura.
- Los costos de bombeo de agua son mayores. Debido a que la caída de temperatura del agua de calefacción en el invernadero es menor en los sistemas a baja temperatura, se precisa bombear mayor cantidad de agua para ceder la misma cantidad de calor.
- Se pueden usar materiales económicos como el polietileno en lugar de tuberías más caras de acero o aluminio.
- En general, los sistemas de calefacción de suelo representan un ahorro de energía.
- Sus costos de instalación son elevados.

CALEFACCIÓN POR AIRE CALIENTE

En este caso se emplea aire para elevar la temperatura de los invernaderos. La calefacción por aire caliente consiste en hacer pasar aire a través de focos caloríficos y luego impulsarlo dentro de la atmósfera del invernadero. Existen dos sistemas:

- Generadores de combustión directa. Un ventilador lanza una corriente de aire al interior de la cámara de combustión del generador, con lo que en su salida el aire ya caliente arrastra consigo gases de la combustión, que pueden crear problemas de fitotoxicidad debido a sus componentes azufrados.
- Generadores con intercambiador de calor. La corriente de aire no pasa directamente a través de la cámara de combustión, sino que se calienta atravesando una cámara de intercambio. Por otra parte, la cámara de combustión elimina los gases que se producen en ella a través de una chimenea.

Los generadores de aire caliente pueden instalarse dentro o fuera del invernadero. Si están fuera el aire caliente se lleva hasta intercambiadores que están establecidos dentro del invernadero. Cuando los generadores están colocados dentro del invernadero, los ventiladores aspiran el aire del invernadero por una parte del aparato, donde se calienta y es expulsado directamente a la atmósfera del invernadero. También puede distribuirse por medio de tubos de plástico perforado, que recorren en todas las direcciones el invernadero. En el caso de que el generador de calor esté en el exterior, el aire del invernadero es retornado al generador con la ayuda de unos conductos termoaislantes, donde se calienta y es impulsado de nuevo por medio de otros conductos. Normalmente el combustible empleado es gasoil o propano, y los equipos están dotados de un sistema eléctrico de encendido con accionamiento a través de un termostato.

Los sistemas de calefacción por aire caliente tienen la ventaja de su menor inversión económica y mayor versatilidad al poder usarse como sistema de ventilación, con el consiguiente beneficio para el control de enfermedades. Como inconvenientes pueden citarse los siguientes:

- Proporcionan una deficiente distribución del calor, creando a veces turbulencias internas que ocasionan pérdidas caloríficas (menor inercia térmica y uniformidad).
- Su costo de funcionamiento es elevado y si se averían, la temperatura desciende rápidamente.

Empleo de pantallas térmicas

Se puede definir una pantalla como un elemento que extendido a modo de cubierta sobre los cultivos tiene como principal función ser capaz de variar el balance radiactivo tanto desde el punto de vista fotosintético como calorífico.

El uso de pantallas térmicas consigue incrementos productivos de hasta un 30%, gracias a la capacidad de gestionar el calor recogido durante el día y esparcirlo y mantenerlo durante la noche, periodo en el que las temperaturas bajan sobremanera en los invernaderos. Las pantallas también son útiles como doble cubierta que impide el goteo directo de la condensación de agua sobre las plantas en épocas de excesiva humedad.

Así las pantallas térmicas se pueden emplear para distintos fines:

a) Protección exterior contra:

- El exceso de radiación con acción directa (UV) sobre las plantas, quemaduras.
- El exceso de temperatura (rojo, IR cercano).
- Secundariamente, viento, granizo, pájaros.

b) Protección interior:

- Protección térmica, ahorro energético (IR).
- Exceso contra el enfriamiento convectivo del aire a través de la cubierta.
- Secundariamente, humedad ambiental y condensación.

Existen distintos tipos de pantallas, presentando la mayoría una base tejida con hilos sintéticos y láminas de aluminio. La composición, disposición y grosor de los hilos es variable, ofreciendo distintas características.

También existen pantallas en las que se tejen directamente las láminas del material reflectante entre sí o con otro tipo de lámina plástica (poliéster, polipropileno, etc.). Otro tipo es adaptando el sistema de las mallas de sombreado tradicionales, sustituyendo la llamada rafia de polipropileno o polietileno por aluminio.

Así mismo, las pantallas pueden ser abiertas o ventiladas y cerradas o no ventiladas en lo referente al paso del aire. Las abiertas presentan la ventaja de ser muy útiles en verano al permitir la evacuación del exceso de temperatura y ofrecer propiedades térmicas, reflejando gran parte de la radiación IR durante la noche. Las pantallas cerradas limitan las pérdidas por convección del calor en el aire y reducen el volumen de aire a calentar, con lo que el ahorro de la energía para la calefacción es mayor.

SISTEMA DE CONTROL DE VENTILACIÓN DE UN INVERNADERO:

A continuación se muestra el diagrama de bloques para el sistema de ventilación dentro de un invernadero (Fig.39).

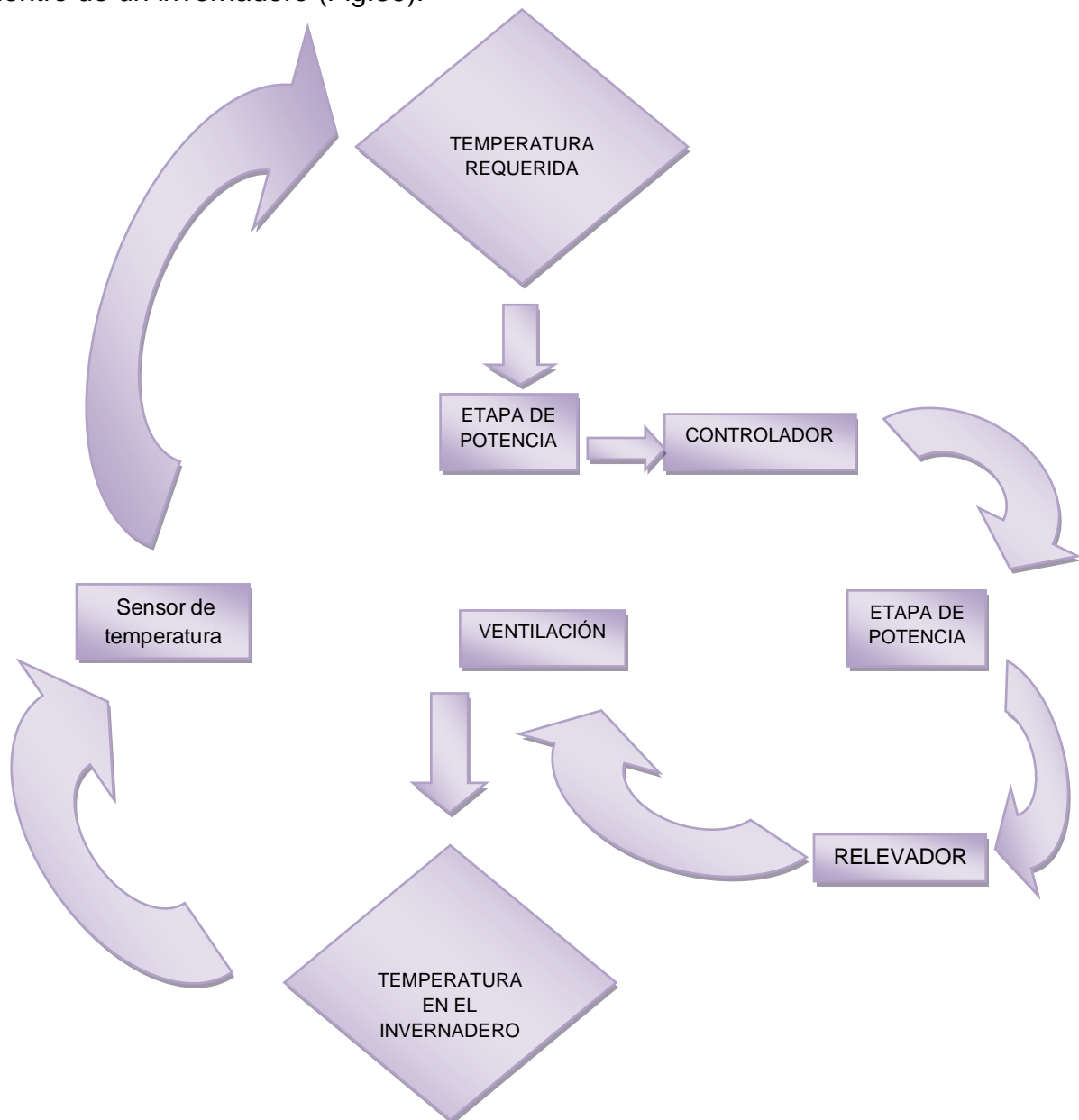


Fig.39.- Sistema de control retroalimentado de ventilación en un invernadero.

En la figura 39 la ventilación se puede realizar de natural o forzada mediante ventiladores, la cual es necesaria para una buena oxigenación de la planta.

VENTILACIÓN NATURAL O PASIVA

Se basa en la disposición, en las paredes y en el techo del invernadero, de un sistema de ventanas que permiten la aparición de una serie de corrientes de aire que contribuyen a disminuir las temperaturas elevadas y a reducir el nivel higrométrico.

Las ventanas pueden ser cenitales si se disponen en la techumbre o laterales si están colocadas sobre las paredes laterales del invernadero. Se admite que una ventana cenital de una determinada superficie resulta a efectos de aireación hasta ocho veces más efectiva que otra situada lateralmente de igual superficie. Normalmente las ventanas deben ocupar entre un 18 y 22% de la superficie de los invernaderos, teniendo en cuenta que con anchuras superiores a los 20 m. será imprescindible disponer de ventilación cenital que mejore la aireación lateral.

La apertura y cierre de las ventanas suele hacerse mecánicamente a través de un sistema de cremalleras, accionado eléctricamente por un termostato, aunque también puede hacerse manualmente.

VENTILACIÓN MECÁNICA O FORZADA

Los sistemas de ventilación forzada consisten en establecer una corriente de aire mediante ventiladores extractores, en la que se extrae aire caliente del invernadero, y el volumen extraído es ocupado inmediatamente por aire de la atmósfera exterior. Con este sistema solamente se puede conseguir una temperatura idéntica a la del exterior, pero su control es más preciso que el que se logra con la ventilación pasiva.

SISTEMA DE CONTROL DE HUMEDAD DE UN INVERNADERO

A continuación se muestra el diagrama de bloques del sistema de humedad en un invernadero (Fig.40).

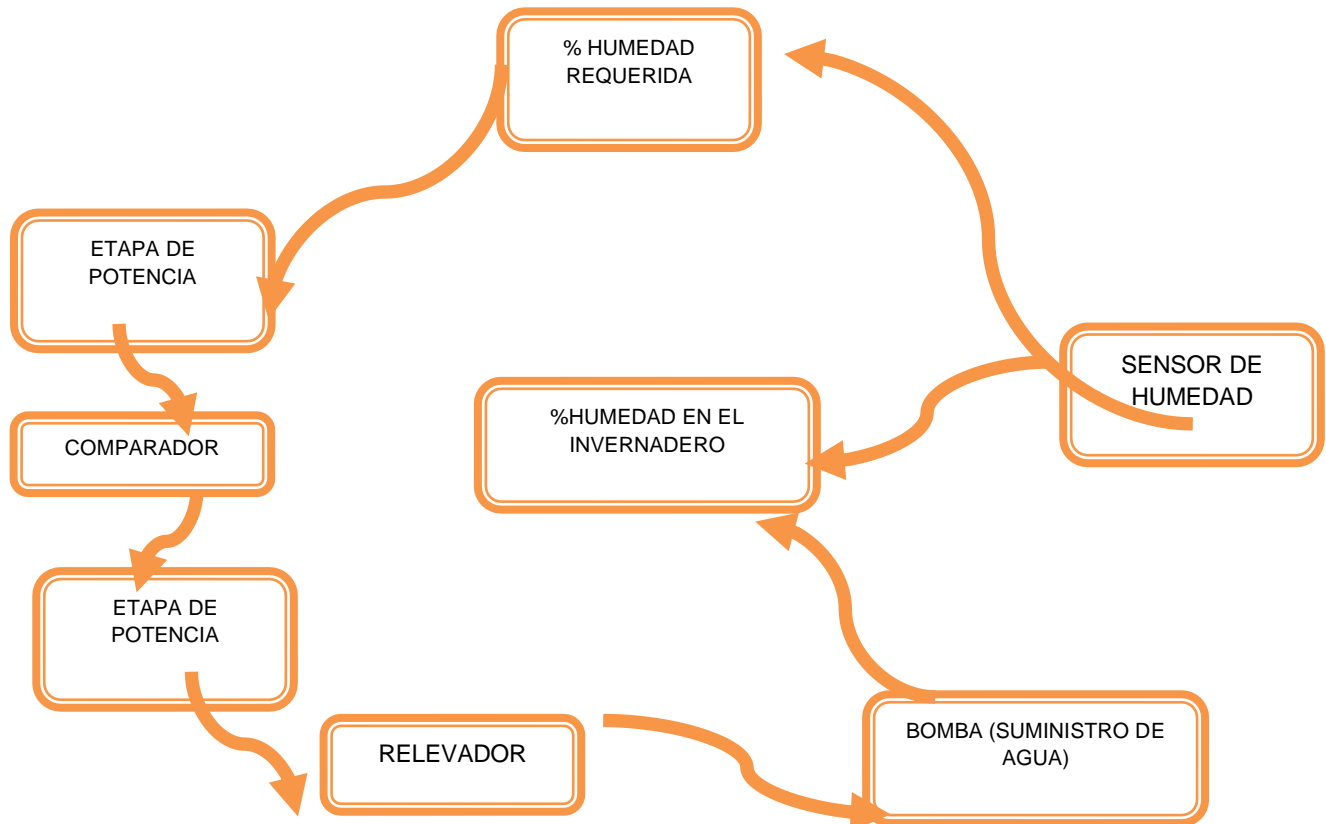


Fig.40.- Sistema de control retroalimentado de % de Humedad en un invernadero.

La regulación de humedad es importante debido a que un buen % de humedad influye directamente en el crecimiento de la planta, así como de la calidad del producto.

SENSOR DE HUMEDAD

Encargado de medir la humedad relativa del ambiente, cuyos datos se usarán para suspender el sistema de riego si sus valores son muy altos y de activar el sistema en caso que sus valores sean muy bajos.

- Para evitar una humedad excesiva, debemos de regar a primeras horas del día y suspender el riego en el caso de tener la humedad relativa alta. Sistema de riego programado.
- Si el grado de humedad es demasiado bajo, vaporizando las plantas de forma periódica. Sensores de humedad activan el sistema de riego para elevar a la humedad.

- Días nublados y fríos programación de riego cortó.
- Ventilación lateral, controlada por el control con la ayuda de sensores.
- Aplicar al suelo una cantidad de agua, en forma oportuna y uniforme que satisfaga el requerimiento hídrico de los cultivos, con un criterio conservacionista de los recursos. Sistema de riego programado por tiempo.
- La irrigación incrementa la evaporización de la superficie del suelo, de ese modo reduce la temperatura de la superficie del suelo. Sensores y sistema de riego trabajan en conjunto para disminuir la temperatura por método de evaporación.
- En días nublados y fríos reduce el riego. Sensores coordina con el sistema de riego para reducir el tiempo de operación.

SISTEMA DE ESTRUCTURA DE UN INVERNADERO

Es importante, evaluando la estructura de invernaderos, analizar los elementos con los que los montaremos, por dos cosas en particular: una de ellas es la utilidad, y fuerza con la cual sostendrán y mantendrán al invernadero en pie y, la segunda, será la vida útil de esta estructura (Fig.41).

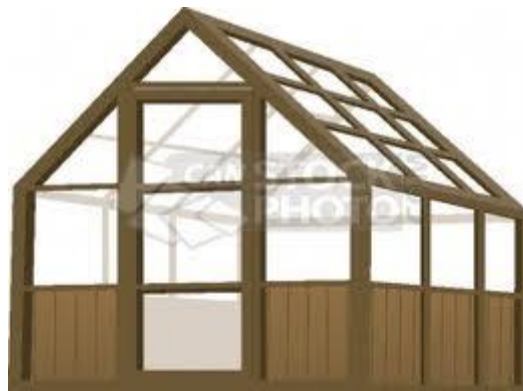


Fig.41.- Estructura de madera para invernadero.

Generalmente por su bajo costo, para realizar la estructura de invernaderos, se utilizan maderas, éstas son curadas y vienen pintadas para poder resistir el agua. A su vez se encuentran remachadas para contrarrestar el viento y el agua; se utiliza plástico transparente y más duro para generar la cubierta, y luego se recorre de surcos la estructura del invernadero para evitar el estancamiento del agua de lluvia.

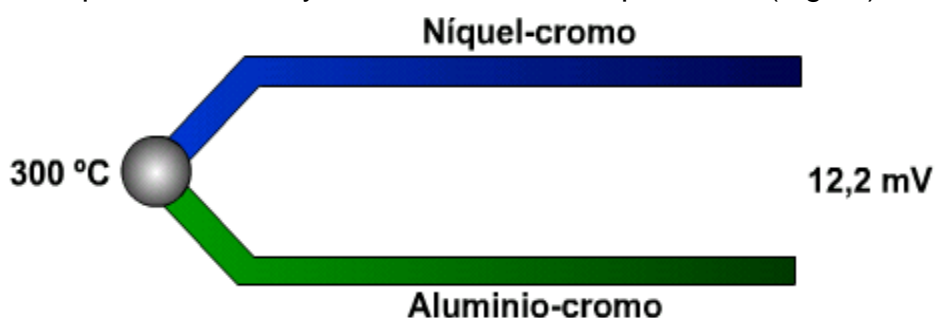
2.3. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS A UTILIZAR EN LOS INVERNADEROS DE JITOMATE

A continuación se enuncian los elementos que se requieren para los diferentes tipos de invernaderos de jitomate.

2.3.1 SENSOR DE TEMPERATURA

TERMOPAR

Un termopar es un circuito formado por dos metales distintos que produce un voltaje que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado "punto caliente" y el otro denominado "punto frío"(Fig.42).



Termopar tipo K

Fig.42.- Termopar del tipo K.

2.3.2 SENSOR DE HUMEDAD

SENSORES DE HUMEDAD EN EL SUELO

Este sensor se trata de utilizar la conductividad de la muestra (tierra), la cual va a ser mayor mientras más sea la cantidad de agua presente en ella. Se introducen dos electrodos separados por cierta distancia, para luego ser sometidos a una diferencia de potencial constante. La corriente circulante será entonces proporcional a la cantidad de agua presente en la muestra. En la figura 43 se aprecia un esquema de medición.

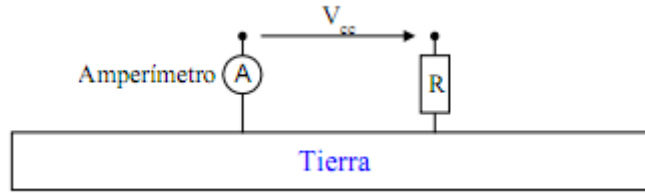


Fig.43.- Sensor de humedad en el suelo.

SENSORES PIEZOELÉCTRICOS DE HUMEDAD

Son sensores bastante robustos, muy sensibles, otra ventaja es que entregan una medida en forma de frecuencia, la cual puede ser utilizada para control con PLL, o para ser convertida a voltaje (Fig.44).

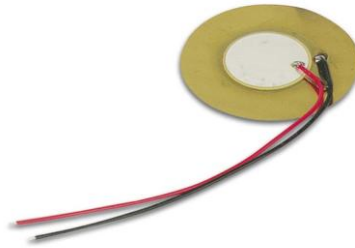


Fig.44.- Sensor piezoeléctrico de humedad.

SENSOR INFRARROJO DE HUMEDAD

En el caso del agua una de las radiaciones que absorbe, se ubica en la porción infrarroja del espectro. Se puede aprovechar esta propiedad para medir la cantidad de agua presente en un gas. La idea consiste en proyectar una fuente de rayos infrarrojos a través de la muestra que se desea medir, y recoger en el otro extremo la radiación resultante, empleando un receptor adecuado para tal propósito (Fig.45).

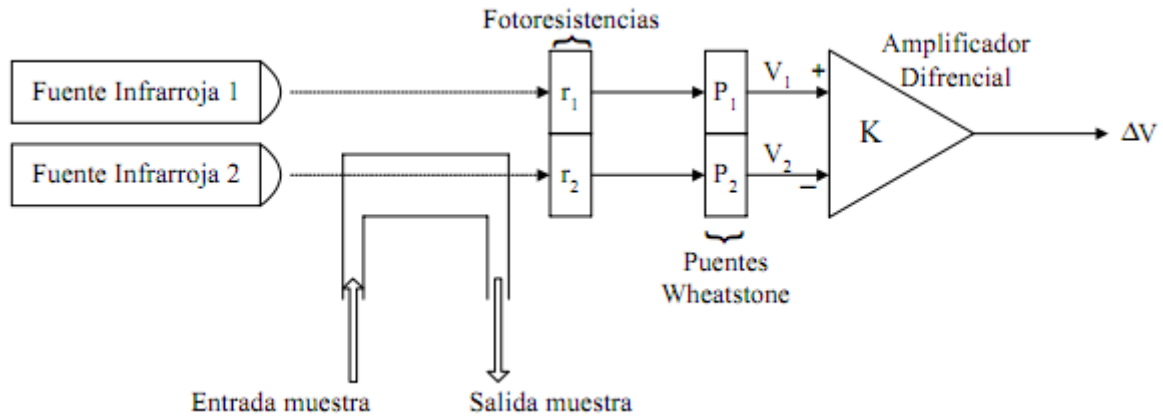


Fig.45.- Sensor infrarrojo de humedad.

2.3.4 SENSOR DE LUZ

Los elementos mencionados a continuación tienen la función primordial de regular la iluminación artificial dentro de un invernadero.

La LDR (Light Dependent Resistor) o resistencia dependiente de la luz, como su propio nombre indica es una resistencia que varía su valor en función de la luz que incide sobre su superficie. Contra más sea la intensidad de luz que incida en la superficie de la LDR menor será su resistencia y contra menos luz incida mayor será la resistencia. La forma externa puede variar de la mostrada en esta foto ya que este modelo en concreto no es muy común pero la función es la misma (Fig.46).

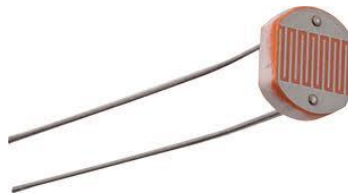


Fig.46.- Sensor dependiente de la luz.



2.3.5 JITOMATE

Un elemento muy importante sin lugar a duda a utilizar es la planta del jitomate. La cual puede tener una variedad importante, a continuación se muestra la tabla 7 en donde se presentan los diferentes tipos de tomates.

Jitomate					
Variedad	Días a Maduración (TP)	Tipo Cultivo	Peso (g)	Tipo Planta	Características
Aztec	72	Estaca, piso	74-85	Media grande, determinada	Productiva, resistencia múltiple a enfermedades
Hybrid 882	75	Estaca, piso	85	Media grande, determinada	Estándar del mercado fresco de Roma en USA
Maya	68	Estaca, piso	74-85	Media grande, determinada	Temprano, cosecha muy concentrada
Yaqui	75	Estaca, piso	85-105	Media grande, determinada	Gran tamaño y muy productiva
Sanibel	75	Estaca	170-227	Grande, determinada	Fruto extra firme. Alto potencial de rendimiento

Tabla 7.- Características generales de los tipos de jitomates.

La tabla 7 muestra características muy importantes como días de cultivo, tamaño de fruto, tipo de cultivo y peso de una gran variedad de jitomates. A continuación se muestra a detalle la descripción del fruto de la planta de jitomate y la ilustración en donde se pueden observar las características del fruto (Tabla 8).

Tipos de tomates		
Variedad	Descripción	Ilustración
Aztec (H)	Desarrollada para el mercado que demanda tipo Saladette. Cosecha más temprana que Yaqui. Frutos firmes y buenos rendimientos.	
Hybrid 882 (H)	Extraordinarios rendimientos. Planta muy vigorosa. Fruto con forma de pera. Muy buena aceptación en la zona Golfo.	




Maya (H)	Híbrido tipo Rio Grande. Maduración temprana, determinada. Con follaje abundante ofrece muy buena cobertura. Puede sembrarse en piso o en espaldera. Resistente a múltiples enfermedades.	
Sanibel (H)	Fruto extra firme. Alto potencial de rendimiento	
Yaqui (H)	Frutos semejantes a Rio Grande, con mejores rendimientos y frutos más uniformes. Tolerancia a una amplia gama de enfermedades.	

Tabla 8.- Descripción general de los tipos de jitomates.

En las tablas 7 y 8 anteriormente se pueden apreciar las características generales de la variedad de jitomates, con lo cual se puede seleccionar el tipo de jitomate en referencia a las necesidades de la región.

2.4. DIAGRAMAS DE BLOQUE PARA EL SISTEMA DENOMINADO INVERNADERO

Los principales elementos representados en el diagrama de bloques son:

- Variable controlada: condiciones ambientales en el invernadero
- Valor de referencia: condiciones ambientales requeridas
- Comparadores: sistema de comparación que mide el valor medido y el valor requerido
- Señal de error: diferencia entre las condiciones ambientales medidas y las requeridas
- Controlador: control del sistema
- Unidad de actuación: actuadores

- Proceso: regulación de las condiciones ambientales mediante los actuadores
- Dispositivos de medición: sensores dentro del invernadero

A continuación se muestra el diagrama de bloques para el sistema denominado invernadero (Fig.47).

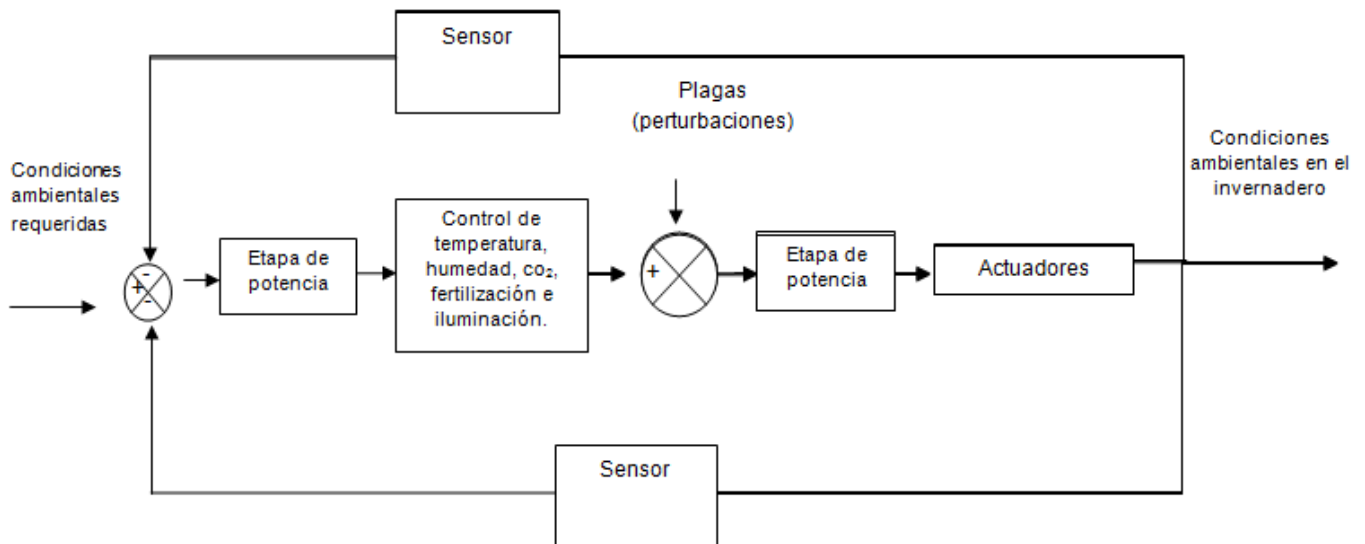


Fig.47.- Diagrama de bloques del sistema denominado invernadero.

El diagrama de bloques (fig.47) muestra un sistema de control de lazo cerrado. En este caso se presenta el control para obtener condiciones ambientales requeridas para el cultivo dentro de un invernadero.

2.5. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN PARA AUTOMATIZAR INVERNADEROS DE JITOMATE

Por medio de un análisis y determinando las incidencias de los factores que afectan la producción del tomate rojo en el estado de Morelos podemos establecer condiciones necesarias para un diseño de un invernadero automatizado (Tabla 9).

Objetivo	Alternativa
Tipo de control	Micro controlador(pic)
	Analógico(compuertas)
Sistema de control de temperatura	Ventilación natural
	Ventilación automatizada
	Calefacción
Sistema de control de humedad	Ventilación natural
	Ventilación automatizada
	Aspersión
Riego	Goteo
	Aspersión
	Inundación
Técnica de control de temperatura	Lazo abierto
	Lazo cerrado
Técnica de control en riego	Lazo abierto
	Lazo cerrado
Material utilizado para el sistema de riego	Tubería de PVC
	Tubería de cobre
Tipo de estructura	Emparrado
	Aeroplano
	Pepino
	Diente de sierra
Material utilizado para la estructura	Madera
	Aluminio
	Acero
Material para la cubierta	Cristal
	Plástico



Tabla 9. Alternativas de elementos para automatizar un invernadero.

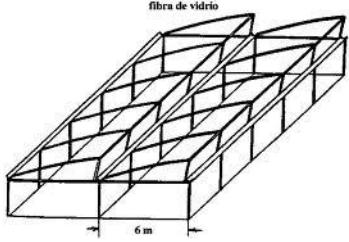

ALTERNATIVA TECNOLÓGICA

Hoy en día se puede contar con la tecnología necesaria para controlar la temperatura, humedad e iluminación en un lugar determinado, no importando las condiciones geográficas. Permitiendo cultivar fuera de temporada y con una calidad más homogénea aumentando así la rentabilidad del terreno por metro cuadrado.

Para esto se requiere una estructura que proporcione las condiciones necesarias e idóneas de acuerdo con las características de cada tipo de terreno.

A continuación se muestra en la tabla 10 los diferentes tipos de estructuras.

Tipo	Ventajas	Desventajas	Imagen
Invernadero Túnel	Alta resistencia a los vientos y fácil instalación (recomendable para productores que se inician en el cultivo protegido). Alta transmisión de la luz solar. Apto tanto para materiales de cobertura flexibles como rígidos.	Relativamente pequeño, volumen de aire retenido (escasa inercia térmica) pudiendo ocurrir el fenómeno de inversión térmica. Solamente recomendado en cultivos de bajo a mediano porte (lechuga, flores, frutilla, etc.)	
Invernadero Capilla	Construcción de mediana a baja complejidad. Utilización de materiales con bajo costo, según la zona (postes y maderos de eucaliptus, pinos etc). Apto tanto para materiales de cobertura flexibles como rígidos.	Problemas de ventilación con invernaderos en baterías. A igual altura cenital, tiene menor volumen encerrado que los invernaderos curvos. Mayor número de elementos que disminuyen la transmitancia (mayor sombreado).	

		Elementos de soportes internos que dificultan los desplazamientos y el emplazamiento de cultivo.	
Tipo diente de sierra	<p>Construcción de mediana complejidad.</p> <p>Empleo de materiales de bajo costo (según zonas).</p>	Sombreo mucho mayor que capilla (debido a mayor número de elementos estructurales de sostén). Menor volumen de aire encerrado (para igual altura de cenit) que el tipo capilla.	
Invernadero tipo parral	<p>Gran volumen de aire encerrado (buen comportamiento según la inercia térmica).</p> <p>Despreciable incidencia de los elementos de techumbre en la intercepción de la luz.</p> <p>Aún tratándose de una estructura que ofrece alta resistencia a los vientos, es poco vulnerable por el eficiente sistema de anclaje.</p>	<p>Deficiente ventilación.</p> <p>Alto riesgo de rotura por precipitaciones intensas (escasa capacidad de drenaje).</p> <p>Construcción de alta complejidad (requiere personal especializado).</p> <p>En zonas de baja radiación, la escasa pendiente del techo representa una baja captación de la luz solar.</p>	
Invernadero tipo venlo (holandés)	<p>El mejor comportamiento térmico (debido al tipo de material utilizado: vidrio y materiales rígidos).</p> <p>Alto grado de control</p>	<p>Alto costo. La transmitancia (cantidad de energía que atraviesa un cuerpo en un determinado tiempo) se ve afectada, no por el</p>	

de las condiciones ambientales.

material de cobertura, sino por el importante número de elementos de sostén (debido al peso del material de cubierta). Al tratarse de un material rígido, con duración de varios años, resulta afectado por la transmisibilidad de polvo, algas, etc.



Tabla 10. Características de estructuras de invernaderos.

De acuerdo con las características antes mencionadas de los diferentes tipos de invernaderos se obtuvo como alternativa un invernadero tipo diente de sierra.

CAPÍTULO

III

APLICACIÓN DIRECTA DE LA AUTOMATIZACIÓN EN UN INVERNADERO EN EL ESTADO DE MORELOS

- 3.1. CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES DE LOS INVERNADEROS EN EL ESTADO DE MORELOS
- 3.2. COSTO DE LA IMPLEMENTACIÓN AUTOMÁTICA
- 3.3. PROPUESTAS DE INVERNADEROS AUTOMATIZADOS
- 3.4. SOLUCIÓN DE LA ALTERNATIVA

3.1. CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES DE LOS INVERNADEROS EN EL ESTADO DE MORELOS

Cuernavaca cuenta con 151.20 kilómetros cuadrados, ocupando el 2.95% de la superficie total del Estado de Morelos, que es de 5,122.63 kilómetros cuadrados. Del territorio total que ocupa el municipio de Cuernavaca, en forma general se utilizan 5,668 hectáreas de uso agrícola, 8,227 hectáreas de uso pecuario, 5,400 de uso urbano y 1,390 hectáreas de bosque.

En el Estado de Morelos los invernaderos poseen características similares ya que deben establecer las mismas condiciones para el cultivo del jitomate. En la siguiente imagen se muestra el terreno propicio para establecer un invernadero (Fig.48).



Fig.48.- Terreno en el estado de Morelos.

En este terreno se llega a considerar las condiciones de temperatura, pH de la tierra así como el abastecimiento del agua que se tendrá para el riego del cultivo. En la siguiente imagen se muestra el depósito de donde se obtendrá el agua para el riego (Fig.49).



Fig.49.- Depósito para suministro de agua de riego.

Por otro lado se llega a considerar el nivel del terreno, en este caso al poseer cierta inclinación podemos aprovecharla para realizar una reutilización de agua (Fig.50).



Fig.50.- Terreno para cultivo de jitomate con desnivel.

A continuación en la figura 51 se observa una estructura de invernadero que se construyó en esta entidad para lograr beneficios económicos en las cuestiones agrícolas y que permite en cierto grado la generación de empleo, el cual cuenta con una característica en Morelos que es del tipo túnel (Fig.51).



Fig.51.- Invernadero en Morelos con estructura tipo túnel.

La principal característica representativa de este tipo de estructura es que permite mayor captación de energía, de fácil construcción aunque con una ventilación poco eficaz (Fig.52).



Fig.52.- Invernadero que permite mayor captación de energía por estructura tipo túnel.

Como ya se mencionó la ventilación no tiene una gran ventaja en este tipo de invernadero, (Fig.52), debido a la forma en cómo se construyen no permite considerar un lugar estratégico para la colocación de la ventilación de este mismo.

En la figura 53 se muestra que el objetivo en general es obtener condiciones necesarias e idóneas como: temperatura, humedad, CO₂, iluminación para el cultivo de diferentes productos, en este caso las Nochebuenas mostradas a continuación se encuentran bajo condiciones reguladas (Fig.53).



Fig.53.- Cultivo de Nochebuenas en invernaderos en Morelos.

Las características observadas como por ejemplo: estructura tipo túnel, dentro del invernadero así como una cierta iluminación proporcionada por la malla de sombreo.

Normalmente cuando el invernadero comienza a funcionar para los fines propuestos se consigue cultivar el jitomate de manera efectiva, obteniendo una alta producción dentro de los invernaderos , por ejemplo, de 7 kg/m² en las mejores condiciones de cielo abierto y buena tecnología de riego a 15 kg/m² en invernaderos manuales o 50 kg/m² con tecnología automatizada(Fig.54).



Fig.54.- Cultivo de jitomate en invernaderos en Morelos.

Con los invernaderos se logran las características necesarias para cultivar jitomate en Morelos, tomando en cuenta los parámetros para obtener las condiciones ambientales óptimas como: temperatura, humedad, CO₂ e iluminación y así poder conseguir el fruto durante toda la época del año (Fig.55).



Fig.55.- Condiciones óptimas para el cultivo de jitomate invernadero.

El cultivo en esta ocasión se realiza bajo condiciones ambientales de invernadero pero con la pequeña modificación de que el sembradío se realiza en bolsas de plástico debido a que la tierra solo es fértil por tres años consecutivos (Fig.56).



Fig.56.- Cultivo de jitomate en bolsas de plástico.

Pero todavía se conservan las condiciones principales para el desarrollo óptimo del jitomate bajo un invernadero.

3.2. COSTO DE LA IMPLEMENTACIÓN AUTOMÁTICA

COSTO DIRECTO

A continuación se presenta el costo directo de la implementación automática para un invernadero con las siguientes características (tabla 11) .Cuenta con un sistema de control automatizado para regular las condiciones ambientales dentro del invernadero (Fig.57).

CARACTERÍSTICAS DEL INVERNADERO	[m]
ANCHO	1.25
LARGO	1.25
ALTO	2

Tabla 11. Características de la estructuras del invernadero.

Con estas características se construyó el prototipo del invernadero para el cultivo del jitomate en el estado de Morelos.



Fig.57.- Invernadero propuesto.

1. -ESTRUCTURA

El costo de la estructura tipo diente de sierra con medidas de 1.25m x 1.25m x 2m de madera es aproximadamente de \$ 340, la cual consta de una base principal y de 8 postes de 2 metros cada uno. Al igual posee el tipo de estructura diente de sierra con un ángulo de 15 ° (Fig.58).



Fig.58.- Base de madera del invernadero.

El material utilizado para la estructura es la madera de eucalipto, castaño y pino.

2.- CONTROL DE HUMEDAD

Posee un sensor de humedad, una etapa de potencia y el controlador.

En este sensor de humedad se utiliza la conductividad de la muestra, la cual será mayor mientras la cantidad de agua sea más. La desventaja de este método es que si se agregan fertilizantes, o cambia la constitución de la mezcla, se tendrá que volver a calibrar el instrumento (Fig.59).



Fig.59.- Sensor que utiliza la conductividad de la muestra.

El control de humedad al ser costeadado se obtiene un valor de \$ 25, el cual incluye el comparador LM324, y cada uno de los elementos para calibrar el controlador.

3.- ASPERSIÓN

ETAPA DE POTENCIA

Para esto se utiliza una bomba en el suministro de agua en las tuberías para lograr el sistema de aspersión (Fig.60).



Fig.60.- Bomba de agua.

El trabajo que realiza la bomba de agua es a una altura de 2 metros.

A continuación se muestra la ecuación con la cual se podrá elegir la potencia requerida para la bomba. Ecuación [1]

Para una bomba hidráulica la potencia P será:

$$P = \gamma QH / 75 \eta \quad [1]$$

Donde:

η : es el rendimiento de la bomba

γ : es el peso específico del agua = 100 [kg/m³]

Q: es el caudal en [m³/s]

H: es la altura neta de elevación en [m]

La ecuación número 1 nos proporcionará la potencia requerida de la bomba a utilizar dentro del invernadero.

SISTEMA DE TUBERIA PARA LA ASPERSIÓN

El material utilizado para la tubería es PVC, debido a las condiciones necesarias y las medidas antes mencionadas se utiliza 4 m lineales de ½ pulgada (Fig.61).



Fig.61.- Tubo de PVC.

En la tabla 12 se muestran las principales propiedades de este tipo de material (PVC).

	Valor	Unidades
Características físicas	-	-
Peso específico	1.36 - 1.40	gr/cm ³ a 25°C
Variación longitudinal máx.	> 5 segundos NCh 1649	%
Coefficiente de dilatación térmica	0.08	mm/(m°C)
Inflamabilidad	Autoextingible	-
Coefficiente de fricción	n = 0.009 c =150	Manning Hazen - Williams
Punto Vicat	76 (T° de ablandamiento)	°C
Constante dieléctrica	4 3,4 3	50/60 ciclos 800 ciclos >1 Millón de ciclos
Factor de disipación	0,02-0,04	800 mil a 1 millón de ciclos
Resistencia dieléctrica	20	Kw / mm
Conductividad térmica	35×10 ⁻⁵	Cal × cm / (cm ² ×s×°C)
Características mecánicas		
Tensión de diseño	100	kg/cm ²
Resistencia a la tracción	450 a 550	kg/cm ²
Resistencia a la compresión	610	kg/cm ²
Módulo de elasticidad	30.000	kg/cm ²
Resistencia al aplastamiento	Hasta 0,4 veces el Ø sin fisuras ni roturas (según normativa chilena)	-

Elongación hasta la rotura	15	%
----------------------------	----	---

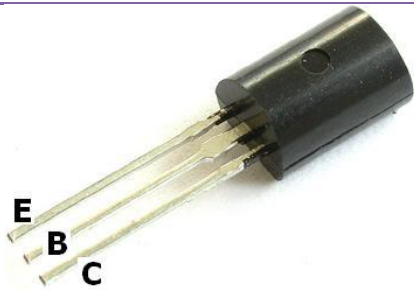
Tabla 12. Propiedades del PVC.

Conjuntando cada parte del sistema de aspersión se obtiene un costo total de \$709 pesos.

4.- CONTROL DE TEMPERATURA

Se encuentra conformado por elementos principales: sensor de temperatura, compuerta, resistor y transistor (tabla 13).

Elemento	Propiedades
<p>Sensor de temperatura (LM35)</p> 	<p>El LM35 es un sensor de temperatura con una precisión calibrada de 1°C y un rango que abarca desde -55° a +150°C. La salida es lineal y equivale a 10mV/°C por lo tanto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • +1500mV = 150°C • +250mV = 25°C • -550mV = -55°C <p>El LM35 funciona en el rango de alimentación comprendido entre 4 y 30 voltios.</p>
<p>Compuerta(LM324)</p> 	<p>Este chip contiene 4 amplificadores operacionales independientes. Rango de temperatura: 0 -70 ° C Voltaje de Suministro de energía: ±16 o 32.</p>
<p>Resistor</p> 	<p>El ohm es la unidad de medida de la resistencia que oponen los materiales al paso de la corriente eléctrica y se representa con el símbolo o letra griega "Ω" (omega).</p>
<p>Transistor</p>	<p>Transistor, en electrónica, denominación común para un grupo de componentes</p>



electrónicos utilizados como amplificadores u osciladores en sistemas de comunicaciones, control y computación.

Tabla 13. Propiedades del los elementos del sensor de temperatura.

Al conjuntar los elementos anteriormente mencionados se llega al costo del control de temperatura por \$ 63 pesos.

5.-VENTILACIÓN

El diseño y cálculo del número de ventiladores que debe tener un invernadero, está en función de la cantidad de aire que se quiera renovar, disposición de los aparatos, dimensión de la finca, planimetría del invernadero, distancias entre ventiladores, viento natural que exista en la zona en que se encuentre la finca, etc. Partiendo de que la propiedad de que el aire caliente pesa menos que el aire frío y por lo tanto tiende a elevarse, utilizaremos un sistema de ventilación natural, apoyado de unos extractores. Así se renovara rápidamente el aire de un invernadero, eliminando el exceso de humedad que se acumula en la parte superior.

Primero se determina el aire total a renovar dentro del invernadero para esto se utiliza la Ecuación [2].

$$\text{standard cmm} = L * W * 2.5 \left[\frac{\text{cmm}}{\text{m}^2} \right] [2]$$

Donde:

L: largo del invernadero [m]

W: ancho del invernadero [m]

Standard cmm: aire a renovar

Cmm: metros cúbicos por minuto $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{min}} \right]$

Ahora se calcula el factor casa que a su vez contiene factores de elevación con respecto al nivel del mar, factor de luz, factor de temperatura Ecuación [3].

$$F_H = F_E * F_L * F_T [3]$$

Donde:

F_H : Factor de casa

F_E : Factor de elevación

F_L : Factor de luz

F_T : Factor de temperatura

Para la obtención de cada uno de estos factores adimensionales se muestran a continuación las siguientes tablas 14, 15,16.

Elevación sobre el nivel del mar en m									
	Sobre 300	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400
F_E	1.0	1.04	1.08	1.12	1.16	1.20	1.25	1.30	1.36

Tabla 14. Factores usados para corregir la tarifa de renovación de aire sobre el nivel del mar.

Intensidad de luz en kLux									
	43.1	48.4	53.8	59.2	64.6	70.0	75.3	80.1	86.1
F_L	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50	1.60

Tabla 15. Factores usados para corregir la tarifa de renovación de aire por la intensidad de luz en el invernadero.

Aumento de temperatura °C							
	5.6	5.0	4.4	3.9	3.3	2.8	2.2
F_T	0.70	0.78	0.88	1.00	1.17	1.40	1.75

Tabla 16. Factores usados para corregir la tarifa de renovación de aire para obtener el aumento de temperatura de la almohadilla al ventilador.

A continuación se obtiene el flujo total que tendrá que remover el ventilador Ecuación [4].

$$total\ cmm = standard\ cmm * F_H [4]$$

Ahora se debe saber que dentro de un invernadero es recomendable que un ventilador de otro tenga un distanciamiento de 7.6 m con la siguiente Ecuación [5] se obtiene el número de ventiladores dentro de un invernadero.

$$\#ventiladores = \frac{L}{7.6} [5]$$

L: largo del invernadero [m]

Por último se calcula el flujo para cada ventilador y de la tabla 17 se obtiene el ventilador con las características de potencia y tamaño a utilizar Ecuación [6].

$$Cmm\ por\ ventilador = \frac{total\ cmm}{\#ventiladores} [6]$$

Tamaño del ventilador [cm]	Potencia [W]	cmm
60.96	186.5	127.395
	246.18	161.367
	373	184.015
76.2	559.5	215.156
	246.18	209.494
	373	249.128
91.44	559.5	288.762
	246.18	249.128
	373	300.086
106.68	559.5	359.537
	746	402.002
	373	353.875
121.92	559.5	424.65
	746	475.608
	373	416.157
137.16	559.5	503.918
	746	554.876
	746	648.299
	1119	730.398

Tabla 17. Características de potencia y tamaño en ventiladores dependiendo del flujo de aire.

Con los cálculos anteriormente mencionados se utilizan ventiladores de 23 cm de diámetro a 186.5 de Watts que proporcionan el descenso de temperatura dentro del invernadero (Fig.62).



Fig.62.-Ventilador de 23 cm de diámetro.

El costo para la ventilación es considerando los ventiladores necesarios para el flujo del aire dentro del invernadero este es de \$ 300 pesos.

Las condiciones anteriormente mencionadas son utilizadas para invernaderos que poseen una altura mayor o igual a 2.4 m.

6.- CALEFACCIÓN

Se utilizarán 2 resistencias eléctricas a 127 V con una potencia de 940 W (Fig.63).



Fig.63.-Resistencia eléctrica.

Resistencia Eléctrica

Ventajas

- El costo siendo esta la principal ventaja del elemento, se considera por consiguiente un factor para la elección del mismo.
- La vida útil del componente con respecto a otro tipo de calefacción, esta resistencia mantiene una vida útil media pero dependerá del uso tan extenuante con el que se requiera.
- Al poseer una movilidad amplia para establecerla en cualquier superficie para su utilización, nos proporciona una adaptación al entorno dentro del sistema invernadero.

El costo aproximado para los calefactores utilizando este tipo de resistencias eléctricas es de \$20 pesos.

7.- ILUMINACIÓN ARTIFICIAL

Para la iluminación se utilizaran 7 lámparas de incandescencia estándar de una potencia aproximada de 100 watts sobre una rejilla (Fig.64).



Fig.64.-Iluminacion artificial.

CÁLCULO DE LA ILUMINACIÓN ARTIFICIAL

Para esto a continuación se muestra la tabla 18 en donde se representa la cantidad necesaria de luxes para el cultivo del tomate.

Intensidad luminosa	Temperatura en ° C
Lux x10 ³	Tomate
0	11
5	18
10	19.5
20	22.5
25	23.5
30	24.5
35	25.5
40	27
45	28
50	29

Tabla 18. Correlación entre la temperatura óptima y la intensidad luminosa para el jitomate.

Ahora sabiendo la cantidad neta de luxes para el cultivo del jitomate en la temperatura optima se elige la potencia de la lámpara incandescente (tabla 19) y a continuación se obtiene el numero de lámparas necesarias Ecuación [7].

$$L = \frac{I}{F} [7]$$

Donde:

I: intensidad luminosa necesaria del jitomate

F: flujo luminoso generado por la potencia de la lámpara

L: Lámparas necesarias

Potencia lámpara[W]	Flujo luminoso L/m ⁻² a 125V
15	140
25	240
40	490
60	820
100	1560
150	2350
200	3250
300	5100
500	9500
750	14800
1000	20300
1500	31000
2000	43000

Tabla 19. Correlación entre potencia de la lámpara y flujo luminoso.

El costo aproximado es de \$ 100 para obtener una iluminación artificial de este tipo.

8.- CUBIERTA DE LA ESTRUCTURA

Para la cubierta se utilizara plástico (polietileno) de color blanco y transparente con un ancho de 3 m y 6 m de largo (Fig.65).



Fig.65.-Cubierta de plástico para la estructura.

A continuación se muestran los diferentes tipos de plástico y sus propiedades que se pueden utilizar como cubierta para un invernadero (tabla 20).

Duración de plásticos normalizados para invernaderos			
Tipo de plástico	Espesor	Duración	Radiación solar recibida
Polietileno “normal” (sin aditivos)	150 micras (600 galgas)	6-8 meses	< 148 kcal/cm ²
Polietileno “larga duración”	180 micras (720 galgas)	2 años	296 kcal/cm ²
Polietileno “Térmico larga duración”	200 micras (800 galgas)	2 años	296 kcal/cm ²
Copolímero EVA (12 % AV)	200 micras (800 galgas)	2 años	296 kcal/cm ²
Copolímero EVA (6 % AV)	100 micras (400 galgas)	1 año	148 kcal/cm ²

Tabla 20. Propiedades de los plásticos para cubierta en invernaderos.

También se pueden llegar a utilizar cubiertas rígidas flexibles en la tabla 21 se muestran a continuación sus características principales de estos tipos de cubiertas.

FLEXIBLES	RÍGIDOS					
	Poliétileno	PVC	PVC ondulado	Polimetacrilato de metilo	Poliéster estratificado	Cristal
Características	(0,08 mm)	(0,1 mm)	(1-2 mm)	(4 mm)	(1-2 mm)	(2,7 mm)
Densidad	0,92	1,3	1,4	1,18	1,5	2,40
Índice de refracción	1,512	1,538	-	1,489	1,549	1,516
% de dilatación antes de que se rompa	400-500	200-250	50-100	escasa	escasa	nula
Resistencia al frío y calor	-40+50° C	-10+50° C	-20+70° C	-70+80° C	-70+100° C	muy elev.
Duración	2 años	2-3 años	elevada	elevada	elevada	elevada
Transparencia % (0,38-0,76 micrones)	70-75	80-87	77	85-93	70-80	87-90
Transmisión % (-0,24-2,1 micrones)	80	82	82	73	60-70	85
Transmisión % (7-35 micrones)	80	30	0	0	0	0

Tabla 21. Propiedades de cubiertas rígidas en invernaderos.

El costo del plástico (polietileno) de color blanco y transparente que proporcionara que el invernadero sea un sistema cerrado es de \$150.

9.- CABLEADO Y ADITAMENTOS ELÉCTRICOS

Dependiendo el tipo de componente que se vaya a operar será el calibre del cable en nuestro caso el más común que se utilizo para corriente alterna será del #10 (Fig.66).



Fig.66.-Cableado y aditamentos.

Obtención del calibre del cable requerido

Sabiendo la potencia (W) del componente se puede calcular la corriente máxima presente en ambos devanados para esa potencia, entonces partiendo de la siguiente ecuación. Ecuación [8].

$$i = \frac{W}{V} \quad [8]$$

Donde:

i: corriente eléctrica [A]

W: potencia del componente [W]

V: voltaje suministrado en el componente [V]

Otra situación a considerar dentro de las instalaciones eléctricas es la longitud del conductor por lo tanto cuando ésta es muy grande, para obtener el calibre del cable requerido nos basamos en la Ecuación [9].

$$V = \frac{\rho i L}{A} \quad [9]$$

Donde:

i : corriente eléctrica [A]

ρ : resistividad del material [$\Omega \cdot m$]

A: Área de la sección transversal del conductor [m^2]

V: voltaje en el conductor [V]

L: longitud del conductor [m]

Si se considera que el material es cobre en condiciones de 20°C entonces $\rho = 17.2 \times 10^{-9} [\Omega \cdot m]$.

De la ecuación 9 se puede sustituir el área del conductor y así poder obtener la ecuación 10 en la cual se muestra como obtener el diámetro del conductor.

Como:

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

Donde:

$$\pi \approx 3.1416$$

d: diámetro de la sección transversal del conductor [m]

Entonces

$$d = \sqrt{(4\rho Li/\pi V)} \quad [10]$$

La ecuación 4 expresa como obtener el diámetro del conductor en longitudes grandes para instalaciones eléctricas.

Ahora ya sea dependiendo de la corriente eléctrica necesaria para el componente, o del diámetro necesario del conductor, en la tabla 22 se puede elegir el calibre a utilizar.

AWG	Diam. mm	Amperaje	AWG	Diam. Mm	Amperaje
1	7.35	120	16	1.29	3,7
2	6.54	96	17	1.15	3,2
3	5.86	78	18	1.024	2,5
4	5.19	60	19	0.912	2,0
5	4.62	48	20	0.812	1,6
6	4.11	38	21	0.723	1,2
7	3.67	30	22	0.644	0,92
8	3.26	24	23	0.573	0,73
9	2.91	19	24	0.511	0,58
10	2.59	15	25	0.455	0,46
11	2.30	12	26	0.405	0,37
12	2.05	9,5	27	0.361	0,29
13	1.83	7,5	28	0.321	0,23
14	1.63	6,0	29	0.286	0,18
15	1.45	4,8	30	0.255	0,15

Tabla 22. Calibre del cable de acuerdo a la corriente y diámetro necesario.

El costo del cableado y aditamentos eléctricos, tomando en cuenta adaptadores, clavijas y contactos es de \$150 pesos.

10.-SISTEMA DE REUTILIZACIÓN DE AGUA

Para la reutilización del agua se utilizó una base donde se colocaron las plantas, el PVC espumado fue el material elegido (Fig.67).

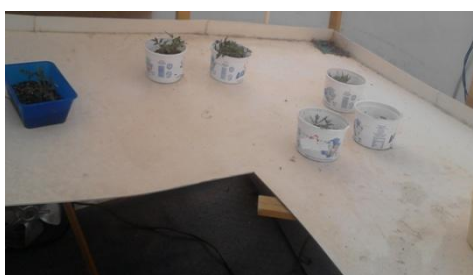


Fig.67.-Base de PVC espumado.

El costo de la hoja de PVC espumado que cubre un área necesaria para la reutilización del agua es de \$150.

A continuación se observan los costos directos para todos los elementos necesarios para la obtención de un invernadero automatizado (Tabla 23)

ELEMENTO	COSTO \$ MN
1.-Estructura	400
2.-Control de humedad	25
3.-Aspersión	710
4.-Control de temperatura	65
5.-Ventilación	300
6.-Calefacción	20
7.-Iluminación artificial	100
8.-Cubierta de la estructura	150
9.-Cableado y aditamentos eléctricos	150
10.-Sistema de reutilización de agua	155
Invernadero automatizado	TOTAL= 2075

Tabla 23. Costo directo generado por un invernadero automatizado.

Con los costos anteriores se optimizaron los materiales y los gastos se minimizaron para obtener un invernadero automatizado con el menor costo posible.

COSTO INDIRECTO

Dentro de los principales costos indirectos se encuentran: energía eléctrica, arrendamiento, impuestos y transportación de los materiales (Tabla 24).

ELEMENTO	COSTO \$ MN
Energía eléctrica	50
Agua	140 MENSUALES
Derecho de suelo	2 POR m ²
Transportación de los materiales	300
Costo indirecto total	494

Tabla 24. Costo indirecto generado por un invernadero.

Al considerar los costos directos e indirectos dentro de la construcción y mantenimiento de un invernadero se obtiene un costo general total de \$ 2,569 pesos.

3.3 PROPUESTAS DE INVERNADEROS AUTOMATIZADOS

Para la etapa de propuesta de invernaderos automatizados se realiza la siguiente matriz de decisión en la cual se muestran los factores a considerar dentro de un invernadero automatizado (Tabla 25).

	DURABILIDAD	OPERATIVIDAD	MATERIAL DE LA ESTRUCTURA	MATERIAL DEL FORRO	CONTROL AMBIENTAL	SISTEMA DE RIEGO	ILUMINACION	AHORRO DE AGUA	COSTO	SUMA	FACTOR DE PESO	POR 100
Durabilidad	X	0	0	0	0	1	1	0	0	2	0.06	5.56
Operatividad	1	X	1	1	0	1	1	1	0	6	0.17	16.67
Material de la estructura	1	0	X	1	0	1	1	0	0	4	0.11	11.11
Material del forro	1	0	0	X	0	0	1	0	0	2	0.06	5.56
Control ambiental	1	1	1	1	X	1	1	1	1	8	0.22	22.22
Sistema de riego	0	0	0	1	0	X	1	0	0	2	0.06	5.56
Iluminación	0	0	0	0	0	0	X	0	0	0	0.00	0.00
Ahorro de agua	1	0	1	1	0	1	1	X	0	5	0.14	13.89
Costo	1	1	1	1	0	1	1	1	X	7	0.19	19.44
Total										36	1	100

Tabla 25. Matriz de decisiones para evaluar alternativas.

Con los datos anteriores dentro de la matriz de decisiones se puede obtener los siguientes requerimientos a considerar para un invernadero automatizado (Tabla 26).

Factor	Alternativa	Requerimiento
1	CONTROL AMBIENTAL	Al considerar los factores anteriormente mencionados se puede decidir que el principal propósito para el invernadero es generar las condiciones ambientales necesarias dentro del sistema cerrado para obtener el cultivo del jitomate, con lo cual se podrá obtener mayor calidad y productividad.
2	COSTO	El factor costo es de suma importancia ya que un proyecto como la automatización de un invernadero necesita que cumpla con los requerimientos del mismo pero al menor costo posible, logrando así un servicio de mantenimiento económico lo cual genera menor costo en el

		producto.
3	OPERATIVIDAD	Todo sistema debe ser operable y manejable de la mejor manera posible. La matriz de decisión logro que se obtuviera un requerimiento como el de la operatividad, con el cual se genera que un sistema cerrado como el invernadero pueda cumplir su objetivo de la mejor forma posible.
4	AHORRO DE AGUA	Al tomar la decisión de ahorrar el agua, automáticamente se reducen los costos y se protege al medio ambiente.
5	MATERIAL DE LA ESTRUCTURA	La matriz de decisión muestra que el requerimiento de tener una estructura es fundamental para la operatividad, la durabilidad y el costo. El diseño de la misma también es imprescindible, logrando así cumplir con el propósito de cultivar bajo un sistema cerrado.
6	DURABILIDAD	Al proporcionar un sistema durable se generan menores costos de mantenimiento, debido a que durante un largo periodo de tiempo no se realicen cambios muy significativos que pudieran afectar la producción del cultivo o modificar la operatividad del sistema invernadero.
7	SISTEMA DE RIEGO	Es un factor que proporciona que el cultivo sea más efectivo, logrando así mayor calidad y productividad, reduciendo costos al suministrar únicamente el agua y los fertilizantes necesarios para el cultivo.
8	MATERIAL DEL FORRO	Este factor se debe considerar como un importante lazo entre el desarrollo de la planta o la muerte de la misma, ya que debe de ser controlada la cantidad de radiación solar.

9	ILUMINACIÓN	Este factor fue considerado específicamente como sustituto de la radiación solar, en general se utiliza para zonas en las cuales la mayor parte del año se tienen días nublados y muy fríos.
----------	--------------------	--

Tabla 26. Requerimientos a considerar para un invernadero automatizado.

Como principal objetivo para nuestra solución de alternativa se deben analizar los requerimientos obtenidos en nuestra matriz de decisión que fueron control ambiental, costo y operatividad de nuestro sistema, en base a estos factores podemos obtener la mejor solución de alternativa.

3.4. SOLUCIÓN DE LA ALTERNATIVA

A continuación se muestran las posibles soluciones de alternativas para cada elemento utilizado dentro del invernadero, además de los criterios a considerar de cada uno de ellos (Tabla 27).

Objetivo	Alternativa	Criterio		Selección
Tipo de control		Costo	Flexibilidad	Analogico
	Micro controlador(pic)	Alto	Alta	
	Analógico (comparadores)	Bajo	Media	
Sistema de control de temperatura		Costo	Precisión	Ventilación automatizada Calefacción
	Ventilación natural	Bajo	Baja	
	Ventilación automatizada	Alto	Alta	
	Calefacción	Medio	Media	
Sistema de control de humedad		Costo	Precisión	Ventilación automatizada Aspersión
	Ventilación natural	Bajo	Baja	
	Ventilación automatizada	Medio	Media	
	Aspersión	Medio	Media	
Riego		Costo	Ahorro de agua	Aspersión
	Goteo	Bajo	Alto	
	Aspersión	Medio	Alto	

	Inundación	Bajo	Bajo		
Técnica de control de temperatura		Costo	Precisión	Lazo cerrado	
	Lazo abierto	Bajo	Baja		
	Lazo cerrado	Medio	Alta		
Técnica de control en riego		Costo	Precisión	Lazo cerrado	
	Lazo abierto	Bajo	Baja		
	Lazo cerrado	Medio	Alta		
Material utilizado para el sistema de riego		Costo	Durabilidad	Tubería de PVC	
	Tubería de PVC	Bajo	Media		
	Tubería de cobre	Alto	Alta		
Tipo de estructura		Costo	Resistencia a los vientos	Ventilación	Diente de sierra
	Emparrado	Bajo	Media	Bajo	
	Aeroplano	Media	Media	Bajo	
	Pepino	Bajo	Media	Bajo	
	Diente de sierra	Bajo	Media	Media	
Material utilizado para la estructura		Costo	Duración	Madera	
	Madera	Bajo	Media		
	Aluminio	Medio	Alta		
	Acero	Medio	Alta		
Material para la cubierta		Costo	Duración	Plástico	
	Cristal	Medio	Alto		
	Plástico	Bajo	Bajo		
Material de reutilización de agua		Costo	Duración	PVC espumado	
	Vidrio	Alto	Alto		
	PVC espumado	Medio	Medio		

Tabla 27. Solución de alternativas para cada elemento del invernadero automatizado.

La tabla 27 proporciona la solución de la alternativa para cada elemento, a continuación se muestra la selección obtenida:

- Tipo de control: analógico (comparadores)
- Sistema de control de temperatura: Ventilación automatizada, Calefacción
- Sistema de control de humedad: Ventilación automatizada, Aspersión
- Riego: Aspersión
- Técnica de control de temperatura: Lazo cerrado
- Técnica de control en riego: Lazo cerrado
- Material utilizado para el sistema de riego: Tubería de PVC
- Tipo de estructura: Diente de sierra
- Material utilizado para la estructura: Madera
- Material para la cubierta: Plástico

Con los sistemas anteriormente mencionados se obtiene la alternativa de un invernadero tipo diente de sierra, con sistema de control automatizado.

Los principales factores para la selección anterior son control ambiental, costo y operatividad con esta relación se seleccionó cada uno de los elementos para obtener un invernadero automatizado.

El control analógico se seleccionó en base a comparadores debido al costo que tiene la implementación del mismo.

El sistema de control de temperatura debe tener la mejor operatividad posible ya que este es un factor que influye directamente en el desarrollo del cultivo del jitomate, para esto se realizó un tipo control en lazo cerrado con lo cual podemos obtener una elevada precisión.

El sistema de control de humedad se realizó mediante lazo cerrado, eso nos proporcionara una precisión alta para el cultivo del jitomate y con esto podremos tener un ambiente óptimo.

La estructura así como el plástico utilizado para la cubierta se eligieron de tal manera que el material de la estructura presentara una durabilidad media y el material de la cubierta cumpliera con el objetivo de almacenar energía dentro del invernadero y proporcionar el sombreado dentro del mismo para el desarrollo óptimo del jitomate.

Ventajas de la alternativa

Al poseer una estructura tipo diente de sierra se ofrece un sombreado mucho mayor que el de capilla, se tiene un menor volumen de aire encerrado y la construcción de esta estructura tiene una complejidad media.

El costo al tomar las alternativas anteriormente mencionadas se puede obtener un invernadero automatizado a un menor precio pero con la misma operatividad para el desarrollo del cultivo.

El mantenimiento del invernadero al poseer elementos de bajo costo es mínimo ya que intercambiar las piezas sería de fácil manejo.

La reutilización del agua es la principal ventaja que presenta la selección de esta solución de alternativa con respecto a otros modelos de invernaderos, ya que al minimizar el consumo del agua se vuelve un sistema óptimo para terrenos en donde escasean las lluvias.

CAPÍTULO IV

PROTOTIPO DE INVERNADERO

- 4.1. BOSQUEJO DE LA SOLUCIÓN
- 4.2. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA
- 4.3. PROTOTIPO
- 4.4. RESULTADOS DEL PROTOTIPO DE INVERNADERO

4.1. BOSQUEJO DE LA SOLUCIÓN

En base a los requerimientos anteriores se propone el siguiente bosquejo de invernadero (Fig.68).

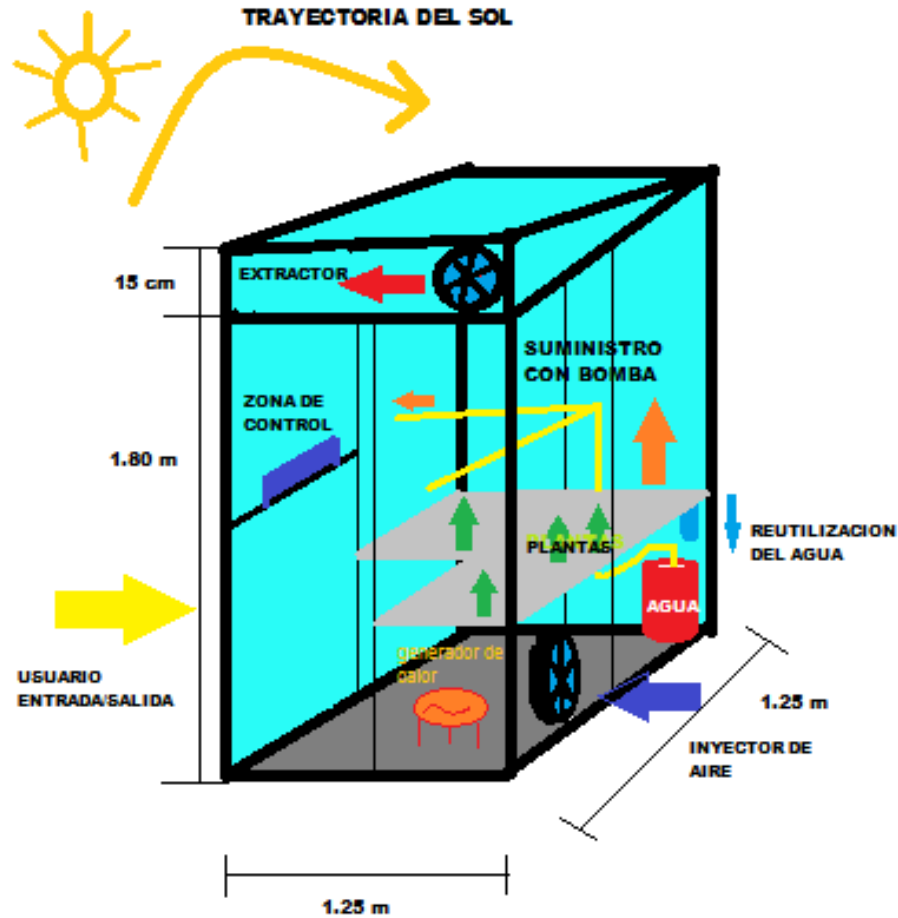


Fig.68.-Invernadero propuesto.

La figura 68 muestra el tipo de invernadero que se eligió para llevar a cabo el prototipo. El invernadero consta con un sistema de control de temperatura, control de humedad y el sistema de reutilización del agua con esto se pueden generar las condiciones necesarias ambientales para el cultivo del jitomate (Tabla 28).

CULTIVO DEL JITOMATE	
Temperatura optima	20 C° a 24 C°
Humedad	60 %

Tabla 28. Condiciones ambientales en el cultivo del jitomate.

El bosquejo anteriormente mencionado puede proveer un ambiente con las condiciones ambientales necesarias de la tabla 28, logrando un desarrollo óptimo del jitomate.

4.2. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA

SENSOR DE TEMPERATURA

El elemento que se utilizó dentro del invernadero como sensor de temperatura es el LM35 que es un sensor con una precisión calibrada de 1°C y un rango que abarca desde -55° a $+150^{\circ}\text{C}$.

El sensor se presenta en diferentes encapsulados pero el más común es el to-92 de igual forma que un típico transistor con 3 patas, dos de ellas para alimentarlo y la tercera nos entrega un valor de tensión proporcional a la temperatura medida por el dispositivo. Con el sobre la mesa las patillas hacia nosotros y las letras del encapsulado hacia arriba tenemos que de izquierda a derecha los pines son: VCC - Vout - GND (Fig.69).

La salida es lineal y equivale a $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ por lo tanto:

- $+1500\text{mV} = 150^{\circ}\text{C}$
- $+250\text{mV} = 25^{\circ}\text{C}$
- $-550\text{mV} = -55^{\circ}\text{C}$



Fig.69.-Sensor de temperatura LM35.

El control de temperatura se lleva a cabo en dependencia del Lm35, con este sensor se logra activar los ventiladores o la resistencia eléctrica dependiendo de las condiciones ambientales registradas dentro del invernadero.

Para llevar a cabo el control y proceder al prototipo físicamente se lleva a cabo la simulación en software, con la cual podemos obtener un resultado previo del funcionamiento (Fig.70).

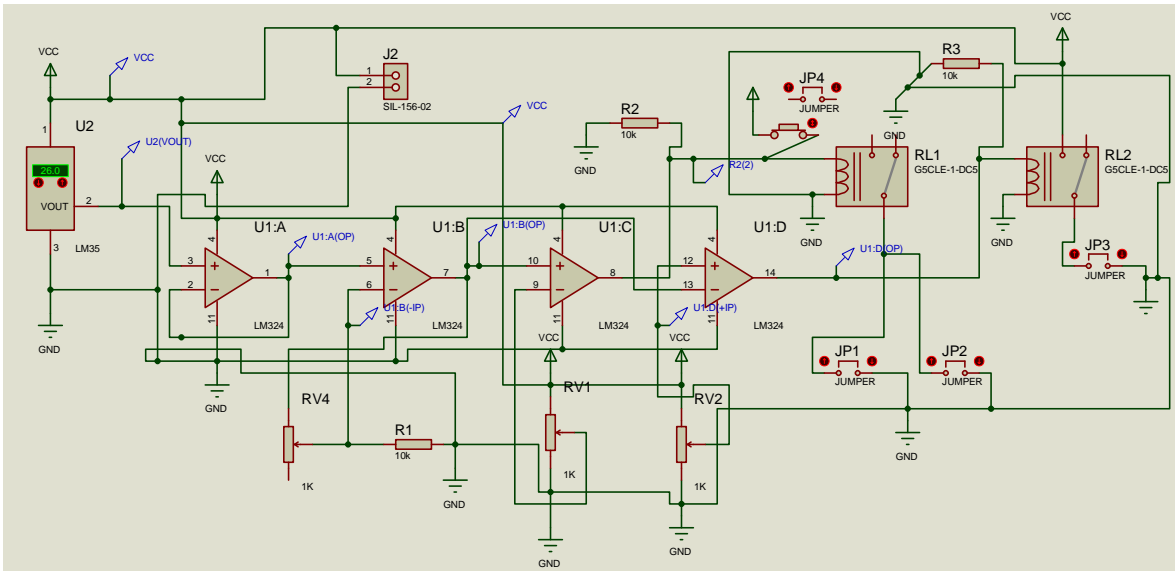


Fig.70.-Simulación del control de temperatura.

SENSOR DE HUMEDAD

Para medir la humedad que es la cantidad de vapor de agua contenida en el aire y varía según las condiciones climatológicas, se utilizó un sensor de humedad de puesta a tierra, el cual utiliza la conductividad de la muestra y entre mayor sea la cantidad de agua mayor será el porcentaje de humedad (Fig.71).



Fig.71.-Sensor de humedad puesta a tierra.

La figura 71 muestra el sensor de humedad puesta a tierra el cual censa por medio de las dos terminales que posee dentro de la muestra. Por medio del control de humedad se calibra para obtener un resultado lo mas óptimo posible y así tener condiciones de humedad aceptables para el cultivo del jitomate.

Para obtener una certeza mayor del control de humedad en su funcionamiento, y así poder realizar el prototipo físicamente, se llevo a cabo la simulación con ayuda de un software el cual permite obtener un resultado previo. (Fig.72).

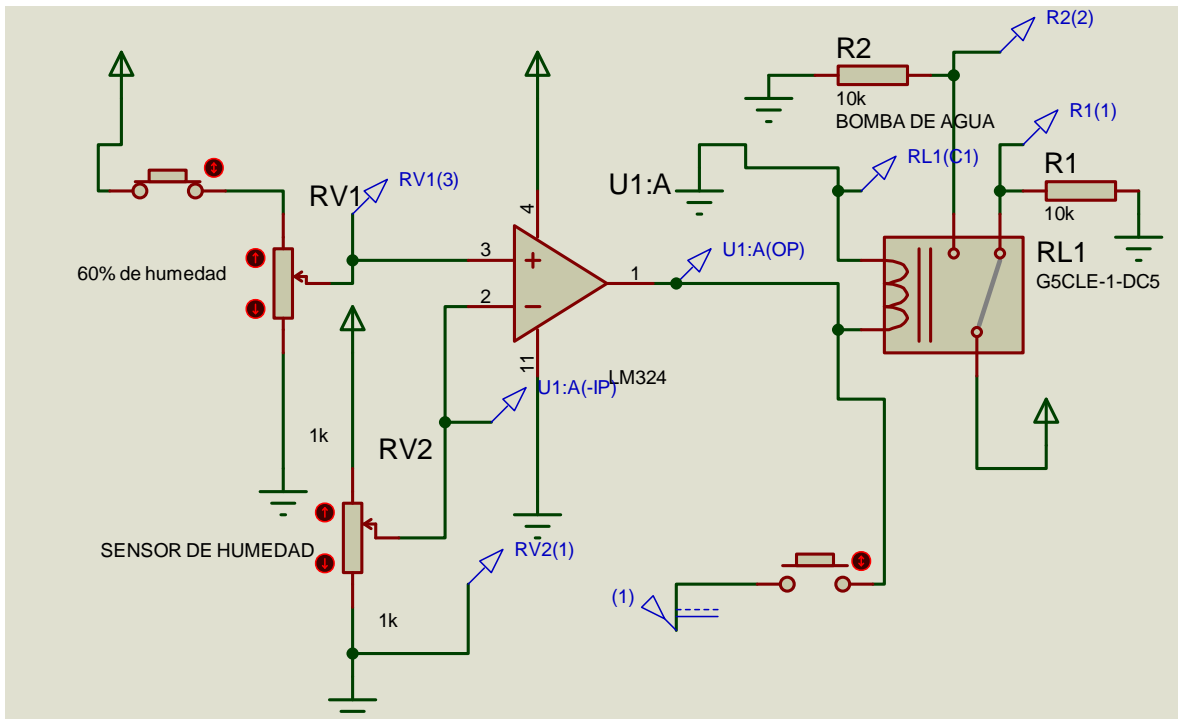


Fig.72.-Simulación del control de humedad.

Al simular el control de humedad en software se puede realizar el prototipo de manera física con mayor seguridad de funcionamiento.

ESTRUCTURA

La estructura utilizada tiene las siguientes medidas 1.25 m x 1.25 m x 2 m de ancho, largo y alto respectivamente, el tipo de estructura utilizada para el invernadero es del tipo diente de sierra y se eligió mediante las evaluaciones antes mencionadas. La estructura posee una base principal que su vez sostiene los pilares del techado (Fig.73).



Fig.73.-Estructura del invernadero

Para obtener una estructura de tipo diente de sierra se colocó una rampa sobre el techado que posee un ángulo aproximado de 15° , con lo cual se logró un flujo de aire bueno dentro del invernadero (Fig.74).

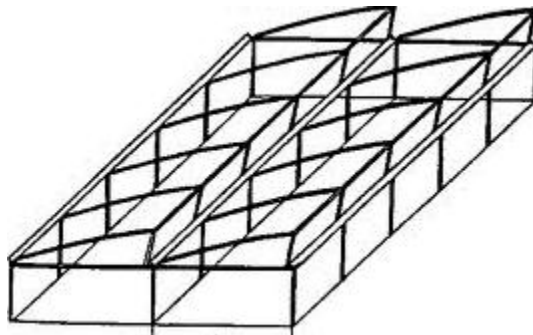


Fig.74.-Estructura de invernadero tipo diente de sierra.

JITOMATE

El jitomate utilizado fue del tipo de bola el cual es fruto originario de América, de forma redonda ligeramente achatada tiene un alto valor nutritivo, ideal para consumirse fresco, solamente en México se le denomina "jitomate" pues el resto del mundo se le conoce como tomate. La temperatura óptima para el desarrollo es de 18 °C a 23°C (Fig.75).



Fig.75.-Jitomate de bola utilizado para el cultivo.

ASPERSIÓN

Para el sistema de aspersión se utilizó tubo PVC de 1.27 cm (½ pulgada) en las direcciones de riego utilizadas para el cultivo del jitomate dentro del invernadero. Para el bombeo del agua se utilizó una bomba de 373 Watts (½ Hp) la cual se encuentra bajo el control del sensor de humedad (Fig.76).



Fig.76.-Tubería de PVC para la aspersión.

A continuación se muestran los cálculos realizados para la obtención de la potencia de la bomba (Fig.77).



Fig.77.-Bomba de agua de 1/2 Hp.

Cálculos para la obtención de la potencia de la bomba:

De la Ecuación 1 se tiene que:

$$P = \gamma QH / 75\eta \quad [1]$$

Donde:

$\eta = 0.85$ aproximadamente

γ :es el peso específico del agua = 100 [kg/m³]
Q= 300 [m³/h]; o 0.0834 [m³/s]
H= 2 [m]

Ahora sustituyendo los datos anteriormente mencionados en la ecuación 1 queda lo siguiente:

$$P = \frac{(.0834)(2)(100)}{(75)(.85)} [1]$$

Al realizar la operación anterior de la ecuación 1 da como resultado:

$$P = 194.70[W] \text{ ó } (0.261 [Hp])$$

Con este dato se puede elegir la bomba indicada para la realización del prototipo.

REUTILIZACION DE AGUA

Mediante este sistema se recolecta la mayor cantidad de agua posible del sistema de aspersión. Esta constituido de PVC-espumado el cual permite la recolección en toda el área del cultivo (Fig.78).



Fig.78.-PVC-espumado para la reutilización de agua.

El área de cultivo se situara sobre la zona de reutilización de agua en la siguiente Fig.78 se puede observar la distribución de las plantas dentro del invernadero.

CALEFACCIÓN

Los elementos para la calefacción son dos resistencias eléctricas de 940 watts montadas sobre tabicón, las cuales proporcionan la energía necesaria para mantener el sistema invernadero a la temperatura ambiental requerida. Los elementos de calefacción se encuentran controlados por el sensor de temperatura LM35 mediante el controlador de temperatura (Fig.79).



Fig.79.-Calefaccion mediante resistencias eléctricas.

ILUMINACIÓN

Calculo de la iluminación artificial dentro del invernadero (Fig.80).



Fig.80.-Lamparas con potencia de 100 Watts.

De la Ecuación 7 se tiene que

$$L = \frac{I}{F} [7]$$

Donde:

I: 10000 Lx/m²; considerando una temperatura de 19.5° C
F: 1560 Lx/m²; considerando lámparas de 100 Watts
L: Lámparas necesarias

Sustituyendo los datos en la ecuación 7 se obtiene lo siguiente:

$$L = \frac{1000}{1560}$$

$$L = 6.41 \text{ lámparas}$$

Como no se puede determinar ese número de lámparas asignamos el valor entero de 7 lámparas con lo cual mantendríamos el rango indicado de temperatura requerido para el cultivo del jitomate.

CABLEADO

Para esta etapa considerando que el elemento que demanda la mayor cantidad de corriente es la bomba de agua con 15 A se puede entonces elegir de la tabla 14 el cable AWG 10 (Fig.81).



Fig.81.Cable AWG del número 10.

4.3. PROTOTIPO

INVERNADERO

Al conjuntar todos los elementos anteriormente mencionados se puede finalmente observar el prototipo final (Fig.82).



Fig.82.-Prototipo de invernadero.

El invernadero cuenta con una estructura de madera de tipo diente de sierra que proporciona una ventilación más eficaz.

CONTROL DE HUMEDAD Y TEMPERAURA

El sistema de control de temperatura y humedad se implemento de manera física sobre protoboards, con él cual tendremos un ambiente controlado (Fig.83).

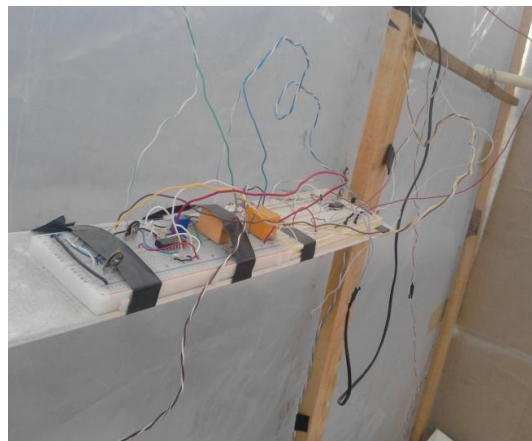


Fig.83.-Control de temperatura y humedad.

Para llevar a cabo la implementación del sistema de control y humedad se simularon los circuitos electrónicos en un software denominado proteus.

SISTEMA DE RIEGO

Para llevar a cabo el riego dentro del invernadero se instaló el sistema por aspersión (Fig.84).



Fig.84.-Control de temperatura y humedad.

La figura 84 muestra el sistema de aspersión por medio de PVC el cual permite obtener la presión para el riego de la planta de jitomate.

REUTILIZACIÓN DE AGUA

Para este fin se propuso una base de material denominado PVC espumado, la cual nos sirve para colocar las plantas sobre la misma, y así poder rescatar la mayor cantidad de agua (Fig.85).



Fig.85.-Sistema de reutilización de agua.

La figura 85 muestra la reutilización del agua con PVC espumado formando una base (blanca) y sobre ella la colocación de las plantas, con lo cual al momento de

ser regadas por el sistema de aspersión se pueda recolectar la mayor cantidad de agua.

VENTILACIÓN

La ventilación se llevo a cabo por medio de ventiladores situados de manera que el flujo de aire se realizara de manera más efectiva (Fig.86).



Fig.86.-Ventilación por medio de ventiladores.

Los ventiladores fueron utilizados como inyectores en este caso, y como extractores para obtener la ventilación más adecuada para el desarrollo de la planta de jitomate.

Para el cálculo de los ventiladores se toma en cuenta la Ecuación 2

$$\textit{standard cmm} = L * W * 2.5 \left[\frac{\textit{cmm}}{\textit{m}^2} \right] [2]$$

Considerando las medidas del prototipo se tiene

$$L = 1.25 \text{ m}$$

$$W = 1.25 \text{ m}$$

Entonces sustituyendo en la ecuación 2 se tiene que:

$$\textit{standard cmm} = 1.25 * 1.25 * 2.5 \left[\frac{\textit{cmm}}{\textit{m}^2} \right]$$

Por tanto

$$\textit{standard cmm} = 3.9 \left[\frac{\textit{cmm}}{\textit{m}^2} \right]$$

Ahora mediante datos de las tablas 14,15, 16 y por medio de la Ecuación 3 se obtiene el factor casa

$$F_H = F_E * F_L * F_T [3]$$

$$F_H = 1.36 * 1 * 1$$

$$F_H = 1.36$$

Ahora mediante la Ecuación 4 se calcula el total de aire a remover:

$$total\ cmm = standard\ cmm * F_H [4]$$

$$total\ cmm = 3.90 * 1.36$$

$$total\ cmm = 5.31 \left[\frac{cmm}{m^2} \right]$$

Ahora se debe saber que dentro de un invernadero el distanciamiento entre un ventilador y otro debe de ser por mínimo de 7.6 m.

$$\#ventiladores = \frac{L}{7.6} [5]$$

Al no poder resolver esto mediante la ecuación 5 se toma en cuenta 1 ventilador a utilizar.

Por último se calcula el flujo para cada ventilador con la Ecuación 6 entonces se tiene que:

$$Cmm\ por\ ventilador = \frac{total\ cmm}{\#ventiladores} [6]$$

$$Cmm\ por\ ventilador = \frac{5.31}{1}$$

$$Cmm\ por\ ventilador = 5.31$$

Mediante este dato obtenido si el invernadero tuviera características de superiores a 2.37 m de alto y 7.62 m de largo se podría obtener el tamaño y la potencia requerida de cada ventilador.

CALEFACCIÓN

El sistema de calefacción se lleva a cabo por medio de resistencias eléctricas. La calefacción proporciona el calor necesario para llegar a la temperatura deseada, es activada por medio del control de temperatura en situaciones donde la temperatura ha descendido más de lo establecido (Fig.87).



Fig.87.-Ventilacion por medio de ventiladores.

El sistema de calefacción se lleva a cabo por medio de resistencias eléctricas, las cuales fueron montadas en tabicón.

JITOMATE

El jitomate utilizado para el cultivo fue del tipo de bola, dentro de nuestro espacio de cultivo bajo invernadero, considerando que cada planta debe tener al menos 30 cm de separación una de la otra, obtenemos la cantidad de 12 plantas por cada metro cuadrado (Fig.88).



Fig.88.-Jitomate utilizado en el cultivo.

La figura 89 muestra la semilla del jitomate tipo de bola que se cultivo en el invernadero con condiciones ambientales reguladas.



Fig.89.-Semilla de jitomate tipo de bola.

4.4. RESULTADOS DEL PROTOTIPO DE INVERNADERO

A continuación se muestran los resultados de la temperatura a lo largo de un periodo de tres meses (Noviembre a Enero de 2011).

En las tablas 29 y 30 se muestran las temperaturas obtenidas en el invernadero en el mes de Noviembre, con las cuales se puede observar las variaciones de temperatura existentes durante el día y la noche.

NOVIEMBRE						
DIA	TEMPERATURA A LA HORA					
	19 hrs	21 hrs	23 hrs	1 hrs	3 hrs	5 hrs
17	20.1	19.9	20.5	19.3	19.8	20.2
19	20.9	20.3	20.2	21.2	21.2	19.8
21	20.4	21.3	19.8	20.4	20.8	20.2
23	21.4	19.8	20.4	20.1	20.3	21.1
25	21.0	21.1	21.0	20.0	21.5	21.3
27	20.7	20.2	19.7	20.3	20.4	21.4
29	20.0	20.1	19.6	20.9	20.6	19.9

Tabla 29. Tabla de variación de temperatura de Noviembre 7 pm a 5 am (Noche - Interior)

NOVIEMBRE						
DÍA	TEMPERATURA A LA HORA					
	7 hrs	9 hrs	11 hrs	13 hrs	15 hrs	17 hrs
17	22.0	22.6	26.5	23.7	24.6	21.4
19	21.2	21.9	25.6	23.0	24.3	25.8
21	21.5	23.3	25.1	24.5	23.6	25.9
23	22.6	24.8	24.6	25.4	24.9	22.2
25	22.2	22.4	23.8	26.3	23.1	23.9
27	22.1	23.5	24.8	23.8	21.8	24.4
29	22.9	23.0	23.8	24.0	24.7	22.6

Tabla 30. Tabla de variación de temperatura de Noviembre 7 am a 5 pm (Día - Interior)

En el mes de Noviembre dentro del invernadero tomando en cuenta las variaciones existentes de temperatura se obtuvo un promedio en general de 22.03°C.

La figura 90 muestra la temperatura promedio obtenido dentro de cada día seleccionado del mes de noviembre.

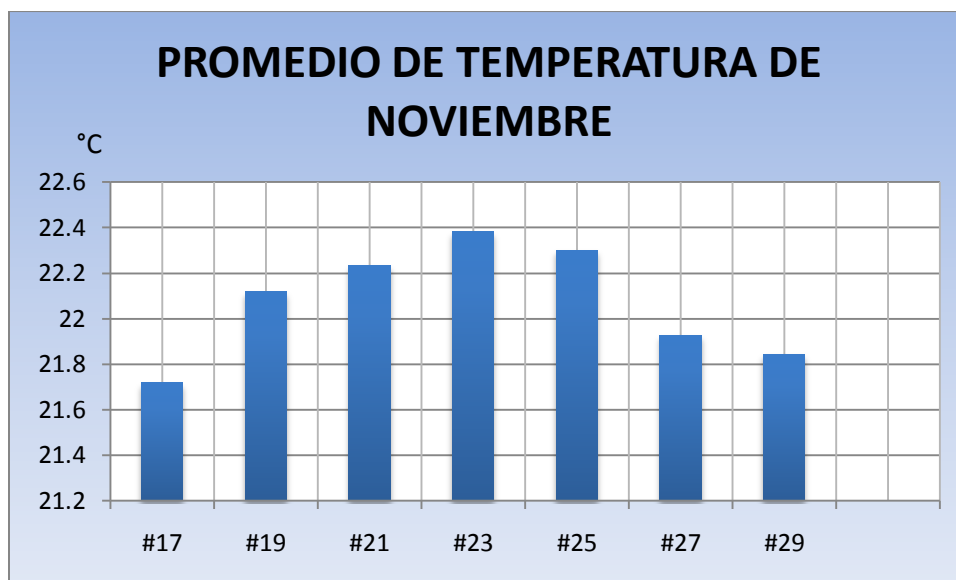


Fig.90.-Temperatura promedio a día en noviembre.

A continuación se muestra los datos del mes de diciembre, en las tablas 31 y 32 se observan las variaciones de temperaturas registradas durante día y noche.

DICIEMBRE						
DÍA	TEMPERATURA A LA HORA					
	19 hrs	21 hrs	23 hrs	1 hrs	3 hrs	5 hrs
1	21.0	20.1	19.0	19.5	19.4	19.7
3	20.0	20.3	19.1	19.5	19.5	19.5
5	19.7	21.4	20.0	19.0	19.5	19.2
7	20.2	20.6	19.0	19.3	19.5	19.1
9	21.3	20.7	20.1	19.8	19.6	19.4
11	21.1	22.5	19.8	19.6	19.4	19.2
13	22.2	21.6	20.9	19.7	19.6	19.4
15	20.2	19.7	19.6	19.5	19.4	19.5
17	21.9	20.9	19.3	19.6	19.3	19.8
19	21.2	21.0	19.7	19.8	20.0	19.8
21	22.7	20.3	19.7	20.4	19.4	20.6
23	21.1	20.6	19.5	19.1	19.7	19.9
25	20.4	20.3	19.5	19.0	19.4	19.2
27	21.7	20.0	19.1	20.0	19.5	19.7

Tabla 31. Tabla de variación de temperatura de Diciembre 7 pm a 5 am (Noche - Interior)

DICIEMBRE						
DÍA	TEMPERATURA A LA HORA					
	7 hrs	9 hrs	11 hrs	13 hrs	15 hrs	17 hrs
1	21.0	23.1	25.0	24.5	24.4	23.7
3	22.0	21.3	23.1	25.5	24.2	24.5
5	22.7	23.4	25.0	25.0	24.8	23.7
7	22.2	22.6	25.4	24.6	24.5	24.6
9	21.3	22.7	21.1	24.8	23.6	23.4
11	21.1	22.5	19.8	24.6	24.4	23.2
13	21.2	22.6	20.9	23.7	24.6	24.4
15	20.2	22.1	23.7	25.5	25.4	24.5
17	21.9	20.9	21.3	24.6	24.8	23.8
19	21.2	21.0	19.7	23.8	24.0	25.8
21	22.7	20.3	23.7	24.4	23.4	24.6
23	21.1	21.6	24.5	25.1	23.7	24.9
25	20.4	21.3	21.5	24.0	24.4	26.2
27	21.7	20.0	21.1	24.0	24.5	25.7

Tabla 32. Tabla de variación de temperatura de Diciembre 7 am a 5 pm (Día - Interior)

La figura 91 muestra la temperatura promedio de cada día del mes de Diciembre.

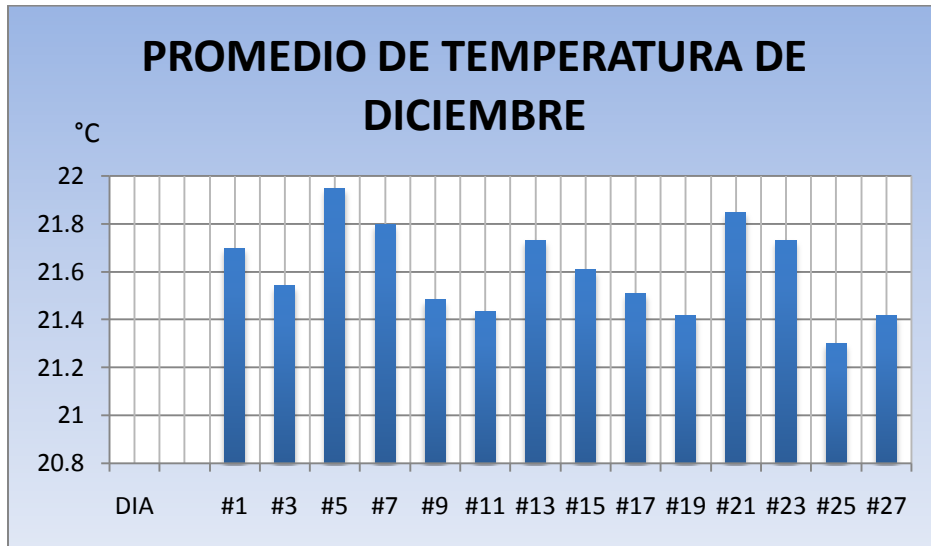


Fig.91.-Temperatura promedio a día en Diciembre.

El promedio general del mes de diciembre considerando las variaciones de temperatura del día y la noche es de 21.60 °C.

A continuación se muestra el tercer periodo de las variaciones de temperatura. En las tablas 33 y 34 se muestran los resultados de Enero durante el día y la noche.

ENERO						
DÍA	TEMPERATURA A LA HORA					
	19 hrs	21 hrs	23 hrs	1 hrs	3 hrs	5 hrs
1	21.2	21.0	20.5	20.5	19.5	19.9
3	20.0	19.7	19.6	19.2	19.0	19.1
5	21.2	21.0	20.4	19.0	19.4	19.2
7	21.2	19.9	19.8	19.6	19.2	19.1
9	21.1	20.6	20.1	19.7	19.3	19.0
11	21.1	20.4	19.2	19.0	19.0	19.1
13	20.8	20.1	20.0	19.5	19.2	19.0
15	20.2	20.1	20.0	19.3	19.2	19.1

Tabla 33. Tabla de variación de temperatura de 7 pm a 5 am (Noche - Interior)

ENERO						
DÍA	TEMPERATURA A LA HORA					
	7 hrs	9 hrs	11 hrs	13 hrs	15 hrs	17 hrs
1	22.0	22.6	25.5	23.7	25.6	21.4
3	21.2	21.9	25.6	23.0	25.3	22.8
5	21.5	23.3	25.1	24.5	25.6	22.9
7	22.6	24.8	24.6	23.4	24.9	22.2
9	22.2	22.4	22.8	26.3	23.1	23.9
11	21.1	23.5	24.8	23.8	21.8	24.4
13	21.4	23.0	22.8	24.0	23.7	22.6
15	21.6	21.2	23.5	26.2	24.8	24.5

Tabla 34. Tabla de variación de temperatura de 7 am a 5 pm (Día - Interior)

La figura 92 muestra el promedio a día en el mes de Enero (Fig.92).

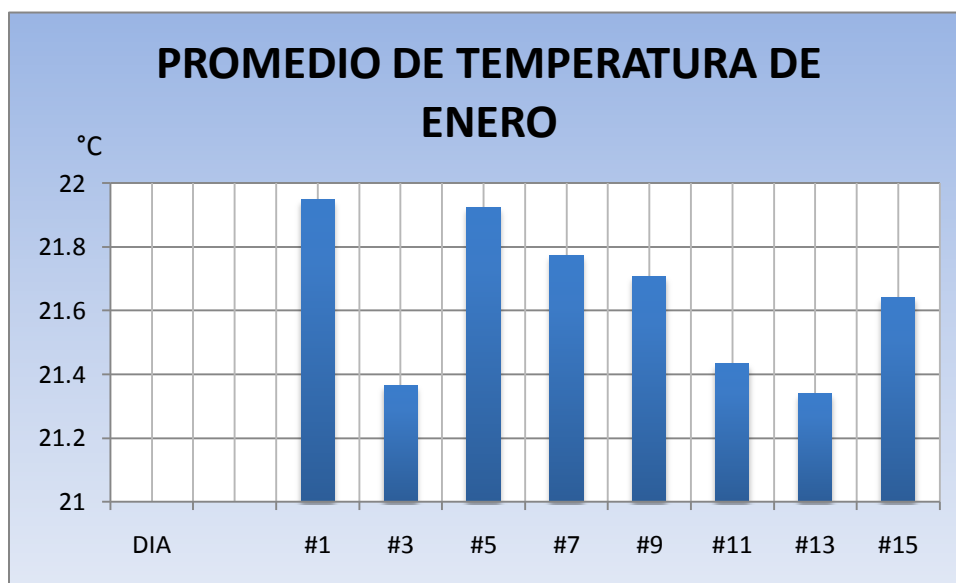


Fig.92.-Temperatura promedio a día en Enero.

Con base a estas variaciones de temperatura dada en el mes de Enero se puede encontrar que el promedio dentro del invernadero es de 21.64°C. Al tener las estadísticas de los meses antes mencionados se puede encontrar la relación de que dentro del invernadero, las condiciones ambientales se mantuvieron, provocando que el desarrollo del jitomate fuese de la mejor manera posible.

DESARROLLO DEL JITOMATE

El desarrollo del jitomate se muestra a continuación en la figura 93 en donde se observa el crecimiento del tallo de la planta alrededor de 7 cm de altura. En esta etapa, la planta posee alrededor de apenas 3 ramificaciones.



Fig.93.-Planta de jitomate en desarrollo.

La figura 94 muestra el crecimiento de la planta de jitomate a una altura de 25 cm, las ramificaciones aumentan, provocando el florecimiento en los diferentes tallos secundarios.



Fig.94.-Principio de floración en la planta.

De la floración de la planta inicia el nacimiento del fruto, la planta continua con su crecimiento en donde se ha generado un tallo principal más capaz de soportar el producto.



Fig.95.-Planta de jitomate con frutos.

La etapa mostrada en la figura 95 señala que se han colocado guías de soporte para que el crecimiento de la planta prosiga de forma vertical. La duración aproximada de la maduración del fruto mostrado es 48 días.



Fig.96.-Jitomates en proceso de maduración.

El proceso de maduración del jitomate de la figura 96 depende de factores como temperatura, humedad y cantidad de iluminación.

En este caso la iluminación provoca que el jitomate obtenga un color rojizo claro que al final se convertirá en rojo intenso.



Fig.97.-Planta de jitomate con fruto maduro.

La figura 97 muestra el fruto jitomate bajo condiciones de invernadero automatizado. El jitomate muestra una coloración rojiza, con diámetro entre 4.3 cm y un peso de 55 gramos, logrando el desarrollo en un periodo de 11 a 13 semanas.

En la figura 98 se observa que el producto final (jitomate) posee una coloración rojiza, tamaño promedio y sin consecuencias de exceso o disminución de temperatura y humedad.



Fig.98.-Jitomate producto final.

La tabla 35 muestra los resultados obtenidos del cultivo del jitomate dentro de un invernadero automatizado en comparación con un espacio al aire libre. Se presentan las características más importantes asociadas del cultivo del jitomate de las dos formas.

Factor de comparación	Invernadero automatizado	Al aire libre
Desarrollo del jitomate	10 a 12 semanas	16 a 20 semanas
Temporada de cultivo	Todo el año	Solo en época productiva
Aprovechamiento del agua	80 – 90 %	50%
Costo	Alto	bajo
Beneficio	Ganancia en la producción	Perdida de producción
Jitomate	Mayor calidad	Calidad inestable
Medio ambiente	Clima controlado	Variación del clima
Temperatura	19°C a 25 °C	3°C a 37°C
Humedad	55 - 60%	Depende de la lluvia

Tabla 35. Resultados del cultivo de jitomate al aire libre y entre un invernadero automatizado.

Mediante la tabla anterior se puede observar que las ventajas en el cultivo de jitomate en un invernadero automatizado con respecto al realizado al aire libre son consideradas como una solución para la producción de los agricultores en el Estado de Morelos.

CAPÍTULO

V

5.1 EVALUACIÓN

5.1 EVALUACIÓN

Para la evaluación del prototipo de invernadero se tomaron a continuación algunas de las normas especializadas para los invernaderos.

NORMA EUROPEA PARA INVERNADERO

Con respecto al Instituto de Normalización de Holanda (NNI) se tomo la iniciativa de proponer la organización CEN (Comité Europeo de Normalización), la organización CEN acordó formar el comité CEN-TC 284 Invernaderos.

Hasta ahora los miembros del comité han aportado la siguiente lista de documentos (Tabla 36):

NEN 3859	Requerimientos estructurales de los invernaderos
BSI 91/188819	Túneles cubiertos con plástico rígido y en películas. Código de instrucciones para el diseño, construcción y determinación de las cargas. Reino Unido
AFNOR PR U 57-060	Francia. Septiembre 1991. Invernaderos de vidrio.
AFNOR PR U 57-063	Francia. Septiembre 1991. Túneles.
AFNOR PR U 57-060	Francia. Septiembre 1991. Multitúneles.
DIN 115 35 parte 1	Invernaderos de vidrio
DIN 115 35 parte 2	Prototipos de invernaderos de vidrio
DIN 115 25	Vidrio para usos hortícolas
UNE 76-209092	España. Junio 1992. Invernaderos
UNI 3399	Italia. Marzo 1992. Invernaderos de vidrio y túneles de plástico.
UNI 6781-71	Italia. Invernaderos de estructura metálica. Instrucción para el diseño y el cálculo.
UNI 9936	Italia. Invernaderos de cubierta de plástico.
UNI CNR 10011	Italia. Construcciones de acero. Instrucciones para el diseño de la estructura, construcción, ensayo y mantenimiento.

Tabla 36. Normas para invernaderos

Este comité Europeo de Normalización CEN.TC 284 Invernaderos tiene un amplio plan de trabajo que incluye la definición de los diferentes tipos de invernaderos, el periodo de referencia y grado de seguridad y la valoración de las cargas de diseño, los aspectos constructivos, la protección anticorrosiva, etc.

NORMALIZACIÓN DE ESTRUCTURAS DE INVERNADEROS

Estas normas son utilizadas como una guía de línea para los requerimientos de construcción. A continuación se muestran los diferentes tipos de carga las cuales influyen en el diseño de la estructura de invernaderos.

Diseño de cargas: la estructura soportara un peso aplicado verticalmente u horizontalmente antes de que pueda colapsarse. El peso impuesto comúnmente, es referido a cargas incluidas en la norma ANSI A58.1-1972, 12.

Cargas muertas: peso de los componentes permanentes como: calentadores, tuberías de agua, y todo el equipo de servicio.

Cargas vivas: peso de componentes como: colgadura de cestos, niebla, montadura de instrumentos de medición, etc.

Cargas de viento: cargas causadas por la sopladura de alguna dirección horizontal.

Para esto en 1959 fue establecida la Nacional Asociación de Manufactura en Invernaderos (NGMA), adoptando un estándar in 1975 para construcción de invernaderos.

Estándar para el diseño de cargas tomadas en cuenta en una estructura:

1. Cargas muertas
2. Cargas vivas mínimas 700 Pa en horizontal o vertical del área protegida.
3. Cargas de viento mínimas 950 Pa.

Mediante estas características mínimas que debe poseer una estructura, se eligió la estructura adecuada para soportar las cargas anteriormente mencionadas.

NORMALIZACIÓN DE FILMES PLÁSTICOS PARA CUBIERTAS DE INVERNADEROS

La norma española UNE-EN-13206 (películas termoplásticas para cubiertas para su utilización en agricultura y horticultura.

Esta norma UNE-EN-13206 abarca tres tipos de películas (láminas o filmes): normal, térmica clara y térmica difusa. Además define entre otras, las características y tolerancias en dimensiones, en resistencias a la tracción, al rasgado y al impacto, la termicidad (transmisividad a la radiación infrarroja larga,

que emite la superficie terrestre) y la transmisividad a luz visible (regulada por la norma EN-2155-5).

La duración previsible de la lámina o película de plástica en condiciones reales se estima mediante envejecimiento artificial y natural, según la radiación solar anual de cada lugar (Tabla 37 y 38).

Clase de película	Duración (horas) mayo o igual a
N	400
A	1700
B	3200
C	4600
D	6000
E	7300

Tabla 37. Películas para cubierta de invernaderos clasificación basada en la duración mediante envejecimiento artificial acelerado (Norma UNE-EN-13206)

Radiación anual	Horas de envejecimiento artificial para una vida previsible de:			
	1 año	2 años	3 años	4 años
70 a 100 kLy	1700	3500	5300	7100
100 a 130 kLy	2800	5600	8400	
130 a 160 kLy	3900	7800		

Tabla 38. Correlación entre envejecimiento artificial y natural (UNE-EN-13206)

Dependiendo de las características establecidas en la norma UNE-EN-13206 para plásticos se eligió el plástico para el invernadero.

CONCLUSIONES

Con respecto al objetivo general:

Al término de este trabajo se determinaron las condiciones más adecuadas para el cultivo del jitomate en el Estado de Morelos, bajo las condiciones de un estudio sistémico e integral de las tecnologías aplicables a invernaderos automatizados ya que se elaboró un diseño de invernadero automatizado con ambiente controlado.

En base a los detalles obtenidos de cada estructura de invernadero se obtienen las principales características así como sus requerimientos para la construcción de cada tipo de estructuras.

Se obtienen las características necesarias e idóneas del Estado de Morelos para implementar un invernadero automatizado para el cultivo de jitomate.

Mediante el análisis de soluciones de alternativas para invernaderos se obtienen las principales características para la automatización.

Los sistemas obtenidos de cada parte de control del invernadero permiten establecer las condiciones necesarias para tener un ambiente controlado en un invernadero.

Se consideraron las características principales de los invernaderos de la región del Estado de Morelos con lo cual se obtiene un diseño de invernadero dentro de las condiciones adecuadas en la región.

En base a las características tecnológicas, materiales, territoriales y de producción del jitomate rojo se pudo elegir el diseño del invernadero automatizado apropiado para poder mostrar mediante un prototipo un análisis detallado de la importancia de la automatización en el Estado de Morelos.

Con respecto a los resultados:

En base a los resultados obtenidos se puede observar que dentro de un invernadero al controlar las condiciones ambientales se tiene un ambiente que permite el mejor desarrollo del cultivo del jitomate. Así mismo, se tiene la capacidad de poder administrar los factores que pudieran retrasar al desarrollo de la planta de jitomate.

Se investigó la tecnología de control y automatización aplicables a invernaderos controlados, con esto un invernadero se vuelve de suma importancia debido a que por medio del mismo se pueden obtener: mejores condiciones ambientales y con esto mayor productividad, mejor calidad, producción durante todo el año y reducción de recursos materiales, económicos y humanos de tal manera que se

logren los costos y se puedan incrementar las utilidades del terreno dentro del Estado de Morelos.

En las muestras de temperatura anteriormente obtenidas se puede observar la estabilidad del ambiente controlado dentro del invernadero, esto se logro mediante un invernadero automatizado. La característica principal de las muestras tomadas y canalizadas en los resultados fue que al mantener un promedio estable durante el periodo de tiempo mostrado la planta de jitomate se desarrollo bajo condiciones óptimas para su crecimiento acelerado.

BIBLIOGRAFÍA

1. Nicolás Castilla. Invernaderos de Plástico, Tecnología y manejo. Ediciones Mundi-Prensa, 2005, 462 pág.
2. Mantalla Gonzales Antonio, Montero Camacho Juan Ignacio. Invernaderos, Diseño, Construcción y Climatización. 2ª edición. Ediciones Mundi-Prensa, 1995, 209 pág.
3. Alicia Namesny. Tomates Producción y Comercio. Ediciones de Horticultura, 2004, 252 pág.
4. Roberto Anderlini. El cultivo del tomate. 2ª edición. Ediciones ceac, 1996, 108 pág.
5. G.N.Tiwari. Greenhouse Technology for controlled enviroment. Ediciones Alpha Science International Ltd, 2003, 544 pág.
6. Paul V.Nelson. Greenhouse operation and management. 5ª edición. Reston, Virginia 1985, 598 pag.

➤ INVERNADEROS

<<http://www.uaq.mx/ingenieria/especialidad/>>

[Consulta: 29 Octubre de 2010]

➤ INVERNADERO SOBRE automatización

<www.invernadero.8m.net>

[Consulta: 2 noviembre de 2010]

➤ ENCICLOPEDIA

<http://www.inafed.gob.mx/work/templates/enciclo/mexico/mpios/15056a.htm>

[Consulta: 2 noviembre de 2010]

➤ HIDROCULTIVO SOBRE tomate

<http://www.hydrocultivo.com/index.php/jitomate>

[Consulta: 3 noviembre de 2010]

➤ ALIMENTACIÓN SOBRE tomate

<http://www.alimentacion-ana.com.ar/informaciones/novedades/tomate2.htm>

[Consulta: 3 noviembre de 2010]

➤ CULTIVO SOBRE Tomate

[http://www.fintrac.com/docs/elsalvador/Manual del Cutivo de Tomate WEB.pdf](http://www.fintrac.com/docs/elsalvador/Manual%20del%20Cultivo%20de%20Tomate%20WEB.pdf)

[Consulta: 3 noviembre de 2010]

➤ ARTÍCULOS SOBRE invernadero

<http://articulos.infojardin.com/huerto/invernaderos-clima-cultivo.htm>

[Consulta: 3 noviembre de 2010]

➤ SOBRE invernadero

<http://invernadero.netai.net/>

[Consulta: 9 noviembre de 2010]

➤ SOBRE plantas

<http://www.jardinyplantas.com/invernaderos/estructura-de-invernaderos.html>

[Consulta: 10 noviembre de 2010]

➤ SOBRE población

<http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/mor/poblacion/dinamica.aspx?tema=me&e=17>

[Consulta: 11 noviembre de 2010]

➤ SOBRE Datos estadísticos

<http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/pablo/Documentos/monitor%20estados/Morelos.pdf>

[Consulta: 25 noviembre de 2010]

➤ SOBRE Morelos

<http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/morelos/>

[Consulta: 10 Diciembre de 2010]

➤ INVERNADEROS SOBRE TIPOS

http://www.agrobit.com/Info_tecnica/alternativos/horticultura/al_000010ho.htm#3-Invernaderos en dientes de sierra

[Consulta: 10 Diciembre de 2010]

- TOMATE SOBRE Tipos

<http://www.veoverde.com/2008/11/tomates-de-colores/>

[Consulta: 10 Diciembre de 2010]

- TOMATE

<http://www.extension.iastate.edu/publications/PM608S.pdf>

[Consulta: 20 Diciembre de 2010]

- SENSORES

<http://www.x-robotics.com/sensores.htm>

[Consulta: 12 Enero de 2011]

- SENSORES SOBRE humedad

<http://www2.elo.utfsm.cl/~elo372/complemento2.pdf>

[Consulta: 18 Enero de 2011]

- PLASTICOS SOBRE características

<http://www.plasticbages.com/caracteristicaspvc.html>

[Consulta: 21 Febrero de 2011]

- LM324 SOBRE características

<http://www.solarbotics.com/products/lm324/resources/>

[Consulta: 22 Febrero de 2011]

- LM324 SOBRE características

<http://www.solarbotics.com/assets/datasheets/lm324.pdf>

[Consulta: 8 Marzo de 2011]

- PLÁSTICOS

http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/plasticos.htm

[Consulta: 24 Marzo de 2011]

➤ PLÁSTICOS

<http://www.netcom.es/pepeocu/alumbrado/lamparas.htm>

[Consulta: 17 Marzo de 2011]

➤ ELÉCTRONICA

<http://www.comunidadelectronicos.com/articulos>

[Consulta: 3 Abril de 2011]