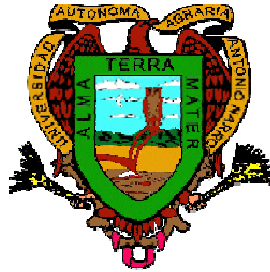


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



“Diseño y construcción de invernaderos para la producción de hortalizas”

POR:

HOREL LUCIO SANTIZO VELÁZQUEZ

MONOGRAFÍA

**PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO
DE:**

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

BUENAVISTA SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO

MARZO DE 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO

“Diseño y construcción de invernaderos para la producción de hortalizas”

Monografía

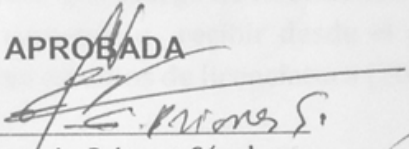
Realizado por:

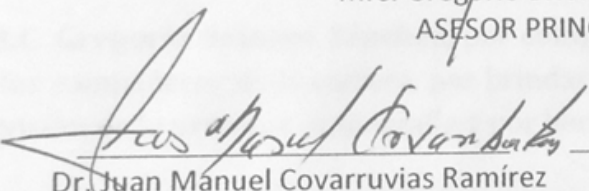
Horel Lucio Santizo Velázquez

Que Somete a Consideración del H. Jurado Examinador como Requisito Parcial
para Obtener el Título de:

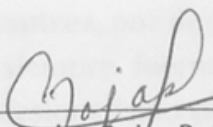
INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

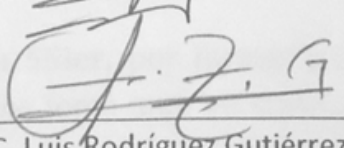
APROBADA


M.C. Gregorio Briones Sánchez
ASESOR PRINCIPAL


Dr. Juan Manuel Covarrubias Ramírez
ASESOR


M.C. Tomás Reyna Cepeda Siller
ASESOR


M.C. Carlos Rojas Peña
ASESOR


M.C. Luis Rodríguez Gutiérrez
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN
DE INGENIERÍA



Buenvista, Saltillo, Coahuila, México, Marzo de 2011.

Agradecimientos

Agradezco a Dios antes que todo, eres increíble, cuan grande es tu amor a pesar de las dificultades supiste enseñarme cual es el mejor camino, gracias por ese amor incondicional y por dar a Tu hijo “Jesús” en esa cruz maravillosa, es por eso que ahora podemos gozar de esta libertad. “Gracias Padre”.

A mi “Alma Mater” que me cobijo durante mi estancia en Buenavista, Saltillo, en las buenas y en las malas. Hoy puedo ver uno de mis más grandes sueños hecho realidad “Gracias Narrito por la oportunidad de formarme profesionalmente y por darme las herramientas necesarias para lograrlo”.

A la Secretaria de Pueblos Indígenas (SEPI) de El Porvenir, Chiapas, sin el apoyo económico brindado a través de la beca que otorga no hubiese sido posible el logro de mis objetivos y metas, apoyo que comencé a recibir desde el cuarto semestre de bachillerato (2005) hasta finalizar mis estudios de licenciatura (2010).

Al M.C. Gregorio Briones Sánchez, por compartir sus conocimientos y experiencias con los compañeros de la carrera, por brindar también parte de su tiempo valioso en la revisión de la presente monografía y por hacer que se terminara en tiempo y forma.

Al Dr. Juan Manuel Covarruvias Ramírez, por depositar su confianza en mi persona, cada sugerencia, puntos de vista siempre fueron constructivos para el presente trabajo y para mi persona, por el profesionalismo en la revisión del mismo, Gracias.

Al M.C. Tomas Reyna Cepeda Siller, por formar parte del presente trabajo, los puntos de vista y sugerencias los tomé muy en cuenta, por hacer del presente una realidad.

A todos los maestros del Depto. de Riego y Drenaje, por formar a personas con perspectivas diferentes, para ver de un problema una oportunidad de demostrar la capacidad del ser humano en la solución de problemas de ingeniería. Hoy tenemos las herramientas necesarias para enfrentar a un mundo y a un México que cada vez demanda más personas competitivas profesionalmente, y con visiones a futuro.

DEDICATORIAS

Con gratitud, amor y respeto a mis queridos padres

Vicente Santizo López

Laura Berta Velázquez Pérez

Este gran logro es de ustedes, si algo me enseñaron es que para ser alguien en la vida se logra con esfuerzo, dedicación y entrega, y la humildad es la base para lograrlo. Porque detrás de un gran profesionalista hay una gran mujer "a ti mamá supiste cuando me faltaba las palabras de aliento y las ganas de seguir adelante... Mamita Te Amo".

A mis hermanos (as)

Elma Santizo Velázquez

Iselda Santizo Velázquez

Élida Santizo Velázquez

Herman Santizo Velázquez

Ericel Santizo Velázquez

Enedelia Santizo Velázquez

Odayner Santizo Velázquez

Alberli Santizo Velázquez

Porque juntos hemos vivido tristezas y alegrías, aún cuando mamá y papá no estaban el amor, la unión, nunca faltó entre nosotros, han sido y seguirán siendo mi inspiración.

Hermanas Elma e Isi, en ustedes siempre hubo palabras de aliento y apoyo incondicional.

A mi primera sobrina

Ericka Lizbet Pech Santizo, basta con una sonrisa para que le des sentido a mi vida, "te amo peque".

A mi abuelo

Nicasio Santizo Borrallles (fallecido) quien a través de su trabajo, esfuerzo, dedicación y entrega nos dejó un legado de herencias para que hoy no nos falte nada.

A mi abuela

Rufina Pérez Velázquez, desde niño siempre hubo amor de parte tuya, estoy muy orgulloso de ti, te admiro mucho.

A mis tíos

Joel y Adolfo Velázquez, por sus apoyo tanto económico y moral.

A mis primos

Joel y Hernán Morales Santizo, quienes han sido testigos del esfuerzo puesto en todo el transcurso de mi vida tanto dentro y fuera de la escuela.

A la Familia Velázquez

Al hermano Roberto, hermana Hortencia, Yesi, Vane, han sido testigos de gran parte de mi estancia en Saltillo, han estado conmigo en todo momento, por los sabios consejos y apoyo solo les puedo decir "Gracias".

A mis Amigos

Eliazar, Alex, Saúl, Jacob, Élida, juntos pasamos buenos y malos momentos, recuerdos de cuando nos reuníamos en la biblioteca quedarán guardados para siempre. No fué tan solo una buena intención después llegó VE para volver a crecer espiritualmente en familia.

A una chica increíble

Verónica Hernández, desde que llegaste a mi vida, me has dado una razón para vivir, y no cambiaría tu sonrisa por nada del mundo, "bendito el día en que e conocí".

ÍNDICE DE CONTENIDO	Página
ÍNDICE DE TABLAS	i
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ii
RESUMEN.....	iii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Invernaderos.....	1
1.1.2. Efecto invernadero	3
1.1.2. Efecto sombrilla	3
1.2. Objetivos	4
1.3. Justificación	5
1.4. Antecedentes	6
1.5. Importancia.....	7
1.5.1. Importancia social y económica en México.....	7
1.5.2. Crecimiento de cultivos protegidos en México	8
1.6. Variables en los cultivos protegidos	9
1.7. Regiones Eólicas (México).....	10
1.8. Precipitación pluvial en México	10
II. PARÁMETROS DE DISEÑO ACEPTABLES PARA INVERNADEROS	11
2.1 Dimensiones.....	11
2.2. Tipos de invernaderos	12
2.2.1. Invernadero plano o tipo parral	13
2.2.2. Invernadero en raspa y amagado.....	14
2.2.3. Invernadero asimétrico o inacral.....	15
2.2.4. Invernadero de Capilla	17
2.2.5. Invernadero Diente de sierra	18
2.2.6. Invernadero túnel o semicilíndrico	19
2.2.7. Invernaderos de cristal o venlo	20
2.3. Orientación	21
2.4. Luminosidad y disposición del conjunto.....	24
2.5. Resistencia	25
2.6. Estanqueidad y ligereza	26

2.7. Métodos de riego más utilizados en invernadero.....	26
2.8. Suelo.....	26
2.9. Disponibilidad de mano de obra.....	27
III. CONSTRUCCIÓN DEL INVERNADERO	27
3.1. Materiales estructurales.....	27
3.2. Materiales de cubierta más utilizados en los invernaderos	29
3.2.1. Vidrio	29
3.2.2. Cubiertas plásticas.....	31
3.3. Trazo de construcción.....	33
3.3.1. Cimentación	33
3.3.2. Cargas consideras para el diseño de la cimentación.....	34
3.3.3. Armado de la estructura.....	35
3.3.4. Colocación de la cubierta.....	36
IV. PARÁMETROS A CONSIDERAR EN EL CONTROL DEL CLIMA EN INVERNADERO	39
4.1. Temperatura.....	39
4.2. Humedad relativa.....	41
4.3. Iluminación.....	42
4.4. CO ₂	43
4.5. Ventilación	43
4.5.1. Ventilación natural.....	43
4.5.2. Ventilación forzada.....	45
4.6. Enfriamiento y humificación	46
4.7. Calefacción	47
4.7.1. Requerimiento de calefacción	48
4.7.2. Calefacción por aire caliente	49
4.7.3. Estufas o calefactores domésticos	49
4.8. Cálculo de climatización	50
4.8.1. Cálculo de Ventilación	50
4.8.2. Cálculo de Humificación.....	51
4.8.3. Cálculo de Calefacción.....	52
V. CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES	53

5.1. Métodos del control.....	55
5.1.1 Aplicación de productos químicos	55
5.1.2. Fumigación.....	55
5.1.3. Control biológico.....	56
5.2. El mantenimiento del invernadero	56
CONCLUSIONES.....	57
BIBLIOGRAFÍA.....	58
ANEXO FOTOS (Invernaderos campus UAAAN).....	62

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.1 Producciones de algunos cultivos al aire libre y en invernadero.	1
Tabla 2.1 Forma y orientación de la techumbre.	24
Tabla 3.1 cuadro comparativo de las características de los materiales de recubrimiento.	30
Tabla 3.1 Relación de Piezas.	38
Tabla 4.1 Exigencias de temperatura para distintas especies	40
Tabla 4.2 Niveles térmicos del aire.	41
Tabla 4.3 Nivel óptimos de CO ₂ , HR, Temperatura del substrato e iluminación.	41
Cuadro 4.4 Factores de aislamiento (FA) para diferentes tipos de cubierta.	48
Cuadro 5.1. Tipos de mallas antiáfidos existentes en el mercado.	53

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Fig. 1.1 Regiones eólicas en México	10
Fig. 1.2 Precipitación pluvial en la República Mexicana	11
Fig. 2.1 Invernadero tipo plano o parral	13
Fig. 2.2 Invernaderos tipo raspa y amagado	14
Fig. 2.3 Invernadero asimétrico o inacral	16
Fig. 2.4 Invernadero Capilla a dos aguas	17
Fig. 2.5 Invernadero tipo diente de sierra	18
Fig. 2.6 Invernadero semicilíndrico o tipo túnel	19
Fig. 2.7 invernadero de cristal o venlo	20
Fig. 2.8 Orientación por luminosidad	22
Fig. 2.9 Orientación en grupo formando uno	22
Fig. 2.10 Orientación por vientos dominantes	23
Fig. 2.11 Orientación para climas calientes	23
Fig. 2.12. Orientación para climas fríos	24
Fig. 3.1 Ensamblés para estructura de madera	28
Fig. 3.2 Ensamblés para estructura tubular	29
Fig. 3.3 Zapatas para cimentación	35
Fig. 3.4 Detalles de construcción para un invernadero tubular	36
Fig. 3.5 Detalles de construcción de un invernadero con estructura de madera	37
Fig. 3.6 Construcción de un invernadero de madera	37
Figura 3.7 Invernadero estructura fierro tipo multicapilla en la UAAAN	38
Fig. 3.8 Construcción de un invernadero de madera	39
Fig. 4.1 Tipo de ventilación cenital	44
Fig. 4.2 Ventilación natural del invernadero	44
Fig. 4.3 Ventilación forzada	45
Fig. 4.4 Cálculo de ventilación	45

“Diseño y construcción de invernaderos para la producción de hortalizas”

Presentado por: Horel Lucio Santizo Velázquez

RESUMEN

Desarrollar cultivos bajo condiciones de invernaderos significa la obtención de cosecha fuera de la época normal de producción.

Los objetivos que se persiguen son: conocer la importancia de los invernaderos para la producción de hortalizas a nivel global y a nivel nacional, Conocer los principales tipos de invernaderos según se atiende a determinadas características de sus elementos constructivos, y recomendar un tipo de invernadero para determinada región de acuerdo a las condiciones climatológicas y cultivo a establecer.

El Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos (IMIQ, 2010) señala que las prácticas agrícolas serían muy exitosas si fuese posible controlar al menos cinco variables: Temperatura, Humedad, Radiación Solar, Nutrientes, Plagas y Enfermedades.

Generalmente los invernaderos son para producir hortalizas, como principal demanda del mercado, tales como: tomate, pimiento, pepino, melón, lechuga, berenjena y chiles.

La forma más común de los invernaderos son rectangulares, con ancho de 10-12 metros, la altura a canaleta no debe ser inferior a 2.5 metros, con 3.5 metros de altura a cumbrera. El largo puede variar pero se recomienda de 30 a 50 m. y la inclinación de los planos de la techumbre no debe ser menor a 25° para evitar estancamiento del agua de lluvia. La forma más simple es del tipo capilla por su fácil instalación, su adaptabilidad a diferentes condiciones climatológicas y por su bajo coste. Los materiales de construcción más usados son la madera, aluminio y fierro galvanizado.

Palabras clave: Invernaderos, variables, tipos de invernaderos, normas, dimensiones, diseño, control, clima, manejo, nutrientes, plagas, enfermedades.

I. INTRODUCCIÓN

Desarrollar cultivos bajo condiciones de invernaderos significa la obtención de cosecha fuera de la época normal de producción, con muy altos rendimientos (hasta un 300% más que en cultivos desarrollados a la intemperie) y excelente calidad, como resultado de la protección que se ejerce contra ciertos agentes climáticos (sequía, heladas, viento, granizo, lluvia, radiación excesiva, entre otros) que afectan los rendimientos y la calidad de los productos.

Tabla 1.1 Producciones de algunos cultivos al aire libre y en invernadero (Serrano, 1979).

Cultivo	Producción en kilos/ha	
	Aire libre en cultivo intensivo	Invernadero
Tomate	40.0 a 60.0	80.0 a 150.0
Pimiento	30.0 a 50.0	100.0 a 150.0
Berenjena	40.0 a 60.0	100.0 a 150.0
Pepino	30.0 a 50.0	150.0 a 250.0
Calabacín	50.0 a 75.0	150.0 a 200.0
Judía enana	8.0 a 12.0	15.0 a 20.0
Judía enrame	12.0 a 15.0	20.0 a 30.0
Acelgas	40.0 a 60.0	100.0 a 200.0

La producción en invernaderos ofrece un gran atractivo, sobre todo en aquellos cultivos destinados preferentemente a los mercados internacionales que exigen calidad y pagan precios más elevados.

1.1. Invernaderos

La AMCI (2010), define a los invernaderos como “una construcción agrícola de estructura metálica, usada para el cultivo y/o protección de plantas, con cubierta

de película plástica traslúcida que no permite el paso de la lluvia al interior y que tiene por objetivo reproducir o simular las condiciones climáticas más adecuadas para el crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas establecidas en su interior, con cierta independencia del medio exterior y cuyas dimensiones posibilitan el trabajo de personas en el interior. Los invernaderos pueden contar con un cerramiento total de plástico en la parte superior y malla en los laterales.”

Un invernadero es una instalación cubierta y abrigada artificialmente con materiales transparentes para defender las plantas de la acción de los meteoros exteriores (Serrano *et al.*, 1999).

Los invernaderos tienen la función de controlar el clima, deben obtenerse en él, la temperatura, humedad relativa y ventilación apropiadas que permitan alcanzar alta productividad, a bajo costo, en menos tiempo, sin daño ambiental, protegiéndose de las lluvias, el granizo, las heladas, los insectos o los excesos de viento que pudieran perjudicar un cultivo (Henao, 2001)

El cultivar en invernadero representa las siguientes ventajas.

- Precocidad en los frutos.
- Aumento de la calidad y del rendimiento.
- Producción fuera de época.
- Ahorro de agua y fertilizantes.
- Mejora del control de insectos y enfermedades.
- Posibilidad de obtener más de un ciclo de cultivo al año.
- Programación de cosechas de acuerdo a la demanda y precio del producto.

Ahorro de agua (se puede llegar a recuperar de 60 a 80 del agua aplicada que se evapotranspira).

Más sin embargo el obtener grandes beneficios a mediano y largo plazo requiere de cierta inversión inicial o de que el productor cuente con capital ya sea propio o a través del apoyo del gobierno. Por lo tanto al invertir en la construcción de un invernadero tiene los siguientes inconvenientes:

- Alta inversión inicial.
- Alto costo de operación.
- Requiere personal especializado, de experiencia práctica y conocimientos teóricos.

1.1.2. Efecto invernadero

El efecto invernadero es el calentamiento espontáneo de la atmósfera confinada en el invernadero, en relación con el exterior (Matallana y Montero, 2001).

Este efecto de variación de la temperatura tiene dos causas principales; una reducción del intercambio de aire con la atmósfera exterior y un balance positivo de la radiación. Este efecto es consecuencia del material de cobertura y cerramiento (plástico en el techo y malla anti insectos en los laterales), que provoca una reducción en el movimiento de la corriente de aire, por consiguiente una disminución en el transporte conectivo de calor (Palacios y Espino, 2004).

1.1.2. Efecto sombrilla

Es el efecto buscado en la producción protegida de cultivos en regiones tropicales. Consiste en lograr una disminución de la radiación y permitir al mismo tiempo la aireación de las plantas; efecto logrado al cubrir las instalaciones con una lámina de polietileno (PE) en el techo, ventanas cenitales, malla sombreadora de 35 % y levantando o bajando a conveniencia la malla anti-insectos.

1.2. Objetivos

- Conocer la importancia de los invernaderos para la producción de hortalizas a nivel global y a nivel nacional.
- Conocer los principales tipos de invernaderos según se atiende a determinadas características de sus elementos constructivos.
- Recomendar un tipo de invernadero para determinada región de acuerdo a las condiciones climatológicas y cultivo a establecer.

1.3. Justificación

Ante la creciente demanda de alimentos de mayor calidad, esto es en cuanto a sabor, color, contenido de nutrientes, surge la necesidad de realizar estudios del cómo obtenerlos. Pero también tomando en cuenta la rentabilidad de la misma, relaciones beneficio-costos, o recuperación de la inversión a corto, mediano y largo plazo.

Para esto los invernaderos vienen a ser una herramienta importante no solo para ser estudiado, si no para que el ser humano los pueda aplicar a un campo mexicano que requiere de nuevas tecnologías, porque los mismos suelos no pueden dar abasto a la tan demanda de cantidad y calidad de alimentos y en el corto plazo.

En México los invernaderos están creciendo a una velocidad de 1000 hectáreas por año, en 2011 se cuenta tan solo con 11000 has bajo este tipo de tecnología. Siendo las hortalizas el que más se cultiva bajo este sistema.

De allí que surge la necesidad de más y mejores estudios sobre los mismos, y de cómo acoplarlos a un país como los es México si de lo que más carece es de tecnología, conocimiento y por ende de técnicos en el tema.

1.4. Antecedentes

La idea de cultivar plantas en un entorno con clima controlado se remonta a tiempos de los romanos. Parece ser que los médicos del emperador Tiberio le aconsejaron comer un pepino al día y sus jardineros desarrollaron un método de cultivo para hacerlo llegar a su mesa cada día del año.

Los primeros invernaderos modernos, cubiertos con vidrio, se construyeron en Italia en el siglo XIII para albergar las plantas exóticas que los exploradores traían de los trópicos. El experimento se extendió rápidamente a Holanda e Inglaterra, junto con las plantas.

La experimentación con el diseño de los invernaderos continuó durante el siglo XVII, mientras se producían cada vez mejores calidades de vidrio y avanzaban las técnicas constructivas.

En el siglo XIX se construyeron los mayores invernaderos de vidrio. El invernadero de los Kew Gardens en Inglaterra es un ejemplo de invernadero victoriano, que incluiría también el Crystal Palace de Londres, el Crystal Palace de Nueva York y el Glasspalast de Munich.

Ya en el siglo XX el desarrollo económico impulsó, especialmente tras la segunda guerra mundial, la construcción de invernaderos de cristal. Holanda superó las cinco mil hectáreas a mediados del siglo XX especialmente dedicadas al cultivo del tomate.

La utilización de los materiales plásticos como cubiertas de invernadero es relativamente reciente. Se inició en el año 1948 en Estados Unidos con el profesor E. M. Emmert de la Universidad de Kentucky, quien tuvo la idea de sustituir el vidrio por celulosa regenerada (papel celofán) para cubrir una estructura de madera.

1.5. Importancia

La relevancia económica de los invernaderos es su producción todo el año y la oferta permanente, productos de mayor calidad y acceso a mejores mercados, que permiten generar polos de desarrollo.

1.5.1. Importancia social y económica en México

Bajo este sistema de producción se cultiva pimiento, tomate, chile habanero, hierbas aromáticas, fresas, papaya, plantas de ornato, flores, así como de berry, zarzamora y cebollín, entre otros.

Francisco López Tostado (consulta electrónica), subsecretario de Agricultura, en entrevista dijo que el cambio climático ha propiciado que se encuentren nuevas formas de producción en el campo, y que las solicitudes recibidas son de 734 proyectos con 2 mil 896 hectáreas para 6 mil 275 beneficiarios, que requieren casi de 2 mil 440 millones de pesos.

La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA), se encarga de impulsar la organización de productores para que puedan realizar proyectos viables a fin de que cuenten con un crédito de 35 por ciento del valor del mismo, que es a riesgo compartido para que en determinado plazo regrese esos recursos al Fideicomiso de Riesgo Compartido Agencia Promotora de Agronegocios (FIRCO).

El 65 por ciento restante lo aporta el productor con recursos propios o que obtienen a través de los Fideicomisos Instituidos en Relación a la Agricultura (FIRA) y Financiera Rural (FINRURAL).

El funcionario expuso que en la agricultura controlada, con malla sombra se producen 160 toneladas de tomate por hectárea; en un invernadero con tecnología media y mejor sustrato, se logran 350 toneladas por ha; y en invernadero de alta tecnología 500 toneladas por ha.

La agricultura protegida tiene importancia ambiental eficiencia en el uso y manejo de recursos naturales (agua) y de insumos (agroquímicos), así como uso de sistemas de energía renovables (Arzate, 2009).

1.5.2. Crecimiento de cultivos protegidos en México

México creció en 10,000 hectáreas el uso de invernaderos en 10 años. El 60 % de la producción en invernaderos es destinada a exportaciones; el 70 % corresponde a tomates. Los estados que concentran la mayor extensión de este tipo de cultivos son: Baja California, Baja California Sur, Jalisco y Sinaloa.

En la última década se ha incrementado en más de diez mil hectáreas las tierras utilizadas para la agricultura protegida en México y se alcanzó un volumen de producción anual de casi tres millones y medio de toneladas, aseguró el Subsecretario de Agricultura de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación de México, (Mariano Ruiz Funes, 2010, comunicación electrónica).

De acuerdo con Ruiz Funes, en el presente año se encuentran bajo el esquema de agricultura protegida 11 mil 759 hectáreas de cultivo, mientras que en el año 2001 la cifra era de mil 299 hectáreas. Es decir, esta actividad tuvo un crecimiento anual superior a las mil hectáreas.

Indicó que en la presente administración, el Gobierno Federal ha invertido tres mil 800 millones de pesos, a través los programas de la SAGARPA para equipar dos

mil 676 hectáreas protegidas. Además, comentó que para este año la Secretaría destinó mil millones de pesos para financiar proyectos, mediante el Programa de Apoyo a la Agricultura Protegida (PROAP), con el fin de dotar de infraestructura para más de mil hectáreas.

A nivel nacional, los estados que concentran la mayor cantidad de hectáreas de cultivo en invernadero son: Baja California (14 %), Baja California Sur (12 %), Jalisco (10 %) y Sinaloa (22 %). Estas cuatro entidades aportan más del 50 por ciento de la producción total de cultivos protegidos

Por su parte, el presidente de la Asociación Mexicana de Constructores de Invernaderos (AMCI, 2010, comunicación electrónica), Ramiro Cárdenas Ornelas, afirmó que esta industria genera alrededor de 147 mil empleos directos e indirectos en todo el país.

1.6. Variables en los cultivos protegidos

Según la IMIQ (2010) señala que las prácticas agrícolas serían muy exitosas si fuese posible controlar al menos cinco variables:

•Temperatura •Humedad •Radiación Solar •Nutrientes •Plagas y Enfermedades.

Sin embargo Alpi y Tognoni (1999) señalan que los parámetros determinantes a considerar en el control del clima son: temperatura, luz, humedad relativa y concentración atmosférica en anhídrido carbónico.

El control de estas variables es imposible en cultivos de campo abierto, la naturaleza lo hace a su forma y no podemos controlarla, a lo más, es acomodarnos a los ciclos climáticos que más o menos hemos identificados en nuestras regiones y cultivar bajo esas condiciones.

1.7. Regiones Eólicas (México)

Una variable crítica a considerar en el diseño de los Invernaderos es la velocidad de los vientos, por lo tanto, la Norma Mexicana NMX-E-255-CNCP-2 00 8 “Diseño y Construcción de Invernaderos”, hace referencia a la siguiente tabla de la Comisión Federal de Electricidad (CFE, 2010):

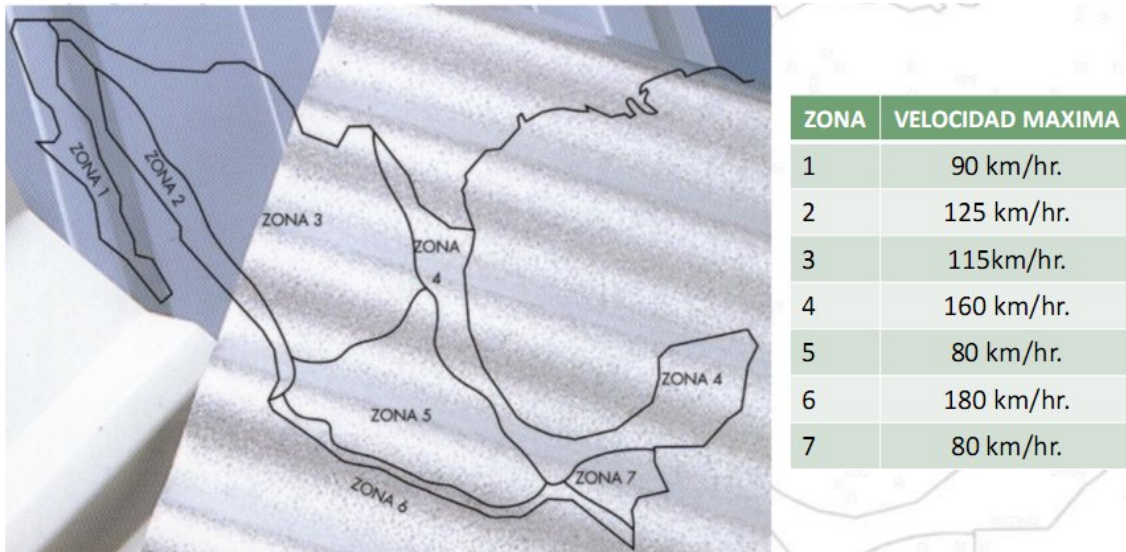


Fig. 1.1 Regiones eólicas en México (Fuente AMCI, 2010).

1.8. Precipitación pluvial en México

La precipitación media anual en México es de 772 mm (serie 1941-1998), que suponen un volumen de agua en todo el territorio de 1 512 km³. De este volumen total, cerca del 73 por ciento se pierde en evapotranspiración y evaporación directa de las masas de agua, por lo que los recursos hídricos internos renovables anuales (RHIR) son de 409 km³

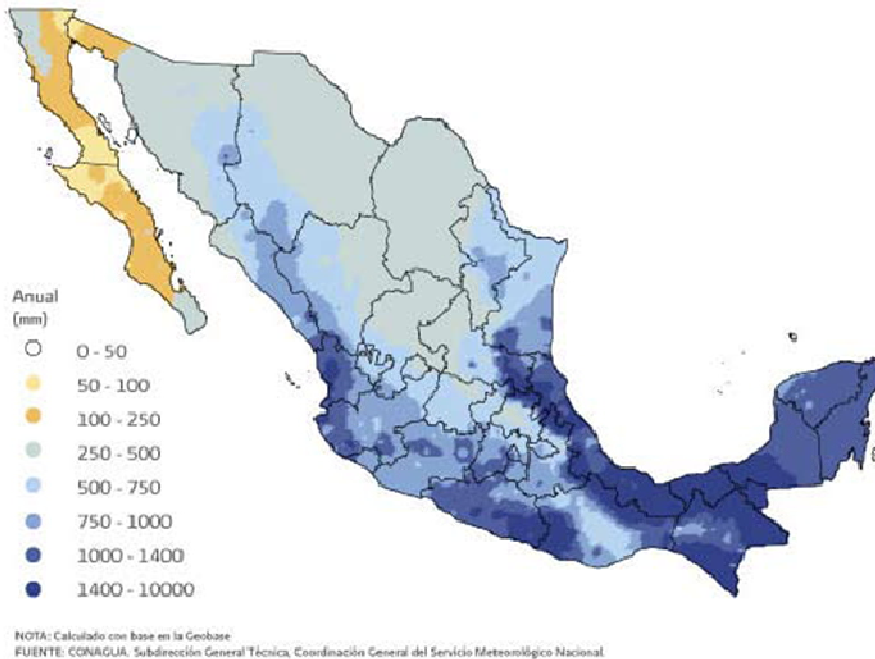


Fig. 1.2 Precipitación pluvial en la República Mexicana (Fuente CONAGUA y SEMARNAT, 2008).

Para toda explotación en invernadero, es muy importante tener en cuenta la localización del terreno donde se construirá, para lo cual se requiere analizar los datos de la climatología (temperatura máxima y mínima, humedad relativa, horas luz, velocidad y dirección del viento, nieve o granizo, entre otros,), topografía del terreno y servicios con los que cuenta el sitio, debiéndose considerar los siguientes puntos.

II. PARÁMETROS DE DISEÑO ACEPTABLES PARA INVERNADEROS

2.1 Dimensiones

Las dimensiones y formas de los invernaderos están condicionadas fundamentalmente por la climatología de la zona y el cultivo establecer. No existe una medida ideal que deba respetarse al construir los mismos; sin embargo,

tomando como base las características de los materiales empleados (tubería, madera y polietileno), en general se considera como anchura ideal, la de múltiplos de tres metros. En cuanto a la longitud, se pueden construir hasta de 60 metros; cabe mencionar que en cuanto más largos y anchos son los invernaderos, más se complica el control de los factores climáticos como son: temperatura y humedad relativa.

La altura del invernadero deberá ser aquella que permita aprovechar al máximo el desarrollo de las plantas. Por ello es conveniente una altura mínima en los laterales de 2.5 metros y de tres a cuatro metros en la parte central (cubierta) (Romero, 1988).

Cuanto más alto es el invernadero, mayor resistencia ofrece a la fuerza del viento, por esta razón en las regiones donde es muy fuerte se deben construir invernaderos con techumbre de poca pendiente (5 %) y menor altura (3 m). sin embargo, en las regiones lluviosas y de nieve, las techumbres deberán ser más altas para desalojar convenientemente el agua, la nieve o el granizo.

Con base en lo anterior es recomendable construir varios invernaderos de pequeñas y medianas dimensiones, en lugar de uno solo que cubra una gran superficie.

2.2. Tipos de invernaderos

Los invernaderos se pueden clasificar de distintas formas, según se atiende a determinadas características de sus elementos constructivos (por su perfil externo, según su fijación o movilidad, por el material de cubierta, según el material de la estructura, etc.) (InfoAgro, 2001)

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

2.2.1. Invernadero plano o tipo parral

Son invernaderos originados en la provincia de Almería (España), de palos y alambres, denominados parral por ser una versión modificada de las estructuras o tendidos de alambre empleados en los parrales para uva de mesa.

La pendiente es casi inexistente, o bien (en zonas con pluviometría de riesgo) suele darse 10° - 15° , lo que representa altura de los laterales del orden de 2.0-2.3 m. Se ventila solamente a través de las aberturas laterales. En la techumbre solo se utiliza un doble entramado de alambre, por entre el cual se coloca la lámina de polietileno, sino otra sujeción (InfoAgro, 2001).

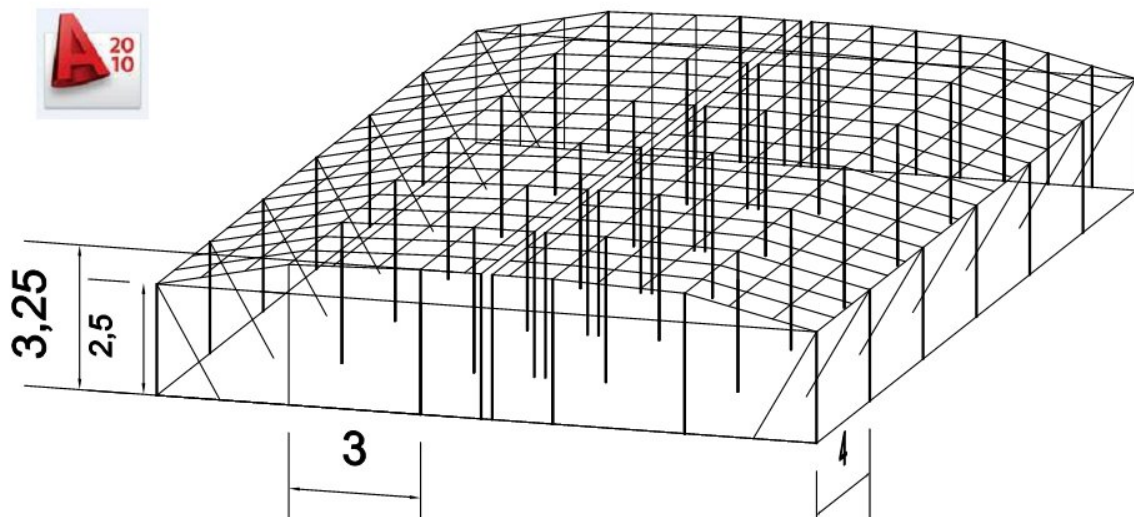


Figura 2.1 Invernadero tipo plano o parral.

Ventajas

- Gran volumen de aire encerrado (buen comportamiento según la inercia térmica).
- Despreciable incidencia de los elementos de techumbre en la intercepción de la luz.
- Aún tratándose de una estructura que ofrece alta resistencia a los vientos, es poco vulnerable por el eficiente sistema de anclaje.

Desventajas

- Deficiente ventilación.
- Alto riesgo de rotura por precipitaciones intensas (escasa capacidad de drenaje).
- Construcción de alta complejidad (requiere personal especializado).
- En zonas de baja radiación, la escasa pendiente del techo representa una baja captación de la luz solar.

2.2.2. Invernadero en raspa y amagado

Su estructura es muy similar al tipo parral pero varía la forma de la cubierta. Se aumenta la altura máxima del invernadero en la cumbre, que oscila entre 3 y 4.2 m, formando lo que se conoce como raspa. En la parte más baja, conocida como amagado, se unen las mallas de la cubierta al suelo mediante vientos y horquillas de hierro que permite colocar los canalones para el desagüe de las aguas pluviales. La altura del amagado oscila de 2 a 2.8 m, la de las bandas entre 2 y 2.5 m.

La separación entre apoyos y los vientos del amagado es de 2 x 4 y el ángulo de la cubierta oscila entre 6 y 20°, siendo este último el valor óptimo. La orientación recomendada es en dirección Norte-Sur (InfoAgro, 2001).

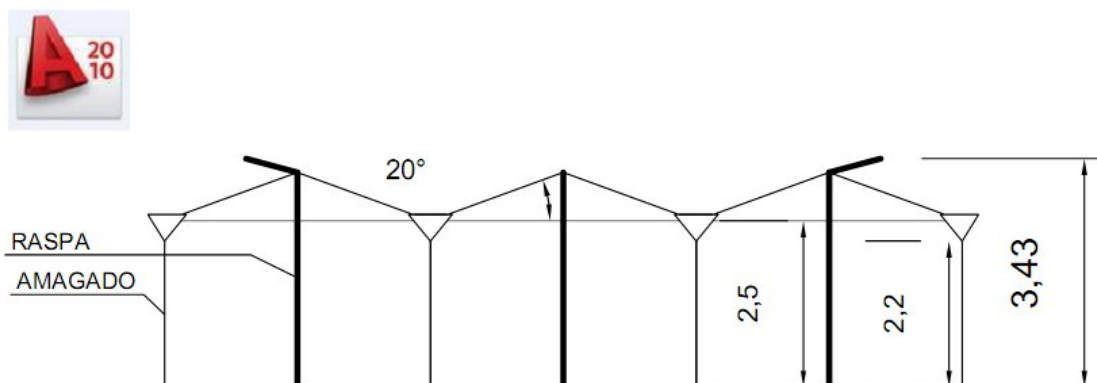


Figura 2.2 Invernaderos tipo raspa y amagado.

Ventajas:

- ✓ Su economía.
- ✓ Tiene mayor volumen unitario y por tanto una mayor inercia térmica que aumenta la temperatura nocturna con respecto a los invernaderos planos.
- ✓ Presenta buena estanqueidad a la lluvia y al aire, lo que disminuye la humedad interior en periodos de lluvia.
- ✓ Presenta una mayor superficie libre de obstáculos.
- ✓ Permite la instalación de ventilación cenital situada a sotavento, junto a la arista de la cumbrera.

Inconvenientes:

- Diferencias de luminosidad entre la vertiente sur y la norte del invernadero.
- No aprovecha las aguas pluviales.
- Se dificulta el cambio del plástico de la cubierta.
- Al tener mayor superficie desarrollada se aumentan las pérdidas de calor a través de la cubierta.

2.2.3. Invernadero asimétrico o inacral

Difiere de los tipo raspa y amagado en el aumento de la superficie en la cara expuesta al sur, con objeto de aumentar su capacidad de captación de la radiación solar. Para ello el invernadero se orienta en sentido este-oeste, paralelo al recorrido aparente del sol.

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

La altura máxima de la cumbrera varía entre 3 y 5 m, y su altura mínima de 2.3 a 3 m. La altura de las bandas oscila entre 2.15 y 3 m. La separación de los apoyos interiores suele ser de 2 x 4 m (InfoAgro, 2001).

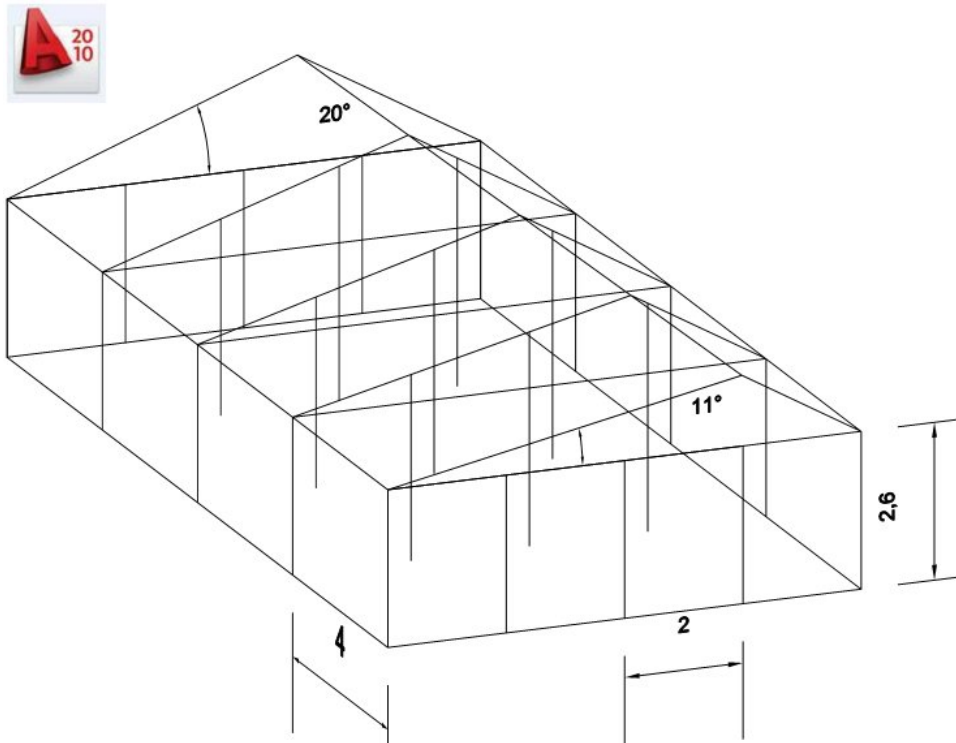


Figura 2.3 Invernadero asimétrico o inacrál.

Ventajas:

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

Inconvenientes:

- No aprovecha el agua de lluvia.
- Se dificulta el cambio del plástico de la cubierta.
- Tiene más pérdidas de calor a través de la cubierta debido a su mayor superficie desarrollada en comparación con el tipo plano.

2.2.4. Invernadero de Capilla

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

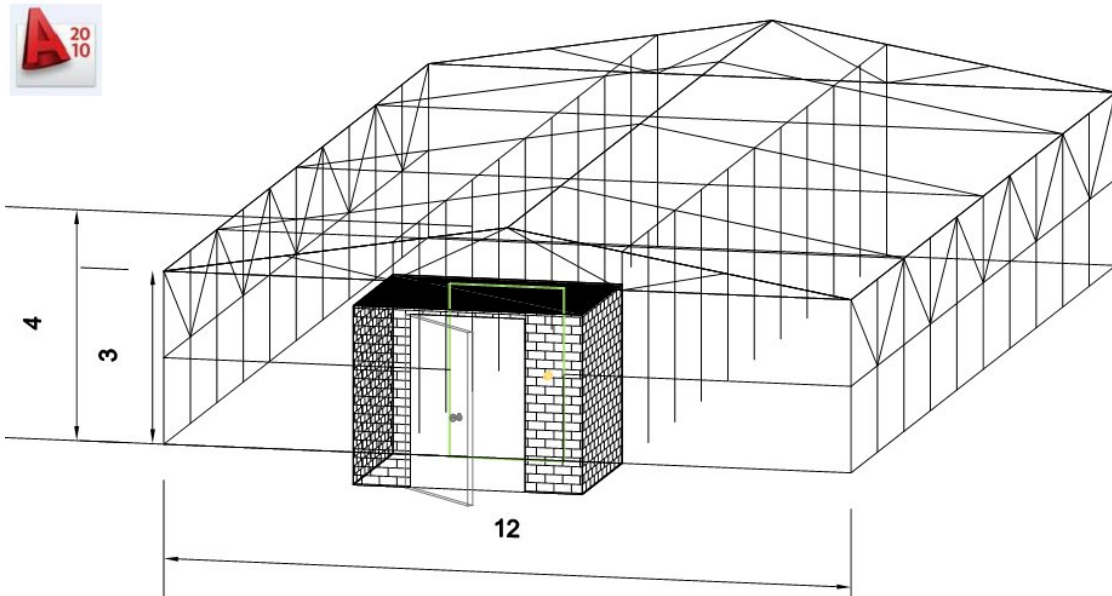


Fig. 2.4 Invernadero Capilla a dos aguas.

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

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

La anchura que suele darse a estos invernaderos es de 12 a 16 metros. La altura en cumbre está comprendida entre 3.25 y 4 metros.

Si la inclinación de los planos de la techumbre es mayor a 25° no ofrecen inconvenientes en la evacuación del agua de lluvia (InfoAgro 2001).

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

2.2.5. Invernadero Diente de sierra

Está formado por la unión de varias naves a “un agua “. La ventilación de estos invernaderos es excelente, ya que a la ventilación normal se una la cenital que tiene por los lados de los dientes de sierra. En este invernadero hay que tener previsto la evacuación de las aguas de lluvia, para evitar que entre todo el agua en el interior del invernadero (InfoAgro y Q.G.S.R, 2001 y 2010).

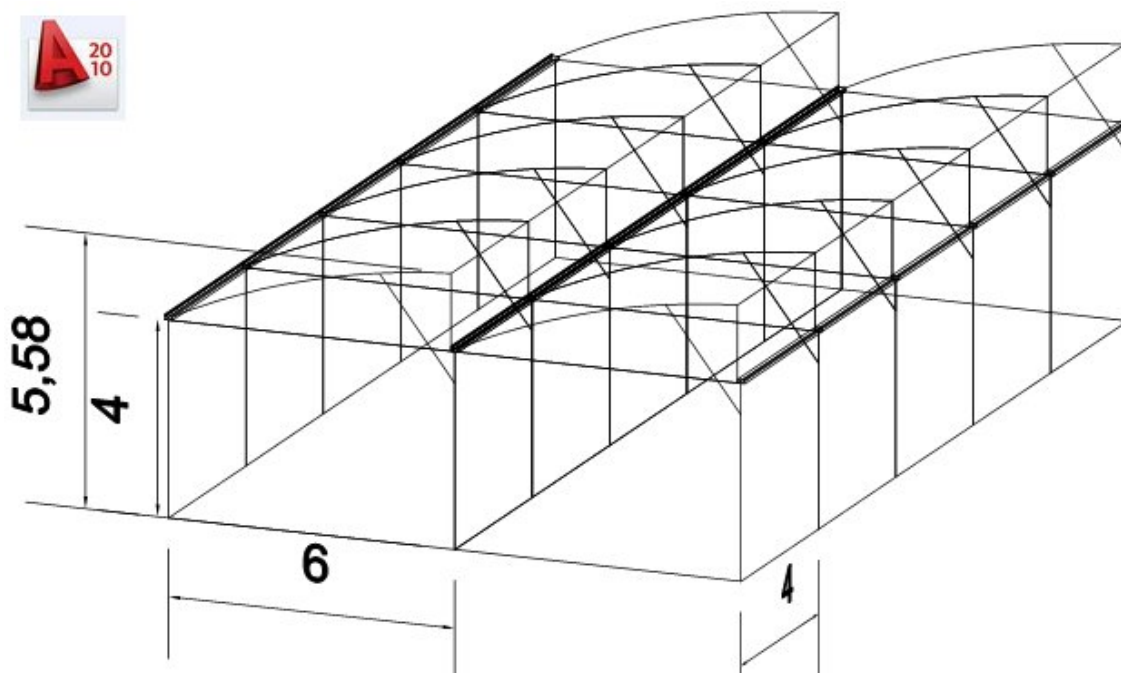


Fig. 2.5 Invernadero tipo diente de sierra.

2.2.6. Invernadero túnel o semicilíndrico

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

Los soportes son de tubos de hierro galvanizado y tienen una separación interior de 5 x 8 o 3 x 5 m. La altura máxima de este tipo de invernaderos oscila entre 3.5 y 5 m. En las bandas laterales se adoptan alturas de 2.5 a 4 m.

El ancho de estas naves está comprendido entre 6 y 9 m y permiten el adosamiento de varias naves en batería. La ventilación es mediante ventanas cenitales que se abren hacia el exterior del invernadero (InfoAgro, 2001).

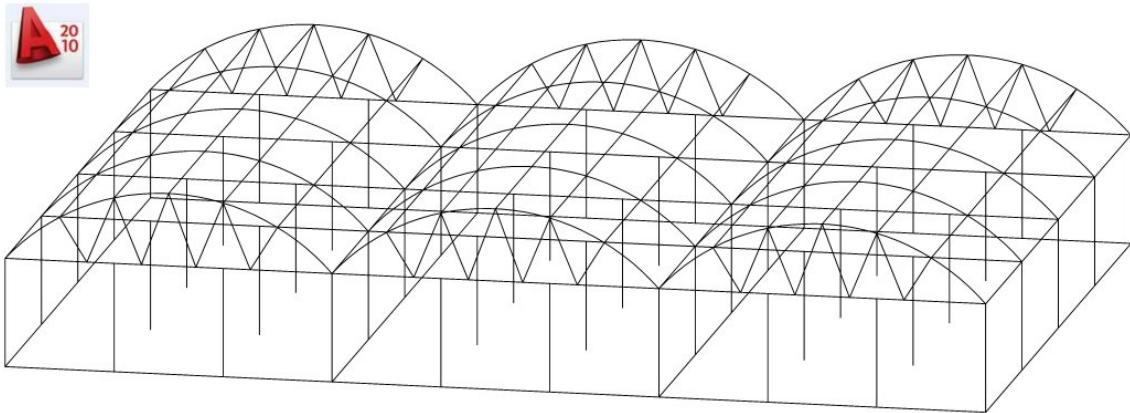


Fig. 2.6 Invernadero semicilíndrico o tipo túnel.

Ventajas:

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

- ✓ Fácil instalación.

Inconvenientes:

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

2.2.7. Invernaderos de cristal o venlo

Este tipo de invernadero, también llamado Venlo, es de estructura metálica prefabricada con cubierta de vidrio y se emplean generalmente en el Norte de Europa.

El techo de este invernadero industrial está formado por paneles de vidrio que descansan sobre los canales de recogida de pluviales y sobre un conjunto de barras transversales. La anchura de cada módulo es de 3.2 m. Desde los canales hasta la cumbrera hay un solo panel de vidrio de una longitud de 1.65 m y anchura que varía desde 0.75 m hasta 1.6 m (InfoAgro, 2001). La separación entre columnas en la dirección paralela a las canales es de 3 m. En sentido transversal están separadas 3.2 m si hay una línea de columnas debajo de cada canal, o 6.4 m si se construye algún tipo de viga en celosía (InfoAgro 2010).

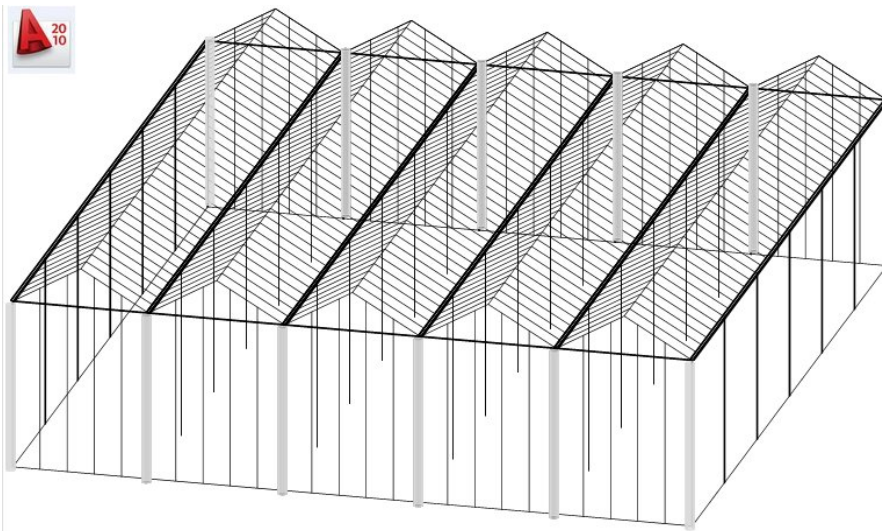


Fig. 2.7 invernadero de cristal o venlo.

Ventajas:

- ✓ Buena estanqueidad lo que facilita una mejor climatización de los invernaderos.

Inconvenientes:

- La abundancia de elementos estructurales implica una menor transmisión de luz.
- Su elevado coste.
- Naves muy pequeñas debido a la complejidad de su estructura.

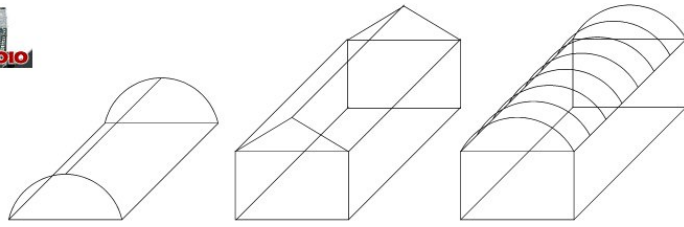
2.3. Orientación

Para aprovechar al máximo la energía y luz solar, la orientación será definida por la latitud en que se localice; de esta forma se tiene que para invernaderos sencillos y aislados que se sitúen arriba de los 40° de latitud norte (L.N.) se sugiere la orientación de NORTE a SUR (Romero, 1988).

Cuando se pretende instalar grupos de invernaderos constituyendo un solo módulo en cualquier latitud, la orientación NORTE-SUR es la indicada.

Cuando los vientos dominantes llegan a ser muy fuertes o huracanados y pueden afectar las instalaciones, la orientación de invernadero nunca deberá ser en dirección perpendicular a los vientos, es decir, que la instalación frene el viento lo menos posible. Esto se consigue al situar al frente o formando esquina a la dirección de los vientos.

En lo referente a la orientación de las siembras o plantaciones en el interior del invernadero, deberá hacerse de tal manera que unas plantas no den sombra a las otras.



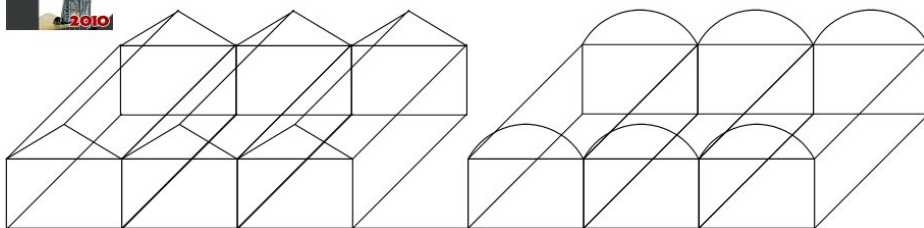
LAT. NORTE
> 40°



LAT. NORTE
< 40°



Fig. 2.8 Orientación por luminosidad.



CUALQUIER
LATITUD

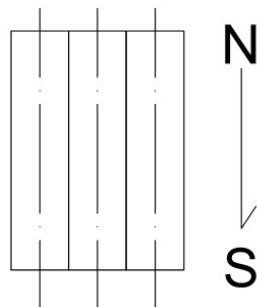
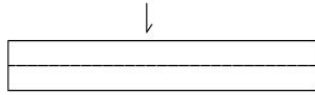


Fig. 2.9 Orientación en grupo formando uno.

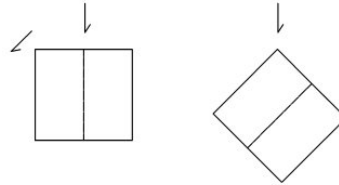


Dirección de vientos



Forma incorrecta

Dirección de vientos



Forma correcta

Fig. 2.10 Orientación por vientos dominantes.

Según De La Peña (2009), la orientación de los invernaderos depende en gran manera del clima siendo la orientación Este a Oeste para climas calientes y de Norte a Sur para climas fríos.

- ✓ **El invernadero tiene una orientación de Este a Oeste**, ya que gracias a esta orientación, el invernadero acumula una menor dosis de calor.

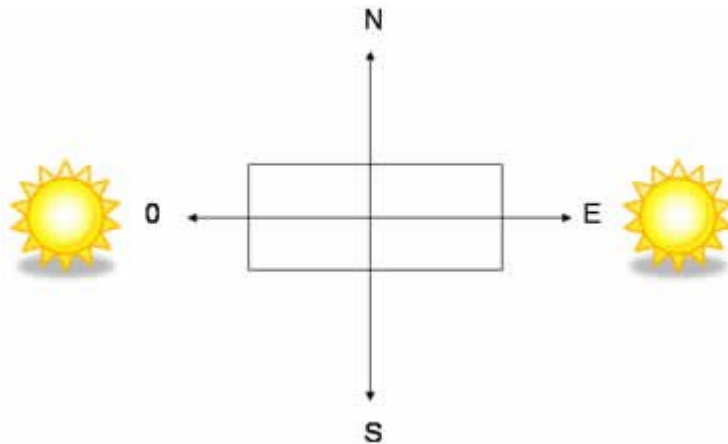


Figura 2.11 Orientación para climas calientes.

- ✓ **El invernadero tiene una orientación de Norte a sur**, ya que gracias a esta orientación, el invernadero puede acumular una mayor cantidad de calor.

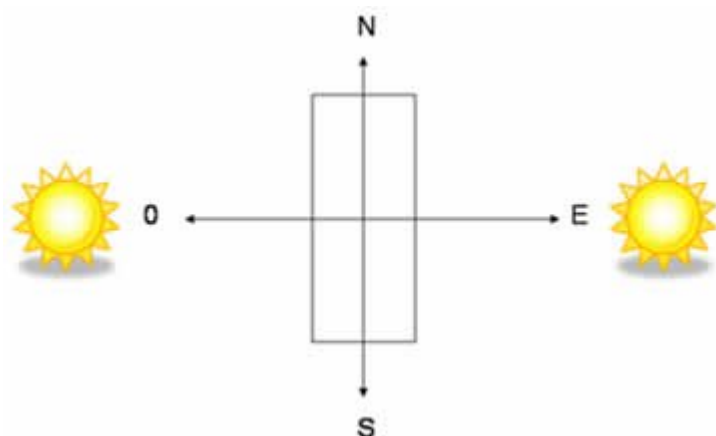


Figura 2.12. Orientación para climas fríos.

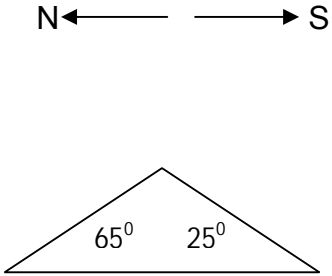
2.4. Luminosidad y disposición del conjunto

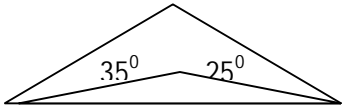

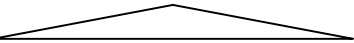
La luminosidad interior que puede tener un invernadero depende de la orientación del mismo y del tipo de techumbre.

Generalmente los invernaderos con techados desiguales registran durante los meses de invierno una iluminación interior superior a los construidos con techos iguales o simétricos.

Los invernaderos con techos curvos (circulares y elípticos, entre otros) logran una mayor iluminación y radiación, además de desalojar muy bien el agua de lluvia y ofrecer poca resistencia al viento.

Tabla 2.1 Forma y orientación de la techumbre (Fuente Romero, 1988).

	VENTAJAS	INCONVENIENTES
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Buena iluminación interior. ✓ Fácil escurrentía de la lluvia y nieve 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Adquiere demasiada altura. ○ Elevado costo.

	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ofrece gran resistencia al viento. 	
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Poca acción del viento. ✓ Fácil escurrentía del agua 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Menor iluminación interior. ○ Evacúa con dificultad la nieve cuando el ángulo de inclinación es menor de 25°.
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Intensa iluminación interior. ✓ Poca acción del viento ✓ Fácil escurrentía del agua. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Empleo de estructuras prefabricadas.
 <p style="text-align: center;">PLANA</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mucha luz directa. ✓ Muy poca acción del viento. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ La lluvia y la nieve arruinan las instalaciones

2.5. Resistencia

La resistencia del invernadero es uno de los factores más importantes a considerar, es necesario buscar un equilibrio entre la resistencia del invernadero y su costo de construcción. Una manera de obtener mayor resistencia en la instalación es seleccionando adecuadamente el emplazamiento de ésta sobre el terreno, orientándola bien respecto a los vientos dominantes o protegiéndola de ellos con barreras rompe-vientos (Romero, 1988).

El invernadero deberá ser hermético al agua de lluvia y resistente al peso de la nieve y a la acción destructora del granizo.

2.6. Estanqueidad y ligereza

La estanqueidad (cierre hermético) y la ligereza son dos condiciones importantes que debe reunir todo invernadero. Cuanto mayor sea la estanqueidad, menores serán las pérdidas de calor y más protegidos estarán las plantas de las bajas temperaturas. En relación a la ligereza, se ha observado que las estructuras pesadas proyectan sombras sobre el cultivo, lo que retrasa su fructificación y precocidad, mermando los beneficios. En cambio, al utilizar armazones ligeros se cuida la luminosidad de las plantas a la para que se abaratan los costos.

2.7. Métodos de riego más utilizados en invernadero

Los métodos de riego más utilizados (además del tradicional por superficie), son el riego por goteo, micro aspersion y sub-irrigación. Bajo este sistema de producción, la aplicación de los riegos es más frecuente que es cultivos a la intemperie, sin embargo, se utilizan volúmenes de agua más reducidos por existir menor evaporación (Romero, 1988).

Considerando lo anterior, es necesario situar lo más cerca del invernadero la fuente de abastecimiento de agua y cuidar que su capacidad sea suficiente para cubrir las necesidades del cultivo.

2.8. Suelo

Es conveniente que el terreno que se seleccione para construir el invernadero esté perfectamente nivelado para lograr un riego adecuado y temperatura uniforme del suelo (Romero, 1988).

Instalar un invernadero en un suelo inadecuado, “es como poner oro en una bolsa rota”, ya que uno de los factores más importantes a considerar en el proceso

productivo es el suelo. Conviene que la tierra sea fértil, de preferencia con textura ligera, libre de piedras, malas hierbas, plagas y enfermedades.

En caso de que el suelo no sea el adecuado, conviene excavar y reponer con material de buena calidad procedente de otro lugar. Cuando es de mala calidad, tengo drenaje deficiente y/o manto freático elevado; al realizar la excavación para reponer el suelo, se recomienda impermeabilizar o recubrir con plástico la excavación, con la finalidad de evitar las aportaciones de sales y humedad excesiva por manto freático elevado, y a la vez con un buen sistema de drenaje.

2.9. Disponibilidad de mano de obra

Los cultivos bajo invernaderos requieren de 6 a 8 empleados permanentes por hectárea. Las labores a realizar en un invernadero requieren persona capacitadas en el tema, con habilidad que sean observadoras.

El cultivo en invernadero es intensivo, requiere decisiones meditadas, no admite prisas ni trabajos atropellados; necesita múltiples cuidados y buena observación en el desarrollo del cultivo.

III. CONSTRUCCIÓN DEL INVERNADERO

3.1. Materiales estructurales

La función de la estructura es soportar las cargas y esfuerzos provocados por los materiales de cubierta, aparatos o mecanismos de climatización o de riego, el viento, la nieve y el granizo.

Además deber soportar en muchos casos el peso de las plantas y frutos (14-16 kg/m²) cuando se realiza el entutorado de plantas para lograr un aprovechamiento máximo de la superficie y del cultivo (Romero, 1988).

Los materiales comúnmente utilizados en México son la madera y el fierro. Para el primer caso, se eligen maderas resinosas y se les da un tratamiento de protección a base de impregnación con kerosen, diesel, creosota o pentaclorofenol en la parte que habrá de enterrarse, y en las que van al aire libre pueden protegerse con pinturas plásticas para exteriores con resultados satisfactorios.

El fierro es el material más empleado en la construcción de estructuras para invernaderos, por la diversidad de elementos y secciones que se localizan en el mercado, tales como: tubería negra o galvanizada, monten y PTR, entre otros, además son de sección esbelta y alta resistencia.

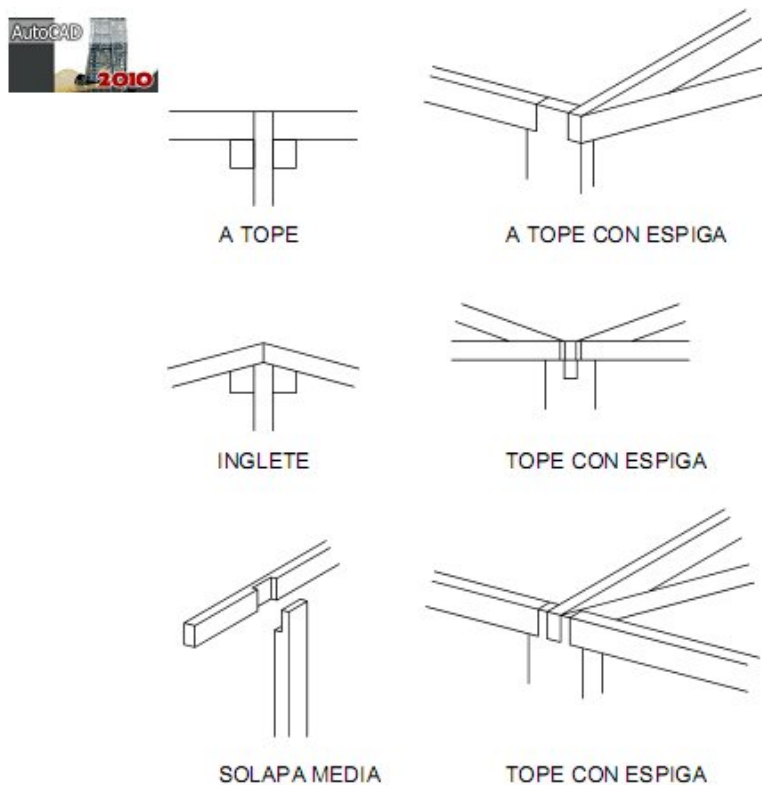


Fig. 3.1 Ensamblés para estructura de madera.

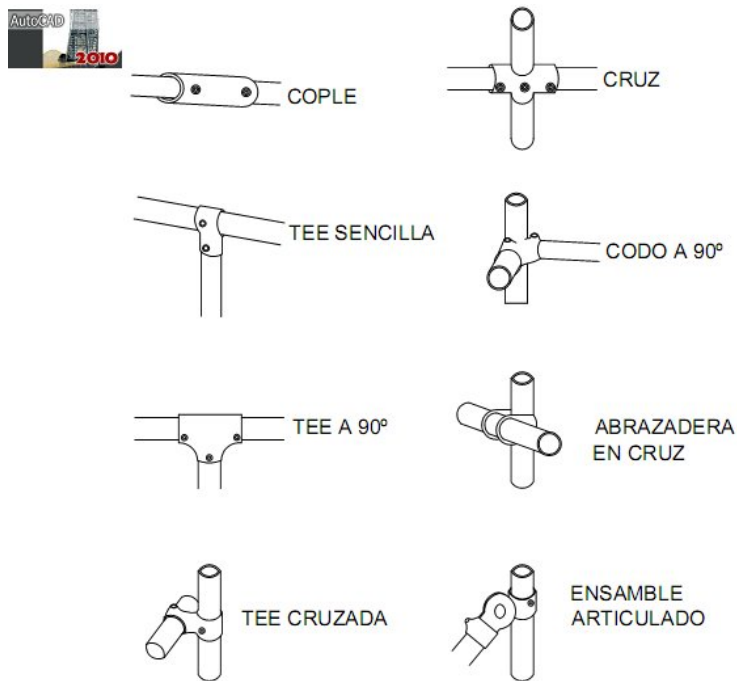


Fig. 3.2 Ensamblajes para estructura tubular.

3.2. Materiales de cubierta más utilizados en los invernaderos

3.2.1. Vidrio

Podemos encontrar dos tipos de vidrio:

- Vidrio transparente, como el de las ventanas.
- Vidrio traslúcido

El primero deja pasar algo más de la luz que el segundo, aunque éste la difumina y consigue una distribución muy uniforme dentro del invernadero. Puede considerarse más interesante el cristal traslúcido en aquellos casos de regiones con gran luminosidad u en los que no esté previsto ningún tipo de sistema de sombreo (Bernat *et al.*, 1990).

Tabla 3.1 cuadro comparativo de las características de los materiales de recubrimiento (Fuente Bernat *et al.*, 1990).

Materiales rígidos	Cristal	Poliéster estratificado	Polimetacrilato (Doble pared)	Policarbonato (Doble pared)	Polipropileno (Doble pared)
Grueso más habitual	4 mm	1mm	16 mm	6 mm	4 mm
Peso por m ²	10 kg	1.5 kg	5 kg	1.2 kg	0.7 kg
Resistencia mecánica	no muy buena	buena	media	muy buena	no muy buena
Transmisión de luz	88%	80-85%	83%	75-80%	60-65%
Capacidad de mantener sus características físicas	buena (15-20 años)	media (10 años)	muy buena	buena	mediocre (2-3 años)
Precios comparados (base 100)	100	250	700-800	280-300	70-80
Materiales flexibles	Polietileno (larga duración)	Polietileno (infrarrojo)	E.V.A. (doble lámina)	P.V.C. (doble lámina)	Teraftalato de etileno
Densidad	0.92-0.93	0.95	0.94-0.95		1.4
Peso (gr/m ²) espesor	165	170	169-171	275	175
Resistencia a la tracción (kg/cm ² a 23°C	165-180		>230	250	600-800
Transmisión luz visible	80-90	70-80	85	60-70	85-90
Permeabilidad al infrarrojo de onda larga	60-70	15-30	15-20		<10
Duración aproximada	3-4 años	2-3 años	2-3 años	5 años	10-15 años
Precios comparados (base 100)	100	103-105	140-145	450-480	615

Las cifras son, naturalmente, indicativas y sujetas en función de marcas comerciales y las distintas circunstancias del mercado.

3.2.2. Cubiertas plásticas

Para la construcción de cubiertas deberá considerarse la climatología de la zona, así como las especificaciones del material, ya que estos factores en algunos casos condicionan la modulación de la estructura y la elección del material (Romero, 1988).

La cubierta tiene como objetivo, conservar en el interior del invernadero, el clima que permita el crecimiento y desarrollo de los cultivos en épocas en las que las condiciones climatológicas del exterior pueden resultar adversas.

De la cubierta que se utilice dependerán el rendimiento y precocidad en los cultivos, así como el costo del invernadero. Entre menor sea el peso del material de cubierta, la estructura podrá ser más ligera y en consecuencia es factible abatir el costo, lográndose además el montaje de la cubierta con mayor facilidad.

Existen muchos tipos de plásticos, pero solo algunos se utilizan en la actualidad como cubiertas para invernaderos. Lo más comunes hasta ahora en el país son:

- a) Polietileno “normal” y polietileno sin tratar. Es el material de cubierta más barato, pero con un período de vida más corto (4 a 6 meses), ya que difunde los rayos infrarrojos, pero es destruido rápidamente por la radiación ultravioleta. También es afectado por las elevadas temperaturas que se originan en las zonas de contacto de la película con las estructuras (fierro, aluminio) del invernadero.

- b) Polietileno “larga duración”. En el mercado nacional se conoce como plástico PF-602 cuya duración mínima es de un año. En los mercados internacionales (E.U.A.) se tiene el plástico Monsanto con dos variantes el 602 y el 603 con un período de dos a tres años.

En climas fríos, con el fin de obtener un efecto más térmico, evitar condensación y tener menores costos de calefacción (hasta un 30%) se puede instalar una doble capa de polietileno formando un colchón de aire de cinco centímetros de espesor.

- c) Policloruro de Vinilo plasticado (PVC). Este material es más conocido en el mercado como PVC, puede ser rígido o flexible, su duración depende fundamentalmente de su plastificación, de la manera que si ésta no es adecuado se degrada muy rápidamente por la acción destructora de los rayos ultravioleta y por la extracción del plastificante por el agua.

El envejecimiento del PVC se manifiesta por la pérdida de transparencia, aparición de un color amarillento y fragilidad mecánica.

- d) Acrílico reforzado con fibra de vidrio. A diferencia de los anteriores, ésta cubierta es rígida, siendo su propiedad principal la de tener un gran poder de difusión de la luz, creando en el interior del invernadero una iluminación uniforme.

Es el material de cubierta más costoso, aunque con un periodo de vida útil mayor que cualquier otros (15 o 20 años).

En la actualidad en el país se fabrica lámina acrílica con esfuerzo de fibra de vidrio de muy buena calidad, ya que la acción de la luz solar altera su transparencia ni su color. Para cubierta de este tipo, se utilizan dos colores, el 200 cristal y el 202 blanco lechoso, el primero de ellos con una transmisión de luz del 75 al 85 % y el segundo del 65 al 75 %. El uso de cada uno de ellos estará en función de la luminosidad de la región. El color 202 blanco, se utiliza de preferencia en aquellas

zonas que cuentan con muy alta luminosidad como son las áridas y semiáridas del país. El color 200 cristal se utiliza en las áreas que tienen menos luminosidad.

Se considera el material ideal aquel que cumpla con los requisitos:

- Gran efecto de invernadero
- Gran retención de calor
- Gran rendimiento térmico
- Buena transparencia a la radiación solar
- Buena opacidad a las radiaciones de onda larga emitidas por el suelo durante la noche.
- Bajo costo.

Como se puede observar, ninguno de los materiales antes citados logra reunir todos los requisitos para ser considerado el material de cubierta ideal, de ahí que se tenga que decidir en última instancia, en base a posibilidades económicas a las sugerencias del que proyecta a al material que se localice en la región.

3.3. Trazo de construcción

Si como tierra de cultivo se utiliza el suelo que tiene seleccionado, entonces se señalan las dimensiones largo-ancho que tendrá el invernadero y se marcan los puntos (2 a 3 m entre puntos) sobre los cuales quedarán los pilares (polines o anclajes) que conforman la estructura del invernadero; posteriormente se hacen excavaciones en los puntos marcado, tomando como base el tipo de cimentación que se vaya a utilizar (Romero, 1988).

3.3.1. Cimentación

La cimentación es el elemento mediante el cual se transmiten las cargas que actúan sobre el invernadero al terreno. El primer factor a considerar para la definición de la misma es la capacidad portante del terreno sobre el que descansa.

A falta de un estudio geotécnico adecuado, deben reducirse las cargas admisibles que ordinariamente se consideran para las edificaciones normales ($=0.5/1 \text{ kg/cm}^2$). Además, el peso de la cimentación no debe ser inferior al triple de la presión del viento en el interior del invernadero (Matallana y Montero, 2001).

Deducido el peso propio de éste, siendo:

$$\frac{\text{---}}{\text{---}} \geq 3$$

C_p = Peso propio del invernadero.

P_v = presión del viento

P_c = peso de cimentación

En los invernaderos multicapilla con cubierta de materiales plásticos el peso total del cimentación o la resistencia última al razonamiento sobre las superficies laterales de las bases no será inferior a 1.5 veces la presión provocado por el viento en el interior del invernadero.

Si se quiere reforzar la cimentación se unen todas las zapatas por medio de una dala de concreto en todo el perímetro del invernadero.

3.3.2. Cargas consideradas para el diseño de la cimentación

Según Rubio *et al.* (2003) señalan que los tipos de cargas que se consideran en el diseño de edificios son:

- **Cargas muertas**, las cuales incluyen el peso de la estructura, muros, cubierta del techo, instalaciones mecánicas y eléctricas y muros divisorios.
- **Cargas vivas**, las cuales incluyen todas las cargas temporales.
- **Cargas meteorológicas.**

En zonas de la precipitación pluvial y manto freático elevado es conveniente construir un firme de concreto el cual impedirá el aporte excesivo de humedad del subsuelo a los cultivos, además de servir para desalojar los excesos de agua.

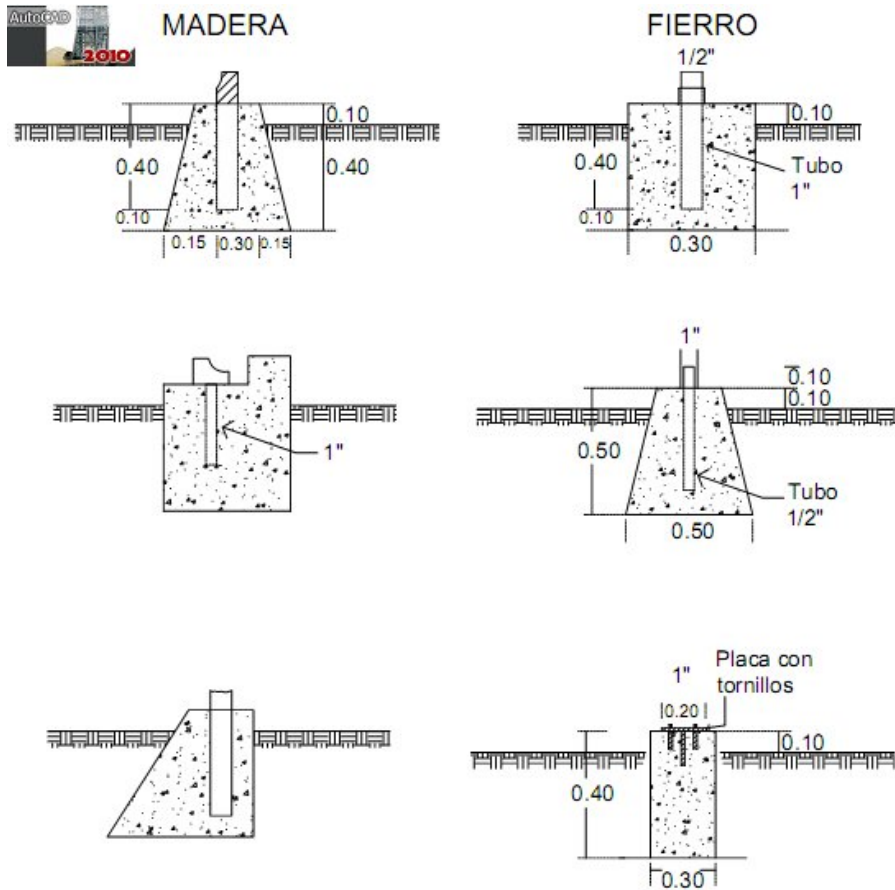


Fig. 3.3 Zapatas para cimentación.

3.3.3. Armado de la estructura

El armado de la estructura se desarrolla a partir de que se realiza la cimentación sobre todo cuando se utiliza madera (fijación de polines) en la construcción de la estructura. Conviene que quede sujeta de tal manera que no tenga movimiento; pero que en un momento dado pueda desarmarse cuando se requieran; esto se realiza más fácilmente en las estructuras que son de fierro, ya sean tubulares o de perfiles (Romero, 1988).

3.3.4. Colocación de la cubierta

Una vez armada la estructura del invernadero, se cubre con el material seleccionado, se cubre en el material seleccionado (polietileno, PVC o acrílico reforzado). Para la colocación del plástico, hay que tomar en cuenta las dimensiones de las áreas a cubrir y no realizar cortes innecesarios que provoquen desperdicios de material. Los plásticos flexibles se pueden cortar estando enrollados en la bobina, los que facilita el corte recto de los mismos. Esto se puede lograr con una segueta de las utilizadas para cortar metal. El plástico rígido (acrílico), normalmente se puede solicitar sobre medida.

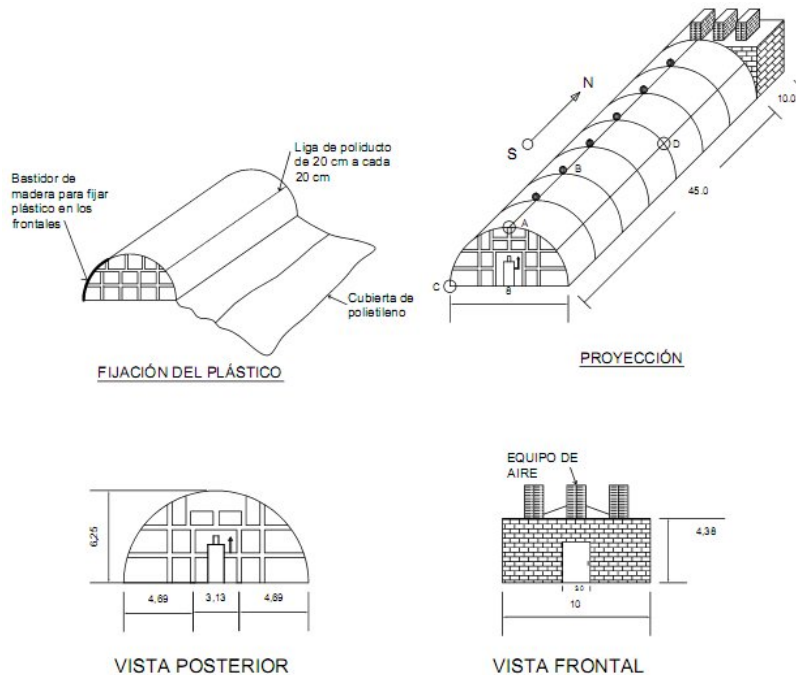


Fig. 3.4 Detalles de construcción para un invernadero tubular.

Actualmente en el país se está fabricando polietileno especial para invernaderos, así como lámina acrílica con refuerzo de fibra de vidrio. La colocación de la cubierta se inicia del techo hacia abajo, aprovechando al máximo el material, después se continúa con los laterales y los frontales. Los equipos de climatización

(extractores y calefactores, entre otros), se colocan después de haber sido instalada la cubierta.

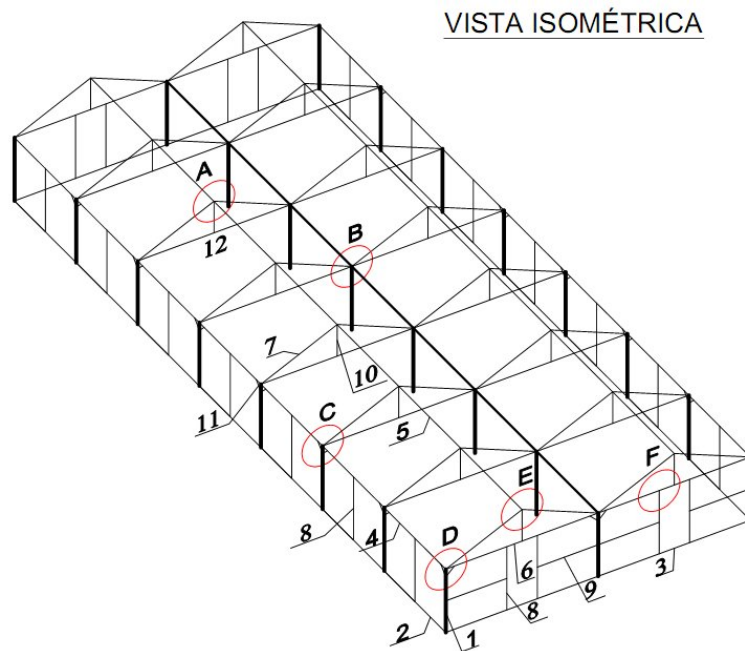


Figura 3.5 Detalles de construcción de un invernadero con estructura de madera.

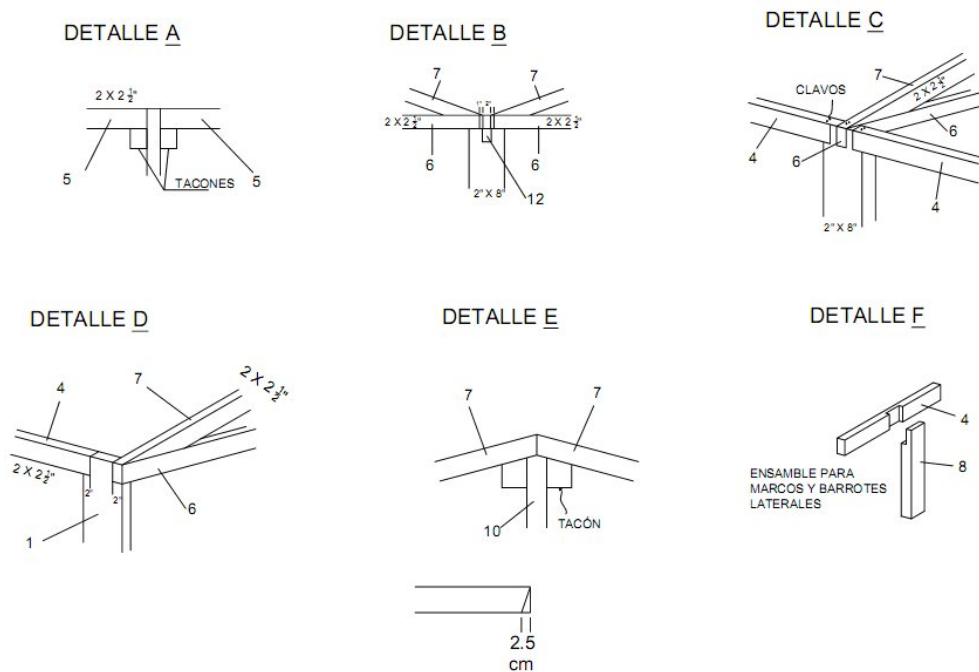


Figura 3.6 Detalles de construcción de un invernadero con estructura de madera.



Figura 3.7 Invernadero estructura fierro tipo multicapilla en la UAAAN.

Tabla 3.2 Relación de Piezas (Romero, 1988).

No.	Piezas	Long. (m)	Cantidad
1	Polines	2.450	24
2	Arrastre lateral	3.000	14
3	Arrastre frontal	5.550	4
4	Largueros Laterales	2.898	21
5	Caballete	2.950	14
6	Travesaño cabestrilla	4.500	16
7	Tramos cabestrilla	2.460	24
8	Marcos y barrotes laterales	2.000	22
9	Travesaño frontal	1.750	8
10	Soporte cabestrilla	0.950	16
11	Escuadra 45°	0.450	80
12	Tacones	0.100	42

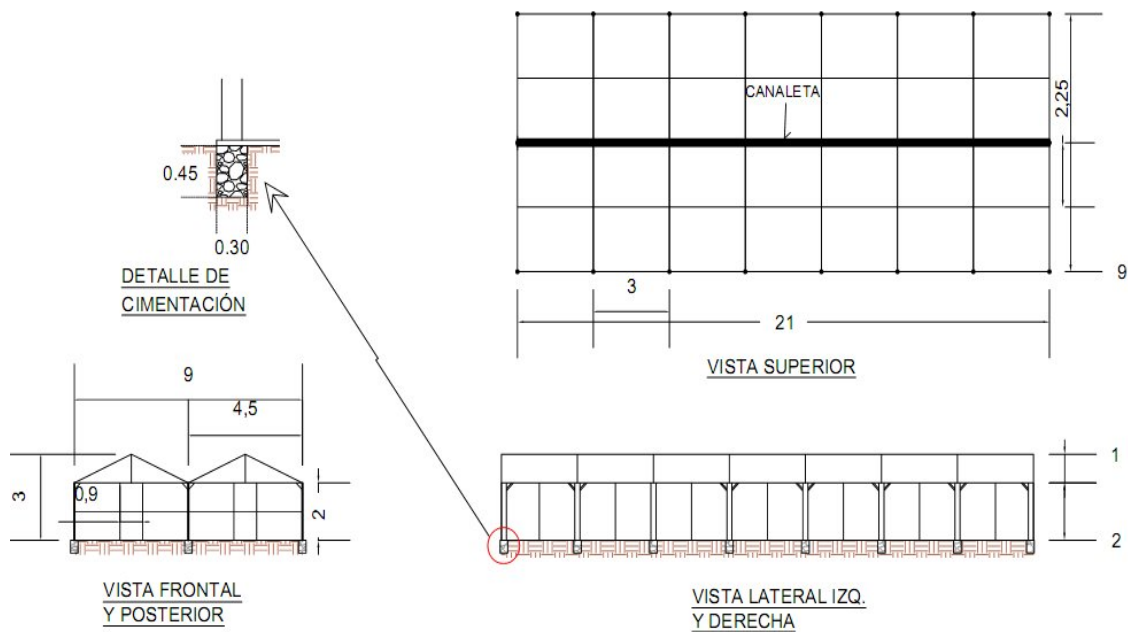


Fig. 3.8 Construcción de un invernadero de madera.

IV. PARÁMETROS A CONSIDERAR EN EL CONTROL DEL CLIMA EN INVERNADERO

La humedad y la temperatura son factores primordiales para el desarrollo de los cultivos bajo condiciones de invernadero (Romero, 1988).

Cada cultivo exige una humedad y una temperatura óptima, fuera de las cuales no logra desarrollar adecuadamente; de ahí la necesidad de controlar y acondicionar el clima, los que puede hacerse en forma natural o forzada, dependiendo esto del cultivo a desarrollar y de la climatología del lugar.

4.1. Temperatura

Este es el parámetro más importante a tener en cuenta en el manejo del ambiente dentro de un invernadero, ya que es el que más influye en el crecimiento y

desarrollo de las plantas. Normalmente la temperatura óptima para las plantas se encuentra entre los 10 y 20° C (InfoAgro, 2001).

La temperatura actúa sobre las funciones vitales de los vegetales resultando, en general, crítica por debajo los cero grados o por encima los 70° C. Fuera de estos límites mueren o se aletargan (S&P, 2003).

Para el manejo de la temperatura es importante conocer las necesidades y limitaciones de la especie cultivada. Así mismo se deben aclarar los siguientes conceptos de temperaturas, que indican los valores objetivos a tener en cuenta para el buen funcionamiento del cultivo y sus limitaciones:

Temperatura mínima letal. Aquella por debajo de la cual se producen daños en la planta.

Temperaturas máximas y mínimas biológicas. Indican valores, por encima o por debajo respectivamente del cual, no es posible que la planta alcance una determinada fase vegetativa, como floración, fructificación, etc.

Temperaturas nocturnas y diurnas. Indican los valores aconsejados para un correcto desarrollo de la planta.

Tabla 4.1 Exigencias de temperatura para distintas especies (InfoAgro, 2002).

	TOMATE	PIMIENTO	BERENJENA	PEPINO	MELÓN	SANDÍA
T° mínima letal	0-2	(-1)	0	(-1)	0-1	0
T° mínima biológica	10--12	10--12	10--12	10--12	13-15	11--13
T° óptima	13-16	16-18	17-22	18-18	18-21	17-20
T° máxima biológica	21-27	23-27	22-27	20-25	25-30	23-28
T° máxima letal	33-38	33-35	43-53	31-35	33-37	33-37

Tabla 4.2 Niveles térmicos del aire (Matallana y Montero, 2001).

Especie	Temp. Óptima				Temp. Germ/radic		
	Temp. Mín. letal	Temp. Mín. biológica	Noche	Día	Temp. Máx. biológica	Mín.	Máx.
Tomate	0-2	8-10	13-16	22-26	26-20	9-10	20-30
Pepino	0-4	10-13	18-20	24-18	28-32	14-16	20-30
Melón	0-2	12-14	18-21	24-30	30-34	14-16	20-30
Calabaza	0-4	10-12	15-18	24-30	30-34	14-16	20-30
Judía	0-2	10-14	16-18	21-28	28-35	12-14	20-30
Pimiento	0-4	10-12	16-18	22-28	28-32	12-15	20-30
Berenjena	0-2	9-10	15-18	22-26	30-32	12-15	20-30
Lechuga	(-2)-0	4-6	10-15	15-20	25-30	4-6	20
Fresa	(-2)-0	6	10-13	18-22			

Tabla 4.3 Nivel óptimos de CO₂, HR, Temperatura del sustrato e iluminación (Matallana y Montero, 2001).

Especie	Temperatura óptima del sustrato (°C)	(CO ₂) (p.p.m.)	H.R.	Luz	
				intensidad (lux)	Duración (hrs)
Tomate	15-20	1.00--2.00	55-70	10.00-40.00	D.I.
Pepino	20-21	1.00-3.00	70-90	15.00-40.00	D.L.
Melón	20-22		60-80		D.L.
Pimiento	15-20		65-70		D.L.
Berenjena	15-20		65-70		D.L.
Lechuga	10--12	1.00-2.00	60-80	12.00-30.00	D.L.
Fresa	12--15		60-70		D.C.

4.2. Humedad relativa

La humedad es uno de los factores medioambientales que influyen en el cultivo bajo invernadero. En el interior del invernadero, el aire es enriquecido con vapor de agua por evaporación desde el suelo y por transpiración de las plantas. Las plantas tienen que transpirar agua para transportar nutrientes, para refrigerarse y para regular su crecimiento (IHTP, 2008).

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 tanto disminuye la HR. Con temperaturas bajas, el contenido en HR aumenta.

Cada especie tiene una humedad ambiental idónea para vegetar en perfectas condiciones: al tomate, al pimiento y berenjena les gusta una HR sobre el 50-60 %; al melón, entre el 60-70 %; al calabacín, entre el 65-80 % y al pepino entre el 70-90 % (InfoAgro, 2002).

4.3. 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 (InfoAgro y Madrid, 2001 y 2008).

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.

4.4. CO₂

Este gas de la atmósfera también se puede controlar en el ambiente de los invernaderos. La disminución de la concentración de CO₂ depende del número de renovaciones que se haga de la atmósfera confinada y de la actividad fotosintética.

El contenido de CO₂ por la noche es alto debido a la respiración de las plantas, pero no causa preocupación; en las primeras horas de luz solar es cuando la concentración es mayor.

En las horas del mediodía y posteriores la concentración de CO₂ pasa por mínimos que puede disminuir la fotosíntesis. Es importante dotar al invernadero de un buen sistema de ventilación con el fin de alcanzar concentraciones de CO₂ próximas a las del exterior (INTA, 2006).

4.5. Ventilación

Matallana y Montero (2001) establecen que los métodos de cálculo de la ventilación son imprecisos, porque se basan en una serie de hipótesis simplificadoras que no se corresponden a una realidad. Por esta razón se recurre con frecuencias a las medidas experimentales de la tasa de renovación, para obtener modelos empíricos o para calibrar las fórmulas generales y poder aplicarlas al caso particular de estudio.

4.5.1. Ventilación natural

Es el procedimiento más utilizado. Se basa en el fenómeno de la convección natural por el que el aire más caliente, con menor densidad, asciende dejando lugar para que el aire más frío, y por ello más denso, ocupe las partes de abajo (Bernat *et al.*, 1990).

La ventilación cenital resulta ventajosa para este sistema, con aberturas o ventanas en los techos o partes altas del invernadero. Si las ventanas son laterales establecerán corrientes que facilitarán la salida de aire caliente. En cualquier

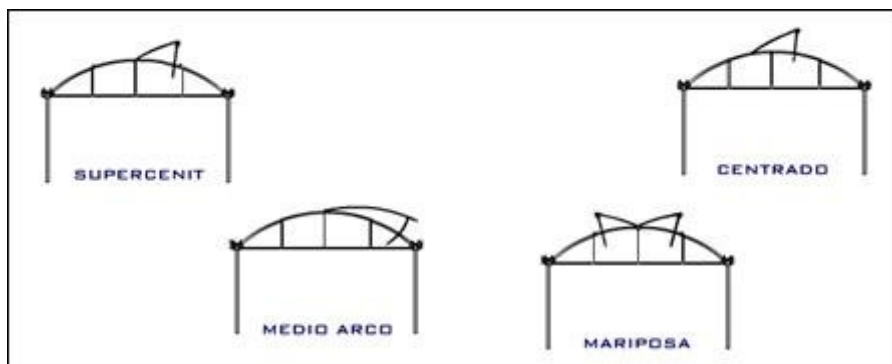


Fig. 4.1 Tipo de ventilación cenital (consulta electrónica).

La superficie que debe darse a la ventana del invernadero está en función de las dimensiones del mismo. Si se colocan ventanas laterales y en e el techo, las dimensiones de cada una de ellas corresponderá al 15 % y al 10 % de la superficie del invernadero respectivamente. Si la ventilación se coloca solamente en el techo, las dimensiones de las ventanas corresponden al 15 % (Serrano *et al.*, 1989).

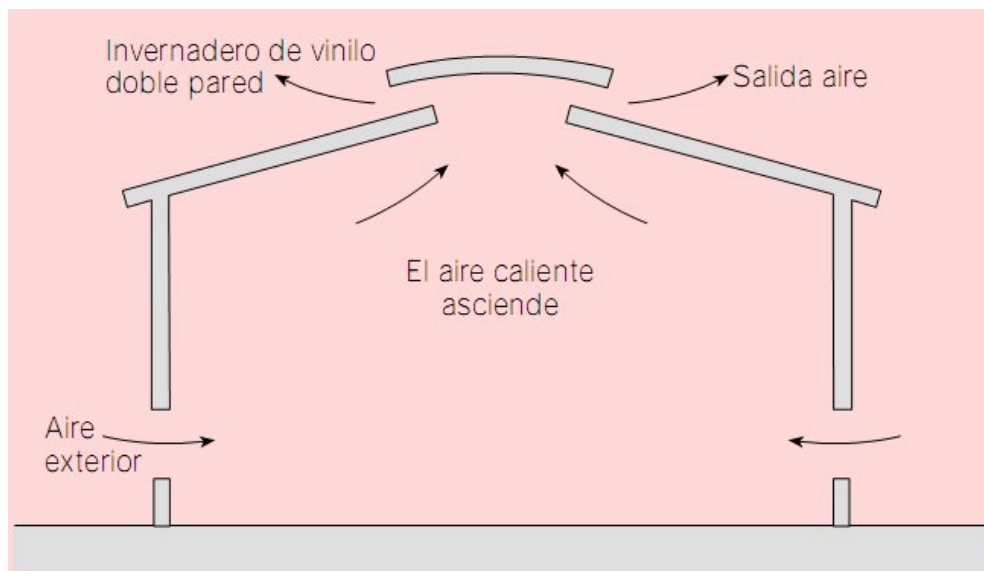


Fig. 4.2 Ventilación natural del invernadero (fuente: S&P, 2003).

4.5.2. Ventilación forzada

La ventilación forzada consiste en establecer corrientes de aire mediante ventiladores o extractores, con lo cual conseguiremos homogeneizar la temperatura del exterior. Este sistema nos permite, además de lo anteriormente descrito, refrigerar por humectación (Romero, 1988).

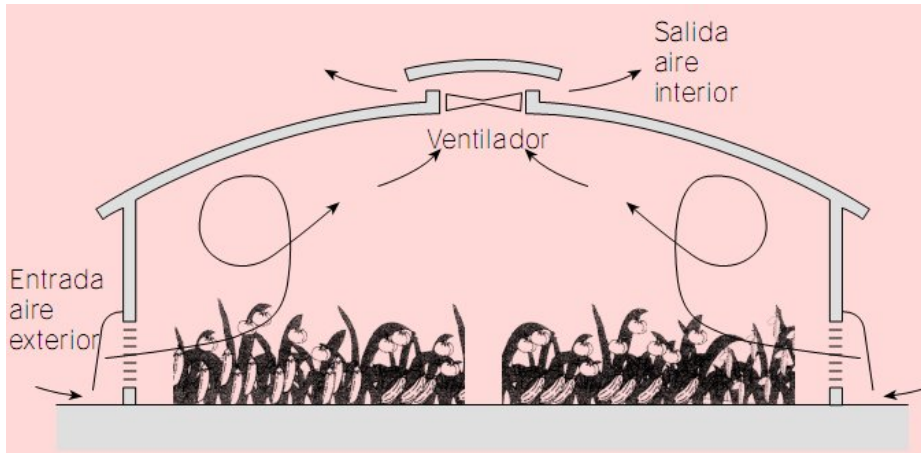


Fig. 4.3 Ventilación forzada (fuente: S&P, 2003).

Esta se realiza por medio de equipos extractores para lo cual es necesario conocer el volumen del invernadero y la frecuencia con la que se pretende renovar el aire. Por ejemplo para invernaderos con caída de dos aguas y semicirculares, el cálculo es de la siguiente forma

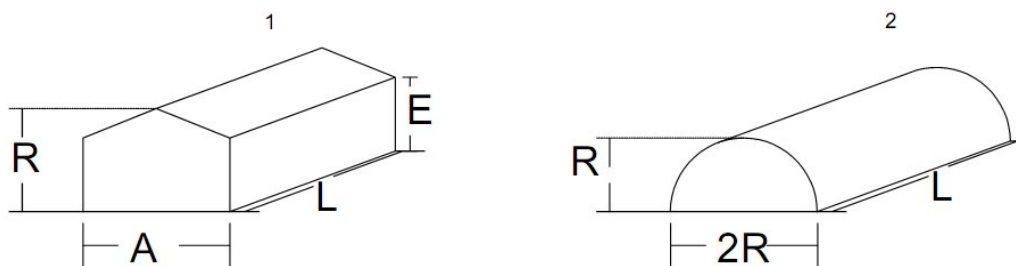


Fig. 4.4 Cálculo de ventilación.

1. Donde:
$$V = \frac{E+R}{2} AL$$

2. Donde:

$$V = \frac{R^2 L}{2}$$

Con base en los volúmenes calculados se determina el número de equipos extractores para dar la ventilación requerida.

4.6. Enfriamiento y humificación

La tendencia de la humedad relativa es que a mayor temperatura ésta se reduce, al punto en que se pueden afectar los cultivos; durante la noche la humedad relativa del aire alcanza un nivel muy alto, cuando se alcanza la saturación se condensa bajo la cubierta y llega a gotear sobre el cultivo, lo que puede provocar problemas fitosanitarios (Romero, 1988).

Con el fin de mantener condiciones de temperatura y humedad relativa adecuadas para el cultivo, se utilizan humidificadores de “pared húmeda extracción” lo que puede lograrse con equipos de aire lavado o bien acondicionando paredes húmedas verticales y horizontales; otra posibilidad es regar los pasillos o realizar aspersiones frecuentes.

Para calcular el área necesaria de humidificación se utiliza la relación que existe entre el volumen de aire por extraer y el área de enfriamiento necesaria por cada 47.2 m³ de aire extraídos (Romero, 1988).

Con base en lo anterior, se ha establecido que por cada 47.2m³, se requiere de una superficie de 1m², por lo tanto el área de humidificación se calcula con la siguiente relación.

$$\text{Área de Humidificación} = \frac{\text{Vol. total del invernadero (m}^3\text{)}}{47.2(\text{m}^3 / \text{m}^2)}$$

4.7. Calefacción

Si las temperaturas reinantes en el invernadero están por debajo de las óptimas habrá que recurrir a calefaccionarlo. Prescindiendo de sistemas rudimentarios, los generadores de aire caliente con quemadores de aceite pesados suelen resultar los más racionales, siendo prohibitiva la calefacción eléctrica (S&P, 2003).

La calefacción debe compensar las pérdidas de calor por radiación, renovación de aire, conducción, convección y por el suelo.

Los invernaderos son construidos principalmente para proteger los cultivos durante las estaciones frías y poco luminosas, beneficiándose lo más posible con la radiación solar que eleva la temperatura interior (Romero, 1988).

Las radiaciones solares no calientan directamente el aire del invernadero, sino que al incidir sobre el suelo, una parte se queda en la tierra y otra es emitida, calentándose la atmósfera interior.

El calor es retenido dentro del invernadero por el cierre hermético que ejerce la cubierta, sin la cual dicha temperatura se perdería. Con el fin de lograr un máximo aprovechamiento de la energía del sol, se construye en donde la luminosidad natural se excelente, quede protegido de los vientos y la atmósfera esté limpia de polvo y humos.

Aún cuando se realice lo anterior, es probable que en los días más fríos el calor producido en el interior del invernadero como consecuencia de la energía solar sea insuficiente.

Se puede optar por tres rangos de calefacción en función de las temperaturas que se desea mantener en el invernadero y de los recursos económicos que se tengan.

Los rangos que más se utilizan son las siguientes:

- I. Calefacción para mantener temperatura ligeramente superiores a las mínimas letales (anti heladas) 3 a 6° C
- II. Calefacción para mantener mínimas biológicas: 10 a 14° C
- III. Calefacción capaz de mantener las temperaturas óptimas 20° C o mayor.

4.7.1. Requerimiento de calefacción

La metodología que se utiliza, es la que relaciona la superficie expuesta, el diferencial de temperatura D.T. (T interior – T exterior) y un factor de aislamiento según el tipo de cubierta, el cual se puede consultar en el cuadro 4.2.

Cuadro 4.4 Factores de aislamiento (FA) para diferentes tipos de cubierta (Romero *et al.*, 1988).

Cubierta	FA (Cal/h ⁰ C cm ²)
Fibra de vidrio	0.5467
Vidrio	0.9764
Polietileno	0.4882
Polietileno doble capa*	0.3417

*una manera de ahorrarse hasta una 30 % de energía, es colocando una doble capa de polietileno (5 cm) inyectándole aire caliente y recirculándolo a través de ésta.

La carga de calefacción se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q_1 = S * DT * FA$$

Donde: Q1 = Carga de calefacción (Cal/h)

FA = Factor de aislamiento (Cal/h⁰C cm²)

S = Superficie expuesta (m^2)

DT = Diferencial de temperatura ($^{\circ}C$)

Generalmente se tendrán pérdidas de calor de aproximadamente un 30 % debido a la infiltración del aire, por lo cual se debe considerar que la carga total de calefacción será:

$$Q_T = 1.3 Q_1$$

Los sistemas de calefacción que más se utilizan para elevar las temperaturas en invernaderos, son el aire caliente y el de estufa o calefactor doméstico.

4.7.2. Calefacción por aire caliente

En este sistema el calor se produce al utilizar generadores alimentados por combustible derivado del petróleo (diesel, diáfano o gases) o energía eléctrica. El aire que calienta el generador es el del interior del invernadero, recirculándolo por medio de ventiladores a través del generador y distribuyéndolo a todo largo del invernadero por medio de ductos de polietileno perforados (Romero, 1988).

4.7.3. Estufas o calefactores domésticos

Este tipo de calefacción se basa en la gasificación del petróleo diáfano, el cual logra el calentamiento por medio de la combustión de los gases.

En este sistema, los gases de combustión deben desalojarse del interior del invernadero para evitar intoxicaciones.

Su costo se puede considerar como el más económico, siendo una buena solución contra el efecto de heladas (Romero, 1988).

4.8. Cálculo de climatización

A continuación se determinan los requerimientos de ventilación forzada, área de humificación y calefacción, para un invernadero del tipo semicircular con cubierta sencilla de polietileno ((Romero, 1988).

Las dimensiones son las siguientes:

Longitud = 45 m

Ancho = 8 m

Altura = 4 m

4.8.1. Cálculo de Ventilación

Para determinar la ventilación necesaria en el invernadero se considerará el cambio del volumen total del aire, una vez por minuto. El volumen total de invernadero tipo túnel será igual al de un medio cilindro de ahí que:

$$V = \frac{\pi r^2 L}{2}$$

Donde: V= Volumen del invernadero (m³) tipo túnel.

r = Altura total (m)

L = Longitud (m)

$$V = (3.1416 * 4^2 * 45) / (2) = 1130.97 \text{ m}^3 \approx 40,000 \text{ pies}^3$$

Con base en el volumen calculado y la longitud del invernadero se determina el número de extractores. Requiriéndose 8 equipos de 141.37 m³/min (5000 pcm) cada uno, se colocan a lo largo del invernadero a 5 m uno del otro.

4.8.2. Cálculo de Humidificación

Se puede realizar de dos maneras: la primera consiste en construir un humidificador a partir del área de humidificación calculada y puede ser horizontal o vertical.

La segunda, es aprovechando los equipos de aire lavado que ya existen en el mercado.

Primer caso: para construir el humidificador, se parte de determinar el área de humidificación y de la relación de humidificación previamente establecida.

Con base en lo anterior, tenemos que:

$$\text{Área de Humidificación} = \frac{\text{Vol. total del invernadero (m}^3\text{)}}{47.2(\text{m}^3/\text{m}^2)}$$

Donde: Área de Humidificación total = $(1130.97 \text{ m}^3) / (47.2 \text{ m}^3/\text{m}^2) = 24 \text{ m}^2$

La cual distribuirá a todo lo largo del invernadero correspondería a una franja de 45 m de largo por 53.3 de de altura. El espesor del colchón de fibra (aspen o Coocell) a humedecer, es de 5 a 6 cm. Este humedece por un sistema de recirculación continua de agua, lo que se logra por medio de una bomba y un distribuidor.

Segundo caso: en lugar de construir el humidificador, se pueden instalar 8 equipos de aire lavado de 5000 pcm con descarga vertical los cuales cuentan con cuatro colchones de humidificación que en conjunto proporcionan un área aproximada de 3.2 m^2 por equipo, con lo que en total se tendrá una superficie de humidificación de 25.6 m^2 que es un poco mayor que la requerida.

Con este tipo de equipos se logra obtener hasta un 30 % más de eficiencia, además de que ya no sería necesario instalar los equipos de extracción sino solamente colocar ventillas cenitales.

4.8.3. Cálculo de Calefacción

Para determinar el requerimiento de calefacción es necesario considerar tres factores: la superficie expuesta del invernadero (S) cm²; las temperaturas interior y exterior (D.T.) en °C y el material de cubierta (FA) en Cal/h⁰C cm² (Romero *et al*, 1988).

Con estos factores y a través de la ecuación:

$Q1 = S * DT * FA$ se obtiene la carga de calefacción.

$$S = \pi r (r+L)$$

Donde: r = 4m y L = 45 m

DT = (T1 – T2) donde: T1 = 9.9 °C, T2 = 0 °C

$$FA = 0.4882 \text{ Cal/h}^0\text{C cm}^2$$

La temperatura interior deseada se consideró como una protección contra el efecto de las heladas.

$$S = 615.75 \text{ m}^2 * 10000 \text{ cm}^2/\text{m}^2 = 6\,157\,500 \text{ cm}^2$$

$$DT = (9.9 - 0) 9.9 \text{ }^0\text{C}$$

$$FA = 0.4882 \text{ Cal/h }^0\text{C cm}^2$$

$$Q1 = 6.1574 * 10^6 * 9.9 * 0.4882 = 29\,760\,305.85 \text{ cal/h}$$

Este sería la carga de calefacción si no se tuvieran pérdidas por infiltración de aire, pero como regularmente sí las hay, se considera un 30% más del valor calculado, de ahí que:

$$QT = 1.3Q1$$

$$QT = 38\,688\,397.61 \text{ Cal/h}$$

La carga de calefacción calculada se puede satisfacer con uno o dos generadores de calor, dependiendo de las capacidades disponibles en el mercado. La inyección

del aire caliente para recircularlo se hace con dos ventiladores de 184 m³ por minutos (6500 0cm) y a través de ductos de polietileno perforado.

V. CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES

En la actualidad existe invernaderos para la producción principalmente de hortalizas, y no específicamente para papa, por ejemplo el invernadero tipo Almería esta cubierto a sus costados por una malla antiáfidos de 40 x 40 hiladas por pulgada con una abertura de 0.42 mm, y como el sistema de enfriamiento del invernadero es por aire externo a través de la malla antiáfidos y saca el aire caliente interno hacia una ventana cenital, creando un flujo de aire superior a 1 m/s (Parga *et al.*, 2009).

Estudios realizados por Arellano-García en producción de semilla de papa (comunicación personal), señala que tuvo una incidencia del 20% de fitoplasma causante del daño conocido como síndrome de la punta morada provocado por el psílido paratrioza (*Bactericera cockerelli*). Este insecto vector oviposita sobre la malla (Cuadro 5.1) como si se tratara de una telaraña y sus huevecillos tienen un diámetro de 0.2 a 0.4 mm que son impulsados al interior del invernadero por el sistema de enfriamiento, lo que provocó la infestación, esto se solucionaría con la tecnología ya conocida de invernaderos de atmósfera contralada.

Cuadro 5.1. Tipos de mallas antiáfidos existentes en el mercado.

Hiladas (pulgada ²)	Hiladas (cm ²)	Apertura (mm)
55 x 30	22 x 12	0.31 x 0.57
40 x 40	16 x 16	0.42 x 0.42
50 x 25	20 x 10	0.36 x 0.64
40 x 25	16 x 10	0.42 x 0.64

Los invernaderos tipo Almería son más económicos que los invernaderos de atmosfera controlada, pero estos garantizan una calidad y fitosanidad de la semilla.

En la actualidad existen mallas que basan su modo de acción en el bloqueo de la transmisión de la radiación ultravioleta (UV) al interior del invernadero. Este proceso dificulta, relentiza o disminuye el desarrollo de plagas y enfermedades; los insectos vectores tienen fotorreceptores a los rayos UV en sus ojos, un ambiente oscuro con longitud de onda de 200 a 380 nm no les resulta atractivo, por lo cual, no entran al invernadero, si entran su movilidad se ve reducida, lo que provoca que su capacidad de infección a los cultivos disminuya sensiblemente (POLITIVI LTD, 2009).

En el mercado existen dos tipos de mallas:

- Mallas antiáfidos de plástico contiene rayos UV estabilizados para los costados y para periodos más largos. Se recomienda que el grosor sea mayor de 120 micrones.
- Mallas antiáfidos de plástico infrarrojo para los costados, contiene absorbentes de rayos UV, estabilizadores de luz e infrarrojos. Este plástico térmico disminuye la pérdida de calor en la noche (incrementa la temperatura nocturna y ahorra en costos de calefacción). Se recomienda un grosor de 120 a 200 micrones.

Por lo consiguiente también una buena higiene del invernadero, es esencial como punto de partida para evitar plagas y enfermedades. No obstante, es inevitable que se producirán problemas, debido a que es imposible evitar introducir material infectado en el invernadero (BECKETT, 2001).

En realidad, el ambiente específico del invernadero constituye un ecosistema cuyo equilibrio es tan frágil que puede ser roto con facilidad por ligeras variaciones de parámetros básicos que serían inocuas en un ambiente al aire libre. los mismo

ocurre con un grado higrométrico o una fertilización mal controlados, que pueden favorecer la proliferación de ciertos parásitos a la aparición de enfermedades diversas (Laurent, 2001).

5.1. Métodos del control

Dado que el invernadero es un medio cerrado, a menudo es más fácil controlar las plagas y enfermedades que en el jardín abierto. Algunas plagas, tales como los caracoles, pueden quitarse a mano, pero la mayoría de los problemas del invernadero deberán tratarse mediante procedimientos químicos.

5.1.1 Aplicación de productos químicos

Elija un producto químico que no dañe las plantas que se está cultivando, pero que sea efectivo contra el problema que se desea tratar. Quite todas las plantas que el producto químico puede dañar, o cúbralas con láminas de plástico fijadas con cuerdas o gomas elásticas. Cuando pulverice, abra los respiraderos y ventanas del invernadero.

5.1.2. Fumigación

En primer lugar compruebe que ninguna de las plantas presentes será dañada por la sustancia que se va a emplear. Saque del invernadero cualquier planta que pueda ser perjudicada. Existen agentes para la fumigación en forma de simples humos pirotécnicos, que se parecen a los fuegos de artificio de combustión lenta, o en forma sólida, que se vaporizan en dispositivos eléctricos. La fumigación puede utilizarse contra plagas específicas o como una medida higiénica general cada 6 meses (BECKETT, 2001).

5.1.3. Control biológico

En el exterior, muchas plagas perjudiciales se mantienen bajo control mediante depredadores tales como aves o insectos. En el ambiente cerrado del invernadero, estos equilibrios naturales se rompen. En un esfuerzo por evitar un uso excesivo de productos químicos, los biólogos han investigado la posibilidad de control biológico. Ello significa introducir un depredador para atacar las plagas. Se ha visto que algunos depredadores suelen ser efectivos, y éstos pueden adquirirse en el comercio. Un acárido depredador, (*Phytoseiulus persimilis*), controla la araña roja; una mariquita, (*Cryptolaemus montrouzeri*), puede usarse contra los pulgones lanígeros; una avispa parásita, (*Encarsia Formosa*), contra la mosca blanca, y una bacteria, (*Bacillus Thuringiensis*), ataca las orugas.

Si se utiliza el control biológico, los productos químicos deberán descartarse hasta que los depredadores hayan podido llevar a cabo su labor, lo que limitará su aplicación si se ha hallado más de una plaga. Los depredadores constituyen más un remedio que un método preventivo; no pueden trabajar hasta que su presa, la plaga, esté presente.

Aunque el control biológico impide que se incorporen sustancias químicas a las plantas, en el caso de los cultivos para la alimentación humana deberá tenerse en cuenta que es un método menos seguro y más complicado de control de las plagas que el uso de productos químicos (Beckett, 2001).

5.2. El mantenimiento del invernadero

La limpieza periódica de los cristales si se trata de de cubierta de vidrio o cristal, no tiene como único objetivo favorecer la penetración de la luz; también tiene el efecto de quitar el polvo y las proliferaciones parasitarias cuya acumulación supone un peligro real para el equilibrio del invernadero (Laurent, 2001).

CONCLUSIONES

Generalmente los invernaderos son para producir hortalizas, como principal demanda del mercado, tales como: tomate, pimiento, pepino, melón, lechuga, berenjena y chiles.

Los principales tipos de invernaderos son: plano o parral, raspa y amagado, capilla (a una y dos aguas), diente de sierra, asimétricos, tipo venlo, y semicilíndricos o micro túneles.

La forma más común de los invernaderos son rectangulares, con ancho de 10-12 metros, la altura a canaleta no debe ser inferior a 2.5 metros, con 3.5 metros de altura a cumbre. El largo puede variar pero se recomienda de 30 a 50 m. la forma más simple es del tipo capilla por su fácil instalación, su adaptabilidad a diferentes condiciones climatológicas y por su bajo coste.

En el manejo del invernadero, las variables a considerar son: la temperatura, Humedad Relativa (HR), radiación solar, nutrientes, plagas y enfermedades.

El clima del invernadero es controlado a través ventilación natural esto con la instalación de ventanas cenitales, que corresponde al 15 % de la superficie del invernadero.

Y para el manejo y control de plagas y enfermedades, se recomienda utilizar el tratamiento y químicos en cuanto a dosis y cantidad requerida, para la plaga o enfermedad de la planta. No obstante la higiene de cada día es sumamente importante, por ello, el mantener las instalaciones libre de polvo, libre de hierbas, lejos del alcance de animales propiciará un mejor funcionamiento del mismo y por ende mayor vida útil.

BIBLIOGRAFÍA

ALPI, A. y TOHNONI, F. 1999. Cultivo en invernadero. Variaciones de los factores ambientales en los invernaderos p. 55. Edit. Mundi-Prensa. Madrid, España.

ARZATE, Silvia. 2009. La imagen agropecuaria. Invernaderos y riego.

Disponible en línea:

http://www.imagenagropecuaria.com/articulos.php?id_art=794&id_sec=26

(Consultado en enero de 2011).

Asociación Mexicana de Constructores de Invernaderos (AMCI) 2010. Norma Mexicana para el Diseño y Construcción de Invernaderos. México, 2010.

Disponible en línea: <http://www.amci.org.mx/Descargar/Norma.pdf> (Consultado en febrero de 2011).

BECKETT, Kenneth 2001. Guía práctica de la jardinería, cultivos de invernadero. Control de plagas y enfermedades, p. 67. Edit. Folio. Barcelona, España.

BERNAT JUANOS, Carlos; ABDREÉS VITORIA, Juan J.; MARTINEZ ROS, José. 1990. Invernaderos. Construcción, manejo, rentabilidad. Edit. AEDOS. PP. 189. España, 1990.

CANAL PRODUCTIVO. 2010. Horticultura. MÉXICO: Creció en 10.000 hectáreas el uso de invernaderos en 10 años. Disponible en línea: <http://www.canalproductivo.com/index.php?action=noticia&id=4296> (Consultado en febrero de 2011).

DE LA PEÑA, Alejandro. 2009. Hidro Environment. Productos para hidroponía.

Disponible en línea:

http://www.hydroenvironment.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=4

[4](#) (Consultado en febrero de 2011).

Fundación Cotec para la Innovación Tecnológica (FCIT). 2009. Los invernaderos del siglo XIX. Interempresas. Disponible en línea: <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/33362-Los-invernaderos-del-siglo-XXI.html> (Consultado en febrero de 2011).

HENAO, Ferley. 2001. Cultivo en invernadero. Disponible en línea: <http://www.sappiens.com/> (Consultado en febrero de 2011).

<http://www.sagarpa.gob.mx/Paginas/default.aspx>

IGLESIAS, N. y SANTAGNI, A. 2004. Cultivos frutihortícolas. Boletín técnico no. 26. INTA. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

INDUSTRIA HORTÍCOLA TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN 2008. Invernaderos. Disponible en línea: <http://www.inta.gov.ar/altovalle/info/archivos/Bolet%C3%ADn%20N%C2%BA26%20-%20Cultivos%20Frutihort%C3%ADcolas.pdf> (Consultado en febrero de 2011).

INFOAGRO 2001. Principales tipos de invernaderos. Disponible en línea: http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/tipo_invernaderos.htm (Consultado en enero de 2011).

Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos (IMIQ) 2010. Cultivos protegidos (invernaderos) y la aplicación de las herramientas de la ingeniería química. Convención Nacional. Horacio 124-1101, Col. Polanco, C.P. 11560, México, D.F. http://web.imiq.org/index.php?option=com_k2&view=item&id=92:invernaderos&Itemid=215

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA (INTA) 2006. Disponible en línea:

<http://www.corpoica.org.co/sitioweb/Archivos/Foros/Climatizaciondeinvernaderos.pdf> (Consultado en febrero de 2011).

LAURENT, Olivier 2001. Guía práctica para el cultivo en invernadero. El mantenimiento del invernadero P. 75-76. Edit. De Vecchi. Barcelona, 2001.

MADRID, Eusebio .2008. Agrocomponentes S. L. Disponible en línea: <http://www.horticom.com/pd/imagenes/72/058/72058.pdf> (Consultado en febrero de 2011).

MATALLANA GONZÁLEZ, Antonio y MONTERO OCAMPO, I. Ignacio 2001. Cultivo en invernadero. Niveles térmicos del aire y Cimentación, p. 113-114 y p. 79 Edit. Mundi Prensa. España.

PALACIOS GONZÁLEZ, Henry Y. y ESPINO JIMÉNEZ, M. Amparo 2004. Diseño y evaluación de un invernadero en ambiente controlado para la producción de hortalizas. Efecto sombrilla, P. 5. Guacimo, Costa Rica, 2006. Universidad Earth. Disponible en línea: <http://usi.earth.ac.cr/glas/sp/dpg/2001031.pdf> (Consultado en enero de 2011).

Parga Torres, Víctor Manuel; Juan Manuel Covarrubias Ramírez, Isidro Humberto Almeyda León y José Antonio Garzón Tiznado. 2009. Como controlar el efecto del síndrome de la punta morada en papa. In: Robledo Torres, V. y Benavides Mendoza, A. (eds). Memoria del XIII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas, A. C. Torreón, Coah. p 71.

POLITIVI LTD 2009. Cover green house and tunnel. Disponible en línea: <http://www.politiv.co.il/main/spanish.html> (Consultado el 20 de octubre de 2009).

Q.G Sistemas de Riego. 2010. Invernadero diente de sierra. Disponible en línea: <http://www.qg.com.mx/sierra.html> (Consultado en febrero de 2011).

RHI SAUSI, Jorge 2010. Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos.

Disponible en línea:

http://web.imiq.org/index.php?option=com_k2&view=item&id=92:invernaderos&Itemid=215 (Consultado en febrero de 2011).

RODRÍGUEZ CRUZ, Rafael Ángel; ENRIQUE, Víctor; RODRÍGUEZ, Silva; LÓPEZ AGUILAR, Juan José y RUBIO ARANA, Cuauhtémoc (2003). Conferencia “Dimensionamiento estructural de un modulo para un invernadero de producción intensiva”, Universidad de Guanajuato. Salamanca, Guanajuato.

ROMERO FIERRO, Ernesto 1988. Invernaderos para producción de hortalizas y flores. Edit. SARH. P.P. 52. Durango, México.

S&P. Fichas técnicas 2003. Casos de aplicación. Disponible en línea:

<http://www.indasolar.com/Datos/Descargas/Termica/C5-Calefacci%F3n%20Invernaderos.pdf> (Consultado en de febrero de 2011).

SERRANO ZERMEÑO, Zoilo 1979. Invernaderos, instalación y manejo. Producciones de algunos cultivos al aire libre y en invernadero P. 40. Edit. Neografis, S.L. Madrid, España.

ANEXO FOTOS (Invernaderos campus UAAAN)



