

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO.**



**ARQUITECTURA AGRÍCOLA
SUSTENTABLE**

**ENVOLVENTE PARA CULTIVOS
(invernaderos)**

**CASO DE ESTUDIO EL NOPAL
EN MILPA ALTA D.F.**

Francisco Vidal Mendoza

2007



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MEXICO**



**ARQUITECTURA AGRÍCOLA
SUSTENTABLE**

EVOLVENTE PARA CULTIVOS (invernaderos)

**CASO DE ESTUDIO: EL NOPAL EN
MILPA ALTA D.F.**

Tesis que para obtener el grado de Maestro en
Arquitectura presenta:

Francisco Vidal Mendoza

Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura



2007



DIRECTOR DE TESIS

Dr. en ARQ. JOSE DIEGO MORALES RAMIREZ

SINODALES

MTRO. en ARQ. FRANCISCO REYNA GOMEZ

MTRO. en ARQ. JORGE RANGEL DAVALOS

MTRO. en ARQ. ERNESTO OCAMPO RUIZ

ARQ. HECTOR FERREIRO LEON

DEDICATORIA:

A Dios,

A mi familia.

A los amables, pacientes y comprensivos asesores y director de tesis.

A todas las personas que me apoyaron en la realización de ésta tesis.

INDICE

Pág.

PRÓLOGO INTRODUCCIÓN.

Antecedentes.	1
Justificación.	
Objetivos.	
Hipótesis.	
Alcances.	
Procedimiento de investigación, técnicas y destinatarios	

CAPÍTULO 1.

1. Introducción a la construcción y diseño de invernaderos.	
1.1. Generalidades	14
1.2. Bases para el diseño de los invernaderos.	21
1.2.1. Orientación del invernadero y transmisión de luz,	
1.2.2. Pendiente de la cubierta y transmisión de luz,	
1.3. Tipología estructural de los invernaderos,	23
1.3.1. Estructuras especiales,	
1.3.2. Estructuras a base de materiales plásticos,	
1.3.3. Otras estructuras especiales,	
1.4. Estructuras actuales,	28
1.5. Grado de utilización del invernadero,	29
1.6. Los robots en el invernadero,	30

CAPÍTULO 2.

2. Materiales de cobertura para invernaderos.	
2.1. Tipos de materiales de cubierta,	32
2.2. Características técnicas,	
2.3. Normalización de las películas de polietileno,	33
2.4. Caracterización de los materiales de cubierta,	34

	Pág
2.4.1. Caracterización radiométrica,	
2.4.2. Caracterización térmica,	
2.5. Propiedades de distintos materiales de cubierta,	37
2.5.1. Propiedades radiométricas,	
2.5.2. Propiedades térmicas,	

CAPÍTULO 3.

3. Bases de cálculos constructivos.	
Normalización de invernaderos,	40
3.1. Cargas permanentes,	
3.2. Carga de nieve,	
3.3. Acción del viento,	41
3.4. Hipótesis de carga,	42
3.5. Cimentación,	43
3.6. Especificaciones generales que deben cumplir estas estructuras,	
3.7. Normas internacionales para Invernaderos,	
3.8. Conclusiones,	45

CAPÍTULO 4.

4. Balance térmico, Ecuación general.	
4.1. Introducción,	48
4.2. Balance térmico. Ecuación general,	49
4.3. Intercambios energéticos por radiación térmica,	50
4.4. Intercambios energéticos por conducción-convección,	52

CAPÍTULO 5.

5.	Sistemas de calefacción.	
5.1.	Sistemas por agua caliente,	62
5.1.1.	Calefacción aérea,	
5.1.2.	Calefacción de suelo,	65
5.1.3.	Cálculo de la calefacción por suelo radiante,	67
5.1.4.	Procesos de transmisión de calor,	
5.1.5.	Cálculo de las pérdidas de calor invernadero-exterior,	
5.1.6.	Calor cedido al aire del invernadero desde la superficie del suelo,	
5.1.7.	Calor cedido por un tubo de calefacción que esté rodeado por aire,	
5.1.8.	Calor cedido por un sistema de tubos enterrados al suelo que los rodea,	
5.1.9.	Calor cedido desde el agua de un tubo hasta la superficie de dicho tubo,	
5.2.	Otros sistemas de calefacción,	70
5.3.	Técnicas de ahorro energético,	77
5.4.	La investigación en el ahorro energético del cultivo protegido,	80

CAPÍTULO 6.

6.	Sistemas de enfriamiento (periodos cálidos).	
6.1.	Introducción,	82
6.2.	Balance de energía diaria,	
6.3.	Sistemas de sombreado,	86
6.3.1.	Introducción,	
6.3.2.	Sistemas estáticos de sombreado,	
6.3.2.1.	Encalado,	
6.3.2.2.	Mallas de sombreado,	

	Pág
6.3.3. Sistemas dinámicos de sombreado,	89
6.3.3.1. Cortinas móviles,	
6.3.3.2. Riego de la cubierta,	
6.4. Ventilación,	90
6.4.1. Ventilación natural,	
6.4.1.1. Flujo de aire debido al viento exterior,	
6.4.1.2. Flujo de aire debido a la diferencia de temperatura,	
6.4.1.3. Acción combinada de la ventilación debida al viento exterior y a la diferencia de temperatura,	
6.4.1.4. Ejemplo de cálculo de la ventilación pasiva en un invernadero,	
6.4.1.5. Aplicación al modelo de cálculo en invernaderos multi-túneles,	
6.4.2. Ventilación mecánica,	
6.5. Refrigeración por evaporación de agua,	96
6.5.1. Fundamentos,	
6.5.2. Pantalla evaporadora,	
6.5.3. Nebulización fina,	
6.5.3.1. Boquillas de alta presión,	
6.5.3.2. Boquillas de baja presión,	
6.5.3.3. Humidificadores mecánicos,	

CAPÍTULO 7.

7. Aplicación de la iluminación artificial en los invernaderos.

Aspectos generales. Tipos de lámpara,

7.1. Aplicación de la iluminación artificial en los invernaderos.	100
7.2. Cálculo de una instalación de iluminación artificial para cultivo bajo invernadero,	105
7.3. Anexo, conversión de unidades de radiación y luz	108

	Pág.
CAPÍTULO 8.	
8. Caso de estudio: invernadero para el cultivo del nopal	
8.1. Factores ambientales en el crecimiento de las plantas	110
8.1.1. Radiación solar	
8.1.2. Temperatura y CO ₂	
8.1.3. Cultivo del nopal.	
8.1.4. Razonamiento ecológico del proceso de producción del nopal	
8.2. Invernadero	122
8.2.1. Ventajas	123
8.2.2. Inconvenientes	
8.2.3. Localización del invernadero	
8.2.4. Orientación	
8.2.5. Condiciones que debe reunir	
8.2.6. Balance de la energía dentro del invernadero	
8.2.7. Radiación infrarroja	
8.2.8. Trampas y acumuladores de calor	
8.2.9. Aislamiento térmico	
8.2.10. Pantallas contra el viento	
8.2.11. El factor suelo	
8.2.12. Riego	
8.3. Refrigeración del invernadero.	135
8.4. Calefacción del invernadero	138
8.5. Elección de los materiales	146
8.6. Diseño de la envolvente	149
Planos	162
CONCLUSIONES.	164
BIBLIOGRAFÍA.	167
ANEXOS:	
A. Fisiología y Fenología del nopal.	ii

Nombre de archivo: A2
Directorio: C:\Users\PACO\Desktop\FRANCISCO\POSGRADO\TESIS
-BIBLIOTECA\DOC
Plantilla: Normal.dotm
Título: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO
Asunto:
Autor: FRANCISCO VIDAL MENDOZA
Palabras clave:
Comentarios:
Fecha de creación: 31/10/2007 01:21:00 p.m.
Cambio número: 11
Guardado el: 31/10/2007 02:16:00 p.m.
Guardado por: FRANCISCO VIDAL
Tiempo de edición: 45 minutos
Impreso el: 13/11/2007 12:17:00 a.m.
Última impresión completa
Número de páginas: 5
Número de palabras: 740 (aprox.)
Número de caracteres: 4,074 (aprox.)

INTRODUCCIÓN.

ANTECEDENTES.

INTRODUCCIÓN.

ANTECEDENTES

El desarrollo de la tecnología ha sido un elemento clave en el desarrollo de la arquitectura moderna, un aspecto esencial de la interacción entre arquitectura y tecnología es el modo cómo se han ido redefiniendo continuamente una a otra.

Ha ido avanzando a partir de sus primeras preocupaciones por la árida lógica de la producción en masa ligada a un funcionalismo extremo. Lo que empezó como la introducción en la construcción arquitectónica de procesos industriales racionalizados con el fin de crear unos ambientes neutros y flexibles, ha ido evolucionando hasta convertirse en un estilo cada vez más difuso y complejo, actualmente abarca preocupaciones más amplias relacionadas con temas como el entorno, la conciencia social, el uso de la energía, el urbanismo y la conciencia ecológica. Es decir, se ha pasado de glorificar irreflexivamente a la tecnología a explotarla de forma selectiva para conseguir unos fines muy concretos. Para este planteamiento selectivo, resulta de crucial importancia la interacción creativa entre varias de las disciplinas que anteriormente se consideraban independientes como por ejemplo, estructura, servicios mecánicos, materiales, ordenadores y ecología.

Hoy en día casi todos los gobiernos se ocupan de trazar y dirigir las grandes líneas maestras de asuntos tales como el control del desarrollo, el uso razonable de la energía y las cuestiones ambientales en general, a escala personal, la conciencia ambiental individual ha dado lugar

al consumismo verde y a los modos de vida alternativos. Hasta ahora, las presiones políticas, económicas y sociales se han limitado, en general a determinar estrategias para el futuro.

Pese a que la interacción del entorno artificial con el mundo natural se ha convertido ya en una causa de profunda preocupación. Se han producido numerosos avances muy positivos que tal vez resulten menos evidentes en la forma física de la arquitectura que en sus tecnologías subsidiarias; el desarrollo de nuevos materiales y productos, o el uso de materiales tradicionales de formas diferentes. Se han establecido normas de control ecológico de los procesos completos de proyecto y construcción, y se van incrementando y endureciendo los requerimientos sobre el rendimiento energético de los edificios una vez que entran en funcionamiento.

Para su supervivencia, las ciudades dependen de una compleja interacción de sistemas relacionados con el campo y el medio ambiente para vivir, trabajar y divertirse, que cristalizan directamente en formas edificadas. Muchas ciudades modernas están hoy en crisis, debido a los alienantes efectos de la compartimentación en zonas, las deficiencias del transporte público, el desmesurado crecimiento de los suburbios y la contaminación ambiental, que a menudo han sido ignorados por los urbanistas y los ingenieros, en su intento de clasificar las necesidades humanas en burdas normas realizables industrialmente.

La clave del éxito de los proyectos es la biodiversidad, las ciudades más interesantes son aquellas que fomentan la heterogeneidad, la interacción entre funciones, tipologías y actividades rurales y urbanas; solo de esta forma se consigue dar una inyección de vitalidad a la existencia del ciudadano. En la medida en que avanzamos hacia una mejor comprensión de nuestras necesidades básicas, la arquitectura expresa la importancia de una delicada simbiosis entre tradición, ecología y tecnología, entre lo local y lo universal, entre la naturaleza y el edificio.

Arquitectura agrícola.

La importancia de la arquitectura agrícola radica en la recuperación y desarrollo de la planeación física, entendiéndose esta como la relación fundamental entre los actos de producción y reproducción de la vida, de tal forma que fortalezcan los modos de vida rural como palancas de desarrollo sostenido de los asentamientos humanos, y no como fases de transición para otro estado u organización espacial que no considera como estructura básica el modo de vida productivo de una región.

El modo de producción agrícola ha sido la base de la mayoría de los asentamientos que se definen en la actualidad como ciudad, enclaves, que bajo la premisa de desarrollo han desplazado dichos modos de producción generalmente reemplazándolos y monopolizando el espacio urbano con la creación de servicios que caracteriza la vida urbana, de allí el entendimiento de los cordones de pobreza de la ciudad actual, donde los servicios no son capaces de satisfacer la demanda por la vida urbana. Es el contrasentido de la oferta de vida urbana como uno de los motivos que ha estimulado a la población a abandonar sus propios medios de producción.

Esto ha creado un modo de vida dependiente de la estructura física de la ciudad, un hombre dependiente y no auto productor de su habitar. Este crecimiento de los lugares urbanos distanciados de los modos de producción agrícola ha caracterizado la transformación de la sociedad a partir del siglo XVI a la fecha en las ciudades de los países pobres, no tan sólo la agricultura ha sido desplazada y olvidada, por lo que su desarrollo comparativamente con los países mas ricos que tienen una productividad más alta y mayor cantidad de tierras cultivadas esta ampliamente diferenciado. La ciudad se sostiene en una estructura que aglomera grandes cantidades de personas dependientes de

un sistema frágil fundado en un alto porcentaje en la generación de servicios, con altos costos de manutención, mala distribución del suelo y desequilibrado desarrollo de infraestructura, la ciudad actual es una organización física de gran escala, desintegrada.

Definir el paso de un modo tradicional de vida abandonándolo y adquiriendo otro (urbano en este caso), no ha sido un indicador de desarrollo, vemos que el cambio de un estado a otro ha traído más pobreza, debido a una transformación discontinua de los modos de producción y su expresión física hasta constituirse como ciudad.

El fortalecimiento del sector rural, debe darse a través de los modos propios de producción de una localidad, mejorando sus niveles tecnológicos, productividad y búsqueda de mercados, de tal manera el desarrollo continuo de los espacios de producción por un lado puede aliviar la presión a los centros urbanos, y por otro estimular la regeneración y crecimiento de centros urbanos menores o el desarrollo de comunidades híbridas.

En este contexto surge la importancia de la planificación física de estos espacios, por un lado hacer mas eficientes los usos del suelo, crear espacios que distribuyan en forma equilibrada los espacios de residencias con los espacios productivos, fortalecer la organización y la eficiencia en los procesos productivos.

Para realizar formar una idea clara de lo que pretende la arquitectura agrícola, la dividimos en cuatro componentes que son:

- Planeación Física: es la creación de nuevos espacios urbano-rurales, y la reconversión de estructuras existentes. La primera surge como alternativa de planeación física, en el fortalecimiento de las áreas rurales en vez de los esquemas urbanos dominantes, y el segundo para la recuperación socio/espacial de asentamientos tradicionales que han abandonando sus estructuras productivas originales para acercarse al modelo impuesto por la urbanística actual.

- El Espacio Físico como Plataforma de Integración de Desarrollo: donde se da la actividad de producción, sea agrícola o de servicios, los espacios de residencia o recreación, y los espacios de infraestructuras harán posible la creación de unidades indivisibles de desarrollado. Entenderemos esta unidad productiva y reproductiva, de forma integrada, por lo tanto su tamaño tiene relación con la capacidad de sostenerse como sistema, en donde el límite que la configura no es un borde excluido, sino que señala el límite del sistema integrado, de manera que las relaciones establecidas con otras unidades integradas, será una relación de complemento, este criterio permitiría eliminar los espacios periféricos característicos de la ciudad, cinturones de miseria.
- El proceso de la Colonización: Indica la transformación continua de un nivel de producción de subsistencia a un nivel moderno tecnificado y con altos índices de producción donde el objetivo de este será el mercado. Esta referido a las infraestructuras necesarias para que se de el proceso de desarrollo y estas son:
 - Granja familiar: Es definida como la unidad básica espacial y socio-económica, es el punto de partida de la planificación, núcleo familiar productivo.
 - Comunidad: La agrupación de propietarios, es la estructura de interacción social. Le pertenece una estructura organizativa basada en la colaboración. Otro aspecto es la existencia de equipamientos similares a los urbanos, como salud, educación, permitiendo independencia de la agrupación
 - Región: Es la estructura de asentamientos rurales asociados, definida como un espacio de colaboración y una organización que permite la economía de escalas. Permitiendo el acceso a

niveles escalonados de servicios, la contratación de recursos técnicos y financieros, y la diversificación de las actividades económicas, junto a la actividad agrícola.

El fundamento de un proceso de colonización supone estructuralmente el paso de una agricultura de subsistencia a una agricultura moderna, Para ello el proceso de transformación define tres fases continuas:

- Agricultura de Subsistencia: La tierra y el trabajo constituyen los factores claves de la producción, el tamaño de la granja individual esta definido por la máxima estación y el campesino cultiva la cantidad de tierra que su familia es capaz de labrar.
 - Explotación Mixta o Diversificada: Se saca mayor provecho a la tierra ociosa y a la mano de obra familiar y se elimina el desempleo disfrazado, mayor seguridad de ingreso a través de la diversificación.
 - Agricultura especializada: Progreso biológico y agrotécnico, su objetivo es la producción del mercado y la utilización de los recursos no sólo se dirige a la tierra, el agua y mano de obra, sino que al capital de las inversiones, la tecnología y la investigación.
- La infraestructura (Medios): Constituyen las estructuras espaciales y organizativas que permitirán la materialización del proceso de desarrollo. Estas se compone básicamente por las siguientes infraestructuras:
 - Infraestructura Física: Es definido como el espacio arquitectónico urbano rural, cuyos componentes de edificación, equipamientos y de urbanización, surgen como un todo unitario, y para nuestra reflexión, se enfatiza como un instrumento del desarrollo, y es expresión de tal y no otro modo de producción. La transformación o especificidad de la infraestructura física estará definida por las potencialidades que se tienen, cuyo desarrollo y éxito estimulara una diversificación

productiva generando en el suelo, otros medios de producción.

- Infraestructura Humana: La estructura humana de un sistema colaborativo, como otro instrumento de desarrollo, tiene la capacidad de contribuir para mejorar sus propias condiciones sociales y económicas.
- Infraestructura Institucional: debe generar un sistema de organización, sistemas de regulación, de acceso al crédito, una estructura política, administrativa, de extensionistas, de investigación, y marcos cooperativos que permitan el éxito de la agricultura.

Agricultura sustentable.

Entendiendo que la agricultura sostenible es aquella en la que se utilizan prácticas de producción vegetal y animal, razonables y amigables con el ambiente, que satisfagan las necesidades actuales sin comprometer los recursos naturales para las generaciones futuras, se plantea la premisa de que una actividad agrícola exitosa en lo económico, social y ecológicamente racional en el futuro inmediato, será aquella que considere los factores concurrentes que son determinantes del proceso de la producción, transformación y consumo de los productos agrícolas, pecuarios y forestales, bajo el tema central de la sustentabilidad incorporada a la arquitectura.

La energía es un importante factor para el desarrollo y crecimiento económico de un país, ya que provee de fuerza a muchos de los aparatos y máquinas que ayudan al productor a incrementar su capacidad de trabajo. Aunque normalmente la energía que se utiliza proviene del uso de combustibles fósiles, la energía renovable, como la del sol y la del viento, son una fuente limpia, abundante e inagotable de recursos.

Existen hoy tecnologías comerciales que permiten hacer uso de esas fuentes de energía renovable para generar trabajo útil y productivo, y cuando se utilizan apropiadamente constituyen una alternativa viable desde el punto de vista económico. Hay una gran variedad de aplicaciones para el uso doméstico e industrial y, en algunos casos, para el sector agrícola.

Las aplicaciones más comunes de la energía solar y/o la eólica en el sector agropecuario, se enfocan a aplicaciones tales como: bombeo de agua, cercos eléctricos, calentadores de agua solares, refrigeradores y congeladores y secado de productos agrícolas, entre otras.

Es común en las regiones agrícolas de México la falta de infraestructura básica productiva, que aunada al deficiente manejo de los recursos, repercute en una sobre explotación de los pastizales y la invasión de áreas boscosas. La falta de infraestructura básica productiva, así como la presencia de factores climatológicos adversos, estos últimos en forma de sequía y heladas, han ocasionado la degradación de los cultivos, acentuándose sus efectos en regiones que no cuentan con un adecuado manejo de la escasa infraestructura con que cuentan.

Infraestructura (definición de invernadero).

Se definen cultivo forzado o protegido como aquél que durante todo el ciclo productivo o en una parte del mismo se actúa en el acondicionamiento del microclima que rodea a la planta. A pesar de que se hace hincapié en la modificación del ambiente climático, el cultivo forzado también engloba todas aquellas técnicas, fertirrigación, densidad y época de siembra, sanidad vegetal..., que inciden en los objetivos que persigue el cultivo protegido, definidos por el incremento de la producción, la mejora de la calidad y la precocidad de la cosecha. Además de lo anterior, el cultivo forzado se orienta a la producción de plantas de origen climático distinto del ambiente natural donde se desea cultivarlas (ej.: horticultura ornamental). Para realizar lo anterior el invernadero es el instrumento de la producción vegetal capaz de lograr los objetivos anteriores.

Es preciso añadir que el uso de las protecciones o abrigos climáticos y los túneles también alcanzan los objetivos de producción, precocidad y calidad, pero se alejan de las dos características: eficiencia y funcionalidad, que de una forma simultánea han de coincidir para lograr la denominación de invernadero. Asimismo, hay que decir que la posibilidad de climatización artificial y la regulación climática son los dos condicionantes técnicos que hacen posible la existencia de una delimitación o frontera para alcanzar el uso del concepto invernadero en sentido estricto.

El desarrollo en la construcción de invernaderos y la aparición de nuevos diseños coincidió con la difusión y la utilización de los materiales plásticos en los diferentes campos de la agricultura. El uso del polietileno de baja densidad en sus diferentes modalidades y de los materiales plásticos en placas como cobertura en los invernaderos representó un avance en el diseño de nuevos invernaderos con la aparición de las formas curvas y la disminución en el peso de la estructura de sostén con la consiguiente repercusión en el costo del invernadero.

Junto a lo anterior, la climatización del ambiente del invernadero también representó un avance tecnológico, sobre todo en la búsqueda de una disminución de los gradientes técnicos, tanto en el plano vertical como horizontal, incidiendo por lo tanto en una distribución más racional del calor mediante la adecuada disposición de las tuberías de calefacción por agua caliente (suelo + ambiente) o en la canalización del aire caliente producido por los generadores con una manga de plástico perforada. Estas tecnologías encontraron un serio obstáculo para su desarrollo en los años 70 con el inicio de la crisis energética. A partir de este momento los países con gran tradición hortícola bajo invernadero y consumidores de energía, como por ejemplo Holanda, Alemania, Dinamarca,

etc., incrementaron sus investigaciones, teniendo como objetivo el ahorro de combustible. Hoy en día no se comprende la construcción de un invernadero con calefacción, o la mejora térmica de uno existente, que no incluya alguna de las técnicas de ahorro energético.

Siempre se ha hecho mención a la climatización del invernadero en el período invernal. Sin embargo, en algunas zonas, durante el verano e incluso en el invierno, la disminución de la temperatura alcanzada bajo invernadero por debajo de la máxima biológica no se logra en la mayoría de las ocasiones mediante la ventilación normal, teniendo que recurrir al empleo de sistemas de sombreado, de refrigeración o de evaporización de agua. Se puede decir que la aplicación y la eficiencia de la tecnología para la ambientación estival es más compleja y no siempre con resultados óptimos en relación a las técnicas empleadas en la calefacción de los invernaderos. Como puede observarse, las técnicas empleadas en el cultivo forzado, a diferencia de las utilizadas en otras áreas de la agricultura, son complejas y requiere que el empresario agrícola tenga unos conocimientos básicos, así como un continuo reciclaje y puesta al día en nuevas tecnologías (ej.: fertilización carbónica, gestión climática del invernadero, etc.), ya que sin lo anterior difícilmente podrá producir calidad, obtener altos rendimientos e incidir en el mercado en épocas favorables y, en ser competitivo.

El Nopal En Milpa Alta.

El nopal ofrece cualidades muy especiales, mismas que han cobrado interés entre productores y consumidores. Una de ellas es su adaptación a climas extremos y a tierras donde otros cultivos no podrían sobrevivir. Estas características deben ser divulgadas para lograr una extensa penetración comercial en mercados nacionales y extranjeros para que este producto alcance una mayor rentabilidad para los productores. Es necesario dar a conocer las peculiaridades de los productos mexicanos agrícolas al mundo, demostrar que son diferentes y están a la altura de lo que el mercado está exigiendo, ya que el campo es la principal fuente de riqueza de un país.

Este trabajo pretende mostrar un panorama de la situación actual del nopal verdura y su entorno comercial en nuestro país, destacando la importancia de la región productora de Milpa Alta en el D.F. y como solucionar la problemática de los efectos del clima y las plagas por medio de una protección (cubierta), lo que propiciará una mejor comercialización e industrialización del nopal.

La zona productora de nopal en Milpa Alta, ubicada en el área agrícola al sureste del Distrito Federal, es la más antigua al haberse iniciado en los años cincuenta. Este centro productor está a una altitud promedio de 2,534 msm., y es el lugar de mayor producción de nuestro país. La economía de la región depende, en gran medida, de la explotación de este cultivo, por ocupar el lugar número uno y siendo a la vez, el de mayor rentabilidad. Sus suelos en su mayoría de ladera, son de origen ígneo en partes con afloramiento de rocas.

Mantiene un clima templado húmedo, una precipitación pluvial anual de 835 a 1200 mm distribuida en los meses de abril a septiembre, una temperatura media anual entre los 13.7 y 16.3 °C, y que presenta temperaturas bajas de 10 a 3 °C en los meses invernales de noviembre a abril.



*Nopalera.
Foto Francisco Vidal Mendoza*

El cultivo se encuentra establecido en comunidades del área de influencia de la Delegación y son las más representativas, Villa Milpa Alta con una superficie de 2,589 hectáreas, San Lorenzo Tlacoyucan, con 754 has., Santa Ana Tlacotenco, San Jerónimo Miacatlán y San Agustín Ohtenco con 298, 132 y 100 hectáreas, San Juan Tepenahuac 96, San Francisco Tecoxpa 98, San Antonio Tecómitl, San Pedro Atocpan y San Pablo Oztotepec con 34,30 y 28 hectáreas establecidas.

En esta zona se utiliza muy poca maquinaria para el manejo del suelo, salvo la preparación. Se aplica fertilizante químico y grandes volúmenes de estiércol con rangos de 150 a 200 toneladas cada 2 años. Se procura mantener un uso adecuado de pesticidas en estas plantaciones de temporal y se realizan cortes cada semana, durante todo el año.

El nopal se cosecha con cuchillo o jalado de mano, mismo que se deja enfriar a la sombra antes de empacarlo. La producción disminuye en los meses fríos, y se pueden establecer cuatro temporadas de muy buena a mala, por los volúmenes comercializados. Una desventaja que se ha tratado de combatir es la falta de organización de los productores, que no cuentan con asociaciones fuertes y representativas que les permita ejercer mayor incidencia en la comercialización y el precio final del producto.

JUSTIFICACIÓN.

Los cultivos en nuestro país tienen un potencial enorme de crecimiento. Ante las bondades que ofrecen estos productos, es necesario un incremento de explotación para su consumo en un mayor número de mercados. Si bien existen problemas de falta de apoyo a los cultivos, así como de créditos para desarrollar e implementar las tecnologías modernas de explotación, el nicho que ofrece la temporalidad de los productos puede ser atractivo para su explotación.

Los costos de producción como en muchos otros productos, se han incrementado. Sin embargo, a pesar de que la rentabilidad ha bajado, existe la factibilidad para lograr incrementos en los rendimientos de las plantaciones existentes, y más aún en las nuevas.

Es necesario impulsar la investigación para el mejoramiento del cultivo; coordinar e instrumentar una asistencia técnica que permita el incremento de rendimientos y combate de plagas y enfermedades de una manera ecológica, disminuyendo o aún eliminando el uso de plaguicidas que acoten su mercado, impulsando la producción (de nopal orgánico). Implementar y mejorar los sistemas de explotación en invernaderos con cubiertas tecnológicas sustentables que permitan sacar al mercado mayores volúmenes, en épocas invernales.

El potencial del mercado externo del nopal es muy grande, se debe fomentar el consumo de nopal, y hacerlo a la vez extensivo a otro tipo de poblaciones residentes en otros países aprovechando las ventajas que ofrecen los tratados comerciales.



*Invernaderos del Instituto de Botánica de la
Universidad de Graz, Austria
arquitecto : Volker Giencke*

OBJETIVOS.

Por medio de este estudio se darán las bases y fundamentos para el desarrollo de la **Arquitectura Agrícola Sustentable**, que se vera reflejada en una cubierta que no permita a los cultivos (nopal) la disminución de su productividad en los meses fríos y calurosos del año, un mejor control de plagas, y un clima interno idóneo lo que provocará un desarrollo pleno de los cultivos (nopal). El objetivo principal es demostrar en forma concreta, que la utilización de recursos naturales de manera renovable, sustentable, ecológica y económicamente, es viable, sin degradar el medio ambiente.

Introducimos al tema de ahorro y uso eficiente de energéticos utilizados para lograr el confort térmico y de iluminación óptima en el sector agrícola, por medio de una evaluación de propiedades de los materiales de construcción, con el objetivo de poder visualizar la aplicación de dichas propiedades dentro del cálculo de balance térmico. Con esto se quiere decir que si se conoce realmente el comportamiento del material ante determinados factores climáticos, se puede entonces prever cual seria el material más conveniente según el tipo de cultivo.

Poder presentar datos avalados por laboratorios que indique de manera certera las propiedades técnicas y óptimas de algunos materiales de construcción de una región determinada, los cuales se producen de manera semi-industrial en algunos casos y de los cuales no se conocen dichos valores y sin embargo su comercialización es alta.

Conocer aspectos de la normatividad y a los organismos que la rigen en México y en otros lugares del mundo para poder analizar los sistemas y la metodología que se presenta. Así como también la normatividad y control que se tiene de los materiales de construcción que se han propuesto.

Exponer la manera de realizarse los invernaderos con relación a dichos materiales y poder logra transmitir el interés a otros con el objetivo de que se continúen, a fin de poder llegar ha tener un catalogo por regiones del país. En él cual se muestren los materiales óptimos para los cultivos producidos y de mayor demanda con todas y cada una de sus características y propiedades.

Esto permitirá:

- La incorporación de un concepto reciente que es la **Arquitectura Agrícola Sustentable**, en el ámbito arquitectónico, para que se tomado en cuenta en el desarrollo de las áreas rurales y urbanas.
- La propagación de la **agricultura sostenible** (es aquella en la que se utilizan prácticas de producción vegetal y animal, razonable y amigable con el ambiente, que satisfagan las necesidades actuales sin comprometer los recursos naturales para las generaciones futuras).
- La integración de los campesinos con la arquitectura.
- Espacios auto-sustentables para la agricultura capaces de proporcionar a los campesinos una mejor utilidad de sus cosechas y de su forma de vida.
- Tener como clave del éxito de este proyecto: la biodiversidad, ya que las poblaciones más interesantes son aquellas que fomentan la heterogeneidad, la interacción entre funciones, tipologías y actividades rurales y urbanas.
- Ampliar la demanda nacional, internacional e incrementar el margen promedio de beneficios al cultivo.
- Una mayor difusión del consumo del cultivo (nopal).
- Un desarrollo tecnológico-sustentable y confiable en el aprovechamiento de las energías alternas para la generación del microclima, con una rentabilidad adecuada que permita su uso para esta actividad.

- Una cubierta híbrida con mayor resistencia, bajo costo y facilidad de diseño para su venta.
- Mejorar los procesos y la calidad del producto final, de una manera constante.
- Promover las opciones técnico-científicas para la identificación, estudio y aplicación de estas cubiertas para su uso en todos los cultivos.
- El desarrollo de empresas comercializadoras.
- Ofrecer los servicios para el diseño y la construcción de dichas cubiertas.
- Difundir el uso de las cubiertas para los cultivos a nivel nacional e internacional.
- Promover la investigación de nuevos materiales.

HIPOTESIS.

Utilizando todos los recursos disponibles en el mercado tecnológico y ecológico, se realizará una envolvente que cubra los cultivos (nopal), de tal manera que los proteja de las heladas, el granizo, la lluvia y el frío, creando el clima ideal para las plantas, (humedad, temperatura y radiación solar), con lo que se incrementará el desarrollo de los cultivos comercial e industrialmente, lo que traerá una mejor rentabilidad a los productores, la intensificación y modernidad de la agricultura. Derivando en la **arquitectura agrícola sustentable**, que es aquella que permitirá un desarrollo pleno en las actividades agrícolas sin comprometer los recursos naturales para las generaciones futuras.

ALCANCES.

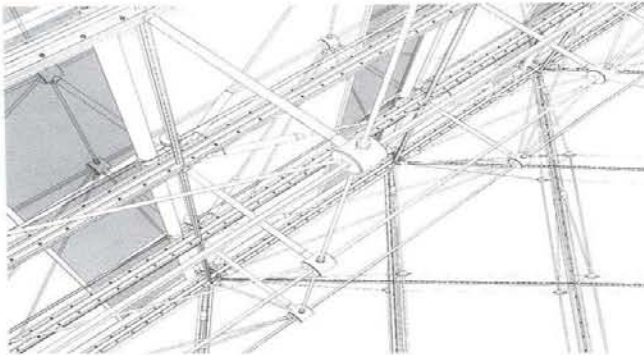
Como el caso de estudio es la envolvente para cultivos se tendrán que estudiar:

- Características generales de los cultivos.
- Organización de los cultivos.
- Procesos productivos

- Origen de las fuerzas naturales.
- Energías alternas.
- Estructuras sustentables.
- Cubiertas naturales y artificiales.
- Mano de obra
- Arquitectura atómica.
- Nano-tecnología.
- Arquitectura plástica.
- La interacción entre estructura, material y clima.
- Dinámica rural.
- Aprovechamiento máximo de energía en edificios.

3 Innovaciones como objetivo:

1. ESTRUCTURA TENSE-GRITY, VIGA-CABLE.



*Esquema estructura Tense-Grity
Francisco Vidal Mendoza*

Esta cubierta permite la incorporación de varios materiales de diferentes características en combinación como son:

- Policarbonato ondulado y doble o triple capa.
- Pantallas térmicas aluminizadas.
- Film de polietileno de 200 micrones.

Los avances en los programas de diseño asistido por ordenador (CAD) y en los ordenadores, cada día más rápidos y potentes, han permitido a los ingenieros y arquitectos la creación de estructuras de una complejidad sin precedentes. Hoy en día, es bastante frecuente utilizar sofisticados modelos computarizados para analizar el comportamiento estructural de un edificio. El aumento de la capacidad de investigar y valorar una más amplia gama de formas, ha conducido a enormes avances.

Ventajas:

- Adaptabilidad a todo tipo de terreno.
- Flexibilidad de tamaño (no hay límites).
- Alta resistencia a vientos.
- Alta transmisión de la luz solar.
- Apto tanto para materiales de cobertura flexibles como rígidos.
- Construcción de mediana a baja complejidad.
- Utilización de materiales con bajo costo, (según la zona).
- Permite una excelente ventilación.
- Buen volumen interior de aire (alta inercia térmica).
- Espacio interior totalmente libre (facilidad de desplazamiento, labores mecanizadas).
- Alto grado de control de las condiciones ambientales.
- Permite el libre paso de instalaciones.
- Flexibilidad total en el diseño.

2. CUBIERTA HIBRIDA.

Esta cubierta permite la incorporación de varios materiales de diferentes características en combinación como son:

- Policarbonato ondulado y doble o triple capa.
- Pantallas térmicas aluminizadas.
- Film de polietileno de 200 micrones.



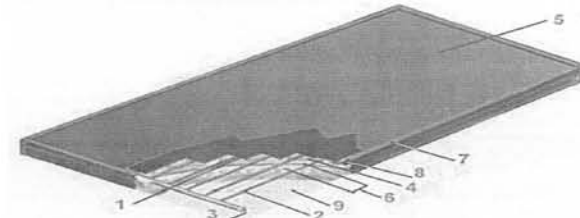
*Cubierta de Policarbonato
Sobre estructura viga cable
Foto desconocido*

Los cerramientos herméticos de estas estructuras hacen tener una mayor eficacia en el control de todos los parámetros, aprovechamiento y ahorro de energía.

Ventajas:

- Adaptabilidad a todo tipo de terreno.
- Flexibilidad de tamaño (no hay límites).
- Alta resistencia a vientos.
- Alta transmisión de la luz solar.
- Construcción de mediana a baja complejidad.
- Utilización de materiales con mediano costo, (según la zona).
- Permite la retención del calor por la radiación durante el día.
- Sombra hasta de un 55% para disminuir la radiación solar cuando es excesiva.
- Disminución de la temperatura hasta de 3° a 4° c.
- Buen volumen intermedio de aire (alta inercia térmica).
- Alto grado de control de las condiciones ambientales.
- Permite el libre paso de instalaciones.
- Flexibilidad total en el diseño.

3. INSTALACIONES BIOCLIMÁTICAS (sistemas híbridos).



1. **ABSORBEDOR.**
2. **RED DE TUBOS.**
3. **CONEXIONADO DE TUBOS.**
4. **MARCO DE ACERO INOXIDABLE.**
5. **VIDRIO SOLAR ANTIRREFLEJANTE.**
6. **ENCAPSULADO.**
7. **JUNTAS DE EXPANSION.**
8. **PVC.**
9. **AISLAMIENTO.**

*Calentador solar.
Esquema Francisco Vidal Mendoza*

El medio natural es una elocuente demostración de los principios universales, reflejado en los ecosistemas y su relación con la biosfera. Procesos naturales como la evaporación, ósmosis, capilaridad, fermentación, oxidación, fotosíntesis y la ley del menor esfuerzo, entre otros, son la inspiración para la creación de sistemas bioclimáticos análogos en el funcionamiento de las edificaciones.

Ventajas:

- Adaptabilidad a todo tipo de terreno.
- Flexibilidad de tamaño (no hay límites).
- Utilización de energías renovables
- Alta transmisión de la luz solar.
- Construcción de mediana complejidad.
- Utilización de materiales con mediano costo, Alto grado de control de las condiciones ambientales.
- Flexibilidad total en el diseño.
- Producción de una buena cantidad de energía a partir de una cantidad mínima.
- Evita cambios permanentes en la comunidad biótica.
- Evita las alteraciones físicas extremas del ecosistema con efectos irreversibles.

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN Y A QUIEN VA DIRIJIDO.

Es conveniente mencionar que para la realización de este trabajo se han encontrado ciertas dificultades de las cuales, las más representativas son:

- Apoyarse en fuentes secundarias, por falta de tiempo.
- Traslado a las diversas exposiciones y áreas de interés.
- Negativa a entrevistas con productores e investigadores.
- Acceso a aparatos de medición estructural.
- Acceso a centros de investigación.
- Acceso a materiales innovadores.

Este procedimiento se realizará utilizando como base de los siguientes métodos:

El método sociológico es la aplicación de conceptos y técnicas de investigación para reunir datos y su tratamiento para sacar conclusiones sobre hechos sociales. Su validación última esta dentro de la filosofía de la ciencia y de la filosofía del conocimiento y es sobre la cuestión: racionalismo o empirismo. Su finalidad estriba en descubrir o aclarar un fenómeno social que insita a la investigación para fines siempre sociales o científicos.

El método etnográfico, es un camino a seguir en las investigaciones sociales y culturales, cuyo objetivo de estudio son las comunidades y grupos humanos, logra reconstruir procesos y relaciones sociales que no se captan a primera vista, busca información detallada de los diferentes aspectos de la vida de un grupo humano, selecciona y ordena lo observable a partir de una conceptualización propia del objeto estudiado y permite acercarse a las comunidades para conocer su historia,

tradiciones, mitos, cosmovisión, comportamiento, etc. Sus pasos son: Problemas preeliminares, Desarrollo del problema de investigación, Seleccionar lugares y casos de investigación, Trabajo de campo, Documentos, Registrar y organizar la información, El proceso de análisis, La escritura etnográfica y la ética.

El método Prospectivo. Que se anticipa a la configuración de un futuro deseable, valiéndose del conocimiento de los proyectos. Sus pasos son: actitud, reflexión y programación prospectiva.

El Plan Nacional de Desarrollo tiene como uno de sus principales objetivos, alcanzar una producción agrícola tal, que nos permita en primer lugar ser autosuficientes en cuanto al logro y suministro de alimentos para la población y, en segundo lugar, poder elevar la calidad nutritiva de los mismos, hasta los niveles necesarios para el desarrollo sano y óptimo del ser humano. Este objetivo se logrará en la medida que se coordinen los esfuerzos de todas las instituciones, grupos e individuos que directa o Indirectamente puedan contribuir a ello.

Transformar la explotación extensiva e intensiva, teniendo en cuenta las diversas alternativas y las posibilidades reales de producción de cada lugar, constituye el único camino para conciliar los intereses humanos con los de la naturaleza, y conservar los recursos naturales al mismo tiempo que se explotan racionalmente. Esta tarea es un reto enorme que debe enfrentarse sabiamente, ya que la supervivencia actual y la de las futuras generaciones dependen de que esto se logre íntegramente.

El presente trabajo tiene como objeto plantear una de las alternativas agrícolas para alcanzar las metas de producción de alimentos: el uso de Invernaderos que contribuyan al aumento de la productividad agrícola; al mejoramiento de la alimentación de nuestro pueblo; a la creación de empleos; al arraigo de la gente a su tierra; a la elevación de los niveles de vida y al logro de una autonomía económica y social que permita acelerar nuestro desarrollo y nuestro progreso.

Nombre de archivo: A3
Directorio: C:\Users\PACO\Desktop\FRANCISCO\POSGRADO\TESIS
-BIBLIOTECA\DOC
Plantilla: Normal.dotm
Título: CENTRO DE ACOPIO DISTRIBUCION Y
PROCESAMIENTO DE NOPAL EN MILPA ALTA D
Asunto:
Autor: FRANCISCO VIDAL MENDOZA
Palabras clave:
Comentarios:
Fecha de creación: 23/10/2007 06:08:00 p.m.
Cambio número: 16
Guardado el: 24/10/2007 07:58:00 a.m.
Guardado por: FRANCISCO VIDAL
Tiempo de edición: 95 minutos
Impreso el: 13/11/2007 12:18:00 a.m.
Última impresión completa
Número de páginas: 12
Número de palabras: 5,350 (aprox.)
Número de caracteres: 29,425 (aprox.)

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN A LA CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO DE INVERNADEROS.

CAPÍTULO 1.

1. INTRODUCCIÓN A LA CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO DE INVERNADEROS

1.1. GENERALIDADES.

1.1.1. (La evolución de los invernaderos).

A principios de los 70 surgió la rápida expansión de los invernaderos, que fue facilitada por el abaratamiento de los costos tanto de estructuras como de materiales. Estos invernaderos presentaban algunos problemas en su fabricación como puede ser la falta de uniformidad en el espesor de la película, poca resistencia mecánica al viento, rápida degradación, y escasa protección térmica con las bajas temperaturas.

Anteriormente, los invernaderos estaban formados por una estructura de madera o metálica convenientemente ancladas al terreno mediante alambres tensados; la sujeción de la lámina de plástico tenía lugar entre dos mallas de acero galvanizado que constituía la cubierta del invernadero. Estas estructuras poseían o poseen una escasa altura, entre 1,80 y 2,25 m por término medio y una baja relación entre superficie de ventana, superficie cultivada y un manejo tedioso carente de automatismos de apertura y cierre. La reducida ventilación se ve limitada por la vegetación de los cultivos encerrados, que dificultan la renovación del aire en el interior.

La ventaja del bajo costo de estos invernaderos acarrea el inconveniente de que estos sistemas sencillos no disponen de medios para controlar el microclima y esto implica que el cultivo se desarrolle a merced de las condiciones impuestas por la meteorología exterior.

El clima generado bajo estas estructuras tradicionales está lejos del óptimo biológico de las especies que se cultivan en su interior durante la mayor parte de los ciclos productivos, como pueden ser temperaturas nocturnas exteriores demasiado bajas, radiaciones solares en épocas estivales demasiado altas con aumentos de la temperatura interior elevadas, excesiva humedad relativa pudiendo favorecer el desarrollo de enfermedades cliptogámicas y desórdenes fisiológicos, etc.

Todos estos problemas constituían un freno al desarrollo de los cultivos bajo invernadero plástico, pues a pesar de conseguirse mejoras en precocidad, calidad y cosecha total comparados con el cultivo al aire libre, no podían dar todo su potencial productivo, especialmente en épocas frías por la indefensión contra bajas temperaturas.

Por otra parte, en algunos lugares se generalizó el empleo del vidrio, y su adaptación como material de cerramiento en invernaderos permitió su construcción a mayor escala, sobre todo por parte de viveristas y cultivadores de planta ornamental. Sin embargo el coste de estos invernaderos y las diferencias agro-climáticas con el clima mediterráneo no hicieron posible su evolución en esta zona.

El cultivo de hortaliza comestible, fundamentalmente tomate, comenzó en la década de los 50. Este se realizaba al aire libre, sobre suelo enarenado, protegido del viento mediante setos de caña. Las fechas de plantación se adaptaban pensando en la producción invernal, debido a los altos precios de dichos productos en esa época.

Con la implantación de los invernaderos se ampliaba el abanico de las especies cultivadas, algunas únicamente dedicadas a la exportación, así como el ciclo de cultivo. El sector está manifestando mayor inquietud y se interesa más por aquellas técnicas e instalaciones que le permiten mejorar el control sobre su producción. Los sistemas hortícolas como

cualquier otro sistema «tienden a funcionar a la velocidad del factor limitante»; esto significa que aunque parece muy factible mejorar la productividad de un sistema cuando el rendimiento es bajo, cabe esperar un efecto sinérgico cuando todos los factores que inciden sobre el sistema se mantienen dentro de unos rangos adecuados.

1.1.2. Principales características de los invernaderos más utilizados.

La eficiencia y la funcionalidad son las dos características principales que deben tener los invernaderos. Por eficiencia se entiende la idoneidad para condicionar alguno, de los principales elementos del clima, no de una manera estática o incontrolable, sino entre límites bien determinados de acuerdo con las exigencias fisiológicas del cultivo. La funcionalidad es el conjunto de requisitos que permiten la mejor utilización del invernadero, tanto desde el punto de vista técnico como económico. Estas dos características requeridas por los invernaderos deberán estar convenientemente armonizadas en orden a definir al invernadero como el sistema productivo capaz de obtener cosechas fuera de la época normal en la que aparecen en el mercado, un mejor control fitosanitario, y por lo tanto una mejor cosecha. Para lograr esta finalidad en los invernaderos es preciso, en primer lugar, realizar un análisis de los recursos naturales y humanos disponibles en la zona donde se pretenda construir el invernadero. En segundo lugar, se deberá abordar un estudio riguroso sobre las posibilidades del mercado y de la comercialización de los productos agrícolas obtenidos a través de la explotación del invernadero.

La interacción entre la eficiencia y la funcionalidad del invernadero deberá contemplarse en cualquier proyecto de invernadero una vez que se establezcan principalmente los criterios técnicos que se pueden definir por:

a) Inventario de los factores técnicos. Entre éstos se pueden distinguir:

1. Factores del medio que rigen la actividad de la planta: luz, temperatura, humedad, ambiente y edáfica, anhídrido carbónico, etc.

2. Factores que inciden más directamente en los trabajos culturales y en las operaciones vinculadas al acondicionamiento del invernadero. En este sentido será necesario construir los invernaderos con unas dimensiones adecuadas para permitir la mecanización y lograr un buen rendimiento del trabajo humano (funcionalidad).

b) Relaciones entre los factores de producción y las características de los invernaderos.

En líneas generales, será necesario considerar las relaciones existentes entre las características constructivas del invernadero proyectado y los elementos del clima. Así, por ejemplo, se analizará la relación entre la luminosidad en el interior del invernadero y la forma, orientación y ubicación del mismo; entre la temperatura y los sistemas de climatización o acondicionamiento interno del invernadero (técnicas de ahorro energético, ventilación natural o forzada; calefacción ambiente o suelo, gradientes verticales y horizontales de temperatura, etc.); entre el contenido de anhídrido carbónico y la estanqueidad o hermeticidad del invernadero; entre la humedad relativa y la ausencia o presencia de condensación, etc. Es decir, se considerará todo aquello que nos permita diseñar el invernadero en función de las necesidades fisiológicas de la planta.

Según todo lo anterior, se puede precisar que la elección de un tipo de invernadero está en función de una serie de aspectos técnicos tales como las exigencias bioclimáticas de la especie en cultivo, las características climáticas de la zona o área geográfica donde vaya a construirse el invernadero, las disponibilidades de mano de obra (factor humano) y los imprevistos económicos locales (mercado y comercialización). En definitiva, si se desea realizar un estudio sobre la elección o conveniencia de un determinado tipo de invernadero en una

zona preestablecida, se deberán abordar los siguientes puntos:

1. Análisis de las plantas susceptibles de ser cultivadas (esto implica la rusticidad o sofisticación del invernadero). Según el régimen térmico a mantener en el interior del invernadero, éste puede clasificarse en:

- a) Invernadero frío.
- b) Invernadero templado.
- c) Invernadero caliente.

2. Estudio comparativo del clima espontáneo creado por el invernadero que se desea construir y el descrito como ideal para la especie que se quiere cultivar. En este caso, el material de cobertura y la forma del invernadero son los dos principales aspectos constructivos que se deben considerar en el modelo de invernadero diseñado. En relación al material de cobertura se pueden distinguir:

- a) Invernadero con vidrio
- b) Invernadero con materiales plásticos.
 - b.1) En placas: poliéster, policarbonato, polimetacrilato, etc.
 - b.2) En películas o films: polietileno (PE), cloruro de polivinilo (PVC), etileno vinilo de acetato (EVA).

En relación a la forma se pueden considerar los siguientes:

- Invernadero Túnel

Es difícil establecer una línea divisoria entre lo que es un invernadero y un macrotúnel, por no existir un parámetro definido. No obstante, se ha optado como medida de clasificación el volumen de aire encerrado por cada metro cuadrado de suelo. En general, de acuerdo a diferentes opiniones al respecto, podemos definir como invernadero aquella estructura que supera los 2.75-3 m³/m².

Se trata de invernaderos que tienen una altura y anchura variables.

Importados con las siguientes dimensiones.

Ventajas

-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.

Desventajas

- 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 Túnel
Foto: Néstor Zamudio*

- Invernadero Capilla

Se trata de una de las estructuras más antiguas, empleadas en el forzado de cultivos, muy usados en nuestro país, fundamentalmente en la zona de La Plata. La pendiente del techo (cambio) es variable según la radiación y pluviometría (variando normalmente entre 15 y 35°). Las dimensiones del

ancho varían entre 6 y 12m (incluso mayores), por largo variable. Las alturas de los laterales varían entre 2,0-2,5m y la de cumbre 3,0-3,5m (también se construyen más bajos que los señalados pero no son recomendables).

La ventilación de estos invernaderos en unidades sueltas no ofrece dificultades, tornándose más dificultosa cuando varios de estos invernaderos se agrupan formando baterías.

Ventajas

- 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.

Desventajas

- 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 transmisión (mayor sombreo)
- Elementos de soportes internos que dificultan los desplazamientos y el emplazamiento de cultivo.

- Invernaderos en dientes 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.



*Invernadero Dientes de sierra
Foto: Néstor Zamudio*

Ventajas

- Construcción de mediana complejidad.
- Excelente ventilación (lo que no plantea las limitantes del tipo capilla, en cuanto a la conformación de baterías)
- Empleo de materiales de bajo costo (según zonas).

Desventajas

- 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.

- Invernaderos tipo capilla modificado (Chileno)

Se trata de una variante de los tipo capilla (muy utilizados en la V región de Chile y promovidos por el programa Hortalizas del INIA), en nuestro país son muy utilizados en la provincia de Corrientes.

La modificación respecto a la capilla, consiste en el ensamble a diferentes alturas de cada cambio, lo que permite generar un espacio para una ventana cenital (Lucerna). Las dimensiones más comunes de estos invernaderos son:

*Ancho de cada módulo: 6,0 m

*Altura lateral: 2,4 m

*Altura cenital: 3,6 m

*Abertura cenital: 0,3-0,5 m

Los postes se plantan cada 2,0 m, tanto en el lateral como en la parte central, utilizándose postes sulfatados o bien, impregnados con brea al menos en los 0,40-0,60 m que van enterrados.



*Invernadero tipo chileno
Foto: Néstor Zamudio*

Ventajas

-Construcción de mediana complejidad.
-Excelente ventilación (al igual que el diente de sierra), siendo muy adecuados para la conformación de baterías.

-Empleo de materiales de bajo costo.

Desventajas

-Sombreo mayor que capilla (debido a mayor número de elementos estructurales de sostén), pero menor que diente de sierra.

-A igual altura cenital, tiene menor volumen encerrado que los invernaderos curvos.

-Elementos de soportes internos que dificultan los desplazamientos y el emplazamiento de cultivos.

• Invernaderos con techumbre curva

Este tipo de invernaderos tienen su origen en los invernaderos-túneles. Por lo común son de tipo metálicos (caños de 2" a 2,5" de diámetro o bien perfiles triangulares con hierro redondo trefilado de 8-10 mm de diámetro), también hay con techumbres metálicas y postes de madera.

Dentro de este tipo de invernaderos, pueden encontrarse diferentes alternativas según la forma que adopta el techo (i - e -circulares - semielípticos - medio punto - ojivales etc.).



*Invernadero curvo
Foto: Néstor Zamudio*

Las dimensiones más comunes de estos invernaderos van de 6,0-8,0 m de ancho por largo variable. En la zona del cinturón hortícola de la ciudad de Santa Fe, existe una alternativa de muy bajo costo (más próxima al tipo semielíptico) construida con postes de madera y techumbre de madera arqueada o caña.

Se trata de estructuras endebles y de baja altura, tornándose muy importante como limitante para el clima de la zona.

Ventajas

-Junto con los invernaderos tipo túnel, es el de más alta

transmisión a la luz solar.

- Buen volumen interior de aire (alta inercia térmica).
- Buena resistencia frente a los vientos.
- Espacio interior totalmente libre (facilidad de desplazamiento, laboreo mecanizado, conducción de cultivos, etc.).
- Construcción de mediana a baja complejidad (debido a la disponibilidad de los elementos prefabricados).

Desventajas

- Tienen la misma limitante que el tipo capilla, cuando deben acoplarse en batería (de no poseer algún sistema de ventilación cenital).
- La limitante ya señalada, plantea la necesidad de no superar los 25-30 m (de invernaderos acoplados), debido a las dificultades para ventilación.

- Invernadero tipo parral (almeriense)

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.

En nuestro país, este tipo de invernadero tuvo su mayor difusión en las provincias del NOA (particularmente Salta). Actualmente existe una versión moderna a los originales, que se construyen con caños galvanizados como sostenes interiores, permaneciendo el uso de postes para los laterales de tensión o aún, siendo reemplazados también éstos por muertos enterrados, para sujeción de los vientos, constituidos por doble alambre del 8.

Estos invernaderos suelen tener una altura en la cumbre de 3,0-3,5 m, la anchura variable, pudiendo oscilar en 20 m o más, por largo variable.

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.



*Invernadero Parral
Foto: Néstor Zamudio*

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.

- Invernadero tipo venlo (Holandés)

Son invernaderos de vidrio, los paneles descansan sobre los canales de recogida del agua pluvial. La anchura de cada módulo es de 3,2 m y la separación entre postes en el sentido longitudinal es de 3 m.



Invernadero Venlo
Foto: Néstor Zamudio

Estos invernaderos carecen de ventanas laterales (puede ser debido a que en Holanda no existen demasiadas exigencias en cuanto a ventilación). En vez, tiene ventanas cenitales, alternadas en su apertura (una hacia un lado y la siguiente hacia el otro) cuyas dimensiones son de 1,5 m de largo por 0,8 m de ancho.

Ventajas

- El mejor comportamiento térmico (debido al tipo de material utilizado: vidrio y materiales rígidos)
- Alto grado de control de las condiciones ambientales.

Desventajas

- Alto costo.
- La transmisión se ve afectada, no por el 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. d)

- Invernaderos especiales: inflables, torre, etc.

Para completar el tipo de invernadero habría que considerar la estructura soporte. En este sentido se pueden distinguir:

- a) Invernadero con estructura de madera.
- b) Invernadero con estructura de acero.
- e) Invernadero con estructura de concreto.
- d) Invernadero con estructura de aluminio.
- e) Invernadero mixto.

Análisis de las mejoras técnicas a introducir en el microclima creado por el invernadero, con el fin de lograr en su interior un ambiente adecuado para el hábitat de la planta. En este apartado se haría referencia al tipo de calefacción y al modo de distribución del calor, así como a cualquier tipo de tecnología que modificase el ambiente natural del invernadero, tales como el apoyo lumínico con fines fotoperiódicos o fotosintéticos, inyección de anhídrido carbónico, gestión climática (informática), etc.



Invernadero capilla
Foto: Néstor Zamudio

1.2. BASES PARA EL DISEÑO DE LOS INVERNADEROS.

Condicionantes internos y externos.

El diseño y la posterior construcción del invernadero proyectado deberán dirigirse para conseguir los objetivos del cultivo bajo invernadero, definidos por la precocidad de la cosecha, el aumento de la producción y por último la calidad del producto final capaz de competir no sólo en el mercado interior, sino en el extranjero. Para conseguir lo anterior, en el proyecto del invernadero se considerarán los condicionantes internos y externos del mismo. En primer lugar, se delimitarán las características externas al proyecto, las cuales están estrechamente ligadas a las condiciones climáticas de la zona donde se desea construir el invernadero, a las características químicas, físicas y físico-químicas del suelo, al abastecimiento y calidad del agua con fines de riego y a otras utilidades como el suministro de energía eléctrica, red viaria y comunicaciones, etc.

En relación a la ubicación del invernadero, es preciso señalar que no siempre se tienden a valorar los microclimas más favorables ni tampoco se tiene en cuenta la importancia que reviste la elección del tipo de terreno (es el caso del cultivo de plantas en maceta o contenedor). Respecto a lo que se refiere al ambiente climático es necesario considerar los diferentes componentes que lo caracterizan, entre los que se pueden destacar: la evolución de la temperatura y humedad relativa en sus valores medios, diarios, extremos y estacional, el período libre de heladas, la insolación real y la potencial, la intensidad de la radiación solar, la duración del día.

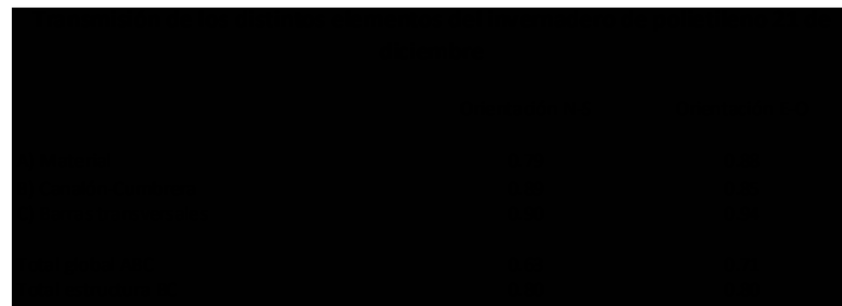
Por último, no se debe olvidar la importancia que tiene el régimen de vientos de la zona, tanto por la acción mecánica (daños sobre la estructura y cubierta del invernadero) como por su influencia en el incremento de las pérdidas de calor en el invernadero. En definitiva, se comprende que la zona donde

vaya a construirse el invernadero se encuentre protegida de los vientos dominantes (en caso contrario se deberán, utilizar cortavientos).

Es importante mejorar la captación de la energía solar. Los ensayos llevados a cabo recientemente demuestran de una manera inequívoca que la luz no es excedentaria en nuestras latitudes, pues los resultados de algunos autores demuestran que conforme aumenta la radiación solar crece la producción total y la calidad.

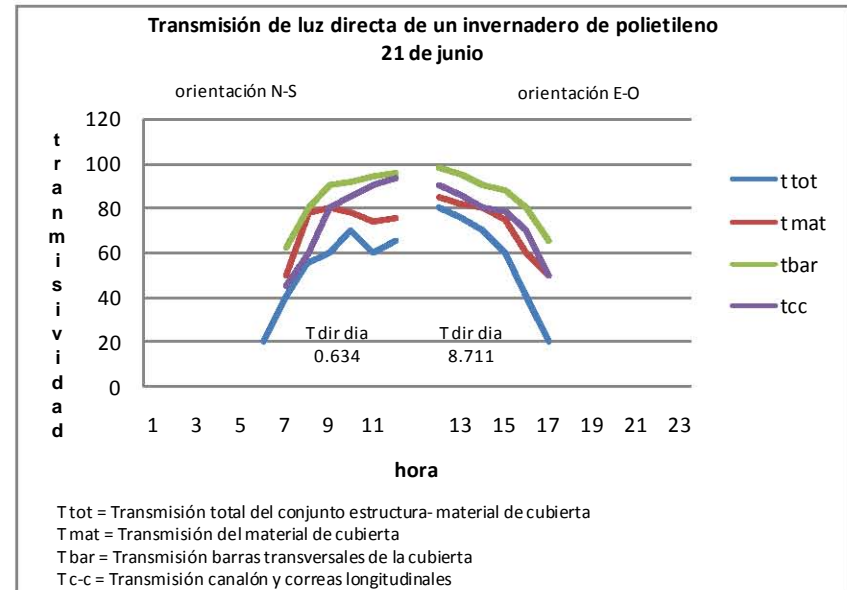
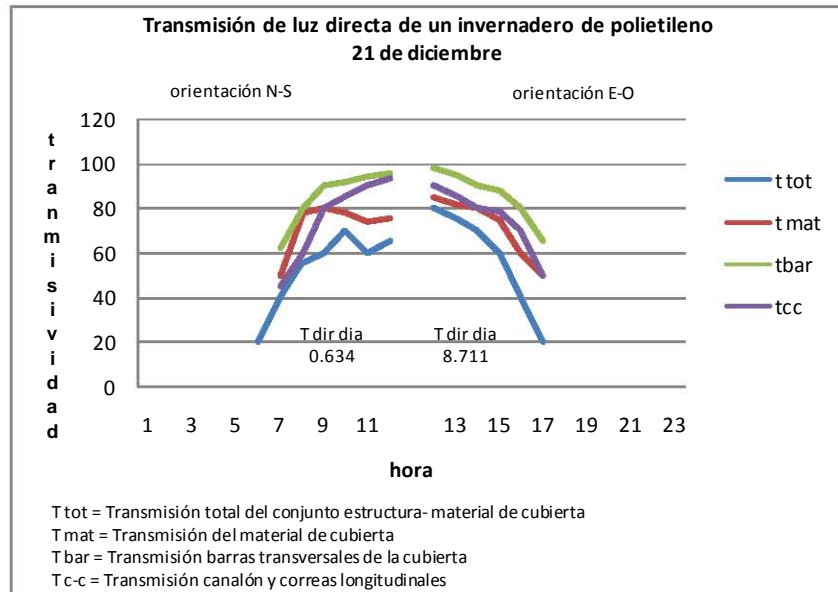
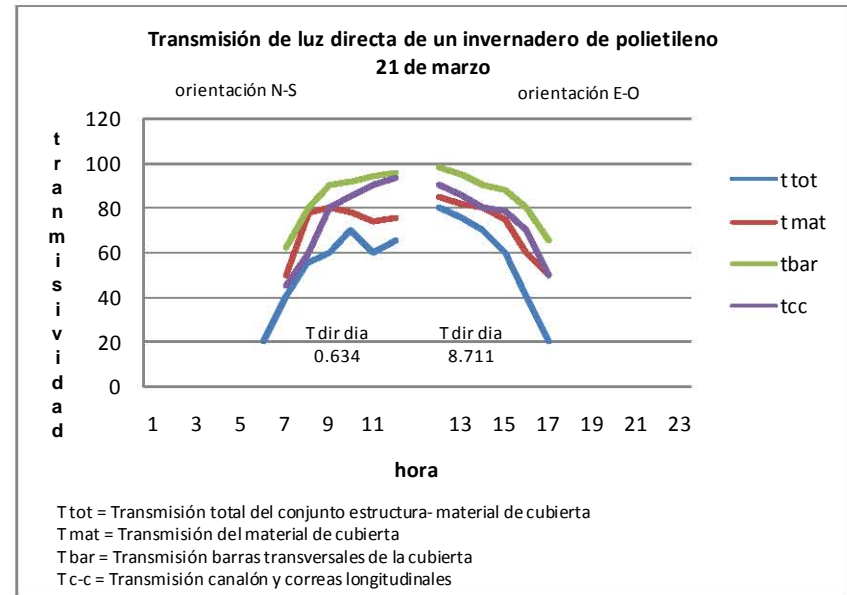
Para diseñar el invernadero de manera que transmita el máximo de radiación solar se puede recurrir al uso de algún modelo de cálculo. Los modelos permiten determinar la transmitancia a la radiación solar de la estructura y del material de cubierta por separado, y también permiten comparar la cantidad de luz transmitida por el invernadero en función de la forma que tenga su techo, de la orientación que siga su eje, de la latitud en que esté situado y de la fecha del año, entre otras variables.

1.2.1. Orientación del invernadero y transmisión de luz.



El 21 de Diciembre, la orientación E-0 supera a la N-S pues la transmitancia global diaria en el primer caso es del 71% y en el segundo es el 63%. El Cuadro 1.2 separa los distintos componentes de la transmitancia y demuestra que la diferencia entre una orientación y otra se debe a la distinta transmisión del material de cubierta, pues el conjunto estructural (canalón, cumbre, barras de soporte) transmite el 80% de la luz directa incidente independientemente de la orientación.

Conforme avanza la estación las diferencias tienden a disminuir. En Marzo la orientación prácticamente no tiene influencia sobre la cantidad de luz transmitida, y en Junio la orientación N-S supera ligeramente a la E-0.



1.2.2. Pendiente de la cubierta y transmisión de luz.

En la época invernal el techo plano es claramente el más desfavorable. A partir de la pendiente de 10ª la transmitancia empieza a crecer de, una manera acusada, situándose el óptimo entre 20 y 30º de pendiente. Este óptimo, 72% aproximadamente, contrasta con el mínimo valor del 61% de transmisión del invernadero plano. Tanto en primavera como en verano, la influencia de la pendiente en la transmisividad disminuye. En Junio no hay prácticamente diferencia entre el techo plano y el inclinado 45º. En Marzo parece haber un máximo para la pendiente de 30º, pero este valor máximo no tiene especial relieve en el conjunto de la curva.

1.3. TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL DE LOS INVERNADEROS.

1.3.1. Estructuras especiales.

El conjunto de los elementos que entran a formar parte de la estructura resistente a un invernadero puede dividirse en:

- a) Elementos cuya, misión es resistir el material de cubierta (vidrio, plástico, etc.).
- b) Estructura resistente, propiamente dicha, encargada de resistir las cargas debidas al peso de la cubierta y cargas exteriores.
- c) Cimentación que transmite las cargas anteriores al terreno subyacente.

Para la ejecución de la estructura resistente pueden emplearse materiales tales como la madera, metálicos (acero y aluminio), concreto, materiales plásticos o incluso de ladrillo en combinación con los materiales ya indicados.

El tipo de invernadero más característico de Almería, provincia que cuenta con cerca de 20.000 Ha, es el «parral», de

grandes dimensiones, de techo plano, estructura de madera, altura próxima a 2,5 m, ventilación fundamentalmente lateral, cubierta de polietileno de dos temporadas de duración, a veces con propiedades tecno aislantes, y sistema de sujeción de la cubierta y de la estructura por medio de alambres galvanizados. En Murcia los invernaderos son de menores dimensiones, techo a dos aguas en módulos de 24 a 30 m de anchura, mayor volumen de aire y cubierta de PE sujeta también por medio de alambres tensados.

Estas estructuras son muy económicas, razón principal de su gran difusión. Presentan una resistencia elevada al ataque del viento, son de buena adaptabilidad para el aprovechamiento del terreno en formas irregulares y pendientes, y forman unidades de dimensiones grandes que incluso pueden superar la hectárea.

En Barcelona, en la comarca del Maresme, la gran mayoría de las protecciones e invernaderos está formada a base de estructuras porticadas de madera, con el techo y laterales cubiertos, generalmente de film de polietileno de larga duración o térmico. Existen también construcciones de este tipo en las que sólo el techo se cubre con la película o film plástico, cultivando normalmente clavel y gladiolos entre otros.

Pero, aparte de estas ventajas, tienen una serie de inconvenientes que se pueden resumir así:

- Ventilación insuficiente.
- No cuentan con medios de control del clima por la dificultad de adaptar técnicas nuevas a las estructuras.
- Presentan pérdidas térmicas elevadas, lo que causa un bajo rendimiento de la calefacción.
- La mano de obra de mantenimiento es alta.
- Es difícil mecanizar las labores de cultivo.
- Los modelos más populares (parral almeriense) no son aptos para zonas de lluvia media o alta.

Las estructuras de acero, aunque de mayor costo y mantenimiento anual, presentan bastantes ventajas, entre otras, el tener una superficie interior libre de soportes, lo que permite una mayor capacidad de actuación y maniobrabilidad de la maquinaria (eficiencia y funcionalidad). Asimismo, la mayor separación entre las partes resistentes de la estructura se traduce en una mayor iluminación, con las ventajas que de esto se derivan para los cultivos.

Como orden de magnitud, en un invernadero de acero el área ocupada por material opaco difícilmente sobrepasa el 12% del área total, mientras que un invernadero de madera u concreto se supera el 20%.

Por otra parte, la mayor dispersión de calor, que por conducción tiene lugar en una estructura de acero respecto a la de madera, se compensa ampliamente por la mayor hermeticidad del cerramiento que se consigue en una estructura de acero en relación a una de madera. Esta mayor uniformidad se traduce, por otra parte, en un mayor ahorro de combustible. Por último, este tipo de estructura permite disponer de dispositivos de aireación más racionales y de fácil maniobrabilidad. Las estructuras de aluminio presentan características análogas a las de acero, siendo notablemente más caras. El hormigón es de uso esporádico, al contrario de lo que ocurre en países de Europa Oriental.

En función de la disposición de la estructura resistente, pueden clasificarse en:

- 1) Invernaderos con estructura portante longitudinal (paralela al eje longitudinal).
- 2) Invernaderos con estructura portante transversal (normal al eje longitudinal).

La primera, típica de las construcciones con madera, es empleada en estructuras rudimentarias y poco costosas, con materiales de cubierta que deben ser renovados al cabo de un

número determinado de años. Consiste, en varios pórticos longitudinales situados a distancias del orden de 3 metros, unidos en su parte superior. La segunda es más empleada cuando se trata de estructuras de mayor importancia. Frente a la anterior, presenta numerosas ventajas, entre las que destacan:

- Mayor resistencia a la acción, del viento transversal, esta es, en el sentido de la mayor superficie expuesta.
- Superficie cultivable libre de pilares.
- Mayor libertad en la elección de la forma y dimensión de las aberturas de ventilación.



*Invernadero de doble vertiente
Cubierta de vidrio y estructura metálica
Foto: desconocido*

Entre los inconvenientes de la figura:

A igualdad de longitud del invernadero, una estructura más compleja y pesada presentando fenómenos de inestabilidad frente a la acción del viento actuando paralelamente al eje longitudinal.

La tipología de invernaderos con estructura portante transversal es muy variada y depende, entre otros factores, del tipo de material empleado. Pueden dividirse de esta forma en:

- Estructuras metálicas (acero o aluminio).
- Estructuras de concreto.
- Estructuras especiales.

Los invernaderos con estructura portante metálica son, en la actualidad, los más empleados. En algunos de los tipos estructurales normalmente utilizados se pueden apreciar que por las dimensiones de la altura de cumbrera, la altura en canal y el ángulo de pendiente de la cubierta se logra un volumen unitario* elevado del orden de 3,90 a 4 m³/m².



*Invernadero curvo comercial
Cubierta de plástico y estructura metálica
Foto: Francisco Vidal*

1.3.2. Estructuras a base de materiales plásticos (infables).

La combinación de los plásticos como material que posibilita la máxima transmisión de la luz con la presión del aire como medio resistente da lugar a lo que se conoce como estructuras neumáticas o infables.

La idea fue puesta en Práctica en Inglaterra en 1911 por F.W. Lanchaster, aunque no específicamente en invernaderos. La primera aplicación tuvo lugar, asimismo, en Inglaterra, en 1954. La necesidad de obtener la máxima transmisión de luz con el mínimo costo da lugar a mayores restricciones que en el

diseño de otro tipo de estructuras industriales.

Los componentes básicos de una instalación de este tipo son:

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

Cubierta. El material que constituye la cubierta debe elegirse entre aquellos que cuenten con las características físicas adecuadas y adopten la forma geométrica deseada. Normalmente, se, utiliza la película de polietileno, a la que se ha añadido un inhibidor de la radiación ultravioleta. La anchura del invernadero viene definida por la resistencia de la película, la presión del aire, el método de anclaje al terreno y el perfil transversal óptimo. La forma de efectuar el anclaje determina la longitud del tramo de la película y la distancia transversal que proporciona una altura mínima de trabajo, el perfil del invernadero. Si lo que se quiere es cubrir una gran superficie, se deberá disponer un perfil muy rebajado, con altura de trabajo limitada. En el otro extremo se obtendría una estructura poco rebajada, con altura de trabajo superior a la necesaria poco inestable a la acción del viento. Entre estos dos extremos, el perfil ideal, en lo que a la transmisión de la luz se refiere, es el semicircular. Con perfiles más rebajados pueden obtenerse buenos resultados, teniendo como limite la resistencia del propio material, dado que las tensiones (para una presión interior dada) son proporcionales al radio de curvatura. Con el material indicado se obtienen luces del orden de los ocho metros con un coeficiente de seguridad de 3.

Ventiladores. Para el soporte de la estructura en condiciones normales se dispone de uno o varios ventiladores que, además, deben de poder suministrar un incremento de presión, en condiciones de funcionamiento extraordinarias

(tormentas, fuertes vientos, etc.), y una adecuada ventilación para limitar el gradiente térmico al deseado. La presión de funcionamiento en condiciones normales oscila entre 5 y 7,5 aun, incrementándose hasta unas 12 atm en condiciones excepcionales. Para mayores presiones se corre el peligro de producir tensiones excesivas en el revestimiento.

Anclaje y acceso. La fijación del revestimiento al terreno se realiza normalmente parte de éste en un poste de madera u otro material al que se clava enterrándolo en una zanja que previamente se ha excavado. Este método, muy simple de ejecución, tiene el inconveniente de que reduce la longitud efectiva del revestimiento y, por tanto, el claro de la estructura o, en su caso, la necesidad de efectuar juntas longitudinales. El acceso debe utilizarse de forma que no se produzca una pérdida de presión. Una de las formas más extendidas es disponer de una cámara de aire.



*Invernadero doblemente inflado
Foto: Antonio Matallana.*

Cubierta doblemente inflada.

Una variante de los invernaderos infables son aquellos cuya estructura está cubierta por dos capas de film separadas por aire a baja presión. Este sistema puede adaptarse a la mayoría de las estructuras existentes si los perfiles de sujeción de las

películas garantizan la estabilidad de la cámara de aire. Un ventilador centrífugo de 1/30 cv debe ser suficiente para inflar 1,000 m² de invernadero.

Para reducir la condensación entre las dos láminas de plástico el ventilador debe tomar aire del exterior, siempre con menor contenido de humedad que el aire del invernadero. Las primeras pruebas de cubiertas doblemente infladas se llevaron a cabo en 1965 en la Universidad de Rutgers (Nueva Jersey). Hoy existen invernaderos comerciales de estas características en gran número de países, ya que presentan las ventajas de disminuir el costo de la calefacción, resistir muy bien el ataque del viento y facilitar la labor de sustitución del material de cubierta. El único inconveniente importante es la reducción de transmitancia de la cubierta doble respecto a la sencilla, reducción que puede citarse en un 10%.

1.3.3. Otras estructuras especiales.

En los últimos tiempos, y como resultado de la investigación realizada en el área de cultivo protegido, han aparecido nuevos tipos de estructuras que se alejan del concepto clásico y con llevan ventajas no desdeñables, entre estos se encuentran los invernaderos torre y los constituidos por una estructura colgada.

La primera, desarrollada en Viena en 1963, consiste en una estructura en la que la explotación de los cultivos se realiza en altura, con una superficie en planta mínima. La utilización de este espacio es posible gracias a un transportador tanto vertical como horizontal, donde se alojan las macetas u otros contenedores en los que se realiza el cultivo. El riego se realiza mediante inmersión en una piscina de agua o solución nutritiva dispuesta en la base del invernadero. La humedad y la periodicidad pueden regularse variando la velocidad de la cinta transportadora, Es decir, se utiliza de una manera más completa y racional el volumen del invernadero.

Además de un uso más eficiente del suelo con el invernadero-torre, otras de las ventajas, técnicas y económicas son: mejores condiciones de iluminación natural, buen control de las bases climáticas con facilidad de aireación natural o forzada, de calefacción, de regulación de la humedad, así como una economía notable en mano de obra dado el elevado grado de automatismos. Sin embargo, el alto costo de este invernadero ha impedido su extensión a nivel comercial, limitándose a trabajos de investigación.

La utilización de estructuras a base de cables de acero viene motivada por el interés en disminuir los pesos de la cubierta y estructura resistente, que en los invernaderos clásicos de acero oscilan entre 4 a 10 Kg. /m² para la cubierta de materiales plásticos y 12-18 Kg. /m² para cubiertas de vidrio. Además, este tipo de estructuras posibilita cubrir grandes claros sin apoyos intermedios. Por el contrario, su inconveniente principal estriba en que se necesita un alto coeficiente de seguridad en el anclaje de los cables al terreno, ya que al ser estructuras en las que la geometría condiciona su esquema resistente una ligera modificación en aquella, puede comprometer seriamente su estabilidad. Por otra parte, y a causa de su ligereza, son particularmente sensibles a la acción del viento, sobre todo cuando éste es racheado. Las estructuras constituidas por cables trabajan sólo a esfuerzo axial, lo que supone un máximo aprovechamiento del material. En función de la configuración que adopten, pueden dividirse en:

- Estructuras sometidas a bajas tensiones ($f/L > 178$), que pueden representarse mediante la ecuación de la catenaria.
- Estructuras sometidas a altas tensiones ($f/L < 118$), que pueden representarse mediante la ecuación de la parábola.

Dado que las luces no son muy grandes, y para evitar que los soportes de los extremos de los cables sean

excesivamente altos, se suelen disponer estructuras del segundo tipo en la construcción de invernaderos.

Consideremos, ahora, un cable de longitud L sometido a carga vertical uniforme w. La componente horizontal de la fuerza H es constante en cualquier punto del cable y vale:

$$H = \frac{wL^2}{8f}$$

El esfuerzo axial máximo se da en el extremo Y vale:

$$S_{max} = \frac{wL}{2} + \frac{wL^2}{8m^2} = \frac{wL}{2} \left(1 + \frac{m^2}{8} \right)$$

Siendo $m = F/L$

tabla para valores de Smax, para diversos m en función de H y w								
	1./8	1./10	1./12	1./16	1./20	1./25	1./30	
Smax	1,125	1,08	1,0556	1,0312	1,02	1,0128	1,0089	x H
Smax	1,125	1,35	1,5833	2,0625	2,55	3,165	3,7833	x (wL/2)



Invernadero tipo Venlo con 'turbo ventilación' Bosch-Inveka

Como se ha indicado antes, uno de los inconvenientes de este tipo de estructuras es su poca rigidez, lo que las hace más inestables frente a acciones como el viento. La posibilidad de que el viento pueda actuar en ambas direcciones sobre la cubierta exige disponer otro dispositivo absorber tales esfuerzos. Esto puede realizarse de dos formas:

- Mediante tirantes verticales o inclinados, aplicados en los cables transversales, en número y situación preestablecidos. (Tense-grity)
- Uno o varios cables longitudinales, sobrepuestos a los transversales y anclados en el terreno en los extremos del invernadero.

Esta segunda solución evita disponer soportes interiores, lo que parece más ventajoso. El perfil longitudinal de estos cables deberá ser parabólico, con concavidad invertida respecto a la de los universales, lo que supone una variación de altura de los soportes de sostenimiento, dando lugar a una pequeña complejidad constructiva. El mejor aprovechamiento de los materiales en este tipo de estructuras conduce a pesos del orden de los 5 Kg./m² notablemente inferiores a los obtenidos en las estructuras tradicionales.

1.4. ESTRUCTURAS ACTUALES

Hoy en día las estructuras además de estar constituidas por malla o plástico pueden estarlo por paredes rígidas de policarbonato ondulado o de doble capa. Las dimensiones de estos invernaderos pueden ser de 6'40, 7'40, 8 y 9 de ancho en versiones de 2'5, 3, 3'5 y 4 m de altura bajo canalón y en la doble variante de modelo con 4m o 5m de paso entre pilares, aunque se pueden hacer un gran número de combinaciones partiendo de material estándar modificando dimensiones y espesores de los perfiles utilizados.

Los mecanismos de estos invernaderos permiten controlar automáticamente mediante un programa informático todos los parámetros que van a influir directamente sobre el cultivo como pueden ser temperatura, humedad relativa y radiación solar. Los cerramientos herméticos de estas estructuras hacen posible tener una mayor eficacia en el control de todos los parámetros, aprovechamiento y ahorro de energía así como restringir la entrada de insectos transmisores de enfermedades que mermen nuestra producción. Sobre la temperatura se actúa mediante la ventilación que proporcionan las ventanas cenitales que pueden estar orientadas según la dominancia de los vientos y nuestras preferencias, ayudada en épocas de mucho calor con la nebulización o fogsystem, que consiste en una lluvia de agua a presión que además tiene otras propiedades. También la incorporación de ventiladores facilita la rápida homogeneización del clima interior.



Invernaderos del Instituto de Botánica de la Universidad de Graz, Austria arquitecto: Volker Giencke

En épocas de frío es posible incorporar dos tipos de calefacción: ambiental y de sustrato. La primera se consigue mediante una gran caldera donde se calienta agua simplemente abastecida por un combustible que sería el gas licuado pudiendo elevar la temperatura sobre todo en las noches frías de invierno de entre 10° a 12°C. La segunda se puede

conseguir aumentando mediante una serie de tubos corrugados que circulan por el interior de los contenedores de sustrato, favoreciendo el sistema radicular y disminuyendo las diferencias de temperatura con la parte aérea. Este incremento de temperatura puede suponer de 6° a 8°C en el sustrato y la consecuencia de también aumentar la temperatura del ambiente de 2° a 4°C.

Otros sistemas serían la utilización de pantallas térmicas aluminizadas que actúan de aislante térmico para conseguir dos cosas principalmente:

- retener el calor por la radiación durante el día y el proporcionado por los anteriores sistemas de calefacción antes mencionados, obteniendo mayor ahorro energético por el uso menor de las calderas en torno a un 58%.
- sombrear hasta un 55% o disminuir la radiación solar cuando ésta pueda ser excesiva disminuyendo la temperatura de 3° a 4°C.

Por último, otra incorporación sería un techo doble de plástico con unas características como pueden ser: el plástico interior anticondensación para evitar la caída de agua en el interior y el exterior especial para repeler el polvo y evitar que se formen capas de suciedad con los problemas que eso origina. A esta doble capa se le puede incorporar un motor que introduzca aire a presión de tal manera que se crea una cámara de aire o acolchado plástico que también influye directamente sobre la temperatura amortiguando los golpes de calor y evitando pérdidas del mismo pudiendo ganar hasta 4° o 5° gracias a su uso.

Acercas de la humedad relativa se actúa de dos formas según sea alta o baja y que también afecta directamente a la temperatura. En el caso de humedad alta, como puede ser en las épocas frías a primeras horas del día con un 80 o 90% se

actúa forzando la ventilación para dejarla escapar por su tendencia a subir a la parte superior notándose los efectos rápidamente. Por el contrario en caso de humedad relativa baja se actúa con los ya mencionados nebulizadores o fogsystem, que consiste en una serie de tuberías ramificadas por la parte aérea del invernadero y que lanzan agua a presión con un tamaño muy reducido de gota que no moja pero que humidifica el ambiente al absorber la masa de agua el calor.

Otras características serían optimizar la tasa de evapotranspiración y mejorar el rendimiento fotosintético de la planta favoreciendo también los niveles de absorción de CO₂.

1.5. GRADO DE UTILIZACIÓN DEL INVERNADERO.

El nivel de utilización de un invernadero se puede definir por el cociente entre la superficie útil ocupada por el cultivo y la superficie total cubierta por el invernadero ($Cu = Su/St$). Este índice adopta valores variables entre 0,60 a 0,75. Como ejemplos de distribución del cultivo en el interior del invernadero, se pueden apreciar algunos tipos de sistematización del suelo en el invernadero para un cultivo hortícola o florícola. En el caso de cultivar planta ornamental en maceta, lo más frecuente es el uso de banquetas o mesetas fijas y elevadas en madera o hierro galvanizado. Sin embargo, también se dan explotaciones en las que el cultivo de la planta ornamental se realiza en banquetas fijas a nivel del suelo.

De introducción más reciente en las explotaciones son las banquetas móviles, cuya principal ventaja es el alto grado de utilización del invernadero (0,85 a 0,90). El principal inconveniente es su costo elevado.

En general, en las explotaciones con banquetas fijas o móviles, el ancho de pasillo para trabajar una persona varía entre 1,60 a 2 m. y la altura sobre el suelo suele ser de 80 cm.

1.6. LOS ROBOTS EN EL INVERNADERO.

En los invernaderos ha surgido un nuevo concepto: el de la estación central de trabajo, lugar estudiado para que la mano de obra realice las operaciones de cultivo con el máximo rendimiento sin necesidad de desplazarse a la zona de cultivo. Mediante un sistema automático de transporte, que se puede denominar robotizado, las plantas son llevadas a la estación central de trabajo desde donde vuelven al invernadero una vez realizada la labor o se envasado para su venta.

El cultivo se realiza en banquetas móviles de 6 m de longitud y 1,6 de ancho. Se cultiva en macetas regadas por inundación. La calefacción es por suelo radiante con tuberías directamente apoyadas en la superficie del suelo.

Estación central de trabajo

Debe estar alojada en una de las naves del invernadero, ocupando la superficie aproximada de 13 x 50 m. Tiene los siguientes equipos:

- Preparadora de sustrato, mezcladora y llenado de macetas.
- Primer robot. Toma las macetas llenas y las sitúa sobre las banquetas móviles para la primera fase del cultivo. Posteriormente envía la banqueta al sistema de transporte para que éste las ponga dentro del invernadero. En algunos casos este primer robot sitúa las macetas a la distancia final si el cultivo lo permite.
- Segundo robot. Recibe las banquetas una vez que el cultivo haya terminado la primera fase de desarrollo las recoloca a la distancia final y envía de nuevo las banquetas al sistema de transporte.
- Tercer robot. Recibe el cultivo en fase final y lo descarga en una cinta transportadora para el envasado y salida del producto.

- Zona de lavado y almacenamiento de banquetas. Una vez lavadas con agua a presión quedan las banquetas apiladas para uso posterior.

Es necesario disponer de dos personas para realizar los trasplantes de planta enraizada o de esquejes una vez que las macetas se han llenado con sustrato, o para descargar y envasar el producto finalizado.

1.6.1. Sistema de transporte.

Todo el invernadero tiene un conjunto de barras metálicas y rodamientos que forman una base horizontal de unos 90 cm. de altura sobre la que descansan y se trasladan las banquetas de cultivo. Aparte de este sistema general la instalación debe tener los siguientes equipos:

- Cadena de arrastre, desde la estación de trabajo hasta el tren automático de transporte.
- Tren automático de transporte. Torna las banquetas con macetas, se desplaza transversalmente en un extremo del invernadero y sitúa las banquetas en la hilera que se le ordene. Al poner una banqueta empuja a todas las de la hilera desplazándolas según el eje del invernadero.
- Tren manual del transporte. En el otro extremo del invernadero, al final de las hileras de banquetas, existe otro sistema de arrastre controlado manualmente que permite pasar banquetas de una hilera a otra o llevarlas hasta la estación de trabajo.

Las ventajas de este sistema son dos:

- Ahorro importante de mano de obra, que según el tipo de cultivo y las operaciones a realizar puede ser del 50%.
- Ocupación prácticamente total del suelo del invernadero.

Nombre de archivo: A4
Directorio: C:\Users\PACO\Documents
Plantilla: Normal.dotm
Título: CENTRO DE ACOPIO DISTRIBUCION Y
 PROCESAMIENTO DE NOPAL EN MILPA ALTA D
Asunto:
Autor: FRANCISCO VIDAL MENDOZA
Palabras clave:
Comentarios:
Fecha de creación: 12/06/2007 05:56:00 a.m.
Cambio número: 29
Guardado el: 24/10/2007 07:49:00 a.m.
Guardado por: FRANCISCO VIDAL
Tiempo de edición: 242 minutos
Impreso el: 13/11/2007 12:21:00 a.m.
Última impresión completa
 Número de páginas: 18
 Número de palabras: 7,093 (aprox.)
 Número de caracteres: 39,013 (aprox.)

CAPÍTULO 2.

MATERIALES DE COBERTURA PARA INVERNADEROS.

CAPÍTULO 2.

2. MATERIALES DE COBERTURA PARA INVERNADEROS.

2.1 TIPOS DE MATERIALES DE CUBIERTA.

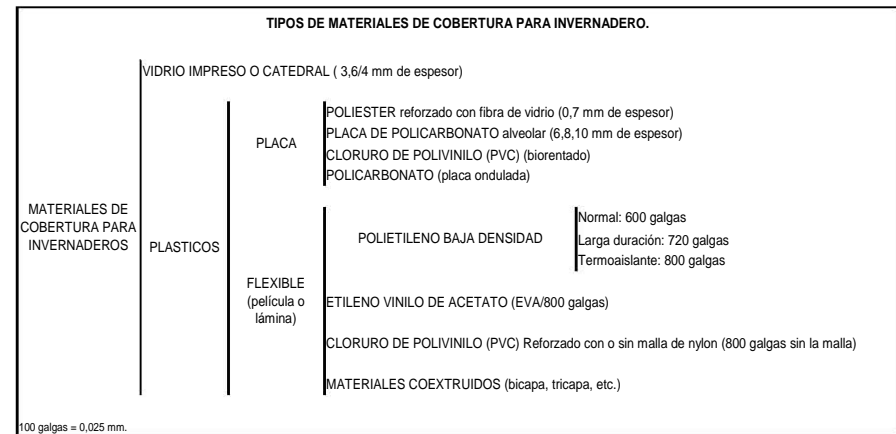
El primer Simposium Nacional de Plásticos en Agricultura, celebrado en Barcelona en abril de 1967, significó de alguna manera el despegue para el desarrollo en la aplicación de los Plásticos en el cultivo protegido.

El uso de materiales plásticos en agricultura, y concretamente como cubierta de los invernaderos, significó un adelanto en la tipología o diseño de los mismos. Tradicionalmente, sólo se construían los invernaderos en forma de capilla (a dos aguas), ya que únicamente utilizaban el vidrio como material de cobertura.

Sin embargo, el empleo de los materiales de síntesis (flexibles o placas) permitió adoptar la forma curva. Otra de las modificaciones introducidas en el diseño de los invernaderos, por la utilización de los materiales plásticos, fue la incidencia en la disminución del peso de la estructura resistente y, por lo tanto, su repercusión, como era lógico de esperar, en el precio final del invernadero.

En relación con lo anterior, y para tener un orden de magnitud, se puede decir que para una superficie de 5,000 m² un invernadero, con cubierta de vidrio y ancho de 9 m, necesita entre 14 -16 Kg. de estructura metálica/m², en comparación con otro invernadero de la misma superficie y anchura pero con poliéster o policarbonato como cubierta, que necesita entre 12-13 Kg. de estructura/m². Para completar los datos anteriores, en un invernadero de forma curva (ancho frontal de 6,40 m) y con cubierta de film de polietileno, el peso de la estructura

resistente para 5,000 m², es de 7,5 Kg. /m², aproximadamente. Sin embargo, no todo va a ser ventajas por la utilización de los plásticos como cubierta de los invernaderos. Ya que el principal inconveniente que presentan aquellos es el envejecimiento y, por lo tanto, su vida útil.



2.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.

La importancia del material de cobertura en el cultivo bajo invernadero estriba en que constituye el agente modificador del clima natural de la zona en donde se vaya a construir el invernadero. En el mercado internacional existen diferentes tipos de materiales que pueden ser utilizados como cubierta. En México alrededor de 98% de los invernaderos están cubiertos por el film de polietileno de baja densidad. Sin embargo, la elección de un material de cobertura depende de una serie de criterios o indicadores que, interaccionados entre sí, ayudarán al agricultor en su decisión sobre la conveniencia o no en el uso de un determinado material de cubierta. En este sentido, en la figura 11. 1 se ilustra un esquema a partir del cual se definen los tres indicadores siguientes:

1. Indicador A: respuesta agronómica (precocidad, producción y calidad).
2. Indicador B: propiedades ópticas, térmicas y mecánicas del material.
3. Indicador C: estructura del invernadero, anclaje o sujeción del plástico.

La simultaneidad en los tres indicadores anteriores permite establecer que la elección de un material de cubierta para invernaderos está en función del costo del mismo, de su grado de protección térmica (efecto estufa), de la vida útil y del tipo de cultivo. De los materiales indicados en la clasificación anterior, el polietileno de baja densidad es el más económico.

Esta última es una de las razones que justifican su amplio uso, sobre todo en áreas de clima templado. Sin embargo, el indicador B es el más problemático al hablar de materiales plásticos. El envejecimiento de un film de polietileno de baja densidad depende de dos tipos de factores (Paños, 1982): los de carácter intrínseco, inherentes a la materia prima (índice de fluidez, densidad, impurezas, aditivos) y los propios del film (resistencia de rasgado). Además de lo anterior, es necesario considerar los factores externos, como el tiempo de exposición, las horas de insolación e intensidad de radiación y la temperatura. Por último, y en relación con la disminución de la vida útil, es preciso señalar al indicador C en cuanto a la colocación o sujeción de la película de plástico a la estructura del invernadero. Cualquier deficiencia en su colocación puede originar desgarres en el plástico, con la consiguiente disminución de la vida del material.

La exposición de los materiales de cubierta a los agentes atmosféricos y fundamentalmente a la acción de la radiación solar es la causa que inicia un proceso de degradación en los mismos. En el caso del film de polietileno de baja densidad, esta alteración se caracteriza entre otras por una disminución de las propiedades mecánicas del mismo, así como

una pérdida en la transparencia del film a la radiación solar. En la actualidad en mundo se están llevando a cabo experiencias en la vertiente intertropical cuyos objetivos son la valoración en el tiempo de la transmisión a la radiación solar (visible e infrarrojo corto) de diferentes materiales de cubierta utilizados en el cultivo protegido. Por el momento, el método normalmente utilizado para evaluar el grado de envejecimiento del film es el de la medida de la disminución de su alargamiento de rotura (UNE-53-165). En general, se admite que un film que no ha llegado al 50% de su alargamiento a la rotura inicial está en condiciones de uso.

2.3 NORMALIZACIÓN DE LAS PELÍCULAS DE POLIETILENO.

Al indicar los factores externos como causantes de la degradación del material de cobertura, es necesario precisar que las radiaciones ultravioletas son las principales responsables de la degradación de los materiales plásticos. Para resolver este problema han aparecido en el mercado diferentes tipos de películas que llevan incorporados aditivos para protegerlos de la alteración producida por las radiaciones ultravioletas. Así, por ejemplo, existen polietilenos capaces de resistir uno, dos, tres o más años agrícolas. A este respecto, la norma española UNE-53-328, -Películas de polietileno utilizadas como cubiertas de invernaderos, define el año agrícola como:

- 1 año agrícola equivale a 12 meses de duración, contando a partir del momento en que se instale la película sobre el invernadero, equivalente a una radiación solar de 148 kcal/cm².
- 2 años agrícolas equivalen a 24 meses de duración en Almería, contando a partir del momento en que se instale la película sobre el invernadero, equivalente a una radiación solar de 296 kcal/cm².

- 3 años agrícolas equivalen a 36 meses de duración en Almería, contando a partir del momento en que se instale la película sobre el invernadero, equivalente a una radiación solar de 444 kcal/cm².
Los ensayos que establecen la norma UNE-53-328 son:
- Determinación del espesor medio y tolerancia del espesor.
- Determinación de la tolerancia en la anchura.
- Determinación de la resistencia a la tracción y del alargamiento en la rotura.
- Determinación de la resistencia al rasgado.
- Determinación de la resistencia al choque.
- Determinación de la resistencia al envejecimiento artificial acelerado.
- Determinación de la propiedad termo-aislante.

Por otra parte, en la norma UNE-53-328 se indica la forma de designar aun determinado plástico. Así por ejemplo, sea una película de polietileno que se designa por:

UNE 53-328 L D P E / L / ** / T

Esto quiere decir que se trata de una película de polietileno de baja densidad que cumple la norma UNE 53-328, de un espesor normal ligero (L = 200 -10-1m) prevista para dos años de duración y con propiedades termo-aislantes.

Además de lo anterior, recientes investigaciones demuestran que la aplicación de pesticidas en el interior del invernadero con cubierta de polietileno acelera el proceso de degradación de la película, reduciendo su vida útil al 50%. El índice de refracción en los materiales de cobertura para invernaderos es importante, a efectos de valorar el poder reflexión de los mismos y su recuperación en la tasa de transmisión a las radiaciones de longitud de onda corta (figura 11.2). En términos generales, se puede decir que la reflexión

aumenta con el índice de refracción del material. El del vidrio es de 1,52 y el de los plásticos varía 1,45 y 1,8.

La densidad es otra de las características a en cuenta ya que incide notablemente en el dimensionamiento de la estructura soporte del invernadero, así como en el criterio económico para valorar la cubierta en cuanto que, como es el caso de los films plásticos, estos se vendan al peso y no a medida. En los materiales de síntesis la densidad varía entre 0,91 a 0,92 g/cm² para los polietilenos de baja densidad; entre 1,5 a 1,6 para las placas de poliéster; 1,25 g/cm² para las películas de cloruro de polivinilo (PVC) y, Finalmente, para el vidrio la densidad es del orden de 2,5 g/cm².

2.4. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES DE CUBIERTA.

De la misma manera que ya existe una norma española para las películas de polietileno, la Comunidad Europea está desarrollando una serie de normativas para regular y definir las propiedades de los materiales de cubierta de invernaderos y los métodos de ensayo y determinación de tales propiedades. Deltour (1993) propone el siguiente método de caracterización.

2.4.1. Caracterización radiométrica.

2.4.1.1. Rango de longitud de onda.

La radiación que traspasa la cubierta contribuye tanto al balance energético del invernadero como a la actividad fotosintética del cultivo (Nijskens y cols.1985). Por tanto las unidades fotométricas (lux-lumen) son de poco interés, y sólo se deben usar las unidades energéticas o las fotónicas en el dominio del P.A.R.

Las propiedades radiométricas de la cubierta se definen para dos rangos distintos de longitud de onda: la radiación Solar entre 300 y 2500 nm y la radiación térmica entre 2.5 y 40 µm.

La primera se acostumbra a dividir en ultravioleta (300 - 380 nm) visible (380 - 760 nm) e infrarrojo solar (760 -2500 nm). La segunda se refiere a la emitancia infrarroja larga de un cuerpo negro a la temperatura ambiente de 300° K. Es un error muy común el limitar el rango de longitud de onda térmico al que tiene como extremo 16 μm o 20 μm , o incluso al comprendido entre 13 y 14 μm . Si se consideran estos límites solo se tiene en cuenta el 61%, 74% y 38% del total de la emisión radiante, mientras que si el rango de longitud de onda es el incluido entre 2,5 y 40 μm se engloba el 95% de la emisión radiante.

La radiación fotoactiva PAR entre 400 y 700 nm es particularmente importante en horticultura pues en este rango la energía se transfiere de la luz a los productos fotosintetizados. Además, como la tasa de actividad fotosintética es, para una determinada energía incidente, proporcional al número de fotones, el uso de unidades fotónicas es muy recomendable en ese rango de longitud de onda.

2.4.1.2. Densidad espectral

La luz que alcanza al invernadero puede tener su origen en distintas fuentes de diversas densidades espectrales. La radiación solar directa, la difusa de cielos claros y nublados y la radiación térmica tienen funciones específicas de distribución espectral, dando lugar a transmitancias características si el material presenta un espectro de transmisión diferenciado según sea la longitud de onda de la radiación incidente. La figura II.3 muestra unas funciones de distribución espectral que gozan de aceptación general.

2.4.1.3. Distribución angular

Como más adelante se comentará la transmisión de radiación depende del ángulo de incidencia con la cubierta.

La existencia de las fuentes de luz no puntuales, como el cielo, depende de la porción de cielo considerada. El CIE ha tomado como acuerdo el utilizarla fórmula de Kittier para la distribución angular de Spencer para los cielos nublados.

2.4.1.4. Medidas primarias

Por consiguiente la cubierta tiene que quedar caracterizada para una serie de rangos de longitud de onda, para distintas densidades espectrales y para varios ángulos de incidencia. Es muy difícil normalizar la medida de estos fenómenos, y generalmente se da preferencia a una serie de medidas angulares monocromáticas que se seleccionan y ponderan posteriormente de acuerdo con las características de la fuente de luz.

Las transmitancias y reflectancias monocromáticas biangulares (o angular-hemisférica si el material es difusor) se miden para incidencias que varían entre 0° y 90° escalonadamente cada 15° en el rango de longitud de onda comprendido entre 399 nm y 40 μm .

2.4.1.5. Transmitancia y reflectancia integradas

Los resultados monocromáticos de las medidas primarias se integran según las características de densidad espectral de la fuente. El proceso se repite para cada ángulo de incidencia para la radiación solar directa y así se obtienen las transmitancias y reflectancias biangular o angular hemisférica.

Para la radiación solar difusa es preciso llevar a cabo una integración suplementaria en todos los ángulos de incidencia ponderados por su función de distribución angular de radiancia.

Para la radiación térmica, las dificultades técnicas limitan las medidas primarias al caso biangular normal. De cualquier

manera, Para materiales no metálicos las transmitancias y reflectancias biangulares difieren de las hemisféricas solo en un escaso porcentaje.

2.4.2. Caracterización térmica

En la industria de la construcción se suele utilizar un coeficiente global de transmisión de calor, K, para la caracterización térmica de las paredes. Para las cubiertas del invernadero también puede usarse el mismo índice, pero debe usarse con precaución puesto que el valor K referido a un material usado en un edificio no es el mismo que el referido a ese mismo material usado como cubierta del invernadero.

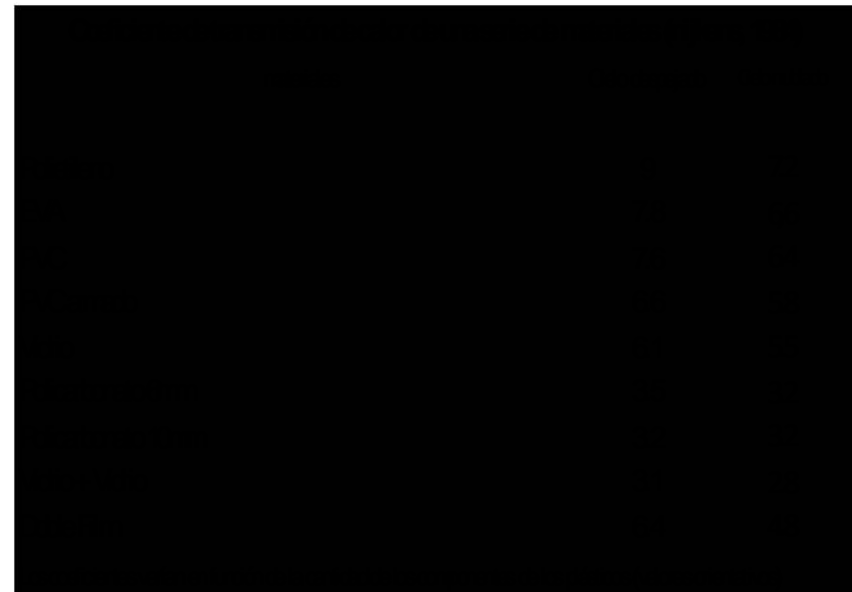
En este segundo caso influye la forma, o curvatura, la hermeticidad, la orientación y la situación del invernadero en relación con los objetos que lo rodean. Las medidas experimentales de los valores K necesitan unas instalaciones de cierta importancia y siguen un procedimiento normalizado que es un método clásico de caracterización de los elementos de construcción.

Pero los modernos materiales para cubierta de invernaderos introducen otra dificultad adicional ya que su transmitancia infrarroja térmica difiere de cero y los intercambios radiactivos no se producen solo entre dos paredes: cada elemento dentro del invernadero puede ver a todos los elementos de fuera.

Dada la dificultad de medir los coeficientes K, se puede recurrir a algún procedimiento de cálculo que, en base a las propiedades del material (espesor de la pared, conductividad térmica de los materiales, transmitancia y reflectancia hemisférica de ambas caras en el infrarrojo lejano) y de las condiciones medio ambientales (temperatura interior y exterior, velocidad del viento, cielo cubierto o despejado) determina las

pérdidas de calor convectivo, conductivo y radiactivo. En la cuadro II-4 se muestran los valores K de una serie de materiales de cubierta de invernaderos obtenidos para las condiciones.

Condiciones climáticas normalizadas para el cálculo del factor K	
Temperatura del aire dentro del invernadero	+ 20°C
Temperatura del aire exterior	- 10°C
Temperatura radiativa equivalente del cielo (cielo claro)	- 28°C
Velocidad del viento	4 m/s



2.5. PROPIEDADES DE DISTINTOS MATERIALES DE CUBIERTA.

2.5.1. Propiedades radiométricas.

- Todos los materiales de pared sencilla sin tratamiento superficial tienen una transmitancia solar total entre 0,84 (vidrio) y 0,91 (P.V.C.)
- El vidrio de baja emisividad tiene una transmitancia de 0,77 en pared sencilla y de 0,65 en pared doble.
- La transmitancia del infrarrojo térmico, que es cero para los vidrios, depende en alto grado de la composición química de los materiales sintéticos. Los aditivos pueden hacer variar esta transmitancia entre 0,6 y 0,2.
- Las transmitancias solar y PAR de las películas son prácticamente iguales pues su espectro de transmisión es plano en esos rangos de longitud de onda.
- Los materiales rígidos, especialmente los vidrios, exhiben a menudo una transmitancia al PAR más alta que la solar (hasta un 10% mayor).
- La transmisión de luz difusa es mucho más baja que la solar directa. El descenso varía entre el 9 y el 16% para cielo claro y entre el 17 y el 22% para cielos nublados. Señalemos que en el primer caso la luz difusa contribuye con el 20% de la radiación solar y con el 25% de la PAR.
- La pendiente de la cubierta tiene influencia sobre la transmitancia de luz difusa. Bajo cielos claros se alcanza el máximo en superficies verticales orientadas al sur, mientras que en cielos nublados es en techos horizontales.
- Las pérdidas de luminosidad se deben a la reflexión. La absorción no es significativa.
- El espesor de la película no tiene prácticamente influencia en la transmitancia solar, pero la transparencia al infrarrojo térmico si es afectada por este parámetro.
- La transmitancia solar de los materiales rígidos dependen en mayor grado de su componente principal y,

en paredes dobles de su estructura interna (si esta existe). Parece que a mayor espesor de la cámara de aire y a menor de las paredes de plástico, mejores son las prestaciones hortícolas.

- Merece la pena señalar que el polimetacrilato de pared doble PMMA 8 mm tiene una transmitancia solar normal comparable con la del vidrio simple y es la mejor de los materiales de pared doble. Además su transmitancia al infrarrojo térmico es cero. Sin embargo su precio es tan elevado que difícilmente se justifica la instalación del polimetacrilato.
- La capacidad de emisión del material de cubierta a las radiaciones de longitud de onda corta varía según el ángulo de incidencia de la radiación solar sobre la cubierta del invernadero. Esto ocurre tanto para las dobles pared como en las paredes simples. En general la transmisión varía poco para ángulos de incidencia iguales o menores de 30-40°, desciende bruscamente para valores mayores.
- El punto anterior tiene una gran repercusión en el diseño de invernaderos, puesto que en función de la latitud del lugar, zona donde se proyecta construir el invernadero y forma de la cubierta, el ángulo de incidencia de la radiación solar con el material repercutirá en la luminosidad total del invernadero.
- La transmitancia solar de las placas celulares de pared doble decrece abruptamente cuando aumenta el ángulo de incidencia. Más allá de 45°, el PMMA citado antes tiene peor transmitancia solar que el vidrio doble (2x6 mm).

2.5.2. Propiedades térmicas.

En función de los cálculos efectuados con los materiales de cubierta más comunes se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Para los materiales de pared simple la diferencia de temperatura entre sus dos superficies depende más del grosor del material que de su conductividad.
- El recubrimiento de baja emisividad ocasiona un aumento o una disminución de la temperatura de las dos caras. Si el recubrimiento es en la cara exterior produce un aumento y si es en la interior una disminución.
- El recubrimiento de baja emisividad de la cara exterior disminuye marcadamente las pérdidas radiactivas (-63%) pero aumenta las convectivas (+36%) debido a la subida de la temperatura superficial. Para el clima de referencia, el balance es que las pérdidas globales de calor disminuyen el 11 %.
- El recubrimiento de baja emisividad de la cara interior es en teoría más ventajoso (reducción de pérdidas de calor del 29%) pero la condensación de vapor de agua anula completamente este efecto.
- El valor del factor K de las películas es una función lineal que aumenta con la transmitancia infrarroja térmica y disminuye con la reflectancia.
- La condensación disminuye la transmitancia infrarroja térmica de las películas de PE y produce un decremento de su valor K.
- Para las paredes dobles, la diferencia de temperatura entre las caras interiores y exteriores es mucho mayor (10° a 20°C) que en las paredes simples, y la temperatura de la cara interior es siempre más alta. Estos efectos se magnifican en el caso del vidrio doble con tratamiento de baja emisividad en cualquier cara interior.
- Las pérdidas de calor convectivas de los materiales de pared doble disminuye en comparación con los de pared única y la distribución relativa de las pérdidas por radiación aumenta.
- Las Pérdidas de calor de las paredes dobles y los valores K aumentan con la transmitancia al infrarrojo térmico.

- El valor más bajo del factor K se obtiene para el caso de la cubierta doble de vidrio con tratamiento de baja emisividad en cualquiera de las caras interiores, siempre y cuando no haya condensación o lluvia.
- Los valores K para cubiertas simples aumentan con la velocidad del viento. El efecto del viento es despreciable sobre paredes dobles. La sensibilidad al viento del recubrimiento de baja emisividad en el vidrio simple es mayor cuando la cara tratada es la exterior.
- El valor del factor K se reduce en cielo nublado entre el 5 y el 25%.
- A mayor transmitancia del infrarrojo térmico más importante es este efecto.
- Si el espesor de la cámara de aire aumenta por encima de 10 mm no hay influencia sobre el factor K, mientras que cualquier reducción por debajo de este límite aumenta extraordinariamente las pérdidas de calor.

CANTIDAD DE RADIACIONES QUE LLEGAN A LA SUPERFICIE TERRESTRE EN FUNCION DE LA ALTURA DEL SOL					
RADIACIONES	ALTURA DEL SOL				
	0,5°	10°	30°	50°	90°
ULTRAVIOLETA 380M	-	1,00	2,70	3,20	4,70
380 VISIBLE 760	31,20	41,00	43,70	43,90	45,30
760 INFRARROJOS	68,80	58,00	54,60	52,30	50,00
	100%	100%	100%	100%	100%
VISIBLE					
VIOLETA 380/430	-	0,80	3,80	4,50	5,40
AZUL 430/490	-	4,60	7,80	8,20	9,00
VERDE 490/570	1,70	5,90	8,80	9,20	9,20
AMARILLO 570/600	4,10	10,00	9,80	9,70	10,50
ROJO	25,40	19,70	13,80	12,20	11,50

Fuente A: Nisen.

Nombre de archivo: A5
Directorio: C:\Users\PACO\Desktop\FRANCISCO\POSGRADO\TESIS
-BIBLIOTECA\DOC
Plantilla: Normal.dotm
Título: CENTRO DE ACOPIO DISTRIBUCION Y
PROCESAMIENTO DE NOPAL EN MILPA ALTA D
Asunto:
Autor: FRANCISCO VIDAL MENDOZA
Palabras clave:
Comentarios:
Fecha de creación: 12/06/2007 05:53:00 a.m.
Cambio número: 23
Guardado el: 24/10/2007 10:36:00 a.m.
Guardado por: FRANCISCO VIDAL
Tiempo de edición: 68 minutos
Impreso el: 13/11/2007 01:24:00 a.m.
Última impresión completa
Número de páginas: 8
Número de palabras: 3,224 (aprox.)
Número de caracteres: 17,738 (aprox.)

CAPÍTULO 3.

BASES DE CALCULOS CONSTRUCTIVOS Y NORMALIZACION DE INVERNADEROS.

CAPÍTULO 3.

3. BASES DE CALCULOS CONSTRUCTIVOS Y NORMALIZACION DE INVERNADEROS.

Las cargas que actúan en el invernadero pueden dividirse en:

- Cargas permanentes, entre las que figuran el peso propio del material de cobertura, el peso de los elementos que sostienen a la anterior, el peso de la estructura resistente, y de otros que actúan de forma permanente sobre la estructura (sobrecarga de uso fijo) o no (sobrecarga de uso variable).
-
- Cargas accidentales, que comprenden: el peso de la nieve, acción del viento, sobrecarga de conservación actuando sobre la cubierta y acción sísmica.

3.1. CARGAS PERMANENTES.

El peso del material de cubierta depende del material utilizado y puede variar entre 7 kg/m^2 para vidrio de 6 a 8 mm y 1 a 5 kg/m^2 para plástico rígido.

El peso de los elementos que sostienen la cubierta puede considerarse conjuntamente con el peso de la estructura portante. Este depende del tipo de material empleado, claro libre, tipo de la estructura portante. etc.

En ausencia de un cálculo detallado de los pesos de tales elementos pueden considerarse los siguientes valores en función del tipo de invernadero.

Tipo de invernadero	peso medio kg/m^2
Invernadero de madera con estructura longitudinal	8-26
Invernadero de acero con cubierta de plástico rígido o flexible (claro ? 12m)	4-10
Invernadero en aluminio con cubierta de vidrio (claro ? 6m)	5-8
Invernadero en acero con cubierta de vidrio (claro ? 9m)	8-14
Invernadero en acero con cubierta de vidrio (claro 6-15m)	12-18

Fuente Antonio Mantalla Gonzalez (*Invernaderos*)

Estas cargas incluyen pesos accesorios fijos a la estructura. La sobrecarga de uso fijo viene originada por las plantas y otros elementos, por ejemplo, tuberías de riego), que pueden estar sujetas a la estructura portante. La magnitud y distribución de esta carga es, generalmente, difícilmente cuantificable, por lo que se utiliza una carga genérica de 15 kg/m^2 en el caso de carga uniforme o de 50 Kg. en el caso de carga concentrada.

3.2. CARGA DE NIEVE.

La sobrecarga de nieve definida en la Norma Básica de la Edificación NBE-AE/88 Acciones en la Edificación, parecen excesivas para este tipo de estructuras. Así, en Alemania, país en que las precipitaciones de nieve son más intensas y frecuentes que en el nuestro, se prescribe no tener en cuenta la carga de nieve en estructuras de claros menores a 12 m, y en los de claros superiores se limita a un valor a 25 kg/m^2 de proyección horizontal. Esta carga, independientemente del claro, es la adoptada en Holanda.

Las normas alemanas prescriben para las estructuras normales sobrecargas de nieve variables, entre $65-75 \text{ kg/m}^2$, en función de la inclinación de los faldones de cubierta.

Las razones de esta reducción de la sobrecarga de nieve en este tipo de construcciones son:

- Las zonas de implantación de los invernaderos son áreas de clima moderado y, por tanto, de escasas nevadas.
- La naturaleza del material de cubierta facilita el deslizamiento de la masa de nieve.
- El calentamiento interno del invernadero provoca el derretimiento de la nieve en contacto con el material de cubierta.
- Al alcanzar la nieve valores elevados, se rompe el material de cubierta, dejando entonces de actuar sobre la estructura portante.

Por todas estas consideraciones parece razonable adoptar para la carga de nieve un valor de 25 kg/m² de proyección horizontal. En la norma española PNE 76208 referente a invernaderos multicapilla con cubierta de materiales plásticos se recomienda considerar cuatro zonas geográficas de carga de nieve en función de su altitud con respecto al mar.

3.3. ACCIÓN DEL VIENTO.

Las estructuras de este tipo, presentan muy poca carga vertical, sin embargo la actuación de acciones horizontales como el viento supone un notable incremento de los esfuerzos, llegando a ser determinante para el dimensionamiento de los distintos elementos de la estructura.

El viento es una acción dinámica que al actuar sobre un elemento produce una respuesta variable en el tiempo. Se considera que para el cálculo se asimila la acción del viento a una presión o depresión estática proporcional al valor W (kg/m²):

$$W = \frac{v^2}{16}$$

Donde:

V = velocidad del viento (m/seg).

La acción del viento en función de la altura del elemento y de su situación topográfica. Se considera que ésta es expuesta en las costas, castas, valles, etc. Normalmente, es suficiente estudiar la acción del viento según dos direcciones coincidentes con los ejes principales de la estructura y en ambos sentidos.

La sobrecarga debida al viento depende de la forma de la construcción del ángulo de incidencia a , y su valor es:

$$q = aCW$$

Donde:

C es el coeficiente eólico. Su dirección es normal al elemento considerado.

Para $0 \leq a \leq 60'$

$$\begin{aligned} C^1 &= 0,02 \text{ a } -0,4 \text{ (Barlovento)} \\ C^2 &= -0,4 \text{ (Sotavento)} \end{aligned}$$

Para $a > 60'$

$$\begin{aligned} C^1 &= 0,8 \\ C^2 &= -0,4 \end{aligned}$$

Para invernaderos de formas curvas pueden utilizarse los coeficientes obtenidos por el National Institute of Agricultural Engineering del Reino Unido (Richardson, 1985), que sirven de norma de diseño en aquel país.

En los invernaderos donde no puede asegurarse la estabilidad respecto al viento, debe considerarse además, una sobrecarga local de presión o succión de valor:

Presión interior $C = +0,4$
 Succión $C = -0,2$

COEFICIENTES EOLICOS PARA TUNEL AISLADO				
Tunel aislado		altura/anchura = 1/3		
	angulo de incidencia α	sector ?	αC	C local
	0°	0° - 40° 40° - 50° 50° - 65° 65° - 100° 100° - 115° 115° - 180°		0,30 -0,50 -0,90 -1,50 -1,00 -0,40
90°	0° - 180°		-0,30	-1,0 -0,6

Fuente National Institute of Agricultural Engineering del Reino Unido (Richardson, 1985)

COEFICIENTES EOLICOS PARA TÚNELES ADOSADOS				
Módulos adosados				
Angulo de incidencia α	sector ?	αC		
Primer módulo a barlovento igual que tunel aislado excepto	0°	65 -100°	-1,2	
Restantes módulos excepto el último	0°	canal -80° 80 - 105° 105 - canal	-0,3 -0,9 -0,2	-0,1 -0,7 -0,1
Ultimo módulo (sotavento)	0°	canal -80° 80 - 105° 105 - 180°	0 -0,6 -0,2	
Angulo de incidencia α	sector ?	αC		
Todos los módulos	90°	0 - 180°	-0,3	-1,3 -0,6

Fuente National Institute of Agricultural Engineering del Reino Unido (Richardson, 1985)

En el caso de superficies a resguardo, tales como invernaderos múltiples en diente de sierra, el coeficiente eólico Puede reducirse en un 25%.

Dado este tipo de estructura en estudio, que raramente alcanza alturas superiores a 6 m, parece justificado suponer un valor fijo de la presión dinámica, independientemente de su ubicación y de valor $W = 50 \text{ kg/m}^2$

Además del cálculo por viento transversal, debe comprobarse la estabilidad en sentido longitudinal, considerando los mismos coeficientes aplicados a las paredes frontales y una carga horizontal tangencial aplicada sobre la proyección horizontal de la superficie de cubierta de valor 0,1 W.

3.4. HIPÓTESIS DE CARGA.

Para el dimensionamiento de la estructura portante se realizarán las siguientes hipótesis de carga:

Hipótesis I. –

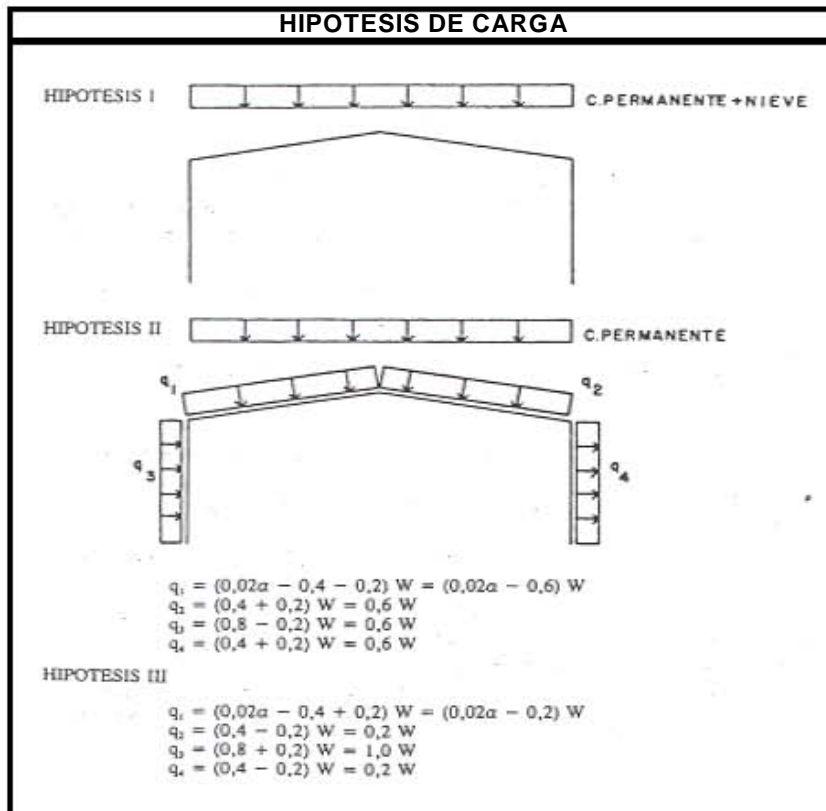
- Carga permanente (peso propio estructura + material de cubierta + sobrecarga de uso fija).

Hipótesis II.

- carga permanente.
- Viento en el exterior.
- Viento en el interior (presión).

Hipótesis III.

- Carga permanente.
- Sobrecarga de nieve.
- Viento en el exterior.
- Viento en el interior (succión).



Fuente A: Nisen.

3.5. 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 de resistencia del terreno sobre el que descansa esta, salvo en el caso de terrenos compactos superficiales, es inferior a las de las construcciones ordinarias, dada la menor profundidad a que se cimentan estas estructuras por motivos económicos. 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 deducido el peso propio de éste, siendo:

C_p = peso propio del invernadero.
 P_v = presión viento.
 P_c = peso cimentación.

$$\frac{P_c}{P_v - C_p} \geq 3$$

En los invernaderos multicapilla con cubierta de materiales plásticos el peso total de la cimentación o la resistencia última al rozamiento sobre las superficies laterales de las bases no será inferior a 1,5 veces la presión provocada por el viento en el interior del invernadero.

Las cargas horizontales y verticales deben ser transmitidas al terreno,

3.6. ESPECIFICACIONES GENERALES QUE DEBEN CUMPLIR ESTAS ESTRUCTURAS.

En general, este tipo de estructuras deben cumplir las siguientes especificaciones:

- La flecha máxima, tanto en la estructura principal como de los elementos secundarios, no debe ser superior al 1/200 del claro.
- Para el dimensionamiento de los elementos metálicos y sus uniones se seguirán las normas específicas para estos elementos (MV-103, etc.).
- El dimensionamiento de los elementos de concreto en masa o armado se realizará de acuerdo con la

«Instrucción para el proyecto y ejecución de obras de concreto en masa o armado EH-88.

- Para la determinación de acciones o pesos específicos no mencionados en este apartado se seguirá la norma NBE-AESS, «Acciones en la edificación.

3.7. NORMA EUROPEA PARA INVERNADEROS.

Recientemente el Instituto de Normalización de Holanda M) tomó la iniciativa de proponer a la Organización CEN Comité Europeo de Normalización) el establecer una Norma Europea para Invernaderos, Después de consultar con otros Institutos Europeos de Normalización y de obtener su apoyo a esta idea, la organización CEN acordó formar el comité CEN-TC 284 Invernaderos.

La primera reunión del comité tuvo lugar el 23 de Abril de 1993 en Rotterdam. El CEN-TC 284 opera bajo la presidencia del Reino Unido y el secretariado de Holanda. Hasta ahora participa el siguiente grupo de países de la CEE y de la Efta en la creación de la norma: Reino Unido, Holanda, Alemania, Francia, Italia, España y Bélgica.

El 19 de Junio de 1993 tuvo lugar en Delft (Holanda) una reunión de un grupo de trabajo del CEN-TC 284 para definir un programa de actividades y para deliberar sobre la manera de preparar el borrador de la norma para invernaderos.

El comité ha iniciado su tarea teniendo en cuenta todas las Normas Nacionales de Invernaderos, así como toda la información disponible en esta materia dentro y fuera de Europa.

Hasta ahora los miembros del Comité han aportado la siguiente lista de documentos:

- NEN 3859. Requerimientos estructurales de los invernaderos (publicado en 1982). Holanda.

- BSI 911188819. Túneles cubiertos con plástico rígido y en películas. Código de instrucciones para el diseño, construcción y determinación de las cargas (Borrador de Diciembre de 1991). 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 57-064 Francia. Septiembre 1991. Multi-túneles.
- AFNOR PR U 57-001 Francia. Marzo 1993. Vocabulario. Definiciones.
- BS 5502 (Part. 22) Reino Unido 1987 (Revisado). International Society for Horticultural Science. Borrador. Junio 1991.
- CEN.TC 294 N 13 Propuesta alemana en base al borrador de la ISHS.
- 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.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. TN7FB5723. Feb. 1983.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Suplemento al Código Europeo para estructuras de edificios agrícolas y hortícolas. Parte 9. Acciones. Agosto 1989.
- UNE 76-208092 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 cálculo.
- UNI 9936 Italia. Invernaderos de cubierta plástica. Especificaciones generales.
- UNI CNR 10011 Italia. Construcciones de acero. Instrucciones para el diseño de la estructura, construcción, ensayo mantenimiento.
- UNE 76-208092. Norma española.

- CEN.TC 284 Comité Europeo de Normalización de Invernaderos, incluye la definición de los diferentes tipos de invernaderos, el período de referencia y grado de seguridad y la valoración de las cargas de diseño, los aspectos constructivos, la protección anticorrosiva, las cimentaciones, etc. diciembre de 1996.

3.8 CONCLUSIONES.

En un recorrido por la geografía mexicana con vocación agrícola dedicada especialmente al cultivo bajo invernadero la diversidad constructiva que se observa en los modelos de invernadero refleja la tendencia a la construcción o al diseño del invernadero autóctono, es decir, propio del área geográfica con interés hortícola.

Así, por ejemplo, y a grandes rasgos, se tiene un invernadero tipo «parral» plano, tan frecuente en Baja California, en el que la estructura soporte a base de madera y las dos mallas de alambre sustentadora del material plástico de cobertura son sus principales elementos constructivos

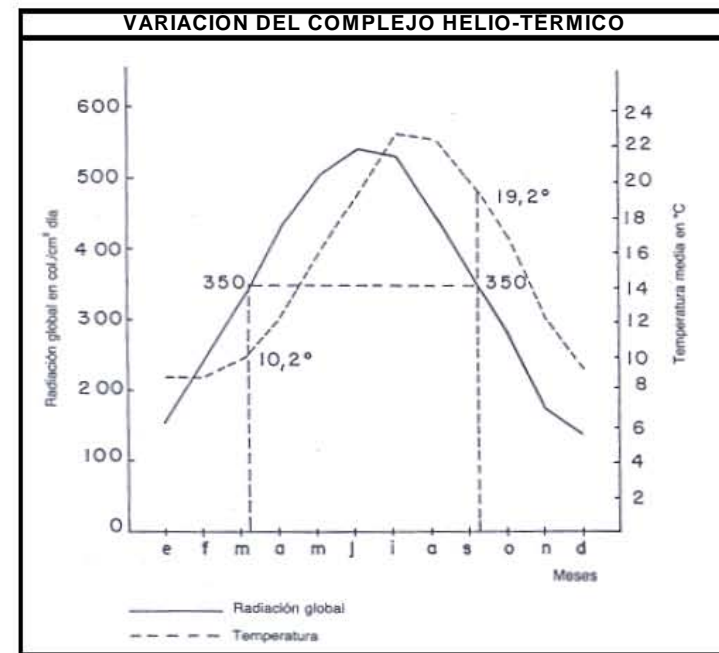
Otro modelo sencillo de invernadero es el construido a base de tubería galvanizada de 1" y colocadas a un marco de 3 x 3 m. Este último es el denominado tipo Canario. En la región norte-occidental, y concretamente en el estado de Sinaloa, también existe un invernadero característico construido a base de madera y a dos vertientes

La rusticidad de las anteriores construcciones se aleja de las dos características definitorias de un invernadero, en sentido estricto. Es decir, la eficacia y la funcionalidad no se complementan en las construcciones anteriormente citadas (habría que denominarlas protecciones ó abrigos climáticos) - Se comprende que en ellas la regulación climática no es posible por motivos obvios, y para que la hubiera habría que realizar modificaciones en la estructura, a fin de posibilitar la

introducción de las técnicas de climatización y las adecuadas medidas del ahorro energético.

A pesar de lo anterior, estas protecciones en las diferentes áreas bioclimáticas, contribuyen a los objetivos del cultivo protegido definidos por la calidad, la precocidad y el incremento en la producción en relación a un cultivo al aire libre. Por otra parte, si se introdujeran mejores técnicas en esas rústicas construcciones, se podrían incrementar los rendimientos unitarios de los cultivos en relación a los obtenidos en la actualidad.

Además de las protecciones anteriores, la constante preocupación en la búsqueda de un invernadero propio o autóctono adaptado a las características climáticas, de la zona ha originado recientemente la aparición en Almería, España del invernadero solar enterrado (INSOLE).



Fuente Antonio Mantalla Gonzalez (*invernaderos*)

El diseño de los invernaderos debe contemplar en su primera fase el aprovechamiento del clima natural de la zona a través de la forma, orientación, pendiente de cubierta, material de cobertura, tipo de cultivo, etc.

En definitiva, sería evaluar el efecto estufa o efecto invernadero y, por lo tanto, la evolución de los parámetros climáticos de radiación solar y temperatura en el interior del invernadero. El clima exterior en relación a los anteriores elementos climáticos estaría representado por el diagrama ombrotérmico.

Las observaciones anteriores permitirán calibrar el rendimiento térmico (diurno/nocturno) del invernadero proyectado para el microclima existente en la zona geográfica preestablecida. Por otra parte, y de sumo interés, es la valoración de la humedad relativa, ya que en la mayoría de los casos interviene como factor limitante del cultivo bajo invernadero. A partir de este análisis del clima espontáneo, originado en el invernadero que se haya diseñado, se podrán definir las especies más adecuadas o, en la mayoría de los casos, las más próximas al microclima existente en el invernadero.

Sin embargo, el clima espontáneo del invernadero está lejos de ser el hábitat idóneo y, por lo tanto se hace necesario, por lógica, intervenir técnicamente para adecuar el invernadero proyectado a las necesidades fisiológicas del cultivo. Además de los anteriores, el diseño del invernadero debe de tener como objetivo la versatilidad, es decir, que reúna las mínimas condiciones técnicas que permitan al agricultor la variación en sus orientaciones productivas (huerta, flor cortada, planta ornamental en maceta).

Por último, todo lo dicho anteriormente debe de encuadrarse en un contexto económico, de tal manera que un modelo u otro de invernadero se encuentre dentro de las posibilidades financieras del agricultor.

En el momento actual, y con referencia al contexto mundial, la construcción de invernaderos se relaciona con la crisis energética. En este sentido se busca el invernadero económico en energía, en el que se deben de contemplar todas aquellas técnicas que mejoren el rendimiento energético del invernadero dotado de calefacción (dobles y triples cubiertas, calefacción de suelo, especies productivas a baja luminosidad y temperatura, banquetas de cultivos móviles, pantallas térmicas, etc.).

Lo anterior plantea, en los países del Norte y Centro de Europa, el grado o nivel de sofisticación que es necesario introducir en el invernadero o, de otra manera, la importancia de las inversiones necesarias o toleradas en el invernadero a fin de hacer rentable el cultivo.

En los del área mediterránea el problema es diferente. En este caso el diseño debería abordar la introducción de sistemas o técnicas que disminuyeran las elevadas temperaturas que se originan en el interior de los invernaderos durante el período estival. Por otra parte, en nuestras latitudes también son válidos los sistemas de ahorro energético utilizados en otros países.

Por último cabe insistir en la necesidad de disponer de normas para el diseño, cálculo y construcción del invernadero. La Norma Europea actualmente es la más desarrollada en el contexto mundial pero para ser práctica, debe recoger los aspectos específicos de los invernaderos del sur y del norte, pues las tolerancias a los desplazamientos, la flexibilidad de los invernaderos de plástico y la vida útil de las instalaciones no es la misma en el sur que en el norte.

La Norma debe ser un certificado de calidad que sirva de garantía al agricultor, a las casas aseguradoras y a los agentes financieros, pero debe alcanzar un equilibrio entre la garantía de seguridad de la estructura y el costo del invernadero.

Nombre de archivo: A6
Directorio: C:\Users\PACO\Documents
Plantilla: Normal.dotm
Título: CENTRO DE ACOPIO DISTRIBUCION Y
 PROCESAMIENTO DE NOPAL EN MILPA ALTA D
Asunto:
Autor: FRANCISCO VIDAL MENDOZA
Palabras clave:
Comentarios:
Fecha de creación: 24/10/2007 12:17:00 p.m.
Cambio número: 2
Guardado el: 24/10/2007 12:17:00 p.m.
Guardado por: FRANCISCO VIDAL
Tiempo de edición: 0 minutos
Impreso el: 13/11/2007 01:27:00 a.m.
Última impresión completa
 Número de páginas: 8
 Número de palabras: 2,661 (aprox.)
 Número de caracteres: 14,637 (aprox.)

CAPÍTULO 4.

BALANCE TÉRMICO.

CAPÍTULO 4.

4. BALANCE TERMICO. ECUACION GENERAL.

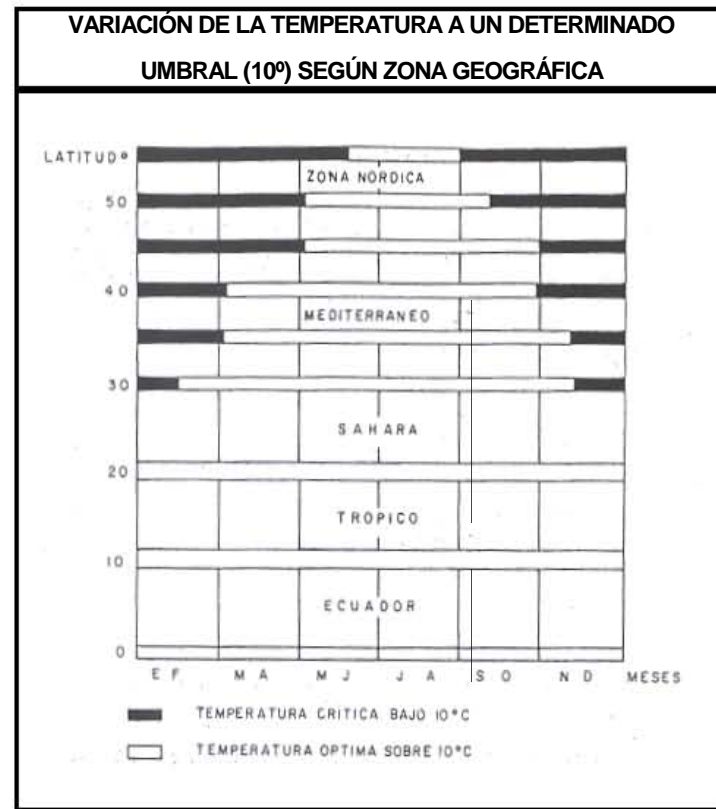
4.1 INTRODUCCIÓN.

En un invernadero sin ningún sistema de calefacción, es decir, en régimen espontáneo, existe la posibilidad de que la temperatura de las plantas no alcance los objetivos de producción que se pretenden lograr en el cultivo bajo invernadero y, por lo tanto y de manera general, sea necesario corregir aquella temperatura a fin de evitar la mínima letal y aportar los medios técnicos necesarios para conseguir la temperatura óptima del cultivo. La situación geográfica del invernadero y la especie en cultivo son, entre otros, algunos de los factores que definen las necesidades energéticas para mantener en el interior del invernadero el microclima adecuado para la planta. Como orientación, y para poner de manifiesto la importancia de la localización geográfica, ya que para diferentes latitudes el período o intervalo de tiempo varía en el que existe una temperatura crítica por debajo del nivel de 10°C.

Se aprecia que el área mediterránea aventaja a otras zonas geográficas para ese umbral de temperatura ($t = 10^{\circ}\text{C}$) y, por lo tanto, el período de uso de la calefacción para las diferentes especies horto-florícolas es sensiblemente inferior, así como la menor incidencia que el consumo de combustible tiene en los gastos de explotación en comparación con otros países.

La valoración de los términos del balance energético en un invernadero permite establecer el rango energético que sería necesario mantener en el

interior del invernadero con el fin de lograr el régimen térmico diurno-nocturno adecuado a la especie de cultivo. En horticultura comestible el investigador Iwasaki, M. (1985), estableció tres grandes grupos de hortalizas en función de su respuesta térmica y lumínica. Entre las especies de baja exigencia térmica se destacan el apio, fresa, lechuga, espinaca, cuya temperatura nocturna se fija entre 5 °C a 10° C y .tienen un punto de saturación fotosintética entre 320 u mulo/seg m² y 640 u mulo/seg m² ; sólo el apio requiere una intensidad lumínica superior, del orden de 960 u mulo/seg m².



Fuente Antonio Mantalla Gonzalez (*invernaderos*)

Las hortalizas con exigencia bioclimática elevada como la berenjena, sandía, pimiento, melón (necesitan una temperatura mínima variable de 13°C para berenjena y sandía y de 16 a 18°C para el melón y el pimiento).

El aporte artificial de calor que permite pasar de la temperatura espontánea (tx) en el interior del invernadero a la deseada según el tiempo de cultivo (ti), se debe de caracterizar por:

- La fiabilidad de la instalación en el espacio y el tiempo.
- Buena regulación y seguridad a fin de evitar contratiempos en los momentos en los que la calefacción sea necesaria en el invernadero.
- Potencia térmica suficiente para cubrir las necesidades fisiológicas de la planta calculada a partir de la ecuación general del balance energético en un invernadero.

4.2 Balance térmico. Ecuación general.

Los intercambios energéticos entre el interior del invernadero y el clima exterior son complejos, ya que están relacionados entre sí y, a su vez, hacen intervenir todos los modos de transferencia del calor: por radiación térmica, por conducción y por convección. Estas transferencias de energía pueden quedar resumidas de la siguiente manera:

Intercambio por radiación:

1. provenientes
 - del suelo,
 - de la atmósfera,
 - del ambiente
 - y de la vegetación.

2. Emitidos hacia el ambiente por la estructura y cubierta.

Intercambios por convección:

- con el ambiente exterior,
- con el ambiente interior,
- con el suelo,
- a través de la pared.

Intercambios por conducción:

- en el suelo interior (forma un volante térmico importante),
- a través de la pared del invernadero.

Conjugar estos intercambios energéticos mediante una expresión matemática es complejo a causa de los numerosos factores que intervienen y que, como se ha dicho anteriormente, están relacionados entre sí.

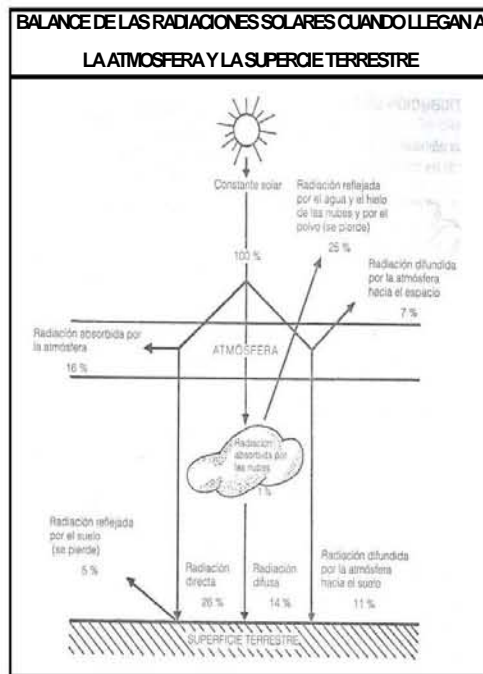
Para el cálculo de la expresión matemática que define los intercambios energéticos por radiación térmica entre el invernadero y el clima exterior se seguirá la metodología descrita por Chiapale, J. P., y otros investigadores (1981). Para completar el resto de los términos del balance energético por conducción, convección se tendrán en cuenta los trabajos realizados por Rianchi (1982), Chandra (1982) Garzoli, y cols. (1981)@ Nijssken y cols.(1984), Tesi (1968), entre otros.

El modelo matemático de cálculo para el balance energético de un invernadero se establecerá para el período nocturno, en el que las pérdidas energéticas son importantes y deben ser compensadas con el aporte artificial de calor.

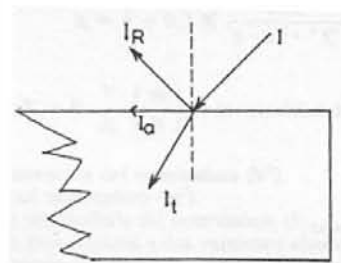
Debido a que la mayoría de las fórmulas que definen la ecuación general del balance térmico son experimentales, se expresarán en el sistema de unidades original, teniendo en cuenta que su conversión al sistema internacional (SI) en W/m^2 es de $1 \text{ Kcal/h} = 1,163\text{-W}$.

4.3 Intercambios energéticos por radiación térmica.

La radiación térmica implica la transferencia de calor de un cuerpo a otro de más baja temperatura mediante ondas electromagnéticas a través del medio que las separa. Las ondas de radiación térmica tienen propiedades similares a otros tipos de ondas electromagnéticas, difiriendo únicamente en longitud de onda. El esquema siguiente muestra los cambios que pueden ocurrir cuando un haz de radiación incide sobre una superficie.



Fuente A Nsen.



- la reflectancia por $\delta = (IR / I) \times F$
- la absorptancia por $\alpha = (Ia / I)$
- la transmisividad por $\zeta = (It / I)$

siendo la radiación incidente igual a:

$$I = \alpha I + \delta I + \zeta I$$

donde:

$$1 = \alpha + \delta + \zeta$$

Se define la emisividad de un cuerpo (ϵ) como el cociente entre la energía total emitida y la energía total que emitiera un cuerpo negro a la misma temperatura. Es decir:

$$\epsilon = (E \times T) / (E_b \times T)$$

donde:

($E_b \times T$) es la energía emitida por el cuerpo negro.

La ley de Kirchhoffs establece que la emisividad, ϵ , de una superficie es igual a la absorptancia de la misma:

$$\alpha \lambda = \epsilon \lambda$$

Por otra parte, la ley de Kirchhoffs muestra que la energía emitida por cualquier cuerpo debe ser inferior a la de un cuerpo negro a la misma temperatura. Es decir, la emisividad de una superficie real debe ser inferior a la unidad ($\epsilon < 1$).

Según el esquema anterior, parte de la radiación incidente (I), es reflejada (IR), parte es absorbida (Ia), y parte es transmitida (It). Se define:

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

$$E_b = \sigma T^4$$

donde:

T = temperatura absoluta (° K).

σ = constante de Stefan-Boltzman

$$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ x (W / m}^2 \text{ o k}^4 \text{)}$$

Para completar las leyes de la radiación térmica, la ley del desplazamiento de Wien establece que la longitud de onda a la que tiene lugar el máximo de emisión viene dada por la expresión:

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

De acuerdo con esta ecuación, a la temperatura ambiente λ_{max} tiene un valor aproximado de 10 micras, es decir, en el infrarrojo lejano conocida como radiación térmica o calorífica. En este sentido, se comprende que en esta franja de longitud de onda los materiales de cobertura deben de presentar la máxima opacidad (efecto estufa o efecto invernadero).

El calculo del balance de radiación entre dos superficies puede expresarse de una forma genérica por la siguiente expresión. Sean las superficies 1 y 2. El flujo de energía radiante incide sobre 2 proveniente de 1 es:

$$E_1 = q_1 A_1 F_{12}$$

donde:

- F es el factor de forma geométrico, porcentaje de energía radiante emitida por la superficie 1 que llega a 2.
- A superficie.

De forma similar, el flujo de energía radiante que incide sobre 1 proveniente de 2 es:

$$E_2 = q_2 A_2 F_{21}$$

La transferencia de, energía neta de 1 a, 2 será:

$$Q_{12} = q_1 A_1 F_{12} - q_2 A_2 F_{21}$$

La valoración de los intercambios radiantes en invernadero es función de la temperatura de la cubierta vegetal, del suelo exterior, del material de cobertura de la transmisividad y emisividad del material de cobertura. Es decir, para el cálculo de la expresión general es necesario definir los intercambios energéticos entre los diferentes planos (cubierta vegetal y pared, pared-ambiente exterior, etc.).

Una simplificación en el cálculo de los intercambios energéticos por radiación térmica se debe al investigador Chiapale, J.P., y Cols. (1981), que establecieron unas hipótesis de cálculo por las que se define que la intensidad de las pérdidas energéticas por radiación infrarroja dependen únicamente de la diferencia entre las temperaturas aparentes de emisión de la atmósfera (T_A) y la del material de cobertura (T_p). Los cálculos se hacen para un invernadero con cubierta de vidrio es decir, opaco a las radiaciones infrarrojas ($\epsilon = 1$).

Siendo:

T_A : temperatura aparente de emisión de la atmósfera.

T_p : temperatura de la pared del invernadero.

Los intercambios radiantes netos son:

$$R_N = \sigma T_A^4 - \epsilon \sigma T_p^4 \quad \#3.8 (T_A - T_p) \text{ (kcal / (m . m}_2 \text{))}$$

En el modelo matemático elaborado por Chiapale, J.P., y otros investigadores franceses, se admite que en la mayoría de los casos la temperatura de la pared del

invernadero es bastante próximo a la temperatura del aire: $T_p = T_a$

La temperatura aparente de emisión de la atmósfera (TA) depende, esencialmente, de la presencia o de la ausencia de nubosidad. Se admite que:

TEMPERATURA APARENTE DE EMISIÓN DE LA ATMOSFERA		
	$T_p - T_A$	R_n $\frac{\text{Kcal}}{\text{h}\cdot\text{m}^2}$
Cielo despejado	22°C	84
Cielo cubierto	7°C	27

Fuente A: Nisen.

Otra de las hipótesis de cálculo, introducida por los citados investigadores, es que la proporción de horas de la noche con cielo despejado se puede estimar partir de la fracción de insolación (i):

$$i = \frac{n}{N} \frac{\text{número de horas de insolación}}{\text{duración del día}}$$

Con los datos de las ecuaciones anteriores se pueden calcular las pérdidas energéticas por radiación térmica, según la siguiente expresión:

$$R_N = \frac{S_d}{S_c} (84i + 27(1-i)) \frac{\text{kcal}}{\text{h m}^2 \text{ suelo cubierto}}$$

donde:

- R_N : intercambios energéticos por radiación térmica.
- i : fracción de insolación.
- S_d : superficie desarrollada del invernadero m^2
- S_c : superficie cubierta en m^2

Este modelo de cálculo ha servido de base para estimar las necesidades energéticas por radiación térmica en los invernaderos, situados en Francia.

4.4 Intercambios energéticos por conducción-convección.

En estos intercambios es interesante destacar :

- o Los intercambios internos en el invernadero.
- o Los intercambios energéticos en la parte externa del material de cobertura
- o Los intercambios entre el interior y el exterior.



Fuente A: Nisen.

Para el cálculo de estos intercambios energéticos se admitirá que la temperatura en el interior del invernadero (t_i) es superior a la del exterior (t_e) ($t_i > t_e$), y se busca expresar la cantidad de calor que pasa del interior al exterior en función de la diferencia de temperatura: $t_i - t_e$

En los intercambios energéticos por conducción-convección entre el interior del invernadero y el ambiente exterior, el calor pasa por unidad de superficie (m^2) y por unidad de tiempo (hora), expresándose mediante las siguientes ecuaciones:

Del aire interior (t_i) a la cara interna del material de cobertura

$$Q_{cc} = h_j (t_i - t_{ip}) \frac{\text{kcal}}{h - m^2 \text{ de superficie desarrollada}}$$

siendo:

h_j : el coeficiente superficial de convección para el ambiente interior del invernadero.

En caso de un invernadero de vidrio, el coeficiente h_j se puede estimar a través de la ecuación:

$$h_j = 4 + 0,5 X \frac{\text{kcal}}{h - m^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

donde:

$$X = R \frac{V}{S_d} \frac{m}{h} \text{ (-----) es la velocidad de fuga}$$

Siendo:

- R: tasa de renovación del invernadero (h^{-1}).
- V: volumen del invernadero (m^3).
- S_d : superficie desarrollada del invernadero ($S_{i \text{ frontales}} + S_{2 \text{ techo}} + S_{3 \text{ laterales}}$)

En el caso de invernaderos a dos vertientes simétricas, la expresión de la superficie desarrollada del invernadero viene dada por.

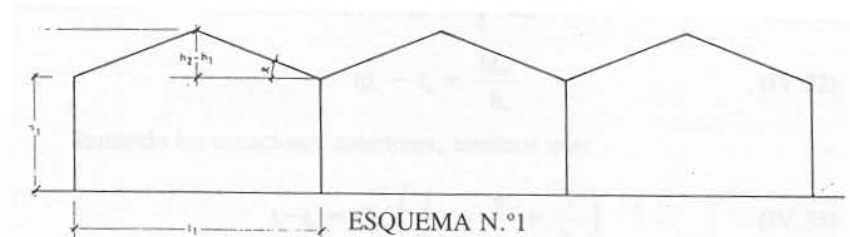
Superficie desarrollada: $S_f + S_t + S_l$.

- S_f : superficie de frontales.
- S_t : superficie de techo.
- S_l : superficie lateral.

$$S_f = h_1 \cdot 1_1 \cdot n \cdot 2 + 1/2 \cdot 1_1 \cdot (h_2 - h_1)$$

$$S_t = \sqrt{(1_1/2 \cdot 1)^2 + (h_2 - h_1)^2} \cdot L \cdot n \cdot 2$$

$$S_l = h_1 \cdot L \cdot 2$$



- L: longitud del conjunto de invernaderos
- h_1 : altura de la canal.
- h_2 : altura de la cumbre.
- α : pendiente de la cubierta.
- l_1 : anchura de una nave o capilla.

Superficie desarrollada:

$$S_d = h_1 l_1 n 2 + 1/2 l_1 (h_2 - h_1) n 2 + 2nL \sqrt{(l_1/2)^2 + (h_2 - h_1)^2} + h_1 L 2$$

Superficie desarrollada:

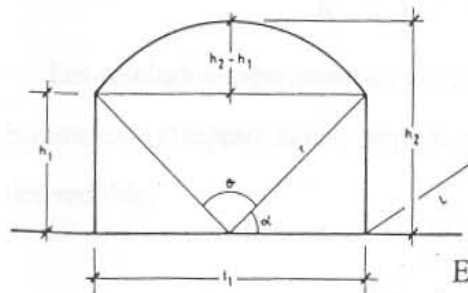
$$S_d = [l_1 h_1 2 + 1/2 l_1 (h_2 - h_1) + 2L \sqrt{(l_1/2)^2 + (h_2 - h_1)^2}] + 2 h_1 L$$

Donde:

n = número de naves o capillas iguales.

Por otra parte, la ecuación de superficie desarrollada (S_d) puede ser expresada en función de la pendiente de la cubierta (α).

En el supuesto de un invernadero con cubierta curva, se procederá de manera análoga que el cálculo anterior, si bien se ha de definir la figura geométrica que forma el techo del invernadero



h_2 : altura en cumbre.
 h_1 : altura de canal.
 l_1 : ancho de la nave.
 L : longitud del invernadero.

ESQUEMA N.º 2

Superficie desarrollada: $S_d = S_f + S_t + S_l$

Donde:

S_f : superficie de frontales.
 S_t : superficie de techo.
 S_l : superficie lateral.

Si la forma curva es un segmento de un círculo de radio r, se tiene que:

$$S_f = l_1 h_1 2 + [1/2 r^2 (\theta - \text{sen } \theta)] 2$$

Siendo: $1/2 r^2 (\theta - \text{sen } \theta)$

área limitada por un segmento de un círculo de radio r (zona sombreada)

$$S_t = r \theta L$$

r θ : longitud del arco

$$S_l = h_1 L 2$$

$$S_d = h_1 l_1 * 2 + [1/2 r^2 (\theta - \text{sen } \theta)] 2 + h_1 L * 2 + r \theta L$$

b) A través del material de cobertura de la cara interior (tp_i), a la cara exterior (tp_e) del mismo:

- proporcionalmente a esta diferencia ($tp_i - tp_e$)
- en función de las características del material (conductividad térmica

$$\lambda = \frac{\text{kcal}}{h * m \text{ } ^\circ\text{C}}$$

- en función del espesor del material (e).

$$Q_{cc} = \frac{\lambda}{e} (t_{p1} - t_e) \frac{\text{kcal}}{h * m^2}$$

c) De la cara exterior del material de cobertura (tp_e) al aire exterior (t_e).

$$Q_{cc} = h_e (t_{p_e} - t_e) \frac{\text{kcal}}{h * m^2}$$

Siendo:

h_e : coeficiente de convección exterior

$$\frac{\text{kcal}}{h * m^2 * ^\circ C}$$

donde:

$$h_e = 5 + 3.5 \mu \frac{\text{kcal}}{h * m^2 * ^\circ C} \text{ para } \mu < 5 \text{ m/seg}$$

Siendo μ la velocidad del viento en m/seg.

En el caso de que la velocidad del viento, μ, sea superior a 5 m/seg (μ > 5 m/seg) entonces el coeficiente de convección viene expresado por la ecuación:

$$h_e = 6.708 \mu^{0.8} \frac{\text{kcal}}{h * m^2 * ^\circ C}$$

Ordenando las ecuaciones se tiene que:

$$t_i - t_{p_i} = \frac{Q_{cc}}{h_i}$$

$$t_{p_i} - t_{p_e} = \frac{e}{\lambda} Q_{cc}$$

$$t_{p_e} - t_e = \frac{Q_{cc}}{h_e}$$

Sumando las ecuaciones anteriores, tenemos que

$$t_i - t_e = Q_{cc} \left(\frac{1}{h_1} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_e} \right)$$

donde:

$$Q_{cc} = k_{cc} (t_i - t_e) \frac{\text{kcal}}{h * m^2}$$

siendo

$$k_{cc} = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_e}} \frac{\text{kcal}}{h * m^2 * ^\circ C}$$

Los resultados experimentales muestran que en el caso de cubiertas para invernaderos el espesor es muy pequeño y el cociente de e/λ puede considerarse despreciable.

De esta manera, la ecuación queda de la siguiente forma:

$$k_{cc} = \frac{h_1 * h_e}{h_1 + h_e} \frac{\text{kcal}}{h * m^2 * ^\circ C}$$

De acuerdo con la ecuación

$$Q_{cc} = k_{cc} (t_i - t_e) \frac{\text{kcal}}{h * m^2}$$

el calor pasa del interior del invernadero al exterior proporcionalmente a la diferencia entre la temperatura interior y exterior. Para referirla a la unidad de superficie cubierta habrá que multiplicar el segundo miembro de la ecuación por el correspondiente coeficiente de forma, S_d / S_c , es decir,

$$Q_{cc} = \frac{S_d}{S_c} k_{cc} (t_i - t_e) \frac{\text{kcal}}{h * m^2 \text{ suelo cubierto}}$$

- t_i : temperatura interior a mantener en el invernadero en función de la especie de cultivo. Esta es orientativa, ya que su valor varía en función del estado fenológico de la planta y de las demás variables ambientales, como humedad relativa, anhídrido carbónico y radiación solar.
- k_{cc} : coeficiente global de pérdida de calor por conducción-convección.
- t_e : temperatura exterior. Un criterio adoptado para evaluar la temperatura exterior es el que aplica la temperatura mínima de base que se define como la temperatura mínima que se presenta con una frecuencia posible de 5 días por año. Esto último resulta en ocasiones difícil de conocer, pues hay que consultar partes meteorológicos de un mínimo de 20 años. En este caso, el salto térmico ($t_i - t_e$) adoptaría la siguiente expresión:

$$\Delta t_i = t_{op} - t_{\text{min. base}}$$

siendo:

- t_{op} : temperatura óptima nocturna de la especie en cultivo ($^{\circ}C$)
- $t_{\text{min. base}}$: temperatura mínima de base ($^{\circ}C$).

Otro criterio es el que adopta como temperatura exterior (t_e) de diseño la media de mínimas en el mes mas frío y como temperatura interior la óptima del cultivo:

$$\Delta t_i = t_{op} - t_{m. \text{ min}}$$

siendo:

- t_{op} : temperatura óptima nocturna de la especie en cultivo ($^{\circ}C$).
- $t_{m. \text{ min}}$: temperatura media de las mínimas ($^{\circ}C$).

Este criterio, al igual que el anterior, tiene el inconveniente de que cuando al exterior se alcancen temperaturas mínimas por debajo de lo establecido, la calefacción sería insuficiente para lograr la temperatura óptima del cultivo.

Asimismo, en casos muy excepcionales, y al alcanzar temperaturas mínimas extremas, la calefacción calculada por los criterios anteriores no es suficiente para lograr la temperatura de cero vegetativo de la especie en cultivo y, por tanto, en el supuesto que esta situación se mantenga de forma prolongada se ocasionarían daños a la planta.

En ocasiones el diseño de la calefacción tiene como objetivo evitar que la planta sufra daños por helada. En este caso, el salto térmico ($t_i - t_e$) se calcularía tomando como temperatura externa (t_e) la mínima absoluta del mes más frío y como temperatura interior el cero vegetativo, es decir:

$$t_3 = t_{cv} - t_{\text{min. abs.}}$$

siendo:

- t_{cv} : temperatura de cero vegetativo.
- $t_{\text{min. abs.}}$: temperatura mínima absoluta.

A las pérdidas de calor por conducción-convección hay que añadir las que se producen por convección entre la atmósfera interna y externa, en cuanto que el invernadero nunca es completamente estático. Este índice de renovación (R) varía según el estado en que se encuentre el invernadero.

NIVELES TERMICOS DEL AIRE (°C) (TESI 1969)								
	Especie	Temperatura mín. letal	Temperatura mín. biológica	Temperatura óptima		Temperatura máx. biológica	Temperatura germin/radic.	
				Noche	Día		Minima	Optima
H O R T I C O L A	Tomate	0-2	8-10	13-16	22-26	26-30	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	-	-	-
	Nopal	(-2) -2	6	14-17	18-22	32-34	16-17	18-20
F L O R I C O L A	Clavel	(-4) -0	4-6	10-12	18-21	26-32	-	-
	Rosa	(-6) -0	8-12	14-16	20-25	30-32	-	-
	Gerbera	0	8-10	13-15	20-24	-	-	20-22
	Crisantemo	-	6-8	13-16	20-25	25-30	-	-
	Gladiola	0-2	5	10-12	16-20	25-30	6-8	-
	Tulipán	-	4-6	12-18	22-25	-	-	-
	Iris y Narciso	-	3-5	8-15	15-20	-	-	-
	Lilium y Freesia	-	6-8	10-16	18-24	30-34	-	-
	Ciclamen	-	2-4	12-18	20-22	-	15	18-20
	Calla	-	-	10-13	14-20	-	-	-
	Azalea-Rhododendron	-	6-8	12-14	14-20	-	-	-
	Poinsettia	0-4	8-10	18-20	20-25	26-28	-	-
	Gloxinia	-	-	18-20	20-25	-	-	20-25
	Primula-Calceolaria	-	-	18-20	20-25	-	-	20-25
	Pelargonium	-	6-10	14-16	20-25	26-30	-	20-25
	Saintpaulia	-	10-12	16-20	20-24	-	-	20-22
	Kalanchoe	-	-	15	20-25	-	-	18-24
	Hortensia	-	-	10-18	20-25	25-27	-	-
	Gardenia	(-8) -0	-	15-17	21-23	-	-	-
	Orquidea inv. Caliente	-	-	16-18	18-21	28-30	-	21-24
	Orquidea inv. Templado	-	-	13-16	16-18	23-25	-	21-24
	Orquidea inv. Frío	-	-	10	13-16	18-22	-	21-24
	Croton, Ficus	-	-	15-20	23-24	35-40	-	25-28
Philodendron, Anthurium, Dieffenbachia	-	-	20-23	25-30	35-40	15	25-30	
Helechos	-	-	15-18	-	-	-	25-30	
Bromeliáceas	0	-	16-20	22-24	26-30	-	20-25	

NIVELES OPTIMOS DE CO ₂ , H.R. TEMPERATURA DEL SUSTRATO E ILUMINACION (TESI, 1969)						
	Especie	Temperatura óptima sustrato °C	(CO ₂) (p.p.m.)	H.R. (%)	Luz	
					Intensidad (lux)	Duración (horas)
H O R T I C O L A	Tomate	15-20	1000-2000	55-60	10000-40000	D.I.
	Pepino	20-21	1000-3000	70-90	15000-40000	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	1000-2000	60-80	12000-30000	D.L.
	Fresa	12-15	-	60-70	-	D.C.
	Nopal	15-16	1000-2000	55-60	pleno sol	D.L.
	F L O R I C O L A	Clavel	15-18	500-1000	70-80	15000-45000	D.I.
Rosa		15-18	1000-2000	70-75	pleno sol	D.I.
Gerbera		18-20	-	60-70	pleno sol	D.I.
Crisantemo		18	400-1200	60-70	-	D.C.
Gладиola		10-15	-	60-70	pleno sol	D.L.
Tulipán		8-12	-	70-80	pleno sol	D.L.
Iris y Narciso		10-13	-	60-70	pleno sol	D.L.
Lilium y Freesia		10-15	-	60-70	pleno sol	D.L.
Ciclamen		14-16	-	60-70	semisombra	D.I.
Azalea-Rododendron		15-18	-	80-95	-	D.L.
Begonia		18-20	-	60-70	semisombra	D.L.
Poinsettia		18-20	-	60-70	pleno sol	D.C.
Primula-Calceolaria		-	-	60-75	pleno sol	D.L.
Pelargonium		-	1000-2000	60-70	pleno sol	D.L.
Saintpaulia		20-22	-	70-80	5000-20000	-
Kalanchoe		-	-	60-70	pleno sol	D.C.
Hortensia		18-20	-	70-80	pleno sol	D.L.
Gardenia		19-22	-	-	pleno sol	D.L.
Cynbidium		10-14	-	80-90	15000-30000	D.I.
Dypridium		10-14	-	80-90	15000-30000	D.I.
Phalaenopsis y Cattleya		16-18	-	80-90	15000	D.C.
Croton, Ficus		21-21	-	80-90	pleno sol	-
Dieffenbachia		18-20	800-1200	85-95	12000-15000	-
Bromeliáceas	18-20	-	80-90	semisombra	-	

VARIACIÓN DEL ÍNDICE DE RENOVACION SEGÚN EL ESTADO CONSTRUCTIVO DEL INVERNADERO (Badger y Cols., 1979)	
Estado de la construcción	Índice o tasa de renovación (h ⁻¹)
Construcción nueva vidrio o poliester	0.75 a 1.5
Construcción nueva doble capa de film	0.5 a 1.0
Construcción vieja vidrio con buen mantenimiento	1 a 2
Construcción vieja vidrio con pobre mantenimiento	2 a 4

Fuente A: Nisen.

Por otra parte, esta tasa o índice de renovación varía en función de la velocidad del viento.

La ecuación de las pérdidas de calor por renovación del aire del invernadero es de la forma:

$$Q_{Ren} = \frac{V}{S_c} R \delta (H_{int} - H_{ext}) \frac{\text{kcal}}{h * m^2 \text{ suelo cubierto}}$$

Donde:

R: tasa o índice de renovación (h⁻¹).

δ: densidad del aire = 1.293 kg/m³.

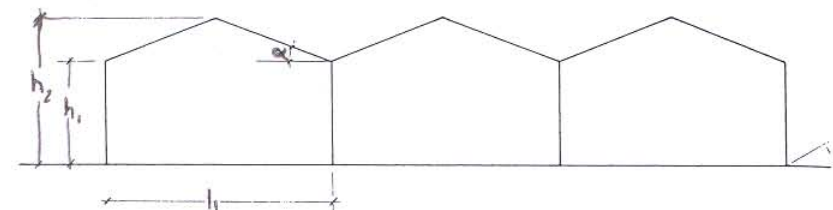
H_{int} , H_{ext} : entalpia del aire interior y exterior al invernadero (kcal/kg). Puede calcularse a partir del diagrama de Mollier o de las fórmulas tradicionales, cuando se conoce la temperatura y la humedad relativa del aire.

V: volumen del invernadero (m³).

En el cálculo del volumen del invernadero se pueden presentar diferentes casos según la tipología del invernadero.

En el caso de invernaderos a dos vertientes simétricas la expresión del volumen del invernadero viene dada por:

$$V = S_c \left(h_1 + \frac{h_2 - h_1}{2} \right)$$



ESQUEMA N.º 3

Donde:

S_c: superficie cubierta = n l₁ L; siendo n el número de naves o capillas iguales.

La ecuación anterior también puede ser expresada en función de la pendiente de la cubierta.

L: longitud del invernadero.

h₁: altura de canal.

h₂: altura en cumbre.

En el supuesto de invernaderos en forma curva, la expresión del volumen dependerá de la figura geométrica del

techo del invernadero. En el caso de que ésta sea un segmento de círculo de radio r:

$$V = (l_1 h_1 L) n + \left(\frac{1}{2} r^2 (\theta - \text{sen } \theta) \right) L n$$

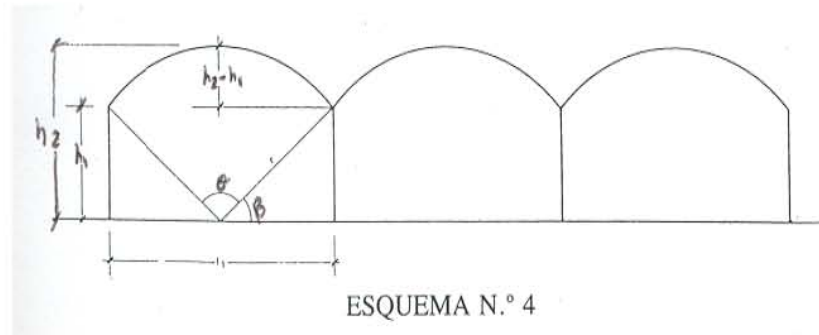
$$= S_c h_1 \left(\frac{1}{2} r^2 (\theta - \text{sen } \theta) \right) L n$$

donde:

n: número de naves iguales.

r: radio del círculo.

$\frac{1}{2} r^2 (\theta - \text{sen } \theta)$: área limitada por un segmento de un círculo de radio r



La importancia de la hermeticidad o estanqueidad del invernadero es grande si se tiene en cuenta que un invernadero con bastante hermeticidad, en ausencia de viento, el valor de Q_{Ren} es del orden de 1/10 del total de las pérdidas energéticas y puede alcanzar 1/5 con viento de 25 km/hr. Por último, es necesario considerar las pérdidas energéticas que se producen a través del terreno (Q_{suelo}) y que son variables con el tipo de suelo y con su contenido de humedad.

El cálculo de estos intercambios energéticos a través del suelo son complejos y a efectos prácticos se puede estimar que dichas pérdidas (Q_{suelo}) representan entre un 5% a un 10% de las pérdidas totales.

Para el período nocturno la ecuación general del balance energético en un invernadero se puede expresar por:

$$Q = R_N + q_{cc} + Q_{Ren} + Q_{suelo}$$

Siendo:

Q: pérdidas energéticas totales (kcal/h m^2).

R_N : pérdidas energéticas por radiación térmica (kcal/h m^2).

q_{cc} : pérdidas energéticas por conducción-convección (kcal/h m^2).

Q_{Ren} : pérdidas energéticas por renovación del volumen del invernadero

Q_{suelo} : pérdidas energéticas a través del suelo (kcal/h m^2).

En el área de Milpa Alta se puede decir que para mantener una temperatura en el interior del invernadero de 18 °C, la potencia térmica a instalar según las ecuaciones anteriores varía entre 220 y 240 kcal/h m^2 suelo cubierto.

Nombre de archivo: A7
Directorio: C:\Users\PACO\Documents
Plantilla: Normal.dotm
Título: CENTRO DE ACOPIO DISTRIBUCION Y
 PROCESAMIENTO DE NOPAL EN MILPA ALTA D
Asunto:
Autor: FRANCISCO VIDAL MENDOZA
Palabras clave:
Comentarios:
Fecha de creación: 24/10/2007 02:11:00 p.m.
Cambio número: 2
Guardado el: 24/10/2007 02:11:00 p.m.
Guardado por: FRANCISCO VIDAL
Tiempo de edición: 1 minuto
Impreso el: 13/11/2007 01:28:00 a.m.
Última impresión completa
 Número de páginas: 14
 Número de palabras: 3,374 (aprox.)
 Número de caracteres: 18,562 (aprox.)

CAPÍTULO 5.

SISTEMAS DE CALEFACCIÓN.

CAPÍTULO 5.

5. SISTEMAS DE CALEFACCIÓN.

5.1 SISTEMAS POR AGUA CALIENTE.

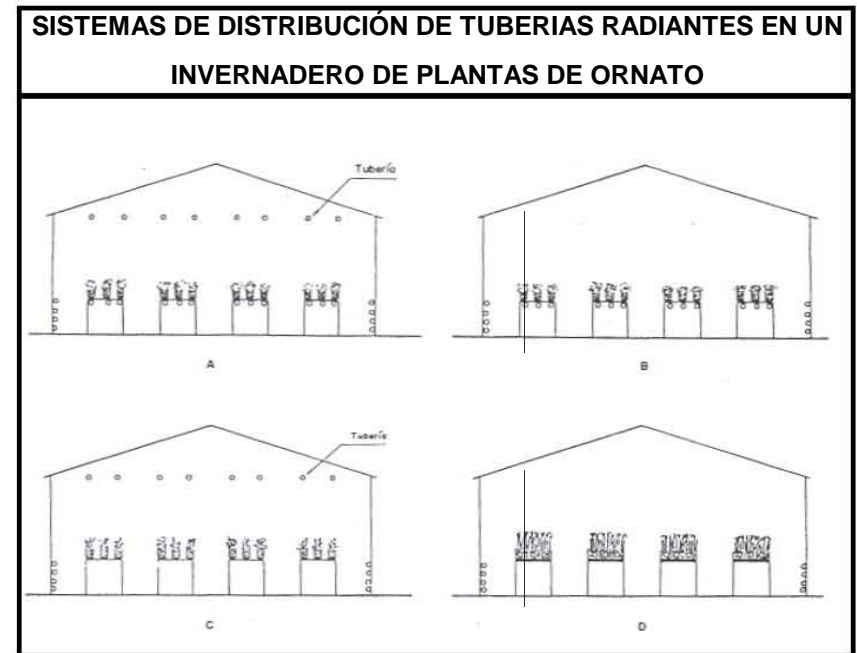
5.1.1. Calefacción aérea

La circulación del agua caliente por el interior del invernadero es uno de los sistemas de calefacción utilizados en el cultivo protegido. Esta técnica emplea, entre otros materiales, tuberías de hierro de 2 pulgadas de diámetro, aproximadamente, distribuidos a lo largo de las paredes laterales del invernadero, en la parte aérea y a nivel de la cubierta vegetal. El agua caliente que circula por las tuberías proviene de una central térmica constituida por una caldera y quemador que puede utilizar como combustible el petróleo, gas y gas natural.

A la entrada del invernadero la temperatura del agua que circula por las tuberías situadas en los laterales y parte aérea del invernadero suele oscilar entre 80/90 °C, y en el retorno la temperatura del agua es de 60 °C aproximadamente. Este tipo de instalaciones de calefacción por agua caliente son costosas y su uso se limita, generalmente, en el área mediterránea, al cultivo de plantas ornamentales en maceta, para enraizamiento de esquejes y para la realización de semilleros. Para su funcionamiento estas instalaciones por agua caliente disponen de los siguientes elementos: caldera, quemador, depósito de combustible, tuberías, bombas, automatismos y accesorios. Aunque en la actualidad la mayoría de las instalaciones de calefacción por agua caliente son de circulación forzada, es decir, están dotadas de bombas para la circulación de agua, también es posible encontrar instalaciones con el principio de termosifón, para el que se necesita que exista un desnivel

adecuado entre el invernadero y la caldera.

La distribución de las tuberías radiantes en el interior del invernadero es diversa y pueden encontrarse explotaciones hortícolas en las que la situación de las tuberías puede ser:



Fuente Antonio Mantalla Gonzalez (*invernaderos*)

En dichas figuras se pueden observar que en las variantes A, B, C, D se realiza, simultáneamente, el calentamiento del invernadero y el de la maceta.

Para el dimensionamiento simplificado de una instalación de calefacción por agua caliente, los parámetros de cálculo que deben ser considerados y conocidos de antemano son:

1er método: Se precisa conocer el diámetro de la tubería

como dato de partida para calcular la longitud del tubo radiante. Además, se requiere conocer los siguientes datos:

- T_e : Temperatura de entrada del agua en el interior del invernadero en °C.
- T_s : Temperatura de salida del agua en °C.
- T_m : Temperatura media del agua en las tuberías radiantes en °C.
- T_i : Temperatura a mantener en el interior del invernadero en °C.
- P: Necesidades energéticas reales del invernadero para mantener la temperatura T_i (kcal/h). Si se considera un rendimiento de la instalación de calefacción del n %, las necesidades energéticas reales del invernadero serán igual a:

$$P = \frac{Q}{N} \text{ kcal/h}$$

Donde:

Q: necesidades energéticas teóricas según ecuación

K: Coeficiente de transmisión de la tubería
kcal/h * m² * °C C.

S: Superficie exterior desarrollada para un metro de tubería de un diámetro conocido.

Como ejemplo para la comarca del Maresme (Barcelona), en las instalaciones proyectadas se adopta un diámetro de dos pulgadas

$$S = 2 r R L$$

Donde:

L es igual a 1 metro.

La fórmula a aplicar, conociendo los datos anteriores, sería:

$$E = S K (T_m - T_i) \text{ kcal/h * ml}$$

Siendo:

E: la cantidad de calor emitida por metro lineal de tubo de diámetro de dos pulgadas.

La longitud total de tuberías necesarias para satisfacer las necesidades energéticas reales del invernadero (P) se calcularía a partir del cociente entre:

$$\frac{P}{E} = L \text{ metros de tubería de 2" de diámetro}$$

Esta longitud de tubería (L) se distribuirá en el invernadero, según los diferentes casos indicados en las figuras anteriores.

El caudal total q que circulará por las tuberías es tal que:

$$Q \text{ (l/h)} \times (T_e - T_s) \times C_e = P$$

siendo:

Ce: Calor específico del agua = 1 kcal/kg °C.

T_e y T_s : Temperatura de entrada y salida del agua en el invernadero (°C).

2o método: Se precisa la longitud de la tubería como dato de partida para calcular el diámetro del tubo de calefacción.

Los cálculos anteriores se han realizado tomando como dato conocido, a priori, el diámetro de la tubería (dos pulgadas), sin embargo el proyectista podría haber iniciado el cálculo a partir de la evaluación de la longitud total (L) que sería necesaria considerar en la instalación, según: las distribuciones

que se han indicado como más frecuentes en las figuras anteriores. En este caso, sustituyendo el valor de E de la ecuación 3 en la 4, se tendría que:

$$\frac{P}{L} = S K (T_m - T_i)$$

Siendo la superficie S la incógnita. Los demás datos son conocidos, y a partir de la ecuación 6 se calcularía el diámetro de la tubería necesaria en la instalación de calefacción, que se proyecta a partir de la siguiente expresión:

$$\pi D l = S$$

Donde S es la superficie de radiación. Si se considera por unidad de longitud ($l = 1 \text{ m}$), se tiene que:

$$D = \frac{S}{\pi}$$

Donde D es el diámetro de la tubería radiante.

En la actualidad, además del empleo de tuberías metálicas para el transporte del agua caliente al invernadero, la utilización de tubos de plástico (polipropileno, polietileno, etc.) es cada vez mayor y se observa una tendencia a un mayor uso de estas últimas por los productores. En estas tuberías de material plástico, el agua caliente circula a una temperatura que oscila entre 35/45 °C, aproximadamente. Este régimen térmico en el agua ha originado una nueva distribución de tuberías en el interior de los invernaderos que modifica a la indicada en las figuras 1 y 2. Es decir, se ilustra en la figura 3, en los invernaderos dedicados a la horticultura ornamental dotados de banquetas de cultivo se pueden encontrar tuberías metálicas en el aire y/o en paredes del invernadero (aeroterms) y tuberías de plástico encima de las banquetas y en contacto con las

macetas de cultivo.

En lo referente a la horticultura alimentaria, la calefacción con agua caliente o baja temperatura (40/45° C) sitúa las tuberías radiantes a nivel del suelo, enterradas. Esta técnica de calefacción se describirá más adelante.

Otro de los sistemas de calefacción del aire del invernadero, que utiliza el agua caliente procedente de una central térmica (caldera, quemador, calentador solar, etc.), es el denominado aerotermo. Es un sistema esencialmente convectivo que toma el calor, al contacto de un intercambiador, al agua caliente y dispone de un ventilador que distribuye el calor a través de unos elementos deflectores en el interior del invernadero. Los aeroterms se encuentran suspendidos en el interior del invernadero y la impulsión del aire puede ser horizontal o vertical. Existen explotaciones hortícolas que tienen el sistema mixto, en el que el 30/40% de la potencia térmica a instalar se distribuye con tubos radiantes y el resto con aeroterms.

Entre el sistema de calefacción por circulación de agua caliente con tuberías radiantes y el de aerotermo existen diferencias en cuanto al microclima (régimen térmico) creado en el interior del invernadero. Las experiencias realizadas por Baille et al., investigadores en Francia (1981), ponen de manifiesto que el sistema de calefacción por agua caliente con tubería con posición baja (1 m de la cubierta vegetal) proporciona unos perfiles verticales en la temperatura del aire del invernadero que son, muy estables a lo largo del período de uso de la calefacción nocturna (figura 4). En el caso del aerotermo suspendido a una altura de 3 m se observa una evolución en el tiempo de los perfiles verticales de la temperatura del aire. Se comprueba en la figura 4 una estratificación de la temperatura del aire en el sistema por aerotermo, permaneciendo las capas inferiores más frías que las superiores (de 2/3 °C).

5.1.2. Calefacción de suelo.

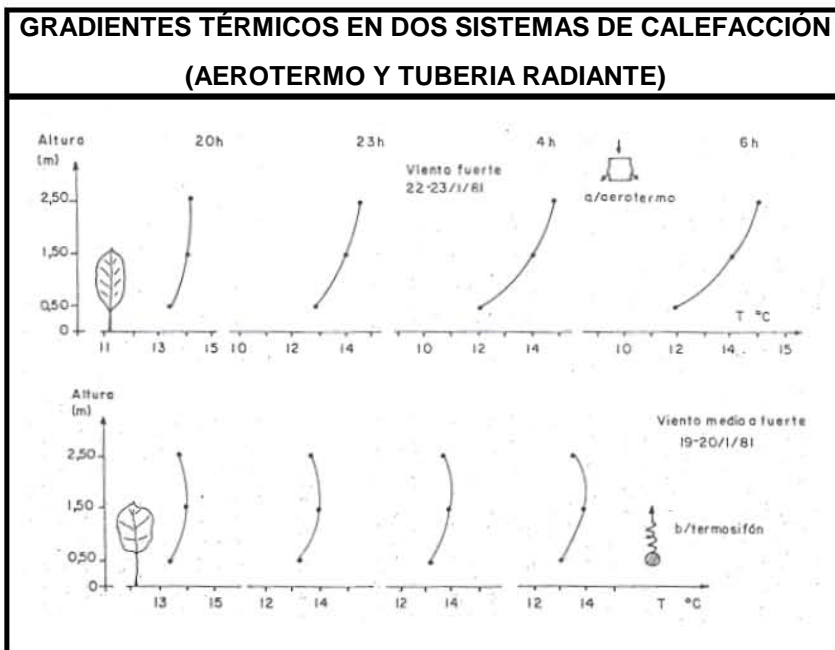
La disposición de las tuberías radiantes a nivel de la cubierta vegetal o enterradas constituyen unos de los sistemas de calefacción por agua caliente que se está empleando hoy en día, tanto para el cultivo de plantas ornamentales en maceta como en floricultura y horticultura alimentaria. Esta distribución de las tuberías de calefacción puede ser la única en el invernadero o bien estar complementada con otro sistema, como puede ser el aerotermo o las tuberías metálicas en disposición aérea o perimetral.

La acción de la temperatura del terreno sobre el crecimiento de la planta se manifiesta en una curva del tipo descrito en la figura 6.

Según se aprecia en dicha figura, a partir de un cierto umbral de la temperatura se puede producir un efecto negativo en el ciclo vital de la planta. La temperatura del suelo (radicular) varía según la especie, e incluso la variedad. (Este hecho se ha podido comprobar en cultivos como la judía verde, el melón, la gerbera, el crisantemo, etc.) .



Invernadero con calefacción tipo aerotermo
Foto: Francisco Vidal

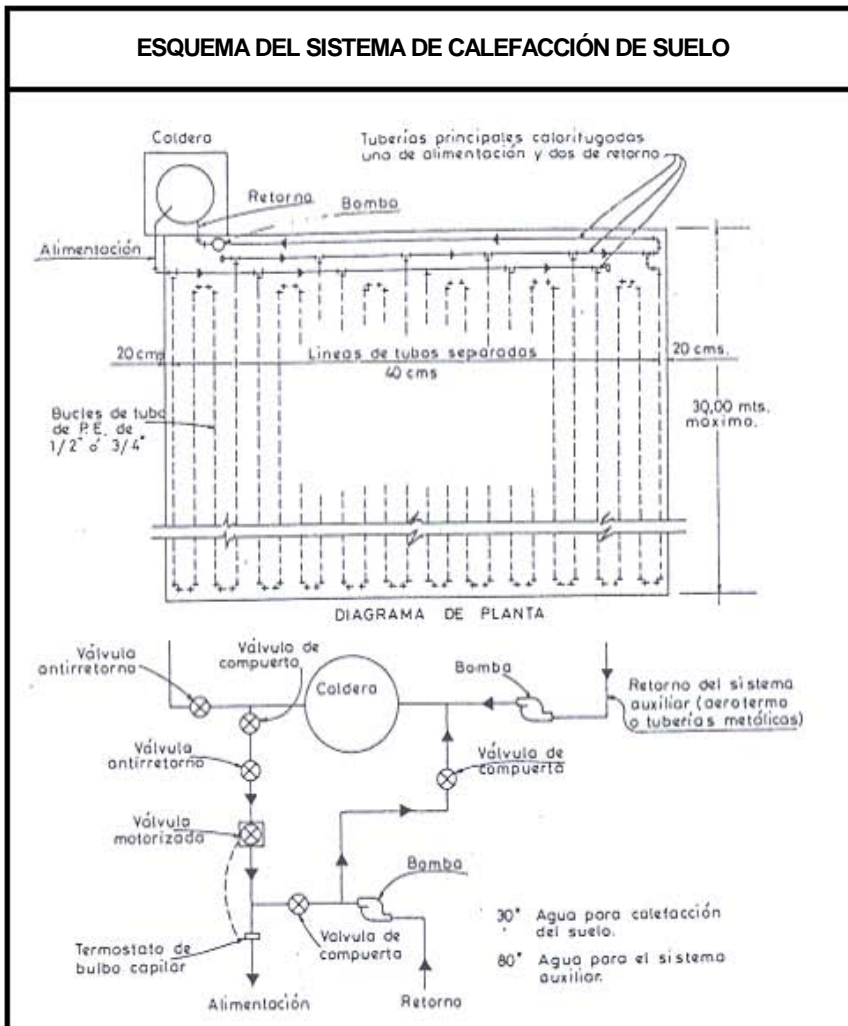


Fuente Antonio Mantalla Gonzalez (*invernaderos*)

Con el empleo de la calefacción de suelo existe la posibilidad de reducir la temperatura ambiente y, por tanto, producir un ahorro de combustible. Sin embargo, lo anterior puede ocasionar problemas en el cultivo si no se fija adecuadamente la relación entre la temperatura ambiente y el suelo que se debe mantener en el interior del invernadero o túnel.

Un ejemplo de esto último se encuentra en la experiencia realizada por Janes et al. (1981) en un cultivo de tomate (cv Jumbo y Vendor). En este ensayo se mantuvo en el interior del invernadero una temperatura ambiente nocturna de 7,2° C (por de bajo de la óptima), y una temperatura del suelo de 26,5° C. En estas condiciones de cultivo se observó el hecho positivo de la calefacción de suelo en cuanto se pudo comprobar un mayor desarrollo vegetativo en comparación a un

cultivo de tomate en ausencia de calefacción de suelo y con una temperatura ambiente nocturna de 15,5° C. Sin embargo, en esta experiencia se pudo constatar que la utilización de una temperatura nocturna ambiente (7,2° C) por debajo de la óptima ocasionaba un mayor número de frutos deformados.



Fuente Antonio Mantalla Gonzalez (invernaderos)

Los aspectos anteriormente descritos sitúan a la calefacción del suelo como una técnica que ofrece perspectivas interesantes, pero que debe ser utilizada de manera prudente y racional. Es una técnica compleja, cuyo desarrollo debe estar condicionado a una experimentación que debe ser realizada a priori sobre las especies y variedades de interés a cultivar en un área o zona geográfica determinada. En definitiva, en la aplicación del calor al suelo los tres tipos de problemas que deben ser considerados son, según Niz, A., y cols. (1981):

- El mecanismo de transferencia del calor y la capacidad de almacenaje del suelo.
- El cambio de las propiedades físico-químicas del suelo inducidas por el calor.
- Los efectos fisiológicos del calor.

La disposición de las tuberías radiantes en una instalación para calefacción del suelo es, generalmente, en superficie (a nivel de la cubierta vegetal), y esto permite que la emisión de calor se realice simultáneamente hacia el ambiente del invernadero y a la zona radicular de la planta. De esta manera, se crea un microclima más favorable en el entorno de la cubierta vegetal. Esto último se ilustra en la figura V.7, en la que se puede apreciar la variación de salto de temperatura entre el ambiente y la cubierta vegetal para tres sistemas de calefacción (aeroterms, tubería radiante aérea y calefacción superficial del suelo con mangas radiantes).

Actualmente, el material empleado en las tuberías para la calefacción del suelo es de plástico, bien sea de polietileno (PE), de cloruro de polivinilo (PVC), de cloruro de polipropileno (PPC) - Además del tubo liso, han aparecido en el mercado los tubos corrugados o anillados, que tienen la particularidad de presentar una mayor superficie de emisión si se comparan con una tubería lisa. Así, por ejemplo, mientras la superficie de un

tubo liso de 20 mm de diámetro equivale a 0,0628 m, la de tubo corrugado es de 21 mm de diámetro equivale a 0, 1 18 m².

En las explotaciones agrícolas de la comarca de Cuautla (Morelos) el diámetro de tuberías utilizado en la calefacción del suelo es del orden de 20/25 mm. Se ha dicho anteriormente que en las explotaciones la calefacción de suelo se realiza a nivel de la cubierta vegetal, de forma que se pueda influir térmicamente en el ambiente del invernadero. Para el dimensionamiento de una instalación de calefacción de suelo en superficie los datos técnicos que deben ser conocidos, son:

- Necesidades energéticas reales de invernadero (E₁) (watts/m²).
- Temperatura máxima de circulación del agua en las tuberías (t₁).
- Temperatura máxima de retorno (t₂).
- Diferencia de temperatura máxima en el circuito
- Temperatura media $(\frac{t_1 - t_2}{2})$
- Temperatura deseada en el ambiente del invernadero (t_i).
- Tipo de tubería a emplear en la instalación que se proyecta. Se conocerán sus características técnicas. Se fijará el diámetro de tuberías a utilizar (D) y la longitud de cada circuito.
- A partir de los datos anteriores, las incógnitas que se deben calcular son:

(1) Emisión de calor en un tubo radiante de diámetro

(D):

$$E = K S (t_1 - t_2) \left(\frac{\text{Kcal}}{H * m} \right)$$

Siendo:

- K: coeficiente global de transmisión térmica del tubo en kcal/h * m²*°C.
- S: superficie de 1 m de tubería de diámetro D, expresado en m/m.
- t₁: temperatura del agua en ° C.
- t₂: temperatura deseada en el interior del invernadero (° C).

(2) Densidad de tubos (m/m²):

Se obtiene del cociente entre las necesidades energéticas del invernadero y la emisión que tiene un metro de tubo.

$$\frac{E_1}{E} = a \text{ (m/m}^2\text{)}$$

El total de tubos necesarios será:

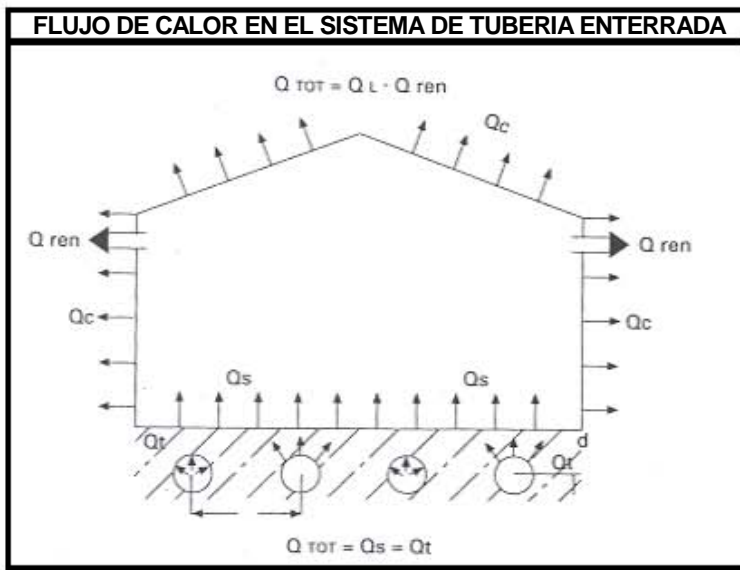
X = a Sc (m)
Sc= Superficie cubierta.

5.1.3. Cálculo de la calefacción por suelo radiante.

5.1.3.1. Procesos de transmisión de calor.

Después de cierto tiempo de funcionamiento el sistema de calefacción alcanza un régimen permanente, siempre que las condiciones exteriores al invernadero, (el viento, la temperatura exterior y el porcentaje de nubes) no varíen sustancialmente.

En el caso de un sistema calefactor por tuberías enterradas en régimen permanente se cumple que el calor cedido desde el agua a través de las paredes de los tubos es igual al calor cedido desde los tubos al suelo del invernadero. Este es idéntico al cedido desde el suelo al aire del invernadero y por último idéntico al calor perdido desde el aire del invernadero al ambiente exterior.



Fuente Antonio Mantalla Gonzalez (*invernaderos*)

Necesitaremos expresiones que nos permitan calcular todas las transmisiones térmicas que van desde el agua de calefacción al ambiente exterior.

En los cálculos generalmente se empieza determinando las pérdidas totales al ambiente exterior, después se calcula la temperatura a la que tiene que estar el suelo para ceder esa cantidad de calor al aire del invernadero. De aquí se calcula el número de tubos y la temperatura de los tubos para que el suelo reciba la cantidad de calor exigido.

5.1.3.2. Cálculo de las pérdidas de calor invernadero exterior.

Para el diseño de la calefacción del suelo se dividen las pérdidas totales por la superficie del suelo del invernadero con el objetivo de saber la cantidad de calor a aportar por cada metro cuadrado de suelo.

5.1.3.3. Calor cedido al aire del invernadero desde la superficie del suelo.

Este calor se calcula con las expresiones que siguen:

$$Nu = 0.14 Ra^{1/2}$$

Un = Número adimensional de Nusselt.

Ra = Número adimensional de Raleigh.

Esta expresión general simplificada para nuestro caso, da con suficiente aproximación.

$$Qs = 1.67 \cdot (Ts - Ti)^{3/4}$$

Qs = Calor cedido al aire por m² de suelo (Wattios/ m²)

Ts = Temperatura en la superficie del suelo (°C)

Ti = Temperatura ambiente (°C)

5.1.3.4. Calor cedido por un tubo de calefacción que esté rodeado por aire.

Expresión adimensional para régimen de convección libre laminar.

$$Nu = 0.525 \cdot Ra^{1/4}$$

Expresión aproximada para nuestro caso

$$Qt = 4.34 \cdot D^{3/4} \cdot (Tt - Ti)^{5/4}$$

Qt = calor cedido por el tubo (Wattios/metro lineal)

D = diámetro exterior (m)

Tt = temperatura en la superficie exterior del tubo (°C).
 Ti = temperatura ambiente (°C).

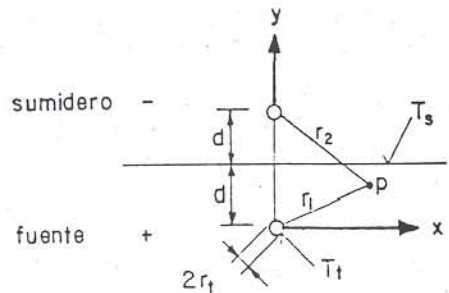
La tubería anillada de 20 mm de diámetro cede 0.67 vatios * K⁻¹ por cada metro lineal cuando está rodeada de cultivo denso, y 1.6 wat * K⁻¹ por metro lineal cuando está al aire libre.

5.1.3.5. Calor cedido por un sistema de tubos enterrados al suelo que los rodea.

Para determinar el transporte de calor de un conjunto de tubos enterrados en el suelo es preciso recurrir a un análisis térmico de cierta complejidad. Dicho análisis se basa en la ecuación de conducción de Fourier y en el método de las imágenes.

Para un tubo solo, si se conoce la temperatura en la superficie del suelo T_s, la temperatura T en cualquier punto P viene dada por:

$$T - T_s = \frac{-Q}{2\pi\lambda} \ln \left| \frac{r_1}{r_2} \right|$$



El calor Q cedido por el tubo se puede calcular de la expresión anterior si, aparte de la temperatura superficial T₁ se conoce la temperatura en la superficie del tubo T_t que, si la tubería tiene paredes delgadas y buenas conductoras de calor, debe ser cercana a la temperatura del agua de calefacción:

$$Q = \frac{2\pi\lambda (T_t - T_s)}{1_n \left| \frac{(2d - r_t)}{r_t} \right|} \approx \frac{2\pi\lambda (T_t - T_s)}{1_n \frac{2d}{r_t}}$$

Para un conjunto de tuberías enterradas a una profundidad (d) y espaciadas a una distancia (a) la distribución de temperaturas en un suelo viene expresada por:

$$T - T_s = \frac{Q}{4 * \pi * y} \sum_{m=-\infty}^{\infty} 1_n \frac{\cosh = \frac{\pi (x - m * a)}{2 * h} + \text{Cos} \frac{\pi * y}{2 * h}}{\cosh = \frac{\pi (x - m * a)}{2 * h} - \text{Cos} \frac{\pi * y}{2 * h}} *$$

$$\cosh = \frac{\pi (x - m * a)}{2 * h} - \text{Cos} \frac{\pi (2 * d - y)}{2 * h}$$

$$\cosh = \frac{\pi (x - m * a)}{2 * h} + \text{Cos} \frac{\pi (2 * d - y)}{2 * h}$$

donde:
 T = temperatura en un punto de coordenadas (x, y) medidas desde el centro de un tubo de calefacción en metros.
 T_s = temperatura en la superficie del suelo.
 Q = calor liberado a través de un tubo (W/metro lineal).

- Λ = conductividad térmica del suelo.
- d = profundidad de los tubos de calefacción, en metros.
- a = espaciamiento de los tubos de calefacción, en metros.
- h = profundidad del suelo en metros, a partir de la cual se desprecian las pérdidas de calor.

El calor liberado a través de un tubo puede calcularse de la expresión si se conoce la temperatura de un punto del suelo.

Por ejemplo, en la superficie del tubo $T = T_p$, $x = 0$ e $y =$ radio. Luego es posible sustituir estos valores y despejar Q en función de la temperatura en la superficie del tubo.

5.1.3.6. Calor cedido desde el agua dentro de un tubo hasta la superficie de dicho tubo.

$$Q_{at} = \frac{2\pi R_o}{B}$$

siendo $B = \frac{R_o}{R_i \cdot hm} + \frac{R_o}{K} \ln \left(\frac{R_o}{R_i} \right) \cdot (T_t - T_a)$.

donde:

- Q_{at} = Cesión de calor agua-superficie del tubo (Watt/metro lineal).
- R_o = Radio exterior del tubo (m).
- R_i = Radio interior del tubo (m).
- K = Conductividad térmica del material que forma el tubo ($W/m^{\circ}C$).
- hm = Coeficiente de convección agua-paredes interiores del tubo ($W/m^2^{\circ}C$).

hm para el agua se puede calcular por:

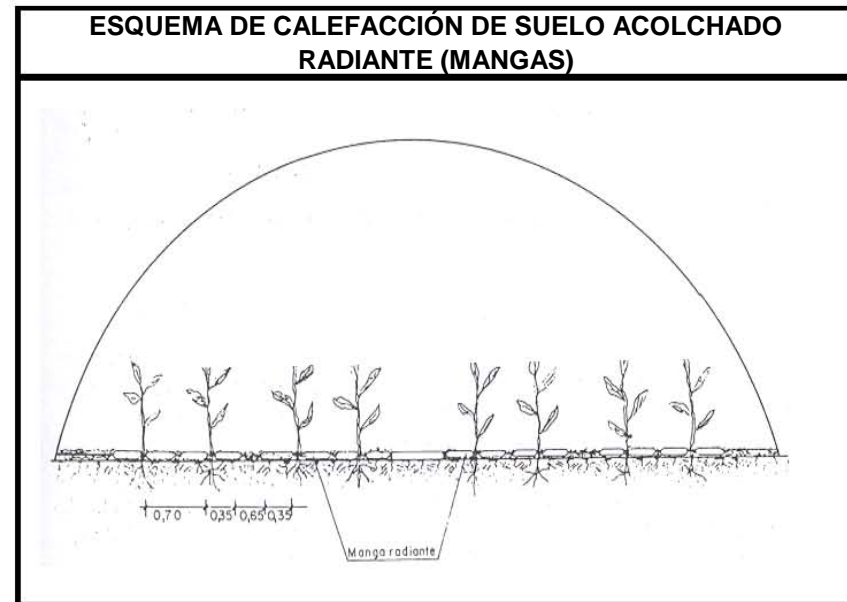
$$hm = \frac{0.013}{R} \cdot Re^{0.8}$$

Donde:

- Re = es el numero de Reynolds.
- T_t = Temperatura en la superficie exterior del tubo.
- T_a = Temperatura del agua.
- Ln = Logaritmo neperiano.

5.2. Otros sistemas de calefacción.

Además del empleo de tubos en la calefacción de suelo, el acolchado radiante es otra de las técnicas utilizadas en los cultivos hortícolas. Este sistema consiste en unas mangas de plástico flexible (generalmente cloruro de polivinilo), dispuestas en la superficie del suelo entre las líneas de cultivo y cubriendo entre un 40% o un 80% de la misma.

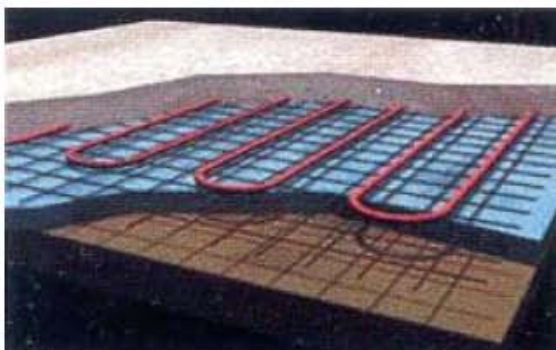


Fuente Antonio Mantalla Gonzalez (*invernaderos*)

Estas mangas están formadas de dos láminas de plástico soldadas, de unos 0,4 mm de espesor, aproximadamente. En Francia (Sociedad Francesa de Plásticos SFP) suelen presentar dos anchuras para adaptarse a los diferentes tipos de plantación: una manga de 52cm de ancho (50 cm útiles), para gran parte de los cultivos florícolas (crisantemos, claveles, etc.), y otra manga de 42cm (40 cm útiles) de ancho para la lechuga, tomates, melones, etc.

Por el interior de estas mangas se han realizado unas soldaduras circulares dispuestas a una distancia determinada, en las que se deposita la planta.

El uso de concreto poroso en el cual se han colocado las tuberías (generalmente de plástico) en su interior, ofrece la oportunidad de crear un sistema radiante de calefacción similar a lo que la industria realiza en la construcción de edificios.



*Pavimento Térmico
Ilustración: desconocido*

Los cultivadores utilizan esta técnica haciendo circular agua caliente entre 30 y 40 °C y situando las tuberías a una separación variable entre 30/40 cm. La velocidad del agua debe estar comprendida entre 0,6 a 0,9 m/seg. Esta tecnología ha sido desarrollada por Roberts y Mears en la Universidad de Rutgers.

En general, en la calefacción del suelo el agua circula en el interior de las tuberías a una temperatura variable entre 30/40°C, lo que permite utilizar otras fuentes de energía de, origen diverso, como las residuales de las centrales térmicas, solar, etc.



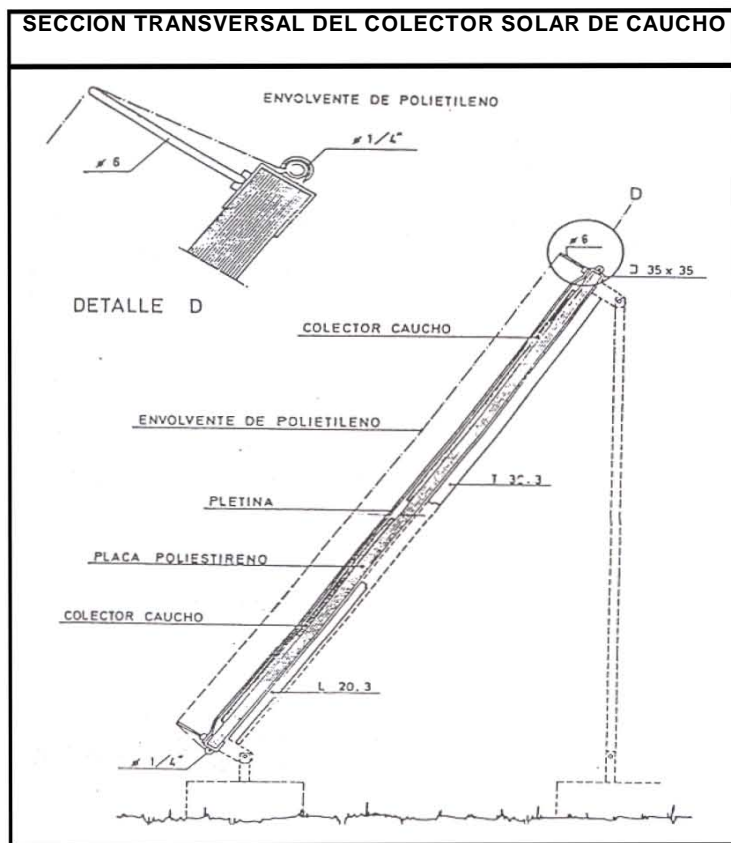
*Colector solar
Foto: desconocido*

Para regiones semicálidas o semidesérticas quizás sea la energía solar la que presenta por abundancia mejores posibilidades. Sin embargo, no juega hoy en día un papel importante en la agricultura protegida. El problema no es técnico, sino económico. En las zonas más cálidas se necesitan entre 5 y 6 litros de combustible por año para calentar 1 m² de invernadero y el costo de una instalación solar no es comparable con una instalación convencional que suministre esa cantidad limitada de energía. Es posible que esta situación cambie en el futuro, pero a corto plazo, para que la

energía solar se extienda en la práctica es necesario desarrollar equipos de captación y de cesión de calor económicos y sencillos que puedan ser instalados por los propios agricultores.

1. Colectores solares situados fuera del invernadero

El absorbente es de caucho EPDMI en forma de pequeños tubos por los que circula el agua. El absorbente queda cubierto por una película de PE termoaislante y aislado en su parte posterior por 3 cm. de poliestireno



Fuente A: Nisen.

En las postrimerías de Cuautla se construyó durante 1981 una instalación de 90 m de paneles. Los colectores se orientaron al sur con una pendiente de 40°. El agua caliente se almacenó en un depósito calorifugado de 20 m³. La calefacción de los invernaderos se hizo por medio de tuberías enterradas a razón de dos metros de tubo por metro cuadrado de suelo.

Se determinó experimentalmente el rendimiento de captación del colector, que se puede expresar por:

$$E = 0,67 - 11,92 (T_{ri} - T_a) / I$$

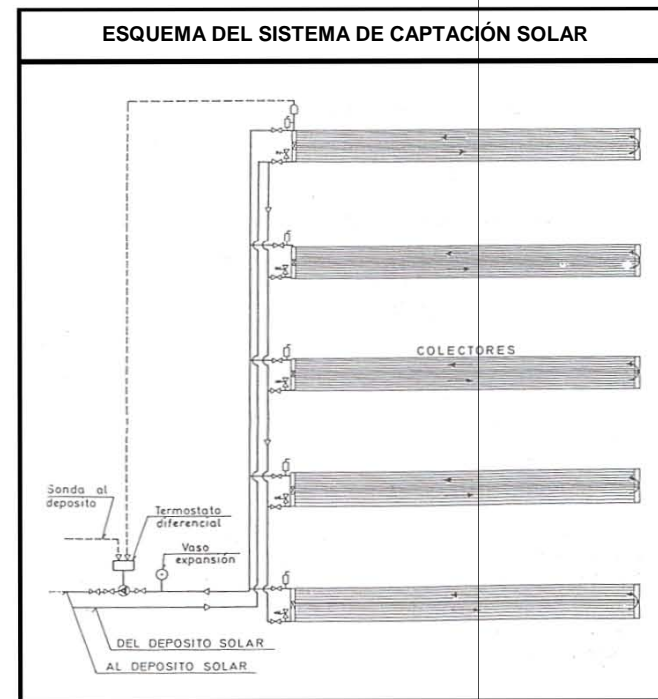
donde:

E = rendimiento instantáneo.

T_{ri} = temperatura del agua que entra en los colectores

T_a = temperatura exterior.

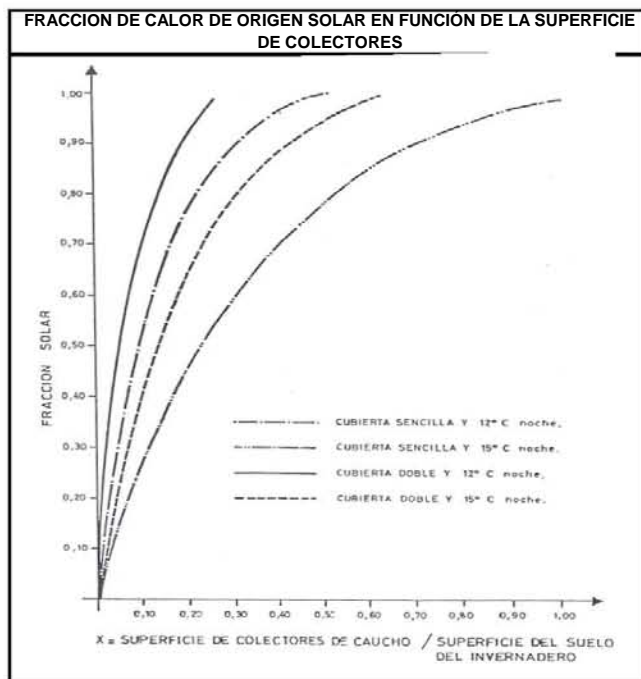
I = radiación solar en el plano de los paneles en Watt/m²



Fuente A: Nisen.

El rendimiento es muy aceptable si la temperatura de funcionamiento es cercana a la temperatura ambiente, lo que ocurre en climas como el de Cuautla y si el calor captado se cede al invernadero por medio de sistemas de calefacción a baja temperatura (tuberías en suelo). En climas menos cálidos el rendimiento de los colectores cae rápidamente y no se aconseja su uso.

Tabla para calcular la superficie de colectores solares de este tipo que es preciso instalar para la calefacción de invernaderos en Cuautla. Estos resultados no deben ser generalizados ya que cada zona cuenta con diversas características de climatología y de cultivos a invernaderos situados en otras zonas, o a sistemas calentados con paneles de rendimiento distinto al señalado o a invernaderos distintos a los especificados. Se incluye el gráfico simplemente para dar un orden de magnitud del tamaño de la superficie de captación.



Fuente A: Nisen.

En la figura anterior el eje de abscisas indica el cociente de la superficie de colectores por la superficie del invernadero a calentar, existiendo, para cada cociente, un parámetro «F» o fracción solar definido como el cociente de la energía solar captada útil y del calor total que es necesario suministrar cada mes al invernadero.

El resto de calor, $1-F$, debe ser aportado con energía auxiliar. La fracción solar se ha calculado para invernaderos con cubierta sencilla y con cubierta doble y en ambos casos con una temperatura nocturna de 12°C y de 15°C .

Como puede comprobarse en la figura, las curvas representadas son de pendiente decreciente y puede deducirse, por ejemplo, que si la superficie de colectores se duplica, no se dobla la energía colectada ni la fracción solar, debido a que la eficiencia de los colectores es en función de la temperatura del depósito de acumulación.

Un sistema solar diseñado para suministrar gran parte de la calefacción actúa con bajo rendimiento, ya que muchos días se capta más energía de la que se utiliza en los invernaderos y este excedente provoca un aumento de la temperatura del depósito y crea disminución de la eficacia de captación en días sucesivos, ya que, como se ha dicho, el rendimiento del colector depende de la temperatura de funcionamiento. Si los paneles son suficientes para calentar totalmente al invernadero en los meses más fríos, sobra superficie captadora en otoño y primavera. La fracción de calor a aportar con energía solar y con energía auxiliar se decide en base a un análisis económico comparativo de las diversas fuentes de energía.

Consultando la figura puede estimarse la superficie de paneles solares a instalar en Cuautla. Por ejemplo, para calentar durante la noche a 15°C un invernadero de 100 m son necesarios 52 m de paneles de caucho EPDM si el invernadero

es de cubierta sencilla, y 31 m si es de cubierta doble. Esta superficie de paneles suministra el 80% de la carga térmica total, mientras que el 20% restante habría de ser aportado con energía no solar. La reducción de la carga térmica lleva consigo una disminución paralela de la superficie de captación; para mantener 12°C por la noche y cubrir el 80% de las necesidades totales de calor, se necesitarían 24 m y 15 m, respectivamente, de paneles de caucho en invernaderos de una o dos cubiertas.

2. Colectores solares integrados en el invernadero

Para simplificar al máximo los sistemas solares de calefacción se han desarrollado equipos de captación situados dentro del propio invernadero.

El más sencillo de estos equipos consiste en una serie de tubos de polietileno transparente llenos de agua y dispuestos entre las líneas de cultivo. Se trata de captar radiación solar durante el día, calentar el agua de las bolsas y ceder ese calor lentamente al invernadero aprovechando la inercia térmica del agua.

En Grecia se usan tubos de 30 cm de diámetro de polietileno de 250 micras de espesor. Aproximadamente, el 35-40% del suelo del invernadero queda cubierto con tubos, de modo que cada 1000 m² de invernadero contienen entre 80 y 100 m³ de agua.

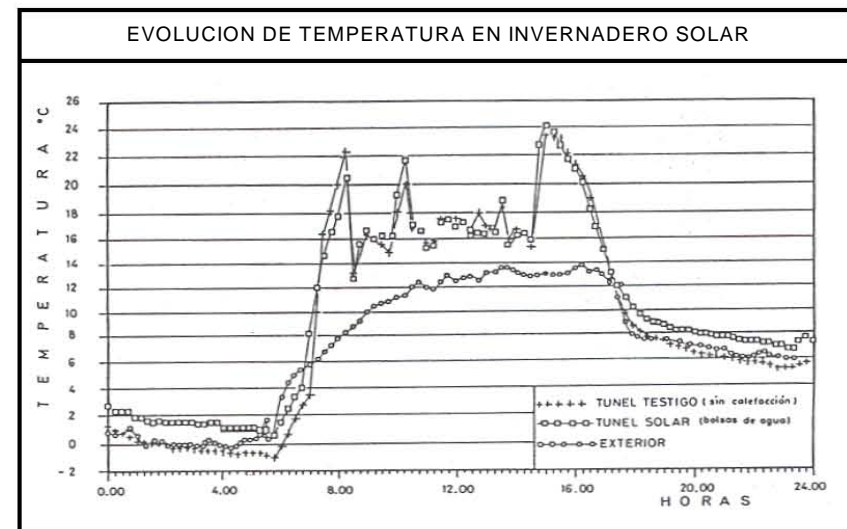
El efecto de las bolsas en el clima de cultivo es función del salto térmico agua-aire y del coeficiente de transmisión de calor del invernadero. Para cubiertas dobles, Grafiadellis midió saltos térmicos de 6°C, y para cubiertas sencillas, de 4°C.

En México se han logrado resultados más modestos, en parte debido a que nunca se llegó a cubrir el 40% del invernadero y en parte por aplicarse esta calefacción solar a estructuras poco redituables

En Almería España, con bolsas negras con agua, que son peores que las transparentes para esta aplicación, se aumentaron las temperaturas mínimas en 1°C. Cuando el cultivo se desarrolló las bolsas quedaron sombreadas y el efecto sobre las temperaturas nocturnas fue despreciable.

En Cabrils (Barcelona) se dispusieron bolsas transparentes, cubriendo el 20% del suelo de un tunel empleado para cultivar en pendiente, (montero, M., 1988).

Con este dispositivo se logró salvar una helada que ocurrió en una noche despejada, pues el sistema solar pasivo mantuvo un salto térmico de 2°C respecto a un invernadero similar sin bolsas de agua.



Fuente A: Nisen.

Después de transcurrida una campaña agrícola no se detectaron escapes de agua de consideración. Tampoco se desarrollaron algas de una manera especial, a pesar de que no se añadió ninguna sal de cobre o lejía.

En conjunto, el sistema es económico de instalación y mantenimiento si el cultivo no sombrea las bolsas y puede considerara eficiente como lucha anti-heladas.

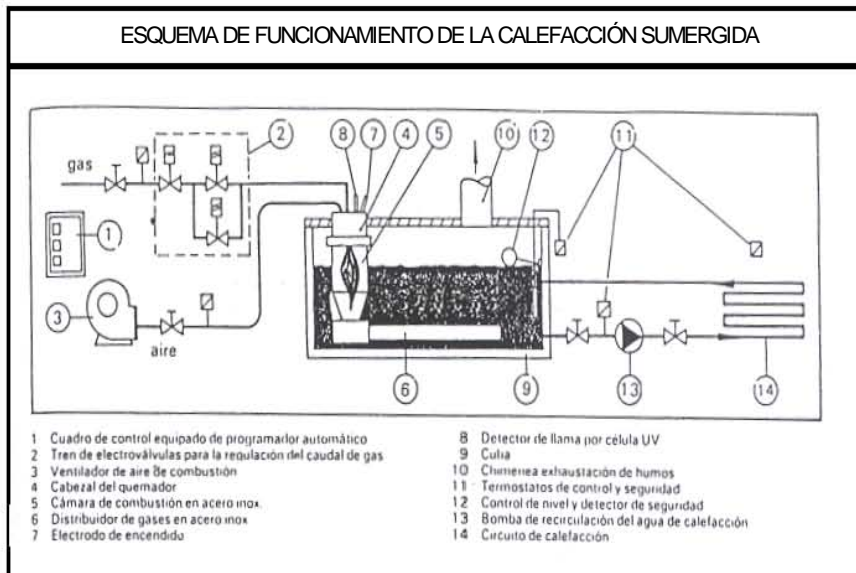
Además de las técnicas anteriores, la bomba de calor y la calefacción sumergida son dos de los sistemas de calefacción que recientemente se están introduciendo en las explotaciones hortícolas. La bomba de calor permite elevar el nivel térmico de una fuente de energía no utilizable directamente en la climatización invernal de invernaderos (por ejemplo, una capa freática de 14° C). La bomba de calor enfría esta agua (14° C) y restituye esta energía aumentada bajo forma de agua a 40/50° C, que constituye un nivel de temperatura utilizable para la calefacción de invernaderos.

mezclan por alta turbulencia en la cabeza del quemador asegurando una excelente combustión y una llama corta y estable

Los gases producidos en la combustión dentro de la cámara se dispersan dentro del baño a través de un distribuidor, formándose columnas de burbujas, a través de las cuales se consigue una transferencia directa de calor, una gran superficie de intercambio y una rápida homogeneidad de la temperatura.

La eficiencia de estas instalaciones en el calentamiento de líquidos a baja temperatura (60°C) supera, en la mayoría de los casos, el 100% sobre el poder calorífico inferior (PCI) del gas. En la comarca del Maresme (Barcelona) existen varias explotaciones hortícolas con este tipo de calefacción.

Además de los sistemas que utilizan el agua caliente como fluido en la calefacción de los invernaderos, también existen los que usan el aire caliente como medio de transmisión del calor. Se distinguen los modelos con intercambiador de calor que sólo envían el aire caliente al interior del invernadero y aquellos que inyectan el aire caliente mezclado con los gases de la combustión. En los generadores de aire caliente con intercambiador de calor, los gases de combustión son evacuados al exterior del invernadero. Las partes fundamentales de estos aparatos son:



Fuente Técnica Industrial Ibérica S.A.

La calefacción sumergida consiste en hacer borbotar los productos de combustión de un gas (gas natural, propano, butano) en el seno de un líquido a calentar. El aire y el gas se

- Intercambiador de calor: tiene una serie de aletas que se calientan por la combustión y entre los que circula el aire impulsado.
- Ventilador: su misión es la de hacer circular el aire, extrayéndolo del exterior, o bien del interior del invernadero.
- Quemador: preparado para quemar combustible (gasóleo, fuel-oil, propano, gas natural).
- Cámara de combustión: calienta el cambiador de calor alrededor del cual circula el aire impulsado por el ventilador.

La salida del aire en los generadores de aire caliente se realiza a través de unos detectores direccionales, o bien con mangas de polietileno, provistos de una serie de orificios por donde sale el aire caliente. La potencia térmica (kcal/h) de los generadores es variable y en el mercado se pueden encontrar aparatos cuya potencia oscila entre 25.000 kcal/h y 1000.000 kcal/h. En este intervalo el consumo de combustible oscila entre 2,5 l/h a 11 l/h. Entre las ventajas de los sistemas de calefacción por aire caliente se pueden destacar:

- Poca inercia térmica. La respuesta a las variaciones de temperatura es rápida.
- Costo bajo de la instalación en comparación con un sistema de calefacción por agua caliente.
- Las corrientes de aire caliente eliminan las condensaciones de la cara interior de los materiales de cobertura.
- El ventilador del generador puede ser utilizado en verano para combatir las elevadas temperaturas en el interior del invernadero.

Entre los inconvenientes de los sistemas de calefacción por aire caliente se destacan:

- Las variaciones de temperatura en el interior del invernadero (gradientes) Pueden ser más importantes que una calefacción por tuberías con agua caliente.
- El flujo de aire que emite el generador tiene una velocidad aproximada de 5 m/seg y una temperatura variable entre 50/60° C.
- El aire que sale del generador pierde rápidamente su velocidad y su temperatura. Por esta razón existe una mala distribución de la temperatura en el plano horizontal:
- temperatura demasiado elevada cerca del generador y,
- por otra parte, bastante baja a una distancia de unos 30 m del mismo (se observan temperaturas de 2/4° C superiores cerca del generador en relación a los extremos del invernadero).

También existe un gradiente térmico en el plano vertical con un aumento de temperatura de unos 30° C por metro. Este gradiente de temperatura y el movimiento de aire a nivel de las paredes del invernadero son el origen de un aumento de las pérdidas de calor y, por tanto, dé un incremento en el consumo de combustible.

Estos inconvenientes anteriores pueden disminuirse limitando el radio de acción de flujo de aire a 20/30 m, aumentado el número de generadores en el interior del invernadero. Asimismo, el empleo de mangas de plástico (ejemplo polietileno) perforadas, ofrece una solución interesante a los problemas de reparto de calor. En este sentido se han de destacar los trabajos de Tesi, R. (1981), en los que se demuestra la Mejora térmica en un invernadero (40 x 11,1 m) por la canalización del flujo de aire emitido por un generador (110.000 kcal/h). En esta experiencia se comprueba que en el plano vertical la temperatura a una altura de 3 m en un invernadero con un generador y manga de polietileno perforada fue de 17,8° C, frente a 19,6° C con un generador sin canalización del aire caliente. Asimismo, a un nivel de 0,3m (cubierta vegetal) la temperatura en el invernadero con un generador y manga perforada fue de 15,1° C, frente a 13,7° C en el invernadero con generador sin canalización del aire caliente.

Otros inconvenientes del empleo de generadores son:

- El movimiento del aire a nivel de la cubierta del invernadero angina un incremento de las pérdidas de calor en el mismo (se disminuye por el uso de canalización del aire caliente).
- En el caso de avería en la instalación, el enfriamiento del volumen del invernadero es rápido en razón a su débil inercia térmica si se la compara con un sistema de calefacción por agua caliente.
- En el caso de funcionamiento prolongado, posible disminución de la humedad relativa del aire del invernadero

con el efecto negativo que ello representa para determinados cultivos.

5.3. Técnicas de ahorro energético.

La crisis de la energía originó en los países del Norte y Centro de Europa la necesidad de investigar técnicas que permitieran una reducción en el consumo de combustible utilizado en la calefacción de los invernaderos. Como dato base se puede decir que en horticultura el costo de la calefacción incide entre un 10% a un 30% de los gastos de la explotación. Esta amplia variación porcentual es consecuencia de la variedad de especies cultivadas en horticultura (comestible y ornamental).

Las técnicas de ahorro desarrolladas en países como Holanda, Alemania, Dinamarca, etc., estaban dirigidas a dos objetivos: uno de ellos es la reducción del consumo de energía en el invernadero, a través de la incorporación de nuevas tecnologías o mediante el perfeccionamiento de las existentes.

El segundo gran objetivo era abordar el problema energético sobre la base agronómica a través de especies con baja exigencia en temperatura, luz, etc.

El rendimiento térmico de un invernadero varía con la característica constructiva y también con las condiciones climáticas de la zona geográfica dónde se construya el invernadero. La solución constructiva para la mejora del balance energético en un invernadero es la que hace referencia a la configuración geométrica de la cubierta. Por otra parte, la elección térmica de la forma de la cubierta es un problema esencialmente agronómico puesto que sólo un juicio de este tipo podrá establecer si el incremento de superficie y por ello su mayor costo compensa por una superior captación de energía una mayor productividad. La solución constructiva que permite mejor rendimiento térmico es el que realiza una construcción del

invernadero en planta cuadrada.

En los meses de invierno los factores limitantes para el crecimiento de la planta están representados por una disminución en la radiación solar responsable también de un déficit térmico.

El viento es uno de los elementos del clima que más incide negativamente en el cultivo bajo invernadero. En primer lugar, el viento ejerce una acción negativa sobre los elementos estructurales (daños mecánicos). En segundo lugar, el viento influye sobre el coeficiente de pérdida de calor por conducción-convección (kcc) y también sobre la tasa o índice de renovación del volumen del invernadero (R).

El uso de cortavientos es la técnica ampliamente utilizada para disminuir el consumo de combustible en un invernadero como consecuencia del efecto de la acción del viento. Se estima entre un 5% a un 10% el valor del ahorro energético por el uso del cortaviento. La eficacia de un cortaviento depende, esencialmente, de tres factores:

- la permeabilidad,
- la altura, y
- la homogeneidad.

a) PERMEABILIDAD.

El viento no debe ser parado brutalmente como un muro, ya que si no se originan a ciertas distancias (dos veces la altura del cortaviento) unos torbellinos peligrosos. Se estima que la mejor eficacia se alcanza con una permeabilidad del 50%.

b) ALTURA.

Una buena protección está asegurada sobre una dimensión de la parcela correspondiente a 15-20 veces la altura

del cortavientos, en la medida que su permeabilidad está asegurada. En relación al invernadero, el cortaviento debe estar situado a una distancia igual a 3 ó 4 veces la propia altura del cortaviento con el fin de evitar la proyección de sombras sobre el invernadero. La altura del cortaviento debe ser al menos igual a la altura en cumbre del invernadero.

c) HOMOGENEIDAD.

Para asegurar una buena protección, el cortaviento debe estar bien poblado de la base a la extremidad, lo que lleva a menudo a utilizar varias especies (arbustos, coníferas, etc.). El reparto de las pérdidas de calor en un invernadero con calefacción evidencia que los dos elementos constructivos que influyen notablemente en el balance energético son el material de cobertura y la hermeticidad del invernadero. Entre un 60% a un 70% de las pérdidas energéticas se originan a través del techo del invernadero. La reducción de estas, pérdidas se hace a través de la selección de materiales de cobertura y de un adecuado aislamiento. El doblado de las paredes del invernadero y el uso de las dobles cubiertas preformadas (vidrio, polimetacrilato) son los dos sistemas más empleados para disminuir el consumo de combustible. Como idea general, con estas técnicas se consigue un ahorro energético variable entre un 20% a un 35%. Para conseguir con estos sistema de ahorro un rendimiento térmico adecuado es necesario que la separación en" la cubierta principal y el material utilizado en el doblado(generalmente polietileno) sea la óptima.

En este sentido, en la figura anterior se puede observar la variación del coeficiente global de pérdida de calor en función de la separación de las dos cubierta. Se aprecia que la separación de 1 cm es la que ofrece mejores resultados en relación a la de 2 y 3 cm.

Además de las técnicas anteriores, el uso de las cortinas térmicas puede limitar la calefacción de las paredes del

invernadero y las pérdidas unidas a las fugas.

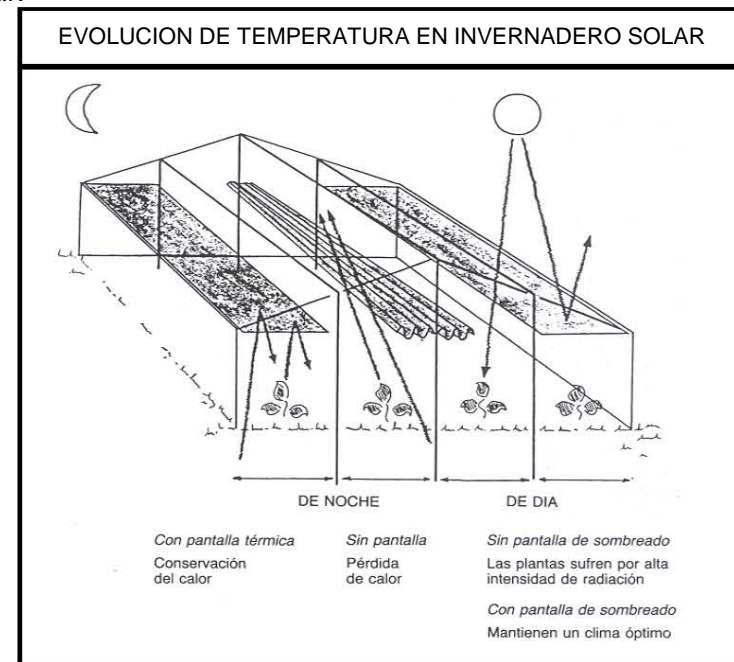
En función del material utilizado, las cortinas pueden ser utilizadas de día y de noche.

Durante el día la cortina reduce los aportes de energía radiativa, lo que permite:

- producir un sombreado,
- evitar las elevaciones de temperatura demasiado fuertes bajo el invernadero.

La cortina ideal para el día será:

- transparente a la radiación solar visible (parte fotosintéticamente activa),
- reflectante y/o absorbente a la radiación infrarrojo de origen solar.



Fuente A: Nisen.

El cierre de una cortina divide el volumen del invernadero en dos partes, teniendo como objetivo limitar la transferencia de calor hacia la parte situada por encima y, por consecuencia, a las paredes.

La cortina ha de satisfacer un cierto número de criterios. En primer lugar, es necesario que el intercambio de aire a través de la cortina sea el mínimo posible, lo que necesita una instalación hermética. Otra de las propiedades a tener en cuenta en una cortina térmica es que las pérdidas por radiación deben ser combatidas con una pantalla que no deje pasar la radiación del calor emitido por el suelo y las plantas.



*Cortina térmica
Foto: desconocido*

La cortina puede parar una parte de la radiación solar global, sea por absorción sea por reflexión. Si la parada de la reflexión global solar se hace por absorción, esto va a proporcionar un aumento de la temperatura de la cortina y, como consecuencia, un aumento de la de la planta, que tomará una temperatura de equilibrio próxima a la de la pantalla. Este tipo de cortinas puede provocar durante un día soleado una

sensación de atmósfera pesada, en el interior del invernadero.

Si la reducción de la radiación global a nivel de la cortina se hace por reflexión, se tendrá un efecto de sombreado y la elevación de temperatura será reducida.

Durante la noche la cortina reduce las pérdidas de energía actuando:

a) Como pantalla térmica a las radiaciones infrarrojas. En este sentido, la eficacia de una cortina aumenta cuando su transmisión y su emisividad disminuyen. Se pueden distinguir los siguientes tipos de pantallas:

- Las telas o fibras metalizadas: tienen un débil coeficiente de emisividad en el infrarrojo y una transmisión nula. En la actualidad han aparecido en el mercado unas telas con bandas de aluminio y poliéster que pueden ser. Útiles simultáneamente como sombreado o sistema de ahorro de energía
- Los films plásticos y materiales acrílicos.

b) Como resistencia complementaria a las pérdidas de energía por conducción-convección.

Como resumen de todo lo anterior, se puede decir que por el empleo del doblado, la doble pared y las cortinas térmicas se estima un ahorro energético que varía entre un 20% a un 40% dependiendo de:

- Las condiciones del clima exterior (nubosidad, viento, temperatura).
- Sistema de calefacción empleado (aéreo o suelo).
- La estanqueidad del invernadero.

A estas técnicas de ahorro energético se deben añadir los sistemas que utilizan las mangas de plástico y suspendidas por encima de los cultivos.

La mejora de las técnicas de cultivo que permiten un ahorro de energía se orientan a:

- a) Organizar los cultivos con el propósito de:
- ocupar al máximo los invernaderos (baquetas móviles, colgantes). Ahorro estimado: 10%-30%.
 - evitar los tiempos muertos entre cultivos. Ahorro estimado: 5%,
 - cultivar un conjunto de especies con las mismas necesidades. Ahorro estimado: 10%-12%,
 - cultivar especies más productivas. Ahorro estimado: 8%-10%.
- b) Disminuir la temperatura nocturna-



*Banquetas colgantes
Foto: desconocido*

5.4. La investigación en el ahorro energético del cultivo protegido.

El desarrollo de la investigación en el área de la economía de energía en el cultivo bajo invernadero ha sido enorme, y prueba de ello es la presencia en cualquier explotación dedicada al cultivo protegido de técnicas destinadas al ahorro de combustible. Entre los sistemas más empleados, y ya enumerados en el presente capítulo, son de destacar las dobles paredes, (preformadas o no) y las cortinas térmicas. Resulta evidente que se citan las técnicas cuya investigación y experimentación es a corto y medio plazo. Además de lo anterior, hoy, en día la investigación dirige sus esfuerzos al estudio de especies y variedades cuya finalidad sea el logro de mayores rendimientos (productividad), con una reducción en el consumo energético (abono). Este objetivo, ya iniciado en países de gran demanda energética (por ejemplo, Holanda, Alemania, etc.), requiere una interrelación entre diferentes disciplinas científicas, tales como fisiólogos, ingenieros, arquitectos, horticultores, etc., es decir, combinar los esfuerzos de las diferentes áreas tecnológicas y científicas, con la finalidad de buscar un menor consumo energético por unidad de producto. Esta investigación a medio y largo plazo se ha de complementar con el análisis de las técnicas que permitirán un mejor control bioclimático del invernadero. En este sentido, el empleo de la informática es uno de los instrumentos más directos y que cada día más forma parte de la gestión técnica de las explotaciones agrícolas.

Los objetivos anteriores repercutirán en la producción de productos de calidad, hecho fundamental si se desea entrar en los mercados actuales y abrir otros nuevos. En definitiva, se inicia, un nuevo campo de la investigación a través del empleo de la microelectrónica como instrumento para optimizar el ambiente del invernadero, de acuerdo con las necesidades, fisiológicas de la planta.

Nombre de archivo: A8
Directorio: C:\Users\PACO\Documents
Plantilla: Normal.dotm
Título: CENTRO DE ACOPIO DISTRIBUCION Y
 PROCESAMIENTO DE NOPAL EN MILPA ALTA D
Asunto:
Autor: FRANCISCO VIDAL MENDOZA
Palabras clave:
Comentarios:
Fecha de creación: 24/10/2007 05:02:00 p.m.
Cambio número: 2
Guardado el: 24/10/2007 05:02:00 p.m.
Guardado por: FRANCISCO VIDAL
Tiempo de edición: 1 minuto
Impreso el: 13/11/2007 01:30:00 a.m.
Última impresión completa
 Número de páginas: 20
 Número de palabras: 7,056 (aprox.)
 Número de caracteres: 38,813 (aprox.)

CAPÍTULO 6.

SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO (PERIODOS CÁLIDOS).

CAPÍTULO 6.

6. SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO (PERIODOS CÁLIDOS).

6.1 INTRODUCCIÓN.

Durante la mayor parte del ciclo productivo, la temperatura del interior es excesiva tanto para el buen rendimiento del cultivo como para la salud de los trabajadores que realizan en pleno verano las labores. El reducir la temperatura es uno de los mayores problemas de la agricultura protegida en climas cálidos, porque no es fácil refrigerar el invernadero sin invertir cantidades relativamente altas en instalaciones y equipos.

Los cuatro factores principales que permiten reducir la temperatura son:

- La disminución de la radiación solar que llega al cultivo (blanqueado, sombra, etc.)
- La evapotranspiración del cultivo.
- La ventilación.
- Refrigeración por evaporación de agua (nebulización, cooling-system)

Estos cuatro factores están ligados por la ecuación del balance de energía, de manera que si uno de ellos cambia también cambian los demás. Por ejemplo, al sombrear se reduce la temperatura del aire del invernadero, pero también se reduce, en general, la tasa de transpiración, factor que tiende a subir la temperatura ambiental y que reduce por tanto el efecto del sombreo.

6.2. BALANCE DE ENERGIA DIURNO.

Puesto que el modelo de cálculo intenta explicar el clima del invernadero durante las horas de sol, se prescinde de los cambios energéticos de menor importancia, como son la transmisión de calor en el suelo y la acumulación en el mismo, la condensación y los flujos de radiación térmica. Se supone que la temperatura y humedad del aire son homogéneas y que el régimen es permanente. Por simplicidad solo se establecen los balances de energía de la cubierta y aire del invernadero, ya que el controlar el cultivo con precisión es un proceso complicado.

Para la cubierta del invernadero:

$$G_{abs} - H_{co} - H_{ci} = 0 \quad (W - m^{-2})$$

Donde:

G_{abs} = Radiación solar absorbida por la cubierta y la malla de sombreo

$$G_{abs} = \alpha * R_s$$

Siendo:

α = poder de absorción de la cubierta del invernadero a la radiación solar.

R_s = radiación solar exterior $(W * m^{-2})$.

H_{co} = Calor transmitido por convección desde la cubierta al aire exterior.

$$H_{co} = 6,2 * V_w^{0,8} * (T_c - T_{out}) \quad (W * m^{-2}).$$

V_w = Velocidad del aire exterior ($m * S^{-1}$).
 T_c = Temperatura de la cubierta ($^{\circ} K$).
 T_{out} = Temperatura del aire exterior ($^{\circ} K$).
 H_{ci} = Calor transmitido por convención desde la cubierta al aire interior. Según Chalabi (1989) si la temperatura del aire interior es menor que la del techo el flujo es laminar y:

$$H_{ci} = 0,64 * (T_c - T_{int})^{1,25} \quad (W * m^{-2}).$$

siendo

T_{int} = Temperatura del aire del invernadero ($^{\circ} K$).

Si por el contrario el aire del invernadero está a más temperatura que la cubierta el flujo es turbulento y

$$H_{ci} = 1,7 * (T_{int} - T_c)^{1,33} \quad (W * m^{-2}).$$

Para el aire del invernadero se puede escribir:

$$R_{int} + H_{ci} = LE + V_{ent} + E_{vap}$$

Donde

R_{int} = Radiación solar transmitida y absorbida en el invernadero.

$$R_{int} = \tau * R_s \quad (W * m^{-2}).$$

Siendo

τ = transmisividad del invernadero a la radiación solar.
 LE = energía utilizada por el cultivo para transpirar. Se puede calcular de distintas maneras.

- Por medio de relaciones empíricas con variables ambientales. Por ejemplo, para el tomate según Jolliet y Bailey (1992)

$$Tr = 0,32 * R_{int} + 5,5 dpv + 5,3 V$$

dpv = déficit de presión de vapor en Kpa.
 V = Velocidad del aire del invernadero en ($m * s^{-1}$)

- Para ficus benjamina con índice de área foliar de 3,18 Bailey y Montero y cols. (1993) obtuvieron

$$LE = -3,6 + 0,669 * R_{int} \quad (W * m^{-2}).$$

Utilizando la ecuación de Pennian-Monteith. Para ficus benjamina cultivado en invernadero, Bailey y cols (1993) simplificaron la ecuación general hasta llegar a la expresión:

$$LE = \frac{R_{int} * \exp(0,052 T_{int}) + 47,5 * LAI * 3 dpv / (d)^{1/2}}{2 * \exp(0,038 T_{int}) + 0,00262 ri / (d)^{1/2}}$$

LAI = índice de área foliar.
 dpv = déficit de presión de vapor del aire (Kpa).
 d = dimensión característica de las hojas (m)

$$d = 2 / (1/L + 1/w)$$

L y W son la longitud y anchura de las hojas (m).
 ri = resistencia estomática del cultivo.

$$ri = 46 + 54500 / (55 + I) \quad (m * S^{-1}).$$

siendo I la radiación fotoactiva en $\mu E * m^{-2} * S^{-1}$

La ecuación de LE es una simplificación de la fórmula general de Penman-Monteith. Para otros cultivos distintos del ficus benjamina se pueden consultar los trabajos de Stanghellini (1987) y Yang (1990). Este último da una expresión para el cálculo de la resistencia estomática del pepino

$$r_i = 142,7 + 953,9 * \exp(-0,0081 * R_{int}) \text{ (m} * \text{S}^{-1}\text{)}.$$

Vent = Calor perdido en el invernadero por ventilación o renovación de aire.

$$\text{Vent} = F * \delta * (\text{Cp} * T_{int} + W_{int} - h_{int} - \text{Cp} T_{out} + W_{out} * h_{out}) \text{ (m} * \text{S}^{-1}\text{)}.$$

F = caudal de aire renovado (M³ - s⁻¹ * m⁻² de suelo)

δ = densidad del aire seco (kg * m⁻³).

Cp = calor específico del aire seco (J * Kg⁻¹ * K⁻¹)

W_{int}, W_{out} = humedad absoluta del aire interior y exterior (kg * kg⁻¹).

h_{int}, h_{out} = entalpía del vapor de agua en el aire interior y exterior (J * Kg⁻¹).

F= es de difícil determinación si el invernadero ventila de una manera natural sin ayuda de extractores eléctricos.

Evap = Energía consumida en evaporar el agua apartada por los equipos de humectación.

$$E_{vap} = M_w * h_w$$

M_w = caudal de agua aportada por los humectores (kg * s⁻¹ * m⁻²)

h_w = entalpía del agua evaporada (J * Kg⁻¹).

Por último en el proceso de cálculo se necesita conocer cuál es la humedad dentro del invernadero. Para ella se establece el balance de masa del vapor de agua

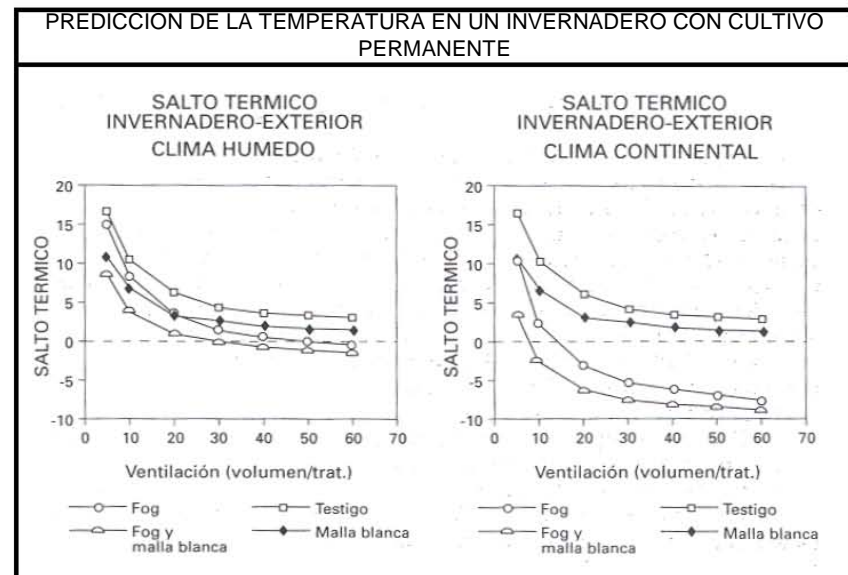
$$\begin{aligned} &\text{ganancia del vapor que entra del exterior por ventilación} \\ &- \\ &\text{pérdida del vapor que sale por ventilación} \\ &+ \\ &\text{vapor añadido por los humectores} \\ &+ \\ &\text{vapor añadido por la evapotranspiración} \\ &= \\ &\theta \end{aligned}$$

es decir:

$$F * \delta * (W_{out} - W_{int}) + M_w + LE/\lambda = \theta$$

λ es el calor latente de vaporación del agua (J - Kg⁻¹).

Si se resuelven simultáneamente las ecuaciones del balance de energía de la cubierta, la del balance de energía del aire del invernadero y la del balance de vapor de agua del aire del invernadero se pueden determinar cuales son las temperaturas de la cubierta, del aire y la luminosidad ambiental en función de las condiciones iniciales de partida (temperatura, humedad, radiación y velocidad del viento del aire exterior y parámetros que definen el invernadero. Las siguientes figuras son un ejemplo de la resolución de las ecuaciones citadas y muestran el salto térmico en función de la tasa de ventilación de cuatro invernaderos diferentes:



Fuente A: Nisen.

1. Refrigerado, por nebulización.
2. Con nebulizadores y malla de sombreo blanca del 40% de transmisión.
3. Con la malla blanca y sin nebulización.
4. Sin malla y sin nebulización.

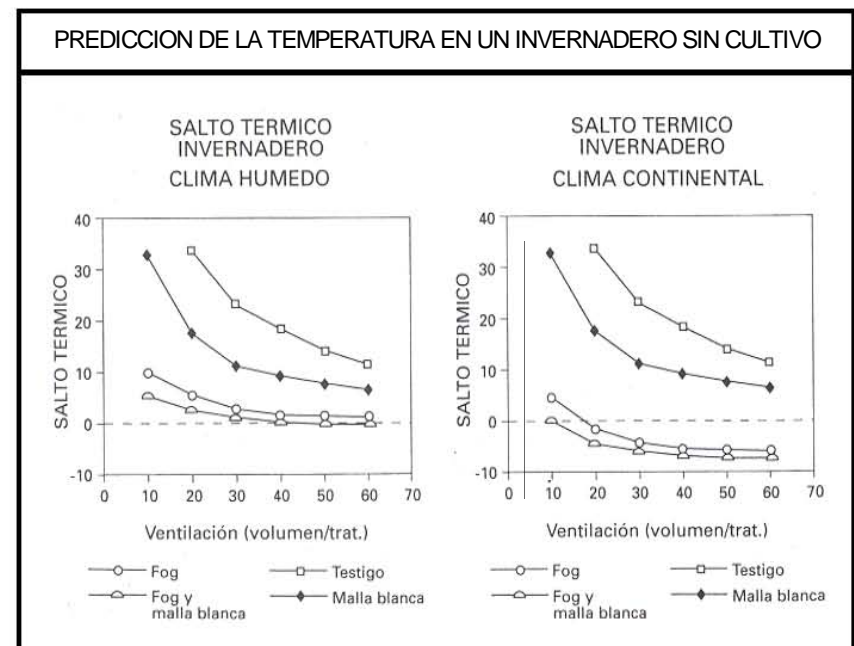
Se supone, que los invernaderos están totalmente llenos de cultivo con altas tasas de transpiración.

De ambas figuras se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- Todos los invernaderos reducen su temperatura conforme aumenta la tasa de ventilación, pero a partir de 20 renovaciones por hora el descenso térmico es proporcionalmente menor.
- El sombreo tiene mucha más influencia sobre el clima del invernadero si la ventilación es escasa. Por ejemplo si la tasa de renovación horaria es 10, la malla blanca desciende la temperatura en 3 a 4 °C, mientras que si es 60 el descenso térmico es de apenas 1°C.
- La refrigeración por evaporación es mucho más efectiva en climas secos. En clima húmedo el invernadero debe tener tasas de ventilación elevadas para que su temperatura esté por debajo de la exterior. En clima seco la combinación de la evaporación y la ventilación puede reducir la temperatura hasta cerca de 10 °C por debajo de la exterior.
- Durante el tiempo de uso de los evaporadores el invernadero debe, estar ventilado. Es un error cerrar las ventanas cuando el Fog u otros equipos similares están en

funcionamiento. Por otra parte, si la ventilación es, alta, el equipo de humectación debe tener capacidad suficiente para añadir el vapor de agua que se escapa por las ventanas. La cifra de 20 a 30 renovaciones horarias parece un buen termino medio, y es una tasa de ventilación que puede alcanzarse en la mayoría de invernaderos con ventanas cenitales incluso en días de poco viento.

Para ver el efecto que tiene el cultivo sobre el clima del invernadero se ha representado la siguiente figura que es la repetición de los cálculos hechos para las figuras anteriores con la única variante de que los invernaderos están vacíos de plantas.



Fuente A: Nisen.

Se puede concluir lo que sigue:

- En los invernaderos sin evaporadores las necesidades de ventilación son muy superiores a las del caso previo y se precisan por lo menos 60 renovaciones por hora para alcanzar un clima aceptable.
- En los invernaderos sin evaporadores el sombreo reduce en gran manera la temperatura (más de 10 °C en muchos casos). Sin embargo cuando hay otra fuente de refrigeración, ya sea la transpiración del cultivo, la evaporación de agua, o el aumento de la tasa de ventilación, el sombreo pierde importancia relativa y tiene menos efecto sobre el clima interno.
- En las primeras fases de desarrollo del cultivo (baja tasa de transpiración por unidad de superficie), los equipos de refrigeración por evaporación son extraordinariamente eficaces incluso en climas húmedos y logran descensos térmicos del orden de 15 y 20 °C en invernaderos con mala ventilación.
- Si los invernaderos tienen evaporadores, las curvas que ligan el salto térmico con la tasa de ventilación son muy parecidas ya tenga el invernadero cultivo o no lo tenga. Tanto la transpiración del cultivo como el aporte de humedad por medio de equipos apropiados son dos maneras de evaporar agua y una y otra pueden complementarse o sustituirse.
- Muchas veces el invernadero está en una situación intermedia entre las dos señaladas, ni totalmente lleno de plantas de alta transpiración ni vacío del todo. Los dos ejemplos señalados aquí son ilustrativos de situaciones extremas, y para cada caso particular puede obtenerse la solución adecuada resolviendo simultáneamente las ecuaciones del balance de energía y de vapor de agua.

6.3. SISTEMAS DE SOMBREO.

6.3.1. Introducción.

El sombreo es la técnica de refrigeración más usada en la práctica, pero no está libre de problemas. Uno de ellos es que gran número de productos de sombreo no son selectivos. La reducción de temperatura se logra a base de cortar más de lo conveniente el porcentaje de radiación fotoactiva, mientras que el infrarrojo corto llega en exceso a los cultivos. En otros casos la reducción de la radiación no causa descenso térmico, por ejemplo cuando se utilizan pantallas de ahorro de energía durante el verano con el objetivo de sombrear, ya que dichas pantallas pueden reducir mucho la renovación de aire.

Se pueden dividir los distintos sistemas de sombreo en dos grupos:

1. Sistemas estáticos. Son aquellos que una vez instalados sombrean al invernadero de una manera constante, sin posibilidad de graduación o control.
2. Sistemas dinámicos. Son aquellos que permiten un control más o menos perfecto de la radiación solar en función de las necesidades climáticas del invernadero.

6.3.2. Sistemas estáticos de sombreo.

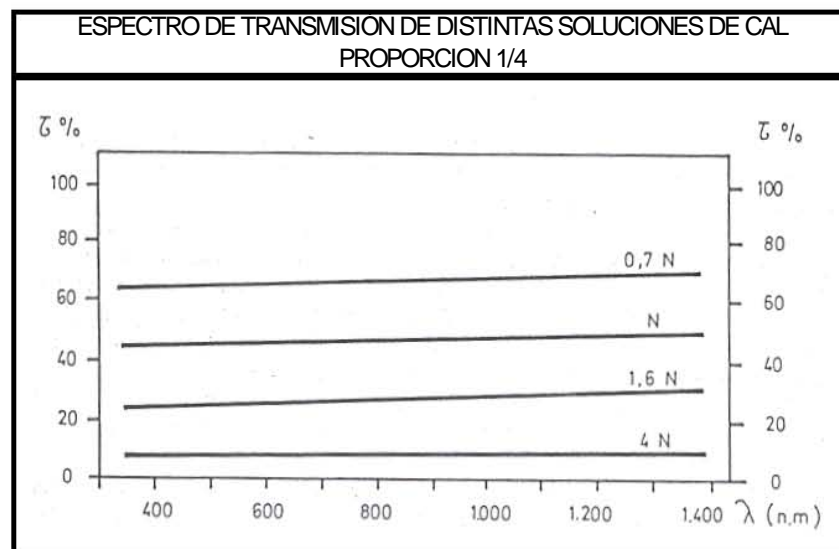
6.3.2.1. Encalado.

El blanqueo de las paredes a base de carbonato cálcico o de cal apagada es el sistema de sombreo más extendido en la horticultura protegida mediterránea. En zonas de poca lluvia se prefiere el carbonato cálcico o Blanco de España porque es más fácil de eliminar por lavado. En zonas más húmedas es preciso usar soluciones de cal apagada. Bajo un punto de vista

puramente técnico, el blanqueo presenta una serie de inconvenientes. El primer aspecto negativo es la permanencia de la cal en el invernadero durante períodos cubiertos. Como ya se ha señalado, los sistemas estáticos no permiten ajustar el grado de sombreo en función de las condiciones ambientales.

Otro inconveniente es el consumo de mano de obra en las operaciones de aplicación y limpieza, sobre todo en esta última acción. Es recomendable usar una solución ácida para quitar los restos de cal, pues con agua sola y fricción de la cubierta suelen quedar manchas sobre las paredes.

La aplicación de la cal no puede hacerse nunca con homogeneidad, y por tanto existen diferencias en la cantidad de luz que llega a las plantas. La preparación de la mezcla también influye en la transmisión de radiación. La siguiente figura muestra que conforme aumenta la concentración de blanqueante la transmitancia se reduce, no favoreciéndose la transmitancia de PAR frente a la del infrarrojo corto.



Fuente A: Nisen.1975, Baille1988

En cuanto al efecto del blanqueo sobre las temperaturas del aire, los datos son escasos y difíciles de comparar entre sí, ya que la aplicación de la cal tendrá distinta acción según el tipo de invernadero sobre el que se utilice. Por ejemplo un invernadero bien ventilado notará menos el efecto del encalado que otro más hermético.

En Almería se han registrado descensos de dos grados centígrados con el empleo de cal, en estructuras tipo parral de 22 m de anchura y ventilación lateral. Aunque el encalado no logra por sí solo un clima óptimo de cultivo en zonas cálidas, su relativa efectividad y la economía de su uso explican la popularidad de esta labor.

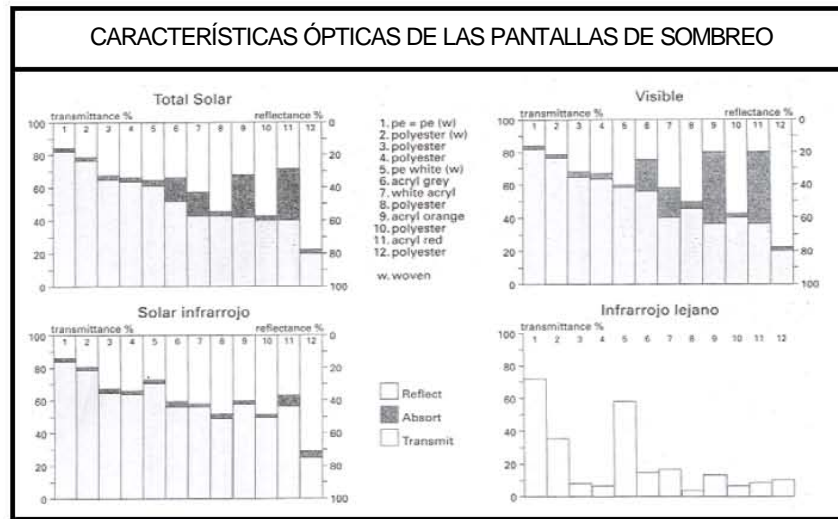
En Argentina merece destacarse el trabajo de Francescarigeli y Cols. (1992) que compararon el efecto del blanqueo aplicado en dos densidades: 95 y 34 gramos de cal hidratada en disolución de 1kg de cal por 5 lts de agua. En general, las diferencias de temperatura entre el testigo y los invernaderos blanqueados fueron de 2 a 3 °C con las ventanas totalmente abiertas (18% de superficie respecto al suelo) La reducción media de la temperatura de la planta, del tomate fue de 4.6 °C para el blanqueo denso y 3.3 °C para el liviano. El blanqueo afectó mucho más a la temperatura del suelo desnudo. La superficie logró un descenso térmico de 8 ó 9 °C estando el invernadero totalmente abierto. Este hecho puede ser muy importante durante las primeras fases de desarrollo del cultivo.

6.3.2.2. Mallas de sombreo.

Las mallas de sombreo suelen ser, de polietileno, aunque otros materiales como el polipropileno, el poliéster o derivados acrílicos se usan también para este propósito.

La gama de mallas con distinto porcentaje de transmisión, reflexión y porosidad al aire es muy amplia, Existen

también materiales aluminizados que presentan la ventaja de reflejar parte de la radiación en calor. Si la capacidad de reflexión no cambia con el uso del material (desarrollo de algas, suciedad, etc.), las mallas aluminizadas son las mejores para climas cálidos.



Fuente A: Nisen.1975, Baille1988

La mayoría de las redes de sombreo son poco selectivas, es decir, reducen tanto la transmisión de radiación fotoactiva como la del infrarrojo corto. Sería deseable el reducir al máximo la radiación infrarroja dejando pasar la fotoactiva hacia las plantas.

El grado de sombreo de la malla se escoge de forma que al mediodía las plantas reciban una cantidad de radiación cercana a su punto de saturación lumínica. Por tanto, es preciso conocer la curva de saturación de la especie y el régimen térmico del invernadero, puesto que la respuesta fotosintética varía con la temperatura. Se pueden encontrar estos datos para la mayoría de los cultivos en la literatura especializada.

Siempre que sea posible, deben situarse las mallas de sombreo en el exterior, aunque así se limita la vida útil de la red y se complica la instalación, la reducción de temperatura es más adecuada.

La malla interior absorbe la radiación solar y la convierte en calor dentro del invernadero, calor que deber ser evacuado por ventilación. Por el contrario, la malla exterior se calienta con la radiación, pero se refrigera con el aire exterior del invernadero. Otro punto importante a tener en cuenta al instalar la red de sombreo es que, a menudo, se provoca una disminución de los intercambios de aire entre la zona de vegetación y el medio exterior. El sombreo y la ventilación tienen que ir asociados.

Otro asunto de importancia es el color de la malla. La de color negro es la de mayor duración y por eso suele ser más utilizada. Sin embargo bajo el punto de vista climático no es la mejor.

TEMPERATURA DEL INVERNADERO SOMBREADO CON DISTINTAS MALLAS		
CONDICIONES EXTERIORES T= 25.3°; HR= 71%; RAD. SOLAR GLOBAL 891W*m ²		
TIPO DE SOMBREO	10 RENOVACIONES TEMPERATURA °C	40 RENOVACIONES TEMPERATURA °C
Malla aluminizada	30,4	26,8
Malla blanca	32,1	27,4
Malla negra	36,3	29,0
Sin malla	35,8	28,4

Fuente A: Nisen.1975, Baille1988

La tabla anterior muestra los valores calculados de temperatura bajo invernaderos con mallas aluminizadas, negras y blancas del mismo poder de transmisión (el 40%). En cuanto a la reflexión de radiación, la aluminizada refleja el 55%, la negra el 10% y la blanca el 40%. Por tanto la absorción de luz es del 5%, 50% y 20% respectivamente.

Según los cálculos, si el invernadero está bien ventilado (40 renovaciones) y lleno de cultivo transpirante, la temperatura ambiente es 2.2 °C inferior con la malla aluminizada en lugar de la negra, y 1.6 °C inferior con la blanca respecto a la negra. El cálculo también indica que la malla negra no reduce la temperatura del invernadero, puesto que el testigo sin malla tuvo una temperatura 0.6 °C inferior a la del invernadero con malla negra.

Por último, en relación con el uso de las mallas es preciso tener en cuenta los siguientes puntos:

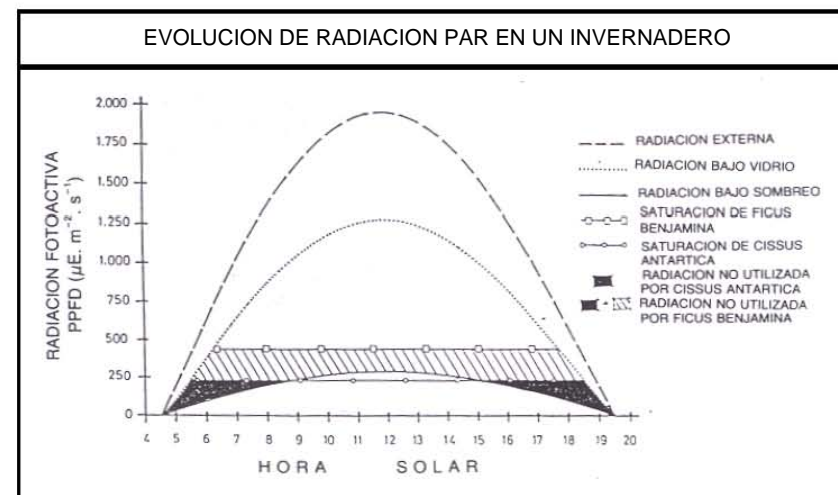
1. El porcentaje de sombreado mencionado en los prospectos comerciales, rara vez se corresponde con las determinaciones de laboratorio.
2. Todos los materiales son menos transparentes a la radiación difusa que a la radiación solar directa.
3. La intensidad del color de la pantalla no tiene una relación directa con el porcentaje de sombreado. El ojo humano es mal medidor de las propiedades ópticas de las mallas.
4. Se recomienda que no sea de color, puesto que cualquier material coloreado corta un porcentaje mayor del espectro visible. La fracción absorbida se corresponde con su color complementario (por ejemplo la pantalla naranja o verde absorbe mayor cantidad de azul y desequilibra el espectro de la luz que llega al cultivo). Además la pérdida adicional de luz visible ocurre normalmente por absorción, que tiene el inconveniente adicional de aumentar la temperatura del invernadero.

6.3.3. Sistemas dinámicos de sombreado.

6.3.3.1. Cortinas móviles.

El uso de mallas de sombreado fijas tiene un claro inconveniente: durante las primeras horas del día y las últimas de la tarde, así como durante días nublados, el sombreado es

excesivo y la fotosíntesis neta queda reducida, pues la radiación en el invernadero queda por debajo del punto de saturación. Si se cuenta con un mecanismo que arrastre la pantalla y extienda o cierre en función de los niveles de luz se puede lograr un uso mucho más eficiente de la radiación disponible. En un estudio comparativo del sombreado móvil frente al fijo (Martínez, 1984) se midieron aumentos en peso seco total del 65% en *Cyclamen* y del 132% en *Fatsia* entes otros.



Fuente Tapia 1983

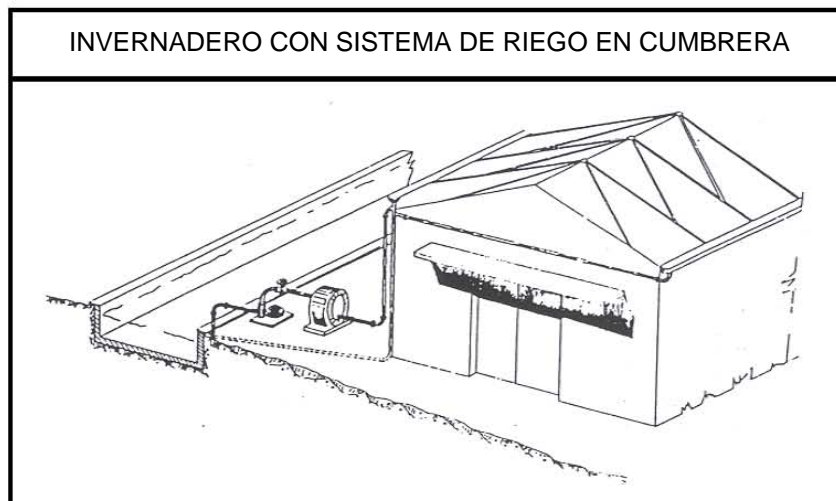
El equipo de arrastre de la cortina tiene como elementos básicos un eje de giro motorizado, uno de cables de acero que se enrollan en el eje y desplazan la pantalla, un conjunto de poleas y un sensor de radiación fotoactiva.

La mayoría de los invernaderos presentan muchos obstáculos que dificultan el movimiento de las mallas. En los invernaderos parral es casi imposible desplazar una cortina entre los numerosísimos postes de sustentación. En las estructuras metálicas los principales obstáculos son las correas de ventilación. Los últimos modelos procuran instalar las correas de forma que queden por encima de las mallas de

sombreo o pantallas de ahorro de energía. No es frecuente en absoluto instalar una cortina móvil con el único objeto de sombrear. Si la cortina se usa como medio de ahorro de energía puede pensarse también en moverla para sombrear en función del nivel de radiación.

6.3.3.2. Riego de la cubierta.

Algunos invernaderos tienen instalados un sistema de riego en su cubierta, de modo que es posible crear una película de agua que fluye sobre la pared. Este sistema tan sencillo parece dar mejores resultados para calentar que para enfriar el invernadero. Como método de calefacción puede usar agua templada de pozos geotérmicos o calores residuales industriales. Incluso el agua a 16-18 °C extraída directamente de pozos o sondeos es muy efectiva como medio antiheladas. En Italia se logró salvar los cultivos bajo invernaderos sin calefacción, regando la cubierta cuando la temperatura exterior fue de -8 °C. En estas condiciones se forma una capa de hielo sobre el invernadero que lo aísla del medio exterior.



Fuente A: Nisen.

6.4. Ventilación

6.4.1. Ventilación natural.

El intercambio de aire entre el interior y el exterior del invernadero incide de una manera clara en el clima de cultivo. No solamente cambia el balance de energía, y por lo tanto la temperatura del aire, sino que también afecta al contenido de vapor de agua y de anhídrido carbónico.

A pesar de la importancia de la ventilación pasiva o natural, se han dedicado pocos trabajos al estudio de este fenómeno en relación con los invernaderos. Merecen destacarse los análisis de Bruce (1978), Bot (1983) y de Jong (1990). Los métodos de cálculo de la ventilación son imprecisos, porque se basan en una serie de hipótesis simplificadoras que no corresponden con la 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 aplicarla al caso particular en estudio. A continuación se expone la teoría clásica de la ventilación natural.

La ventilación pasiva tiene su origen en dos factores:

1. Distribución de presiones en la superficie de la estructura debido al viento.
2. Diferencia de temperatura, y por lo tanto de presión, entre el invernadero y el exterior.

También es necesario considerar la resistencia que opone la ventana al flujo del aire, función de la geometría de los orificios de entrada y salida y también del número de Reynolds cuando los efectos de viscosidad. Tienen importancia. De acuerdo con ley de Bernouilli, admitiendo que el aire es incompresible y que los efectos viscosos no son importantes, al abrir una ventana la diferencia de presión entre las dos caras de la ventana (energía potencia] se convierte .en energía cinética,

produciendo una pérdida de carga al paso del flujo de aire:

$$\Delta P = F * \xi * \frac{1}{2} V_1^2$$

siendo

ΔP : la diferencia de presión (N * m⁻²).

F: el coeficiente adimensional de pérdida de carga.

ξ : densidad del aire en el orificio (kg * m⁻³).

V_1 : la velocidad media del aire en el orificio (m * s⁻¹).

De aquí

$$V_1 = \frac{\Delta P I}{\Delta P I} * C_d \left(\frac{2 \Delta P}{\xi} \right)^{1/2}$$

siendo $C_d = F^{-1/2}$

C_d es un coeficiente de descarga característico de la geometría de la ventana. Este coeficiente no se conoce en gran número de casos de una manera exacta, pero para orificios de bordes afilados y para los valores de Reynolds presentes en la ventilación natural C_d oscila entre 0,6 y 0,7, según los estudios realizados en ventanas y puertas de edificios.

Una vez conocida la velocidad del aire en cada punto de la ventana, o al menos la velocidad media, se puede calcular el caudal por integración a través de la superficie de entrada o salida del aire.

$$Q = \int V_1 * dA = C_d \int \left(\frac{2 \Delta P}{\xi} \right)^{1/2} dA \text{ (m}^3 \text{ * s}^{-1}\text{)}$$

6.4.1.1. Flujo de aire debido al viento exterior.

El viento produce una distribución de presiones en la superficie del invernadero creando zonas de sobre presión y de succión. De una manera general la diferencia de presión estática debido al viento, P_v , puede expresarse por:

$$\Delta P_v = C_v * \frac{1}{2} \xi_a V^2$$

siendo, $C_v = 1$

C_v : un coeficiente adimensional de presión-

ξ_a : la densidad del aire exterior.

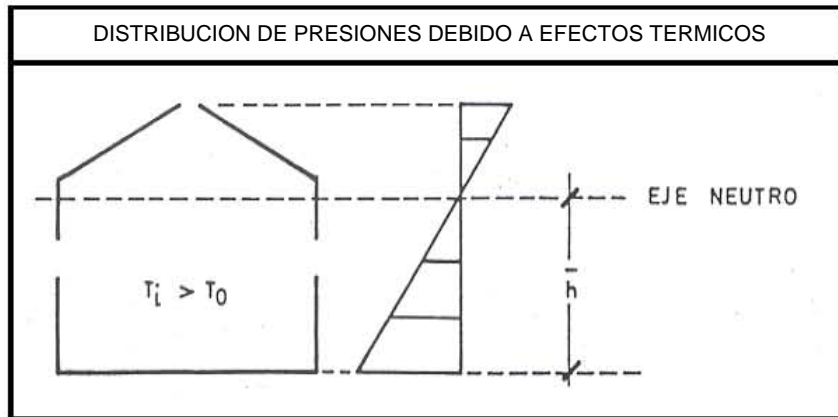
V : la velocidad media del viento medida en un nivel de referencia. Si se abre una ventana en una zona del techo 0 puedes en que el coeficiente C_v es negativo, el flujo de aire será de dentro hacia afuera, y cuando C_v es positivo la ventana dejará entrar aire al invernadero.

6.4.1.2. Flujo de aire debido la diferencia de temperatura.

Dentro del invernadero, suponiendo una temperatura interior uniforme (T_i) y una densidad de aire interior (ξ_i), la presión estática varía con la altura. Si se define un eje neutro, esto es, un nivel de referencia de presiones a una altura (h') para la que no hay diferencia de presión entre el interior y el exterior, una ventana a la altura h está sometida a una diferencia de presión entre sus paredes internas y externas dada por:

$$\Delta_t = g (\xi_i - \xi_a) (h' - h)$$

donde g es la aceleración de la gravedad.



T_i = temperatura interior, T_o = temperatura exterior

Fuente A: Nisen.

De nuevo aplicando Bernouilli

$$\Delta P_t = g \Delta \xi_i (h - h') = \frac{1}{2} \xi * V_2^2$$

Siendo V₂ la velocidad del aire a través de la ventana por los efectos térmicos.

Por otra parte, el caudal del aire debido a los efectos térmicos se calcula por:

$$Q_t = C_d \int V_2 dA = C_d \left(2g \frac{\xi}{\xi} \right)^{1/2} \int (h' - h)^{1/2}$$

y si el aire se comporta como gas ideal

$$\frac{\Delta \xi}{\xi} = \frac{\Delta T}{T} \quad \blacktriangleright \quad \frac{\Delta \xi}{\xi} \approx \beta \Delta T$$

Siendo β el coeficiente de expansión térmica del aire.

6.4.1.3. Acción combinada de la ventilación debida al viento exterior y a la diferencia de temperatura.

Si se considera el conjunto de las aperturas del invernadero, la cantidad de aire que entra tiene que igualar al volumen de aire expulsado para que se cumpla el principio de la conservación de la masa. Por tanto, si el invernadero tiene n aperturas, se cumplirá que:

$$\sum_{j=1}^n (Q_{vj} + Q_{tj}) = 0$$

es decir,

$$\sum_{j=1}^n C_{dj} \left(2g \frac{\Delta \xi}{\xi} \right)^{1/2} \left[\int \left(\frac{\Delta P_{vj}}{g \Delta \xi} \right)^{1/2} dA_j + (h' + h)^{1/2} dA_j \right] = 0$$

Si se conocen los coeficientes de presión, y los de descarga para cada apertura, la única variable desconocida en la ecuación es la altura del plano neutro h', cuyo valor puede calcularse usando cualquier método numérico.

Una vez determinada h', se puede hallar el volumen de aire ventilado sumando todos los flujos de las ventanas de entrada (o de salida). Las ventanas situadas a mayor altura que h permitirán la salida del aire. Cuando el plano neutro pasa entre los bordes de una ventana o cuando los efectos térmicos originan una fuerza positiva y la presión eólica otra negativa, esta ventana permite tanto la entrada como la salida de aire. En este caso, al calcular el movimiento de aire puede considerarse el orificio como si hubiera dos, uno de entrada y otro de salida.

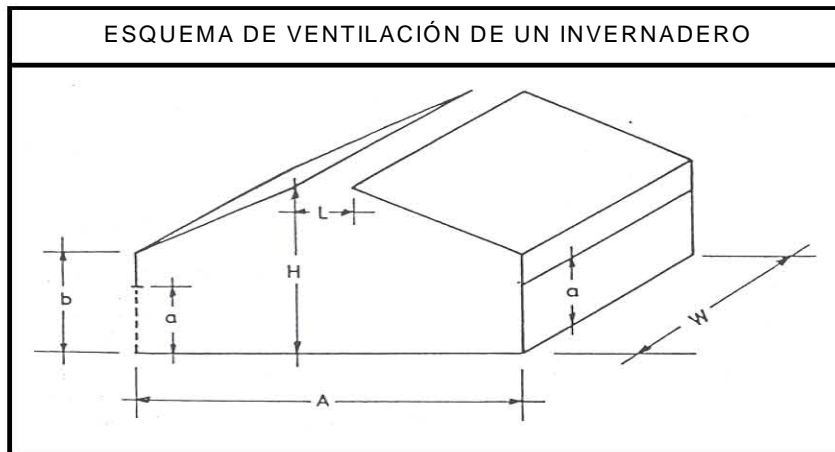
La ecuación anterior permite estimar bajo que tipo de circunstancias la ventilación se debe principalmente a efectos eólicos o a efectos térmicos. En el caso de un invernadero típico holandés (Venlo) con ventilación únicamente cenital, Bot calculó que los efectos eólicos dominan sobre los térmicos cuando:

$$3 V > (\Delta T)^{1/2}$$

V = Velocidad del viento fuera del invernadero (m/seg)

ΔT = Salto térmico interior-exterior (grados Kelvin).

Por tanto si el salto térmico es de 9° C el efecto eólico predomina sobre el térmico a Partir de $V > 1$ m/seg. La conclusión es que, Para este caso particular, los efectos térmicos tienen únicamente importancia cuando la velocidad del viento es baja. El efecto térmico aumenta con la raíz cuadrada de T mientras que el efecto eólico aumenta linealmente con la velocidad del viento y por tanto su influencia crece rápidamente comparada con la del efecto térmico. Además al aumentar la velocidad del viento decrece el salto térmico y por tanto se reduce la ventilación debida a la diferencia de temperatura.



Fuente A: Nisen.

6.4.1.4. Ejemplo de cálculo de la ventilación pasiva en un invernadero.

Para ilustrar lo dicho hasta aquí vamos a considerar el caso de un invernadero como el del esquema adjunto, con

ventanas a lo largo de ambos laterales y con apertura cenital.

El caso más desfavorable es aquel en que el viento está en calma y, por tanto, la ventilación se debe exclusivamente a la diferencia de temperatura con el exterior.

$$\sum_{j=1}^n C_{dj} \left(2g \frac{\Delta \xi}{\xi}\right)^{1/2} \left[\int \left(\frac{\Delta P_{vj}}{g \Delta \xi}\right)^{1/2} dA_j + (h' + h)^{1/2} dA_j \right] = 0$$

Aplicando la anterior ecuación a las dos aperturas laterales y a la apertura cenital se cumplirá que:

$$2 \int_{\text{laterales}} (h' - h)^{1/2} dA_1 + \int_{\text{techo}} (h' - b)^{1/2} dA_2 = 0$$

Es decir,

$$2 \int_0^a \frac{lh' - hl^{3/2}}{(h' - h)} W dh - (H - h')^{1/2} W L = 0$$

El resultado de la integral es:

$$-2W \left[\frac{2}{3} lh' - hl^{3/2} \right]_0^a - (H - h')^{1/2} W L = 0$$

Por tanto, la ecuación que determina la situación del plano neutro h' es:

$$\frac{4}{3} (h'^{-3/2} - ah'^{-3/2} - al^{3/2}) - (H - h')^{1/2} L = 0$$

Una vez conocido h , la cantidad de aire evacuado por la ventilación Q se calcula sumando el flujo de todas las aperturas situadas por debajo de h (entradas) o el de todas las ventanas por encima de este nivel:

$$Q_a = 2 C_d (2g \beta \Delta T)^{1/2} \int_0^{h'} \frac{lh' - hl^{3/2}}{lh' - hl} W dh$$

$$Q_a = 4/3 C_d W (2g \beta \Delta T)^{1/2} lh'^{3/2}$$

6.4.1.5. Aplicación del modelo de cálculo a invernaderos multitúneles.

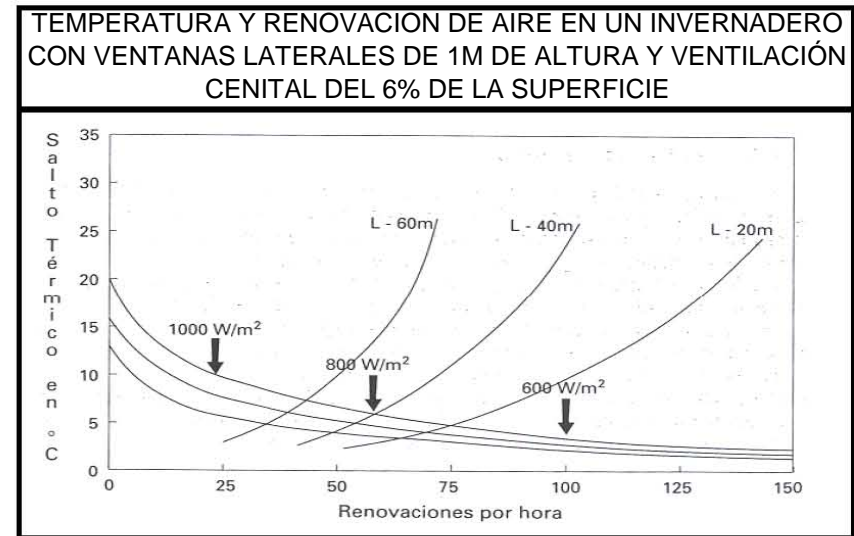
Aplicando un gas trazador y midiendo cómo varía la concentración del gas a lo largo del tiempo se puede calcular la tasa de renovación y a partir de ella obtener los coeficientes de descarga. Cada invernadero tiene una expresión matemática que define la cantidad de aire evacuada, como la expresión $Q_a = 4/3 C_d W (2g \beta \Delta T)^{1/2} lh'^{3/2}$ para el invernadero individual.

Las siguientes figuras muestran el número de renovaciones de aire y la temperatura que cabe esperar que tenga lugar en un conjunto de invernaderos de diferente tamaño, en días de viento prácticamente nulo (caso más desfavorable para el que la tasa de renovación es mínima).

La siguiente figura corresponde a los invernaderos con ventilación lateral únicamente, como la gran mayoría de las estructuras autóctonas. Dicha figura contiene dos familias de curvas que se interceptan. La primera son las 1 tres líneas decrecientes que relacionan el salto térmico con el número de renovaciones horarias del aire del invernadero (según Kittas, 1986). Cada línea corresponde a un valor de radiación exterior de 1000, 800 y 600 Watios/m².

La segunda familia de curvas muestra la cantidad de aire que sale por las ventanas laterales en función del salto térmico interior-exterior. Se han calculado las renovaciones horarias en tres casos, cuando el invernadero tiene 20, 40 y 60 metros de anchura.

El punto de intersección de las curvas indica cuál es la temperatura del invernadero en momentos de viento en calma. Por ejemplo, el invernadero de 60 m de ancho para la radiación de 1000 Wat/m², valor máximo en días claros de verano, tiene aproximadamente 18 renovaciones horarias y un salto térmico de 12° C, mientras que el invernadero de 20 m para la misma radiación solar tiene cerca de 40 renovaciones y un salto térmico de 7° C. Vemos que si la ventilación es únicamente lateral sólo es posible lograr un clima adecuado en invernaderos de pequeñas dimensiones o en zonas no cálidas. También puede ser suficiente para cultivos que no sufran estrés térmico por crecer en un ambiente superior a 40° C.



Fuente A: Nisen.

En cambio, si se combinan las ventanas en laterales y en techo, el invernadero de 60 m tiene un salto térmico próximo a 6°C. Por tanto, se recomienda combinar ambos tipos de ventanas como condición casi imprescindible para tener un clima aceptable dentro del invernadero de grandes dimensiones.

6.4.2. Ventilación mecánica.

El uso de ventiladores permite un control más preciso de la temperatura del invernadero que el que puede lograrse con la ventilación pasiva. Con todo, en climas mediterráneos no es frecuente encontrar equipos de este tipo por el precio de la instalación y por el consumo de electricidad.

La ASAE (American Society of Agricultural Engineers) establece una serie de normas en el diseño y control de los sistemas de ventilación forzada. Se recomienda que la tasa de ventilación sea como mínimo de 3/4 a un cambio total de aire por minuto.

El volumen de aire a evacuar debe corregirse en función de diversos factores. Uno de ellos es el factor velocidad F_v . Para invernaderos en los que a distancia entre la ventana de entrada hasta el extractor mecánico sea inferior a 30 metros, se debe aumentar el volumen por el factor:

$$F_v = \frac{5,5}{D^{1/2}}$$

donde D es la distancia ventana-extractor en metros. Así se logra una velocidad de circulación del aire más eficaz en la zona de cultivo.

Otras recomendaciones de la ASAE son:

- Los ventiladores deben hacer circular el caudal de aire previamente calculado a la presión estática de 0,03 kilopascales.
- La distancia entre dos ventiladores contiguos no debe ser superior a 7,5 metros para asegurar la uniformidad en el flujo del aire.
- Siempre que sea posible se deben situar los extractores a sotavento de los vientos dominantes en. Si necesariamente es preciso instalarlos a barlovento, se debe aumentar el volumen a ventilar por cada extractor en un 10%.
- Debe haber una distancia mínima sin obstáculos a la salida del aire de 1,5 veces el diámetro del ventilador. Los ventiladores se pueden situar en el techo si hay interferencias en los laterales.
- Para evitar entradas de aire indeseadas cuando los ventiladores no estén en funcionamiento, las aperturas de entrada deben tener rejillas motorizadas que abran hacia afuera y sólo se abrirán cuando los ventiladores entren en funcionamiento. Las rejillas de salida también abrirán hacia afuera movidas por la presión de los ventiladores.
- La superficie de las ventanas de entrada será al menos 1,25 veces el área de los ventiladores.
- Las aspas deben estar protegidas con tela metálica de alambre de 1,5 mm de grosor mínimo y aperturas de 13 mm. Esta especie de pantalla debe estar al menos a 100 mm de distancia de cualquier parte móvil para prevenir accidentes.
- Es preferible controlar el volumen de aire, renovado en varias fases. Para ello se pueden utilizar ventiladores de dos velocidades o conectar distinto número en función de la temperatura del invernadero.

- Los instrumentos de medida y control deben estar completamente protegidos de la radiación solar, alojados en cajas pintadas con material reflectivo, o al menos blanco. Se debe asegurar que circule aire alrededor de los controles a velocidad entre 3 y 5 m/seg. Para ello se pueden instalar ventiladores mecánicos que extraigan el aire de la caja que contenga a los sensores.

6.5. REFRIGERACIÓN POR EVAPORACIÓN DE AGUA.

6.5.1. Fundamentos.

El agua, al pasar del estado líquido a vapor, absorbe calor. Si disponemos en el invernadero de algún equipo capaz de vaporizar agua, la vaporización absorberá calor del aire del invernadero y por tanto bajará la temperatura ambiente.

La evaporación del agua continúa hasta que el aire se satura (humedad relativa del 100%). La temperatura del aire en condiciones de saturación se llama temperatura húmeda. No es posible bajar la temperatura ambiente por debajo de la temperatura húmeda, puesto que el aire no admite más cantidad de agua en el estado gaseoso. Todo el proceso de saturación transcurre de manera que la energía de la mezcla aire y vapor de agua no varía. Se produce un cambio de calor sensible (descenso de la temperatura) por calor latente (aumento del contenido de vapor en la mezcla de aire húmedo). En termodinámica el proceso se llama adiabático y la entalpía permanece prácticamente constante. Los sistemas de humectación empleados en la horticultura protegida son dos: la pantalla evaporadora y las boquillas de nebulización.

6.5.2. Pantalla evaporadora.

Se trata de una pantalla de material poroso que se satura de agua por medio de un equipo de riego. La pantalla se

sitúa a lo largo de todo un lateral o un frontal del invernadero. En el extremo opuesto se instalan ventiladores eléctricos. El aire exterior entra a través de la pantalla porosa, absorbe humedad y baja su temperatura. Posteriormente, es expulsado por los ventiladores.

El rendimiento de un buen equipo se acerca al 85%. La pantalla suele estar confeccionada bien con fibras como virutas de madera, o con materiales celulósicos en láminas coarrugadas, y pegadas con aditivos. Salvo por su precio, las pantallas celulósicas son mejores que las de fibra por las siguientes razones:

1. Admiten agua de muy mala calidad. Las pantallas de fibra necesitan un soporte que las contenga, que suele ser una tela metálica muy atacable por las sales. En cambio, las pantallas de celulosa no necesitan estructuras auxiliares de sujeción y resisten aguas muy salinas si el aditivo que une las láminas es resistente a la salinidad.
2. Con el tiempo, la fibra tiende a compactarse dentro de su soporte, dejando huecos por los que el aire sin humectarse adecuadamente.
3. Tienen mayor superficie de contacto y, por tanto, se puede reducir el área de pantalla a instalar. Para el diseño de las instalaciones de pantallas evaporadoras se pueden seguir las normas norteamericanas, resumidas a continuación:
 - El sistema de ventilación debe tener la capacidad y características recogidas en el apartado 6.4.2.
 - La mejor distancia desde la pantalla a los ventiladores es la comprendida entre 20 y 25 metros. En invernaderos muy largos se pueden instalar los ventiladores en el centro sobre el techo y las pantallas en ambos extremos.
 - La velocidad óptima del aire a través de la pantalla evaporadora es función del material de la pantalla, recomendándose los siguientes valores:

- Para tener un flujo uniforme de agua la altura de las pantallas verticales no debe ser mayor de 2,5 metros ni menor de 0,5 metros.
- Siempre que sea posible se deben situar las pantallas a barlovento.
- Es conveniente que los extractores de un invernadero mantengan una distancia mínima de 15 metros con la pantalla evaporadora de otros invernaderos adyacentes, pues de lo contrario el aire expulsado de uno de ellos penetrará en los restantes.
- Los extractores de los invernaderos próximos no deben estar enfrente unos de otros. O bien se instalan alternando sus salidas o si están enfrente se debe mantener una separación mínima de cuatro veces su diámetro.
- El volumen de agua a aportar a las pantallas evaporadoras horizontales es como máximo 0,2 litros/segundo por m² de pantalla.
- Para pantallas verticales, el caudal de agua a aportar y el volumen del depósito que recoge el agua no evaporada y posteriormente reciclada debe ser:

CAUDAL DE AGUA EN PANTALLAS VERTICALES		
	caudal mínimo l/ml	volumen depósito l/m ²
Fibras 50-100 mm grosor	4	20
Fibras 50-100 mm climas áridos	5	20
Celulosa 100 mm grosor	6	30
Celulosa 100 mm clima árido	10	40

Fuente Antonio Mantalla Gonzalez (invernaderos)

La bomba de riego de las pantallas puede estar controlada por un termostato y un humidostato conectados en serie. El humidostato sirve para controlar posibles excesos de humedad. Ambos controles deben instalarse en una caja protegida de la radiación y en corriente de aire aspirada a una velocidad mínima de 3 m/seg.

Por último, es muy importante tener en cuenta que el

invernadero debe ser hermético, de manera que todo el aire forzado por los ventiladores penetre únicamente a través de la pantalla. De existir otras aperturas, el aire entrará por ellas sin recibir aporte de humedad y el enfriamiento será ineficaz.

6.5.3. Nebulización fina.

La nebulización o fog consiste en distribuir en el aire un gran número de partículas de agua líquida de tamaño próximo a 10 micras. Debido al escaso tamaño de las partículas, su velocidad de caída es muy pequeña, de modo que permanecen suspendidas en el aire del invernadero el tiempo suficiente para evaporarse sin llegar a mojar los cultivos. Si las condiciones ambientales hacen que las gotas se depositen sobre las hojas, la cantidad de agua depositada es suficientemente pequeña como para no dañar los cultivos.

El elemento más delicado de todo el conjunto es la boquilla de nebulización, pues de su diseño depende la calidad de la instalación. La boquilla recibe agua a presión, la divide en gotas minúsculas y las dispersa a corta distancia. El movimiento natural del aire redistribuye la humedad. Existen también equipos que fuerzan una corriente de aire y mejoran el alcance de las gotas.

Para dividir la corriente líquida en pequeñas gotas hace falta energía. En función del tipo de energía que utilizan, las boquillas pueden ser hidráulicas, gaseosas, centrífugas, cinéticas y térmicas. Las más usadas en invernaderos son de los tres primeros tipos. A continuación se describen los sistemas de nebulización más empleados en horticultura.

6.5.3.1. Boquillas de alta presión.

Son boquillas conectadas a tuberías timbradas para soportar una presión de trabajo de 60 kg/cm². El equipo funciona con agua cuidadosamente filtrada, a presión entre 40 y

60 kg/cm². El diseño de la boquilla es tal que el chorro de agua choca con un obstáculo a su salida y se dispersa, formando un cono de gotas pequeñas, de las que el 95% son menores de 20 micras de diámetro. Generalmente, se instala una boquilla por cada 6-8 metros cuadrados de invernadero. El caudal de agua evaporada por boquilla es de 5 litros por hora, siendo función, naturalmente, de la presión de trabajo. Los elementos principales de la instalación son:

- Bombas, motores y tuberías de alta presión.
- Inyectores para tratamiento de agua. Cuando el agua viene de alguna alberca o pozo superficial es preciso añadir cloro a 0,5 ppm para controlar el desarrollo de algas y bacterias.
- Filtros de malla de alta y baja presión. En caso de ser necesario tratar el agua también se recomienda un filtro de arena.
- Boquillas nebulizadoras.
- Equipos de control. Suelen usarse relojes, humidostatos, termostatos o combinación de ellos. Por ejemplo: un termostato para bajar la temperatura y un humidostato en serie que corta el funcionamiento cuando la humedad supera un valor preestablecido.

6.5.3.2. Boquillas de baja presión.

Utilizan agua a presión comprendida entre 3 y 6 kg/cm². Existen varios tipos de boquillas que suelen mezclar agua y aire a presión.

Las mejores son las llamadas ultrasónicas. Se dirige la corriente de aire comprimido contra un resonador de forma hueca y redondeada situado enfrente de la salida de agua. Por tanto, el agua pasa a través de un campo de ondas y se dispersa en forma de gotas de tamaño igual o menor a 10 micras. La nebulización ultrasónica es extremadamente fina y

«seca», pero el precio de las boquillas es casi prohibitivo.

Otras boquillas más económicas y también de una calidad muy aceptable mezclan aire a 6-8 kg/cm² con agua a 3-5 kg/cm². La mezcla se produce en el interior del cuerpo de la boquilla. Este sistema tiene algunas ventajas:

- Puesto que trabajan a presión de agua baja, el precio de la instalación es menor. Esta ventaja se compensa con la necesidad de montar un compresor de aire.
- El orificio de salida del agua es grande y no se bloquea con facilidad.
- La corriente de aire ayuda a limpiar la boquilla e impide el goteo cuando se corta el agua.

Para que el equipo funcione correctamente es necesario el uso de válvulas de control. Se precisan válvulas solenoidales para el suministro de aire y válvulas de muelle que admitan agua cuando la presión del aire sea mayor de dos atmósferas. Sin estas válvulas al arrancar sale un chorro directo de agua hasta que la presión de aire sube lo suficiente para nebulizar.

6.5.3.3. Humidificadores mecánicos.

A diferencia de los tipos anteriores, constan de partes móviles. Algunos modelos utilizan la fuerza centrífuga para producir gotas de agua pequeñas y un ventilador que las extiende por el invernadero. Los equipos más recientes tienen capacidad para nebulizar entre 40 y 200 litros de agua por hora. Un solo equipo basta para cubrir 100 m² de invernadero.

Son apropiados para instalaciones pequeñas. La calidad de nebulización es en general peor que la de los otros humidificadores y por esta razón pueden ser más útiles para el cultivo de hortalizas que para el de flor cortada o planta ornamental.

Nombre de archivo: A9
Directorio: C:\Users\PACO\Documents
Plantilla: Normal.dotm
Título: CENTRO DE ACOPIO DISTRIBUCION Y
 PROCESAMIENTO DE NOPAL EN MILPA ALTA D
Asunto:
Autor: FRANCISCO VIDAL MENDOZA
Palabras clave:
Comentarios:
Fecha de creación: 24/10/2007 07:50:00 p.m.
Cambio número: 2
Guardado el: 24/10/2007 07:50:00 p.m.
Guardado por: FRANCISCO VIDAL
Tiempo de edición: 0 minutos
Impreso el: 13/11/2007 01:31:00 a.m.
Última impresión completa
 Número de páginas: 18
 Número de palabras: 6,777 (aprox.)
 Número de caracteres: 37,276 (aprox.)

CAPÍTULO 7.

APLICACIÓN DE LA ILUMINACIÓN ARTIFICIAL EN LOS INVERNADEROS.

CAPÍTULO 7.

7.1 APLICACIÓN DE LA ILUMINACIÓN ARTIFICIAL EN LOS INVERNADEROS.

La luz es la energía radiante que influye a través de su calidad, intensidad y periodicidad en el desarrollo y crecimiento de las plantas. La radiación visible es una parte pequeñísima del espectro electromagnético Y comprende las longitudes de onda entre 400 nanómetros a 780 nanómetros. En este intervalo de longitudes de onda los efectos fisiológicos de la luz pueden ser diversos. Asimismo se observa que entre 650 nanómetros y 700 nanómetros la respuesta de la planta al fenómeno de la fotosíntesis es máxima.

La iluminación artificial se aplica fundamentalmente en Horticultura bien sea como luz suplementaria para aumentar el nivel de irradiación útil para la fotosíntesis o bien para prolongar la longitud efectiva del día (fotoperiodismo). Por otra parte la iluminación artificial se utiliza para sustituir la luz natural en ambientes donde las condiciones de crecimiento están estrechamente controladas (cámaras de crecimiento, fitotrones) y cuyo uso está limitado a los centros de Investigación. En definitiva la fuente de energía actúa como regulador de crecimiento.

Los diferentes tipos de lámparas utilizadas en la iluminación artificial presentan una determinada distribución de su energía radiante en las distintas regiones del espectro con longitudes de onda comprendidas entre 400 nanómetros y 2700 nanómetros.

Del examen del cuadro VII.2 se definen los tipos de lámparas más adecuadas para su utilización con fines fotosintéticos o fotoperiódicos. Así por ejemplo la iluminación

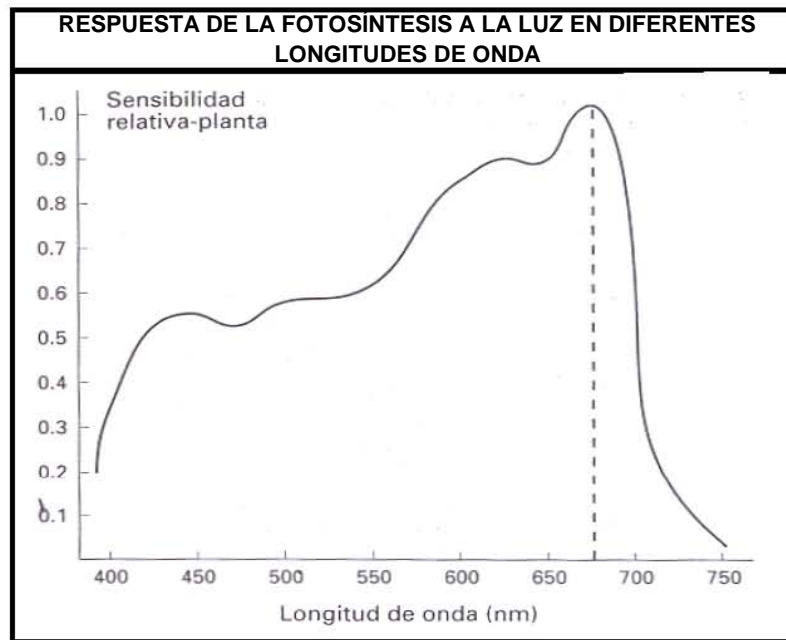
suplementaria o fotosintética se realizará con lámparas de sodio de alta o baja presión ya que presentan un alto porcentaje de energía radiante en la zona visible. Por otra parte pueden utilizarse las lámparas de alta presión de mercurio y las lámparas de halogenuros metálicos.

Efectos fisiológicos sobre las plantas de las diferentes longitudes de onda de radiación		
Color	Longitud de onda (nanómetros)	Efecto sobre las plantas
Ultravioleta	<315-400	Efecto letal, daños posibles: plantas pequeñas y hojas estrechas
Azul	400-500	Efecto fotosintético, plantas compactas y robustas, efecto fotoperiódico
Verde	500-600	Efecto fotosintético limitado, efecto formativo y fotoperiódico
Rojo	600-700	Máximo efecto fotosintético, alargamiento del tallo, efecto fotoperiódico
Infrarrojo corto	700-750	Alargamiento excesivo del tallo, efecto fotoperiódico
Infrarrojo	>750	Efecto no específico (radiación absorbida por las plantas y convertida en calor)

Fuente Antonio Mantalla Gonzalez (*invernaderos*)

DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA RADIANTE EN DIFERENTES FUENTES DE LUZ (100 W DE RADIACIÓN)					
Color	Región límite espectro	Incandescente W	Fluorescente W	Alta presión de sodio W	Baja presión de sodio W
Ultravioleta	<400nm	0,2	2	0,4	0,1
Luz visible nm	400-850	17	36	50	56
Infrarrojo	850-2700	74	1	12	3
Térmica	>2700nm	9	61	38	41
		100	100	100	100

Fuente Antonio Mantalla Gonzalez (*invernaderos*)



Fuente Antonio Mantalla Gonzalez (*invernaderos*)

En general estas lámparas para uso fotosintético son de una elevada eficacia radiante, definida ésta como el ratio del total del flujo radiante emitido por una fuente de radiación entre 400 nanómetros (nm.) a 700 nm. y la energía total consumida (mw/w) (Por ejemplo 250 mw/w en sodio de alta presión, 214 mw/w en halogenuros metálicos); poseen así mismo un amplio espectro luminoso y tienen una larga duración (8.000 horas en halogenuros metálicos; 12.000 horas en sodio de alta presión). Estas características técnicas están estrechamente unidas a los elevados niveles de irradiación que se necesitan en una instalación con luz suplementaria de asimilación y que varían entre 5000 mw/m^2 - 20000 mw/m^2 .

En el caso de utilizar lámparas incandescentes esta eficiencia radiante varía en función del tipo de lámpara, entre 45 y 60 mw/w.

En nuestras latitudes el empleo de la iluminación artificial con fines fotosintéticos no está extendido a nivel comercial, no teniendo aplicación práctica en las explotaciones hortícolas. Sin embargo la iluminación fotoperiódica ha encontrado una extensa aplicación en la floricultura para conseguir el control de la inducción a flor, mediante el alargamiento del día o la interrupción de la noche (respuesta fotoperiódica). Todo ello ha contribuido de manera decisiva a la introducción en las explotaciones del cultivo programado cuyos objetivos son:

- reducir el tiempo de cultivo,
- seguridad de tener la producción en el momento previsto,
- mejorar la calidad del cultivo.

Es evidente que estos objetivos no se pueden realizar sólo con la modificación de las condiciones naturales de la luz, sino que se ha de actuar de forma coordinada con el resto de las técnicas de cultivo: elección de la variedad, abonado, sustrato, condiciones ambientales de temperatura, humedad relativa.

En relación a la respuesta fotoperiódica, las plantas se clasifican de la siguiente manera:

- Plantas de día corto: inician la floración cuando la longitud del día es más corta que la longitud del día crítico o cuando la longitud del período de oscuridad es más largo que la longitud crítica de la noche. Los crisantemos y las poinsettias son ejemplos típicos.
- Plantas de día largo: inician la floración cuando la longitud del día es más largo que la longitud del día crítico o cuando la longitud del período de oscuridad es más corto que la longitud crítica de la noche (ejem: gloxinia, petunia).
- Plantas neutras: inician la floración en un amplio rango de fotoperíodos.

Asimismo la respuesta fotoperiódica de las plantas está regulada por el fitocromo, un pigmento que existe en dos formas intercambiables con absorción máxima en la región roja del espectro a 600 nanómetros y en el infrarrojo próximo a 730 nanómetros.



Instalación semiautomática para fotoperiodo con malla negra y aluminizada en la cara exterior

Como ya se ha dicho anteriormente, esta respuesta fotoperiódica tiene un enorme interés para la programación de la floración en las plantas a lo largo de las diferentes épocas del año.

La programación de la producción sensible al fotoperiodo se realiza modificando la duración de las horas de luz diaria mediante la utilización de la iluminación artificial o efectuando un acortamiento de la longitud del día. En la iluminación fotoperiódica pueden utilizarse los siguientes métodos:

- Alargamiento del día.
- Interrupción de la noche.
- Interrupción cíclica de la noche.

Las instalaciones, con fines fotoperiódica necesitan niveles de irradiación variables entre 200 mw/m^2 a 2000 mw/m^2 . Generalmente se utilizan lámparas incandescentes en las que la longitud de onda que predomina en la zona visible del espectro es el rojo.

Durante las estaciones del año en las que la duración del fotoperiodo es más larga que la longitud crítica del día para una especie determinada la longitud del día debe ser reducida cubriendo las plantas con un material opaco a la luz (ejem. polietileno negro).

Estas instalaciones, pueden ser manuales o automáticas. En una instalación semiautomática con un material de recubrimiento a base de aluminio en la cara exterior y polietileno negro en su cara interior mirando al cultivo. Este tipo de material se utiliza para evitar un excesivo calentamiento en la zona del invernadero sometida a fotoperiodo y que puede perjudicar a la planta.

Tubos fluorescentes.

La luz producida por tubos fluorescentes deriva de la acción de la radiación a 253.7 nm del arco de mercurio a baja presión, sobre el recubrimiento de fósforo de la superficie interior del bulbo tubular de cristal. El fósforo es capaz de convertir esta luz de longitud de onda corta en luz de longitud de onda mayor y con un alto grado de eficiencia. El fósforo produce luz a través de un fenómeno de luminiscencia de donde deriva el nombre de lámparas fluorescentes.

Los componentes de una típica lámpara fluorescente incluyen un bulbo cilíndrico revestido enteramente con fósforo, la presencia en la atmósfera interior de un gas inerte a baja presión y vapores de mercurio; en los dos lados un electrodo de tungsteno (cátodo) revestido con óxidos de bario, calcio y estroncio. Las características de transmisión del cristal y las

características de emisión del fósforo determinan el SED de la lámpara y su aplicación. Por ejemplo, el cristal calcáreo limita la transmisión de los ultravioletas y se utiliza para lámparas colocadas en la iluminación general, mientras el cristal transmisor de los ultravioletas provenientes de la excitación electrónica de los vapores de mercurio se emplea para lámparas de producen ozono y las germicidas.

Los tubos fluorescentes están disponibles en diferentes colores y en muchas graduaciones de blanco. Los picos presentes en el gráfico siguiente son las líneas de mercurio. Estas representan la energía de excitación de mercurio que sobrepasa el nivel de fósforo de la lámpara y se reconocen como componentes de la luz emitida por estas lámparas. Cuando el mercurio está excitado por los electrones no sólo produce radiaciones a 253.7 nm, sino también a 365.4 nm, 404,7 nm, 435,8 nm, 546,1 nm y 578,6 nm, que corresponden a los picos rectangulares presentes en el espectro de emisión. Un tubo fluorescente puede transformar hasta un 23 % de la potencia en luz, y es uno de los generadores más eficaces de luz en el uso común.

Como dispositivo con descarga de gas, la emisión luminosa de una lámpara fluorescente está influenciada por diversos factores, incluido el voltaje de línea, la calidad del regulador de corriente, el número de arranques, la temperatura ambiental, la circulación de aire, la humedad y las horas de funcionamiento. El voltaje influye en la duración y en la calidad de luz emitida, determinando los altos voltajes menor duración y más luz. La humedad produce dificultades de arranque al reducir la carga electrostática entre la lámpara y la parte instrumental de fijación metálica a masa sobre la lámpara. Cuando la humedad es superior al 65 %, este factor va a impedir que la lámpara se ponga en funcionamiento. La mayor parte de las lámparas van provistas de un revestimiento de silicona sobre la superficie del bulbo para reducir los efectos de la alta humedad.

Cuanto mayor es el número de los encendidos menor es la vida de la lámpara. La estimación de la duración de una lámpara se basa sobre las horas de operatividad por utensilio; por ejemplo, una lámpara a 40 W para un ciclo de tres horas de funcionamiento, la vida estimada es de unas 12.000 horas; si el cielo es de 12 horas la duración es de 18.000 horas aproximadamente, etc. La emisión de luz de las lámparas fluorescentes disminuye con el aumento de las horas de operatividad; el mayor cambio tiene lugar en la estabilización de la lámpara durante las primeras 100 horas de operatividad. En cualquier empleo que se requiera una emisión luminosa relativamente constante en el mismo período, es importante envejecer las nuevas lámparas durante al menos 100 horas antes de su uso. Las lámparas fluorescentes se suelen concebir para ser más eficaces en el campo de la temperatura ambiental comprendido entre los 20 y 30°C; las mayores o menores temperaturas causan una disminución en la emisión de la luz. Las temperaturas más bajas reducen la presión de vapor de mercurio en el interior de la lámpara reduciendo así la cantidad de irradiación a 253,7 nm; las temperaturas altas aumentan la presión de vapor del mercurio por encima del valor óptimo para tener el máximo de radiación, en torno a 253,7 nm, disminuyendo así la emisión luminosa. La temperatura también puede influir sobre la emisión espectral de las lámparas fluorescentes. La diferencia de emisión se debe a los efectos de la temperatura sobre la presión de vapor del mercurio, que a su vez influye en la emisión espectral de la lámpara; sobre todo a elevadas temperaturas, las regiones del verde y azul van en aumento.

Estas lámparas tienen escasa difusión en el invernadero, por la elevada superficie de sombra y por los problemas de encendido en conexión con las elevadas humedades propias del ambiente de invernadero.

Los tubos fluorescentes de luz blanca establecen un fotoequilibrio del fitocromo equivalente a 0,70-0,80.

Lámparas de mercurio.

La luz proveniente de la lámpara de mercurio es producida por el paso de la corriente eléctrica por medio de los vapores de mercurio. Estos vapores son de mayor presión respecto a los de una lámpara fluorescente, con el fin de aumentar la emisión de luz visible y disminuir los ultravioletas.

Una típica lámpara de mercurio se compone esencialmente de dos bulbos de cristal. El bulbo interior tubular tiene dos electrodos (cátodos) que emiten electrones a cada lado; el cristal de este bulbo es de cuarzo con delgadas tiras de molibdeno encajadas en el extremo como conductor de corriente. Este tubo contiene vapores de mercurio y argón, y está contenido dentro de un sistema metálico de cables que lo separa del bulbo exterior.

El bulbo de cristal exterior está hecho de cristal duro para soportar los choques térmicos, y desarrolla las funciones siguientes:

- 1) protege el tubo interior de la circulación del aire y de las variaciones de temperatura;
- 2) abastece una superficie mediante la aplicación del fósforo en la fabricación de una lámpara fluorescente de mercurio;
- 3) abastece una superficie reflectante mediante una lámpara reflectora de mercurio;
- 4) previene la transmisión de radiaciones ultravioletas.

Como la lámpara de mercurio es un dispositivo de descarga gaseosa, y con resistencia negativa como la lámpara fluorescente, debe tener un regulador de corriente que limite el paso de corriente demasiado elevada, la cual podría destruir la lámpara. En un típico circuito de una lámpara de mercurio, se aplica una tensión de arranque entre el electrodo starter y el cátodo, generando un arco eléctrico entre éstos con el fin de suministrar electrones esenciales mediante la ionización del

argón que a su vez crea un arco del argón. El calor de este arco vaporiza el mercurio haciendo crecer la presión interna en el bulbo con el fin de provocar un arco de vapores de mercurio estable. Todo este proceso (arranque) requiere tiempo, generalmente de 3 a 4 minutos según el tipo de lámpara. Llegados aquí, la corriente y el voltaje de la lámpara se estabilizan alcanzando su plena emisión luminosa. Las variaciones en el voltaje, por ejemplo, una disminución, provocan un descenso de la temperatura del electrodo con reducida emisión de electrones y de luz, además de aumentar la erosión del cátodo con perjuicio de la duración de la lámpara. La vida de una lámpara de mercurio tiene una media de unas 24.000 horas para ciclos de 5 o más horas de encendido. La lámparas de mercurio poseen un revestimiento de fósforo en el interior del bulbo de cristal más exterior, para convertir radiaciones de longitud de onda corta en radiaciones de longitud de onda mayor (luz visible).

Estas lámparas se utilizan en la iluminación suplementaria cuando es necesario suministrar a las plantas elevadas intensidades luminosas. Determinan un estado fotoestacionario del fitocromo equivalente a 0,8 aproximadamente.

Lámparas de halógenos metálicos.

Las lámparas de halógenos metálicos tienen la misma constitución que la de las lámparas de mercurio, pero las características operativas y la emisión espectral son bastante diferentes para colocarlas en una categoría separada.

Las diferencias en la emisión luminosa se deben a la naturaleza de los aditivos metálicos del mercurio; estos aditivos suelen ser ioduros de torio, galio, talio, sodio y otros. Durante el funcionamiento, los halógenos se evaporan en el flujo de corriente del arco, se disocian, dándose una producción de vapores metálicos responsables del espectro de emisión de los

mismos metales. El espectro de emisión es función de los tipos de sales metálicas empleadas y su combinación lleva a una manipulación de la emisión espectral. Igual que para las lámparas de mercurio y las fluorescentes, el empleo de un revestimiento de fósforo aumenta la emisión en la región de longitud de onda del rojo. Las lámparas de sales metálicas están disponibles desde 175 a 1.000 vatios de potencia. Estas lámparas tienen una buena eficiencia de conversión de la energía eléctrica en luz (23 %) y una emisión espectral equilibrada, por lo que puede ser conveniente utilizar en la iluminación suplementaria.

Lámparas de vapor de sodio a alta presión

Como las lámparas de mercurio y de halógenos metálicos, la lámpara de vapor de sodio a alta presión se compone de un bulbo interior y un bulbo protector exterior de cristal duro. A diferencia de la lámpara de mercurio y de las sales metálicas, el bulbo interior no está constituido de cuarzo sino de aluminio transluciente de cerámica polieristalina, y contiene sodio, mercurio y xenón. La lámpara de vapor de sodio requiere un alto voltaje de arranque así como un regulador de corriente muy eficiente.

La mayor parte de la emisión espectral cae en la región entre 550 y 625nm, mientras la emisión en el azul y el rojo lejano es modesta; la conversión de la energía en luz es elevada (26 %) y la duración es de unas 15.000 h. La disponibilidad de lámparas con varias potencias 250, 400, 1.000 vatios, permiten limitar los costes de instalación. En la actualidad son las lámparas más extendidas en la iluminación suplementaria en invernadero. Determinan un estado fotoestacionario del fitocromo de más de 0,7.

Lámparas de sodio a baja presión

Estas son las lámparas más eficientes al convertir la energía

eléctrica en luz (eficiencia igual al 33 %); desgraciadamente la radiación emitida está formada por dos longitudes de onda a 589,0 y 589,6 nm (fig. 96). Mientras esta luz monocromática no cree problemas con muchas plantas, su carencia total en luz azul puede producir efectos fotomorfogénicos indeseables (crecimiento anormal) en el tomate y en la lechuga. Además, las dimensiones considerables de las lámparas requieren el uso de un reflector muy amplio que en el invernadero contribuye a reducir la cantidad de luz disponible. La duración media de una lámpara de sodio a baja presión está comprendida entre 4.000 y 6.000 horas. Determinan un estado fotoestacionario del fitocromo muy elevado, 0,8.

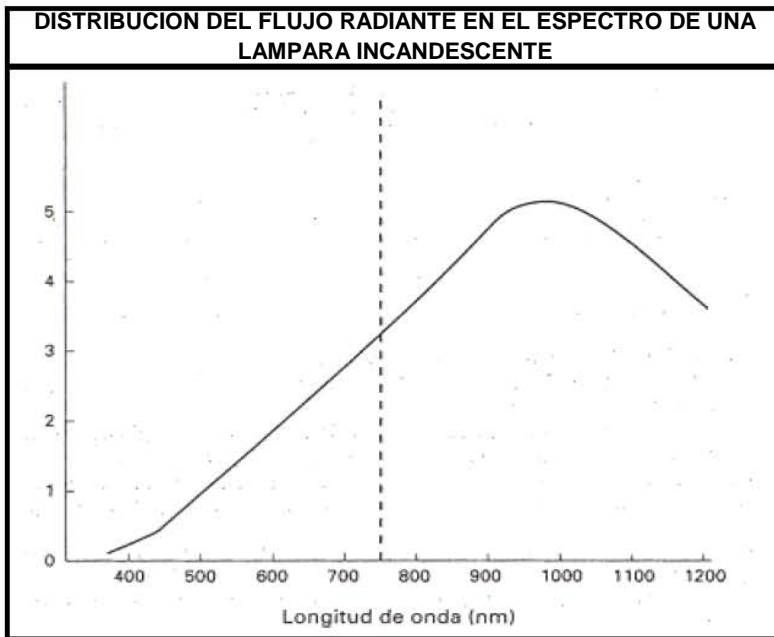
7.2. Cálculo de una instalación de iluminación artificial para cultivo bajo invernadero

Una vez que se ha definido la intensidad de iluminación necesaria, la cual está en función de la especie que se desea cultivar y de la finalidad perseguida con la iluminación (respuesta fotoperiódica o apoyo fotosintético), el siguiente paso sería calcular el número de lámparas necesarias, su altura sobre la planta y la separación entre ellas. El objetivo perseguido con los datos anteriores sería lograr una uniformidad de irradiación suficiente para la instalación proyectada. La uniformidad de irradiación se define como el cociente entre el flujo radiante mínimo y el máximo ($E_{min}/E_{máx}$); normalmente se adopta un valor igual o mayor que 0,7. Otro de los datos de partida a tener en cuenta es el factor de conversión variable según el tipo de lámpara escogido, que transforma la iluminancia-densidad de flujo luminoso incidente sobre una superficie (lux) -a irradiancia que es la cantidad de energía radiante en la parte visible del espectro (400 nanómetros -- 700 nanómetros) recibida por la planta (mw/m^2). Así por ejemplo para las lámparas de alta presión de sodio del tipo SON-T el factor de conversión es 2,3 mw/lm . Esto significa que para suministrar una, irradiancia de por ejemplo

9000 mw/m² con este tipo de lámpara la iluminación equivalente horizontal necesaria será : 9000/2,3 = 3900 lumen m² = 3900 lux.

En lámparas incandescentes el factor de conversión es del orden de 4,2 mw/m²

El ejemplo de cálculo que se va a desarrollar a continuación se realizará con lámparas incandescentes.



Fuente Antonio Mantalla Gonzalez (invernaderos)

Para establecer la potencia de las lámparas, la separación, entre ellas, el tipo de luminaria y la superficie irradiada por luminaria, acudiremos a tablas ya existentes. Los datos de inicio necesarios serían los siguientes:

- Tipo de lámpara: Incandescente.

- Dimensiones de la superficie a iluminar: longitud (l) anchura (h).
- Máxima altura disponible: hm (representa la máxima distancia entre las lámparas y las plantas).
- -Necesidades de iluminación: N (mw/m²).

Irradiancia requerida en mWIM ² para un índice K igual a:		40W		60W		75W		100W		150W		200W		300W		500W				
5	4	3	2	1	A	s=h _m	A	s=h _m	A	s=h _m	A	s=h _m	A	s=h _m	A	s=h _m	A	s=h _m		
200	190	180	160	110	5,60	2,4	9,51	3,1	12,51	3,5										
400	380	360	310	210	2,80	1,7	4,76	2,2	6,25	2,5	9,00	3,0	14,46	3,8						
600	580	530	470	320	1,87	1,4	3,17	1,8	4,17	2,0	6,00	2,4	9,64	3,1	13,68	3,7				
800	770	710	620	430	1,40	1,2	2,38	1,5	3,14	1,8	4,50	2,1	7,23	2,7	10,26	3,2	15,11	3,9		
1.000	950	850	750	500			1,90	1,4	2,50	1,6	3,60	1,9	5,78	2,4	8,21	2,9	12,08	3,5		
1.500	1.400	1.300	1.150	800			1,27	1,1	1,67	1,3	2,40	1,5	3,86	1,9	5,47	2,3	8,06	2,8	14,25	3,8
2.000	1.900	1.750	1.550	1.050					1,25	1,1	1,80	1,3	2,89	1,7	4,10	2,0	6,04	2,5	10,69	3,3
2.500	2.400	2.200	1.950	1.300						1,44	1,2	2,31	1,5	3,28	1,8	4,83	2,2	8,55	2,9	
3.000	2.800	2.650	2.300	1.600							1,93	1,4	2,74	1,7	4,02	2,0	7,12	2,7		
3.500	3.350	3.100	2.700	1.850								1,65	1,3	2,35	1,5	3,45	1,9	6,11	2,5	
4.000	3.800	3.550	3.100	2.100									1,45	1,2	2,05	1,4	3,02	1,7	5,34	2,3

Fuente Antonio Mantalla Gonzalez (invernaderos)

El cálculo del área irradiada por luminaria se realiza de la siguiente manera: Índice local, $K = l \times b / hm \times (1 + b)$ (l) donde,

- l: longitud de la superficie a iluminar en metros (m)
- b: anchura de la superficie a iluminar en metros (m).
- hm: altura máxima disponible de las lámparas por encima de las plantas.

Si suponemos que a título de ejemplo, $l = 24$ m., $h = 8$ m. y $hm = 2$ m., el índice de local K es igual a:

$$k = 24 \times 8 / (2 \times (24 + 8)) = 3$$

Por otra parte, si admitimos en nuestro ejemplo práctico

una irradiación media de $n = 400 \text{ mw/m}^2$, ya tenemos junto al índice de local K, calculado anteriormente datos suficientes para entrar en el cuadro VII.5 y poder determinar los siguientes valores y características técnicas de la instalación:

- Superficie irradiada por luminaria: A m².
- Separación entre luminarias: s(m).
- Distancia de luminaria a la planta: hm(m).
- Tipo de lámpara: incandescente.

SUPERFICIE IRRADIADA POR LUMINARIA INCANDESCENTE		
Tipo de lámpara incandescente W	Superficie irradiada por luminaria A (m ²)	s = hm (m)
40	2,5	1,6
60	4	2
75	5,5	2,4
100	8,1	2,8
150	13	3,6

Fuente Antonio Mantalla Gonzalez (invernaderos)

- La uniformidad en el plano horizontal a nivel de la planta es aproximadamente 0,9.
- Se asume que la máxima distancia de las lámparas a plantas es de 5 m.
- Se adopta que la reflectancia de las paredes, etc., es cero.
- Los cálculos están basados en un factor de mantenimiento (m) de 0,85.
- Los cálculos se establecen en función del flujo radiante de la lámpara.

Según los datos iniciales del problema, la altura máxima disponible hm es igual a 2,0 m. De acuerdo con los valores anteriores sólo se pueden adoptar los dos primeros casos ya que hm es inferior a la altura máxima disponible hm = 2m.

El número de luminarias necesario sería:

1. Para las lámparas incandescentes de 40 w.

$$n = l \times b / A \text{ donde:}$$

l: longitud de la superficie a iluminar,
 b: anchura de la superficie a iluminar,
 A: Superficie irradiada por luminaria.

En nuestro caso:

$$n = 24 \times 8 / 2.5 = 77, \text{ a una altura máxima disponible de } hm = 1,6 \text{ m.}$$

2. Para 75 lámparas incandescentes de 60 w.

$$N = 24 \times 8 / 4,0 = 48, \text{ a una altura máxima disponible de } hm = 2,0 \text{ m.}$$

De las dos soluciones anteriores. la más sencilla es la segunda utilizando lámparas de 60 w. Las 48 luminarias pueden ser dispuestas según un modelo regular de 4 x 12, separadas 2 m. en ambas direcciones,,

Para la segunda solución, utilizando lámparas de 40 w., el número de luminarias más próximo a 77 que siga. un modelo regular es 75 (5 x 15,m.). En este caso se necesita comprobar si el más bajo número de lámparas se compensa con una menor altura hm = 1,6 (si se compara con la máxima altura disponible hm = 2,0 m).

$$K = 24 \times 8 / 1,6 (24 + 8) = 3,75.$$

Con este índice de local K y las necesidades de irradiación $N=400 \text{ mw/m}^2$ se obtiene que el área irradiada por luminaria es 2,6 m² y el número de luminarias es igual a:

$$n = 24 \times 8 / 2,6 = 74.$$

Es decir se llega a la conclusión que con 75 luminarias con lámparas de 40 w se alcanzan los 400 mw/m².

De esta manera las dos soluciones son:

- 75 luminarias con lámparas de 40 w espaciadas 1,6 m. y a una altura sobre las plantas de 1 6 M.
- 48 luminadas con lámparas de 60 w espaciadas 2,0 m a una altura sobre las plantas de 2,0 m.

ANEXO

Conversión de unidades de radiación y luz.

En la horticultura protegida se utilizan diferentes unidades de medida de la cantidad de luz o radiación que incide sobre el invernadero o sobre el cultivo. Las unidades más frecuentes son:

- Lux. Es equivalente a un lumen por metro cuadrado, siendo el lumen la luz emitida por unidad de ángulo sólido por una fuente puntual uniforme de una candela. A su vez se define la candela como la intensidad luminosa de una fuente que emite radiación monocromática de 540×10^{12} Hz e intensidad radiante de 1/683 Watios por estereoradian. El lux es una medida de luz, radiación electromagnética de longitud de onda sensible para la retina del ojo humano. Los cultivos responden a otro rango de longitud de onda y por ello se usan en la práctica otras unidades que expresen la densidad del flujo de fotones o la energía total de la radiación.
- Micromoles por segundo y metro cuadrado ($\mu\text{mol s}^{-1}\text{m}^{-2}$). Es el número de fotones de una determinada longitud de onda que inciden sobre una superficie por unidad de tiempo dividido por el nº de Avogadro ($6,02 \times 10^{23}$). Esta unidad se utiliza generalmente para expresar la radiación fotoactiva (PAR) en la longitud de onda comprendida entre 400 y 700 nm.
- Watio Por metro cuadrado (W x m^{-2}) o Julio por segundo y

metro cuadrado (energía por unidad de tiempo y unidad de área). Cuando se usa el término W * m^2 debe especificarse el rango de longitud de onda de la radiación.

El proceso de conversión se basa en expresar la energía equivalente de la radiación en las distintas unidades de medida.

El cuadro A permite la conversión de W*m^{-2} en $\mu\text{mol *s}^{-1} * \text{m}^{-2}$ y en lux de distintas fuentes de luz.

Por ejemplo, 400 W * m^{-2} de radiación solar medidas en el rango de longitud de onda comprendido entre 400 y 700 nm equivalen a $400 \times 4,57 = 1828 \mu\text{mol * s}^{-1} * \text{m}^{-2}$, o a $1828 \times 54 = 98712 \text{ lux}$.

También puede ser útil conocer la distribución de la radiación de la fuente emisora en función de la longitud de onda para aplicar los factores de conversión del cuadro A correctamente. Por ejemplo, si el instrumento de medida recoge toda la radiación del espectro solar, por cada 100 W * m^2 registrados sólo 51 W * m^{-2} corresponden al rango de longitud de onda entre 400 y 700 nm.

La conversión sería así.

1000 W * m^{-2} de espectro total = 510 W * m^{-2} entre 400 y 700 μm
 $510 \times 4,57 = 2331 \mu\text{mol * s}^{-1} * \text{m}^{-2} = 125874 \text{ lux}$ (entre 400 y 700 μm).

En cuanto a la conversión de unidades de la luz procedente de las lámparas de iluminación es preciso consultar los espectros de emisión de las lámparas para saber el porcentaje del total que corresponde a la radiación fotoactiva y después aplicar los factores de conversión del cuadro A, tal y como se han expresado en el ejemplo para la radiación solar.

Nombre de archivo: A10
Directorio: C:\Users\PACO\Documents
Plantilla: Normal.dotm
Título: CENTRO DE ACOPIO DISTRIBUCION Y
 PROCESAMIENTO DE NOPAL EN MILPA ALTA D
Asunto:
Autor: FRANCISCO VIDAL MENDOZA
Palabras clave:
Comentarios:
Fecha de creación: 25/10/2007 12:39:00 a.m.
Cambio número: 2
Guardado el: 25/10/2007 12:39:00 a.m.
Guardado por: FRANCISCO VIDAL
Tiempo de edición: 1 minuto
Impreso el: 13/11/2007 01:33:00 a.m.
Última impresión completa
 Número de páginas: 10
 Número de palabras: 3,860 (aprox.)
 Número de caracteres: 21,236 (aprox.)

CAPÍTULO 8.

ENVOLVENTE PARA EL CULTIVO DEL NOPAL.

CAPÍTULO 8.

8.1 FACTORES AMBIENTALES EN EL CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS

8.1.1 RADIACION SOLAR

La energía que en forma de radiación electromagnética se origina de las fusiones termonucleares que se llevan a cabo en el centro del sol, es desprendida y viaja a través del espacio a 300,000 km/seg en forma de radiaciones de diferentes longitudes de onda.

La energía luminosa o energía de la luz que puede verse a simple vista constituye alrededor de un 40 o 60% de la energía total de la radiación solar que llega a la superficie de la tierra (Mazria 1979).

La porción infrarrojo de la radiación solar (cuya longitud de onda es mayor que la de la porción roja del espectro visible) constituye alrededor de un 50% de ésta y es la que percibimos en forma de calor.

El sobrante de la radiación solar está constituido principalmente por las radiaciones ultravioleta, cuya longitud de onda es más corta que la de la porción violeta del espectro visible.

Tres cosas pueden pasarle a la radiación solar cuando choca con algún material (la superficie de nuestro planeta por ejemplo): puede ser reflejada, transmitida o absorbida.

La forma en que la radiación solar es reflejada depende de la textura de la superficie que la refleja. Por ejemplo una pared de ladrillo o bien los gases y polvo atmosféricos, debido a la irregularidad en que están dispuestas las moléculas que los forman, reflejan la radiación en forma desordenada o dispersa

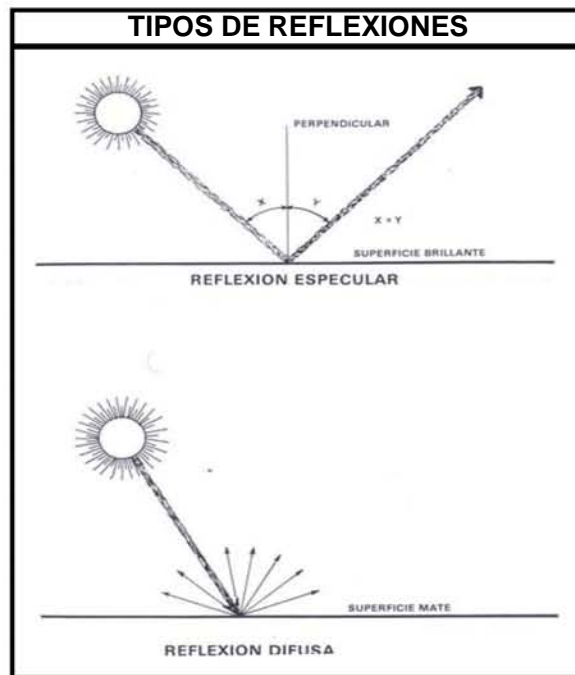
hacia todas las direcciones, originando la llamada "luz difusa". En cambio una superficie uniforme o pulida, como un espejo o la superficie de un lago, reflejan la radiación solar de manera uniforme (reflexión especular) El ángulo de incidencia de los rayos solares en este caso es igual al ángulo de reflexión de los mismos. El ángulo que los rayos del Sol tienen en relación con una línea perpendicular a una superficie, se llama ángulo de incidencia y determina el porcentaje de luz directa interceptada por dicha superficie. Mientras más cercano a los 0° sea el ángulo de incidencia de los rayos solares con la perpendicular de una superficie, mayor será la energía que ésta reciba. A un ángulo de 90°, el porcentaje de radiación solar interceptada por una superficie es igual a 0 (Mazria, 1979).

Esta es la razón que determina las diferencias de temperatura a lo largo de la superficie de la tierra. A nivel del Ecuador, el ángulo de incidencia es 0 o cercano a 0 por lo que la energía recibida es alta, mientras que en los polos es mucho mayor el ángulo, lo que determina que estas zonas reciban menor cantidad de energía solar. Lo que sucede también es que a medida que el ángulo de incidencia de los rayos es mayor, la reflexión de ellos también aumenta. Las zonas polares, por lo tanto, reflejan mayor cantidad de energía solar lo que determina obviamente que sean más frías.

La radiación solar es transmitida o absorbida cuando penetra a través de un material. Si éste permite el paso de la mayor parte del espectro visible se dice que es transparente (por ejemplo, el vidrio), si dispersa o desvía parte de la radiación entonces se dice que es translúcido.

A medida que un material o un cuerpo absorbe radiación solar, la convierte en energía térmica o calor; esto sucede debido a que el movimiento vibratorio de las moléculas que constituyen dicho material aumenta y con esto también su contenido de calor. Mientras más rápido sea el movimiento, mayor será la temperatura del material.

La radiación solar es la fuente primaria de todos los procesos físicos y biológicos de la tierra. Las hojas de los árboles, las algas unicelulares, el maíz, la caña de azúcar, son captadores de la radiación, solar. La agricultura en si misma constituye una técnica para la explotación de la energía solar, que se hace posible gracias al agua y los nutrientes del suelo (Went. 1970).



Fuente Antonio Mantalla Gonzalez (*invernaderos*)

Durante el día, la radiación solar que incide sobre la superficie de la tierra, en parte es reflejada al espacio exterior y en parte es absorbida. Esta última es la radiación neta y constituye la energía aprovechable para el mantenimiento de la temperatura de la superficie terrestre. En la noche la radiación neta es negativa; esto significa que se pierde hacia el espacio exterior a través de radiación de onda larga y no se aprovecha.

El balance de la radiación neta varía ampliamente en todo el mundo dependiendo de la latitud y la altitud de cada zona, marcando los límites para poder realizar agricultura básica.

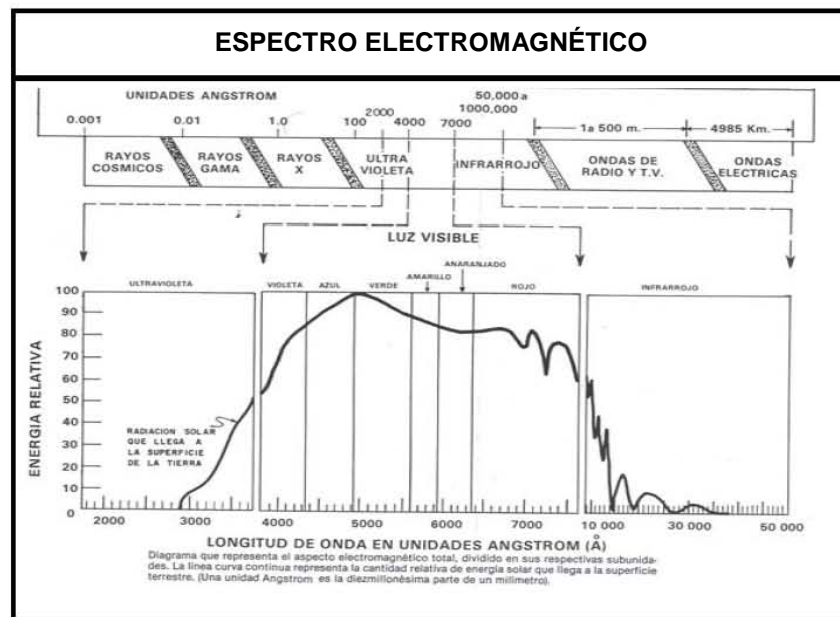
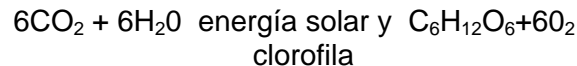
La eficacia de los cultivos para aprovechar la radiación neta ya ha sido medida y se ha demostrado que un cultivo ordinario convierte a materia orgánica menos del 1% de energía solar aprovechable (Mearset al. 1977).

Es evidente que comparada con los otros factores ambientales esenciales, como la temperatura o la humedad, que afectan el crecimiento y la vida de los vegetales sobre la superficie de nuestro planeta, la luz debe considerarse como el más importante. La luz proporciona la energía esencial para convertir el bióxido de carbono y el agua durante el proceso fotosintético y mediante la clorofila de las plantas, en carbohidratos (azúcares). Estos carbohidratos, además de constituir por sí mismos un alimento básico, son el sustrato esencial para la síntesis de proteínas, grasas y vitaminas, necesarias para la vida de las plantas y todos los demás organismos vivos.

Para que se realice la fotosíntesis, se requiere una intensidad relativamente alta de luz, es decir, una longitud de onda que oscile entre 4000 y 75000 angstroms; las plantas verdes crecen normalmente solo cuando están expuestas a la combinación de la mayoría de las longitudes de onda luminosas. El oxígeno que se libera durante la fotosíntesis, es la fuente de donde se deriva el oxígeno atmosférico que plantas y animales consumen durante la respiración. La mayor parte de los combustibles y energéticos que utilizamos, como el petróleo y otros, provienen de la fotosíntesis del periodo geológico pasado (Bickford yDunn, 1972).

La fotosíntesis, este proceso esencial para la vida, que puede almacenar al año más de un millón de billones de

kilocalorías en forma de alimento, puede concretarse químicamente mediante la siguiente reacción:



Fuente Antonio Mantalla Gonzalez (*invernaderos*)

Sin este proceso fotosintético simplificado por la fórmula, el mundo que conocemos no podría existir, sería un mundo monótono, sin formas elevadas de vida. Con seguridad sería físicamente diferente, con una atmósfera deficiente en oxígeno gaseoso y con procesos acelerados de erosión en toda la superficie terrestre que no estaría protegida por la vegetación (Rasmussen et al. 1971).

Además de la utilización de la radiación solar en el proceso fotosintético, la luz juega un papel muy importante en la morfogénesis, la cual regula el crecimiento, desarrollo y

diferenciación de las plantas. Estos fenómenos llamados genéricamente fotomorfogénicos son regulados por la luz a través del sistema de pigmentos fitocromos.

Este sistema de pigmentos fitocromos se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza, desde algas hasta plantas con flores. Su localización y concentración en células específicas se hace evidente entre otros fenómenos, por la fotoinducción de antocianinas que depende de la excitación del fitocromo a través de transferencias de energía, es decir, tiene propiedades fotorreversibles (Butier et al, 1959).

Los cambios en la proporción del rojo e infrarrojo (R/IF) dentro del rango encontrado en la naturaleza, resultan en una consistente alteración en la proporción de Pfr (forma activa del fitocromo). Conforme disminuye esta proporción, el estado fotoestacionario (Pfr/Pt) provoca cambios en el desarrollo de la planta.

Diferencias relativamente pequeñas en el fotoequilibrio del fitocromo bajo irradiación continua, resultan en grandes efectos morfológicos. Los efectos de la disminución del Pfr sobre el desarrollo son muy variados, incluyendo extensión del tallo, extensión del peciolo, disminución en la extensión de la hoja, cambios en el contenido de pigmentos, etc. (Smith 1975).

Las plantas responden a la luz de diferente manera: la luz, además de disparar y regular la fotosíntesis y la síntesis de clorofila, es esencial para la formación de otros pigmentos vegetales, como son los carotenos, las xantofilas y las antocianinas la luz regula la apertura y cierre de los estomas, órganos que realizan la transpiración y el intercambio gaseoso en las hojas; ajusta los relojes biológicos internos y modifica ciertos caracteres genéticos como el tamaño y forma de las plantas; tamaño, movimiento, forma y color de las hojas; longitud de los entrenudos del tallo; producción de flores, tamaño y forma de las mismas; movimiento de los pétalos;

producción de frutos, tamaño, forma y color de los mismos. Es bien sabido también, que la luz afecta íntimamente algunas características internas de las células como son la viscosidad del protoplasma y el tamaño y forma de los organelos en la porción protoplasmática de las células vegetales (cloroplastos, vacuolas, mitocondrias, entre otras) (Gaiston, 1970).

8.1.2 TEMPERATURA Y BIOXIDO DE CARBONO

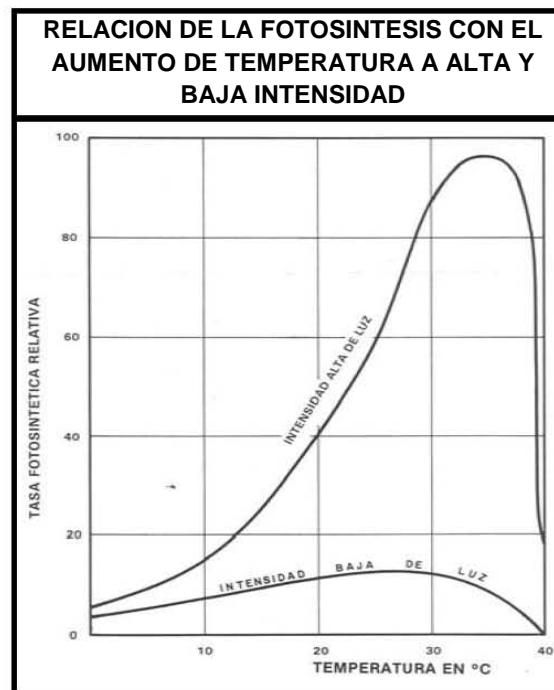
La temperatura es un factor ambiental que afecta a la fotosíntesis. Las plantas para crecer no necesitan energía calórica, pero requieren estar dentro de ciertos límites de temperatura; por ejemplo los pepinos crecen entre 18° y 30° C, los tomates entre 10° y 20° C y la lechuga entre 5° y 15° C.

El rango de temperaturas dentro del cual la fotosíntesis se puede efectuar, varía dependiendo del tipo de planta. En las plantas alpinas se ha observado que la fotosíntesis se efectúa a temperaturas menores de 0°C. El límite superior para el desarrollo de la mayoría de las plantas fluctúa entre 35° y 40°C.

Los tres mecanismos que pueden regular la temperatura en las plantas son: la radiación, la transpiración y la convección. La temperatura puede modificar el equilibrio de absorción e hidratación de los coloides en el protoplasma de las células, y el cambio de viscosidad resultante puede modificar significativamente la eficiencia del aparato fotosintético. Estas son principalmente las razones por las cuales la temperatura debe regularse durante el cultivo de una planta, si se esperan óptimos resultados en la producción (Gaiston, 1970).

En términos generales, la fotosíntesis se incremento en proporción al incremento de temperatura y de bióxido de carbono del aire, hasta un punto donde algún otro factor o factores se vuelven limitantes.

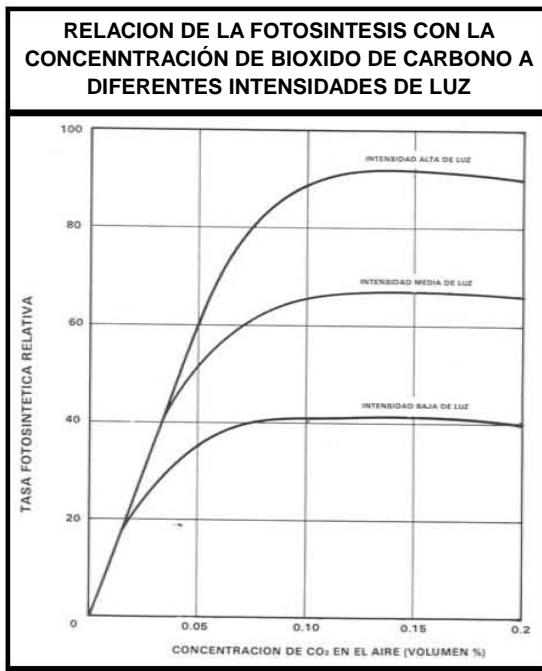
La concentración de CO₂ en la atmósfera es muy baja (.03%); sin embargo, se incremento actualmente en forma muy importante debido a la quema de los combustibles y a la industrialización, especialmente cerca y dentro de las grandes ciudades. Las aplicaciones prácticas de estos conocimientos han conducido a los agricultores a intentar enriquecer el aire, especialmente en invernaderos y cámaras de crecimiento, con una mayor cantidad de CO₂ para incrementar la fotosíntesis y de esta manera la productividad de las plantas. Estos ensayos también se han intentado en cultivos en el campo, llevando el gas en pipas y liberándolo sobre el cultivo.



Fuente Antonio Mantalla Gonzalez (*invernaderos*)

El enriquecimiento de la atmósfera de un invernadero con bióxido de carbono, ha incrementado la productividad de ciertas hortalizas más del 100%. La mayoría de las plantas responde favorablemente al incremento del bióxido de carbono de la atmósfera, el cual al ser absorbido en mayores cantidades, permite una mayor síntesis de carbohidratos y, por lo tanto, más cantidad de materia orgánica vegetal aprovechable.

Los tres factores ambientales que se han considerado: luz, temperatura y bióxido de carbono, son probablemente los más importantes para el crecimiento de las plantas; sin embargo, algunos otros factores, tanto externos como internos, pueden tener influencia importante. Entre éstos están: el suministro de agua, y el de nutrientes así como el contenido de clorofila de las hojas.



Fuente Antonio Mantalla Gonzalez (*invernaderos*)

8.1.3 CULTIVO DEL NOPAL PARA VERDURA, (OPUNTIA FICUS-INDICA), EN MILPA ALTA, DISTRITO FEDERAL.

Según Bravo (1978) *Opuntia ficus-indica* es un vegetal arborescente, de 3 a 5 m de alto o más: tiene un tronco leñoso bien definido de 60 cm a 1.5 m de altura y 20 a 30 cm de diámetro; forma artículos oblongos hasta largamente obovados, de 30 a 60 cm de largo y 20 a 40 cm de ancho y 1.9 a 2.8 cm de grueso, color verde opaco; integra ramas de varios artículos que forman una copa muy ramosa; posee areolas distantes separadas entre sí de 2 a 5 cm son pequeñas, angostamente elípticas y miden de 2 a 4.5 mm de largo y 3 mm de ancho, *Opuntia ficus-indica* casi no tiene espinas, pero cuando existen son escasas y pequeñas; produce gloquídeas más o menos numerosas, amarillas, caducas; tiene flores de 7 a 10 cm de diámetro y de 6 a 8 cm de largo; posee segmentos exteriores del perianto ovados hasta ampliamente cuneados, obovados, agudos hasta truncados, enteros, mucronados o denticulados, amarillos con la porción media rojiza o verdosa; los segmentos interiores del perianto son angostamente obovados hasta angostamente cuneados, truncados hasta redondeados, enteros, mucronados o denticulados amarillos hasta anaranjados; presenta pericarpelo con algunas espinas pequeñas caducas. El fruto de *Opuntia ficus-indica* es oval, de 5 a 10 cm de largo y de 4 a 8 cm de diámetro; es amarillo, anaranjado, rojo o púrpuro, con abundante pulpa carnosa y está algo umbilicado.

Opuntia ficus-indica se cultiva ampliamente en las poblaciones del altiplano mexicano, tal vez desde épocas prehispánicas; se desconoce el lugar de su origen, aunque se cree que es nativa de México, donde existen numerosas formas hortícolas e híbridas.

Este tipo de nopal fue uno de los primeros que se llevaron a Europa en la época de la Conquista. en donde se

cultivó y aclimató especialmente en el litoral del Mediterráneo.

En España se le dio el nombre de "chumbo" y a sus frutos higos de las Indias", los árabes los llaman "higos de los cristianos"; los moros propagaron esta especie por el norte de África.

ESTRUCTURA DE LAS NOPALERAS

La mayoría de las nopaleras que se presentan en Milpa Alta son pequeñas la máxima extensión que algunas llegan a tener es de 3 000m² casi todas se encuentran en predios de propiedad privada con poca superficie y algunas más en los solares de las casas.

El tipo de suelo y la topografía que existen en Milpa Alta hacen muchas veces necesaria la formación de terrazas que se sostienen y detienen por medio de basalto. las parcelas están limitadas por bardas de piedra (basalto); existe vegetación secundaria perenne como matorrales de tipo tepozán, marrubio, pirú, cedro, capulín, tejocote y algunos casos, magueyes.

En ocasiones las parcelas también están limitadas por áreas de cultivo, comúnmente maíz. La manera en que se distribuyen las plantas del nopal en la nopalera de Milpa Alta es la siguiente

Existe una serie de hileras que distan entre si de 70 a 80 cm y las plantas están colocadas en cada una de las hileras, una al lado de la otra de 30 a 40 cm aproximadamente en el momento de sembrar sin dejar espacios al crecer la planta. Esto proporciona una alta densidad de población por hectárea que, en ocasiones, llega a ser hasta de 40 000 plantas por hectárea. La altura vertical máxima que las plantas que llegan a tener en las nopaleras es de 2 m, pero generalmente el promedio es de 1.20 a 1.25 m.

PROCESO DE TRABAJO

Selección del terreno

Prácticamente, en Milpa Alta no hay una selección del terreno muy rigurosa por lo común se establecen en laderas y suelos pedregosos que hacen necesarios, en muchos casos, la formación de terrazas. Sin embargo, se debe destacar que los bosques de coníferas que una vez existieron en esta región, así como la agricultura de temporal practicada desde épocas remotas (principalmente de maíz, haba, frijol, trigo, papa, chícharo y maguey) han sido desplazados continuamente por el cultivo del nopal, al grado de haber desaparecido los bosques y, ahora, la agricultura tradicional existe en muy baja escala.

Selección y tratamiento del propágulo

Los productores de la zona de Milpa alta utilizan la propagación vegetativa en sus nopaleras; un solo cladodio sirve como propágulo, el cual se escoge de acuerdo con las siguientes características: mayor tamaño, sin cicatrices y sin enfermedades ni plagas.

Si el cladodio cumple con tales características, se corta por la base para evitar que se pudra y se lleva a la sombra a fin de impedir una deshidratación completa y para que cicatrice la herida del corte al cicatrizar (15-20 días). Si el cladodio no ha adquirido alguna infestación o infección, está en, condiciones de plantarse.

Estos propágulos se pueden almacenar durante uno o dos años cerca de la casa o de la parcela, se apilan, se deja un espacio entre ellos y se cubren con una capa de paja. La fecha adecuada para la selección del propágulo es en julio aproximadamente.

Preparación del terreno

Antes de iniciar la siembra, el terreno se prepara al quitarle las piedras grandes, deshierbarlo y al romper, desmoronar y emparejar la tierra: para ello, se utiliza azadón, rastrillo y pala.

Siembra

La plantación de propágulos se puede realizar durante todo el año pero los meses más óptimos y más comunes para llevarla a cabo son marzo y abril ésta se lleva a efecto a una distancia entre planta y planta de 30 a 40 cm la cual es suficiente para que se desarrolle la planta sin dejar espacio, en hileras que distan entre sí 70 a 80 cm lo que permite el paso para poder cosechar y cuidarlos, y en surcos de 10- 15 cm de profundidad para poder enterrar el cladodio aproximadamente una cuarta parte, lo que repercute, como ya se mencionó, en una alta densidad de población por hectárea. Al término de 20 días o un mes se aplica una capa de abono.

Fertilización

En Milpa Alta no se utilizan fertilizantes químicos, pero sí se realiza la aplicación de abono orgánico en grandes cantidades (30-40 cm), el cual se coloca someramente en el momento de la plantación y tapa casi por completo al cladodio; posteriormente, se agrega cada seis meses, cada año o hasta cada dos años, y se aplica una capa gruesa antes de las lluvias, según se necesite. La materia orgánica que se utiliza con más frecuencia es el estiércol de vaca que se compra en establos lecheros de Chalco, Naucalpan o Tlanepantla, en el estado de México. La manera en que transportan el abono del carro de carga a todas las hileras es en carretillas, canastos o botes y lo esparcen con palas o rastrillos. Se necesita aproximadamente un carro de abono para dos hileras en una extensión de 2.5 hectáreas. También se utiliza como abono el picado del nopal

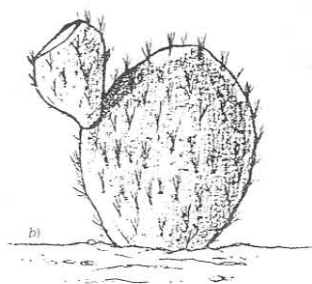
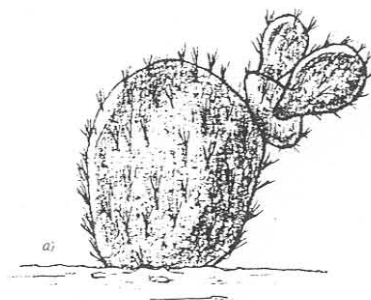
que se avejenta, el que no se alcanza a cortar para su venta y los desechos de poda. Este tipo de abono se emplea principalmente en época de sequía (para que el exceso de humedad no pudra al nopal).

Poda, deshierbe y combate de plagas.

La poda se realiza constantemente y con varios fines:

- mantener una misma dirección (oriente-poniente) en los cladodios de la planta, poda de ordenación o poda de laterales
- desechar los nopales que no se logren cortar para su venta;
- evitar el envejecimiento que aumenta la productividad evita la producción de tunas que no es costoso explotar porque sólo se dan una vez al año, y
- para sanear el cultivo, pues todos los nopales plagados o enfermos se deben podar.

Los desechos de la poda rara vez se sacan de la plantación, pues con el fin de evitar plagas de tuzas o de ratas, se pican y utilizan como abono o para agregar humedad al suelo. La época de poda es en julio y agosto, aproximadamente. Debido al continuo cuidado que se tiene en las nopaleras de Milpa Alta, es poco probable que lleguen a infestarse de malezas, pero cuando esto sucede, para eliminarla no se emplea ningún pesticida, se deshierba en forma manual, mediante el uso, generalmente, de azadón o pala y machete. El combate de plagas se realiza en muy contadas ocasiones, pues se puede decir que se tienen pocas plagas y enfermedades y que éstas no causan un detrimento notable en la producción. Las plagas más comunes son: chahuistle, gusano blanco, barrenador, piojo, chinche roja, pinacate, cochinilla, para combatirlos se emplea agua y jabón, agua con cal o se corta el pedazo afectado; otras plagas fuertes son ardillas, ratas, tuzas y pájaros, que se controlan mediante trampas o se matan con armas de fuego.



Quiotillo", a) corto, para aumentar la longevidad del cladodio en estado productivo; b) largo, para detener la proliferación de nuevos Cladodios.

Dibujo: Salvador Arias (El nopal)

Cosecha

La cosecha se realiza durante todo el año, una o dos veces por semana, de acuerdo con el tamaño de la parcela, pero la época en que se efectúa con más frecuencia, hasta diario, por ser más elevada la producción es en abril y mayo. La cosecha se lleva a cabo temprano por la mañana a fin de que los nopales se mantengan frescos y no se pongan rojos; se seleccionan las pencas más grandes (20-25 cm) y se cortan por la base dejando un quiotillo, es decir, la parte inferior del nopal cosechado queda adherida a la planta para regeneraciones posteriores: el quiotillo puede ser corto o largo, cuando los

precios son muy bajos. El equipo que se usa en la cosecha consiste en cuchillo corto y un guante, y los nopales se colocan en canastos, a los cuales les caben 300 nopales aproximadamente o entre 50 y 60 kg de éstos, y en ellos se transportan, ya sea a los lugares de comercio o para empaquetarlos; en este caso, se emplea un cilindro de metal de un metro de diámetro, destapado por ambas partes (molde), y dentro de él se acomodan los nopales en forma circular; las pacas así formadas contienen alrededor de 3,000 nopales o 500 kg de éstos; de esta manera se llevan a los mercados.

Comercialización del nopal en Milpa Alta.

Los nopales se pueden vender durante los primeros dos o tres su cosecha, después de este tiempo ya no los compran. Los agricultores venden su producto según la cantidad que posean, es decir, los grandes productores venden en la central de abastos, al mercado de la merced o al mercado de Jamaica, de donde se distribuyen a otros estados o en el DF: los pequeños productores lo venden en el centro de Milpa Alta o a los grandes productores.

Los productores en pequeño poseen menos de una hectárea con nopaleras; la mano de obra familiar es suficiente para atenderlas; transportan sus productos en carretillas para venderlos.

Los productores en grande dedican una hectárea o más a cultivo del nopal, y como la mano de obra familiar es insuficiente en estos casos, se contratan peones que cosechen y mantengan en buenas condiciones las plantaciones, estos asalariados por lo general son mazahuas que se trasladan de los poblados de Atlacomulco, San Felipe del Progreso e Ixtlahuaca; en general son de los estados de México, Puebla y Oaxaca y venden su mano de obra. Los propietarios poseen camionetas o camiones de redilas para, comercializar su producto.

El precio del nopal por "chiquihuite" o por paca para los agricultores varía según la época del año, pues cuando hay mayor producción (abril y mayo), el precio disminuye; cuando la producción disminuye (en invierno), el precio sube porque la demanda también aumenta en diciembre y enero. Cuando la oferta rebasa por mucho la demanda, sólo los grandes productores siguen vendiendo nopal aun a muy bajo precio para no perder a sus clientes; los pequeños productores prefieren tirarlos y picarlos para que sirvan de abono a las nopaleras.

La asesoría por parte de alguna institución respecto a la producción y comercialización del nopal es nula, ya que todos los conocimientos que tienen al respecto son empíricos, los adquieren de la práctica y se transmiten de padres a hijos. En lo que se refiere a créditos bancarios, los agricultores tienen desconfianza pues consideran desventajosas las condiciones para obtenerlos.

Envejecimiento, muerte y renovación de las nopaleras en Milpa Alta

Si las nopaleras no se podan constantemente, se avejentan con rapidez y el nopal tiende a producir tunas, cuando esto sucede se desecha la plantación y se renueva lo más pronto posible, ya que no es costeable la producción de tuna: también se renueva la nopalera cuando ésta ha producido durante varios años y ha alcanzado un tamaño incómodo para seguir cosechando (1.50 m aproximadamente) o cuando no se ha podido controlar alguna plaga. Esta práctica se realiza al tirar con machete (en áreas escarpadas) o con tractor (en terrenos planos) todos los nopales de la parcela que se trate o al cortar la mayor parte de la planta y dejar únicamente los cladodios iniciales, siempre y cuando no se hallen plagados, e insertarlos ya picados en otras nopaleras, para posteriormente iniciar una nueva siembra que renueve la nopalera.



*Equipo agrícola que se utiliza en el cultivo del nopal
Dibujo: Salvador Arias (El nopal)*

8.1.4 RAZONAMIENTO ECOLÓGICO Y CULTURAL DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL SISTEMA NOPALERO Y SU DOMESTICACIÓN

Los propágulos y su forma de cultivo.

En la siembra del nopal se utiliza la reproducción vegetativa por requerir menos tiempo y cuidado para empezar a producir nopales: se utiliza un cladodio como base del cultivo, es decir, un solo nopal como unidad de siembra o propágulo, en lugar de dos o tres que se emplean como propágulo en los huertos tuneros. Las razones de esta práctica son las siguientes:

1. Se obtienen cladodios comerciales en menos tiempo, tres o cuatro meses.
2. De esta manera, la penca es totipotencial, es decir, no se desperdicia ninguna posibilidad de que se desarrollen yemas vegetativas (nopales) que es lo que importa en este proceso de producción. La totipotencialidad del cladodio se debe a que todas las areolas tienen tejido meristemático, se cree que por influencia hormonal; después de producir vástagos en los bordes, se inicia la producción de éstos en las caras del cladodio.
3. Es más fácil que se mantenga erguido un propágulo que conste de un cladodio, que otro de dos o tres mientras desarrolla raíces y queda firmemente adherido al suelo.

Aplicación del fertilizante.

La aplicación de abono en la superficie del terreno y en una capa tan gruesa como se hace en Milpa Alta (30-40 cm) podría parecer una práctica extraña pero tiene los atributos

siguientes;

1. Al liberarse los nutrientes del excremento de ganado bovino, las raíces de los nopales, que son someras, los captan rápidamente.
2. Mantienen la temperatura del suelo estable, lo cual es necesario para la producción permanente del nopal, pues si ésta varía de acuerdo con la época del año la producción sólo sería estacional, en verano, principalmente y no en forma permanente.
3. Debido a que el estiércol absorbe humedad y la libera lentamente proporciona humedad a la planta en tiempo seco.
4. El estiércol tiene incluida paja de trigo (desde el establo viene con ella), la cual sirve para ayudar a conservar la temperatura y la humedad.

La práctica de abonar cada dos años se debe más bien al lavado del estiércol por las lluvias, ya que casi todas las parcelas de Milpa Alta están en pendiente, y no a la degradación de los nutrientes.

Utilidad de la poda

La poda continua de las plantas es importante por los siguientes aspectos:

1. Retrasa el crecimiento de la planta al evitar la formación de nuevos cladodios totipotenciales, sin haber utilizado la potencialidad de los ya existentes, lo que repercute en una mayor productividad.
2. Tiene una finalidad fitosanitaria, pues evita que los cladodios viejos se plaguen y se propaguen los insectos a toda la planta. Al no utilizar insecticidas, porque son costosos y afectan al nopal que se consume como verdura fresca, se provoca un

menor desequilibrio ecológico.

3. Aporta y mantiene la humedad en épocas de sequía al depositar los desechos de la poda, picados, en el suelo.
4. Evitar la competencia por nutrientes.
5. Se tiene espacio suficiente para la cosecha.

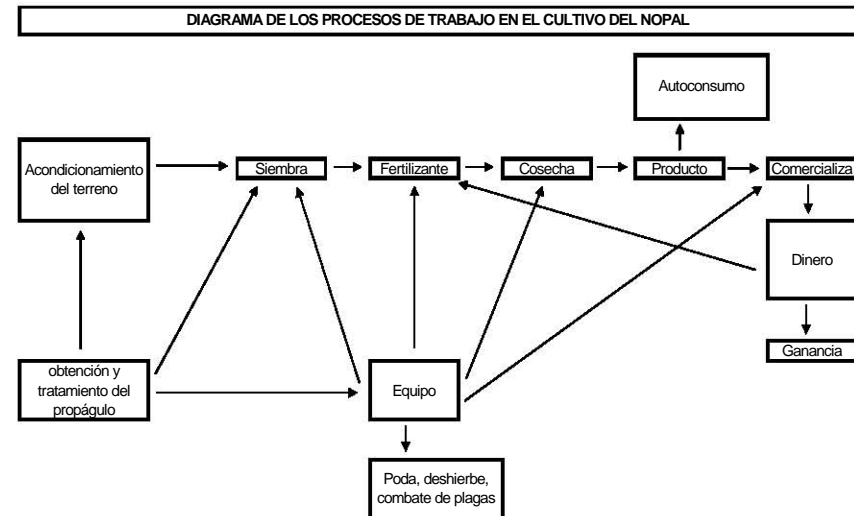
Cosecha

Los planteamientos que a continuación se indican muestran porqué la manera de cosechar el nopal puede aumentar la productividad en su tiempo espacio.

- 1- Al cortar los brotes de las areolas del borde de la penca, se evita la formación de yemas florales que inhibirían la aparición de yemas vegetativas (nopales), ya que de ocurrir la floración los carbohidratos que se produjeron en la fotosíntesis no se utilizarían en la formación de nuevos tejidos del desarrollo vegetal sino en la diferenciación floral; además, se permite el surgimiento de brotes en las areolas de las caras laterales de la penca, es decir, se expresa la totipotencialidad del nopal, pues se ha observado que cuando se eliminan vástagos de un cladodio se favorece una nueva emisión de yemas vegetativas, y éstas son más numerosas mientras más severa sea la poda.
- 2- Si se cosecha y se deja un "quiotillo" en los bordes de la planta, no se inhibe la formación de yemas vegetativas en las caras laterales y sin embargo sí se incremento la superficie de producción de éstas cuando el "quiotillo" es corto, aumento de productividad en espacio; o se retrasa (sin inhibir) la emisión de brotes en las caras laterales. Esta última modalidad sirve para regular un poco la producción en la época en que ésta es excesiva para que en junio o julio se vuelva a cosechar.

- 3- Al cosechar de este modo se ejerce una presión de selección en las plantas, pues se obliga a cada cladodio a expresar su totipotencialidad, lo que en nopales silvestres no sucede, pues se producen nopales sólo en los bordes.

La gran densidad de población ocasionada por la manera de distribuir los propágulos en la siembra es otra manera de ejercer presión de selección, ya que entonces los recursos se ven sometidos a una fuerte competencia intraespecífica y, por lo tanto las plantas requieren mayor costo de energía para obtenerlos permitiéndoles así únicamente un desarrollo vegetativo, por lo que se puede considerar que el nopal cultivado es forzado a ser un organismo con estrategia de supervivencia tipo K; es un buen competidor por tener alta eficiencia. Así, la alta productividad de este cultivo (una hectárea con 40,000 plantas; una hectárea produce 200 toneladas al año) es consecuencia de la presión de selección que se ejerce en las nopaleras.



Fuente Antonio Mantalla Gonzalez (invernaderos)

Clima y productividad

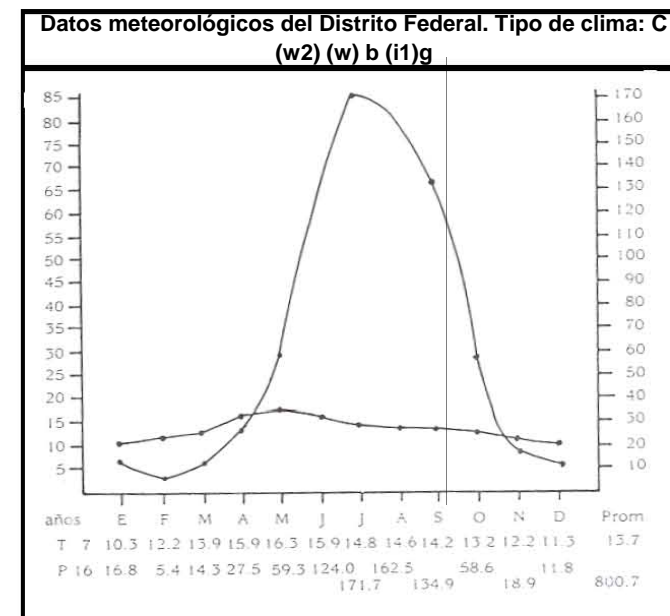
Al analizar el climograma (sistema ombrotérmico) correspondiente a la zona, se puede observar que se trata de un sistema homeotermo, pues las temperaturas medias mensuales no son muy altas pero tampoco muy bajas, ya que oscilan entre 16.3°C y 10.3°C, por lo que quedan dentro del intervalo de temperaturas en las que generalmente se desarrollan los nopales, es decir 11.2°C a 27.1°C (Blanco, 1966): sin embargo, la temperatura es un factor limitante en la productividad, pues el que disminuya considerablemente la cosecha en época fría se debe a que se dejan crecer los cladodios nuevos para evitar que las heladas ocasionales los destruyan. Las nopaleras situadas en las laderas se afectan menos ya que el aire helado se estanca en los valles.

La relación entre la radiación solar y orientación de los cladodios puede o no ser importante en el proceso productivo, según los siguientes aspectos:

- 1- En lo que a transpiración se refiere la relación no es importante porque los nopales son plantas MAC (metabolismo ácido crasuláceo), es decir, se cierran los estomas de la Planta durante el día y se abren en la noche: así, su transpiración disminuye al máximo durante el día y se obtiene el CO₂ que requiere la fotosíntesis, de ácido orgánico (ácido málico) acumulados durante la noche.
- 2- En cuanto a la eficiencia fotosintética dicha relación sí es importante por la forma aplanada que poseen los cladodios, En un estudio realizado por Becerra (1975), se observó que los cladodios orientados al norte y al sur acumulan más calor durante el día, lo cual desde luego permite que realicen mayor captación de luz directa que los cladodios orientados al este y al oeste. La importancia de lo anterior se puede entender si se toma en cuenta que una planta que se encuentra en constante crecimiento vegetativo como el

nopal cultivado, requiere mucha energía para mantener dicha actividad sin afectar al fotosintato, es decir, se hace necesario superar en mucho el punto de compensación de luz para que se mantenga la producción y la calidad del fruto.

Con respecto a la precipitación, se tienen ocho meses de lluvia en donde el coeficiente de evapotranspiración tiene valores positivos en relación con la mayor humedad, lo cual indica que el nopal tiene humedad durante un periodo bastante largo. Así, existe una correlación directa entre la época de lluvia y la productividad, ya que hay más producción en verano debido a la mayor precipitación y mayor temperatura de esta estación. Según Velázquez (1962), el desarrollo óptimo en cuanto a abundancia y distribución se efectúa con 400 mm de precipitación, a partir de esto la densidad disminuye conforme baja la precipitación.



Estación Milpa Alta (García, 1981)

8.2 INVERNADERO

El término invernadero, se refiere a una estructura cuyo techo y paredes son transparentes o translúcidos y permiten la entrada de suficiente cantidad de radiación solar, necesaria para que las plantas en el interior realicen eficientemente la fotosíntesis.

Un invernadero permite el crecimiento de las plantas que se cultivan dentro de él, independientemente del clima exterior, debido a que la temperatura y humedad interiores pueden ser controladas. Pero el mantenimiento de la temperatura dentro del invernadero puede ser difícil si las condiciones ambientales externas fluctúan marcadamente. Cuando el sol brilla intensamente, en el verano o en los climas cálidos, debe efectuarse un apropiado control térmico dentro del invernadero para que los cultivos no se dañen, ya que la temperatura puede elevarse demasiado, rebasando incluso la exterior.

Un invernadero varía en tamaño, forma y complejidad; desde un pequeño albergue con techo de dos aguas, un pequeño túnel semicilíndrico, hasta las estructuras comerciales cubriendo grandes extensiones de terreno.

La estructura básica de un invernadero consiste en un armazón sencillo pero muy sólido, capaz de resistir viento u otros esfuerzos mecánicos. Convencionalmente, el techo se cubre con placas de vidrio, pero el plástico o la fibra de vidrio frecuentemente se usan con buenos resultados.

El uso comercial más extendido de un invernadero es cultivar hortalizas y plantas ornamentales. La producción en invernaderos requiere de muchos cuidados, por que se deben realizar diversas labores, normalmente llevadas a cabo por la naturaleza al aire libre. Debe regularse la temperatura y la cantidad de energía luminosa, ventilar, regar, fertilizar y en ocasiones facilitar la polinización.

Periódicamente la estructura debe ser limpiada y fumigada y el suelo debe arreglarse. Las enfermedades de las plantas son particularmente serias en un invernadero, ya que es un sistema muy cerrado. Esto requiere de constante atención y de uso frecuente de compuestos químicos para controlarlas. Estas desventajas aparentes se ven superadas ampliamente por los beneficios que un invernadero aporta al permitir la producción ininterrumpida de cultivos que, de otra manera, no podrían lograrse (Neison 1979).

Es probable que la industria de invernaderos como tal, apareciera en Holanda durante su "edad de oro", en el siglo XVII. Este hecho fue favorecido por el amor de los holandeses, especialmente hacia las flores, y el nivel de vida de los mismos que en ese entonces era el más elevado del mundo.

Todas las cortes reales de Europa tenían un gusto especial por la elegancia y el buen vivir. Apreciaban enormemente el tener flores en el invierno y frutas fuera de estación. La capacidad productiva de la clase media y las cadenas comerciales del floreciente sector mercantil, pronto dieron origen en los Países Bajos, a lo que hoy es una de las más grandes industrias de invernaderos en el mundo. En América, el cultivo en invernaderos como industria se originó mucho más tarde, en el siglo XIX, cuando la tecnología fue llevada a los Estados Unidos por inmigrantes europeos (Neison 1973).

Actualmente el área agrícola mundial protegida bajo vidrio, fibra de vidrio y plástico se incremento aproximadamente en un 10% cada año, siendo Japón y Europa los sitios donde estas técnicas están más desarrolladas. Los cultivos protegidos pueden dar como resultado una producción enorme; por ejemplo: los tomates pueden producir más de 120 toneladas adicionales por acre (270,000 kg/ha) cada año si se cultivan bajo cubierto.

8.2.1 VENTAJAS

Muchas son las ventajas que los invernaderos imprimen a los cultivos de hortalizas, flores y ornamentales. Llegará algún día que los productos de consumo en fresco de hortalizas y flor cortada no se hagan en cultivo al aire libre, sino siempre en instalaciones protegidas; en invierno con materiales de cubierta impermeable al agua y al aire; en épocas calurosas con cubierta de mallas transparentes y sombreadores.

En hortofloricultura los invernaderos permiten las siguientes ventajas:

- Cultivar fuera de época y conseguir mayor precocidad. En las zonas climáticas más privilegiadas se puede obtener en invernadero, sin calefacción, hortalizas y flores cuando es imposible conseguir las al aire libre, en ningún lugar. En otras zonas menos favorecidas climatológicamente se consigue hortalizas y flor cortada con una anticipación bastante significativa respecto a los mismos cultivos al aire libre; después, en otoño, se puede prolongar la recolección de la mayor parte de los cultivos en otro tanto de tiempo, una vez de que los fríos han hecho imposible los mismos cultivos en el exterior de los invernaderos. Con ayuda de calefacción se puede obtener cualquier tipo de hortalizas y flores en pleno invierno.
- Realizar cultivos en determinadas zonas climáticas y épocas estacionales en que no es posible hacerlos al aire libre. Si por la noche se consiguen temperaturas mínimas vitales, cuando en el exterior se están produciendo temperaturas letales (muerte) para los cultivos que se realicen, y durante las horas diurnas aumenta considerablemente la temperatura respecto al exterior, es evidente que se podrán cultivar especies vegetales que en esas zonas climáticas no se hayan producido nunca.
- Disminuir el tiempo de los ciclos vegetativos de las plantas, permitiendo obtener mayor número de cosechas por año. Con el aumento de las temperaturas se consigue un más rápido crecimiento y un acortamiento de los estadios vegetativos de las plantas. Sin tener en cuenta las posibilidades de mercado, en algunos casos se pueden obtener hasta tres cosechas en el mismo año.
- Posibilidad de obtener más de un ciclo de cultivo al año.
- Poder cultivar «flor cortada» en excelentes condiciones. Salvo excepciones y climas muy privilegiados, el cultivo de flor cortada es imposible hacerlo con rentabilidad en cultivo al aire libre. En invierno, adaptando las fechas de cultivo a las fechas de climatología más idóneas, la única forma de obtener flor de calidad es bajo la protección del invernadero. Si además de la protección del invernadero, la temperatura se apoya con algún medio térmico, se puede obtener flor en toda época y tipo de cultivo.
- Aumento de producción. En los invernaderos se consigue un aumento de producción bastante significativo, del orden de 2 a 3 veces más, que los mismos cultivos hechos al aire libre. Este aumento es así por varias razones:
 - Las plantas no están influidas por los factores negativos ambientales del exterior.
 - El clima artificial que se crea, da lugar a un desarrollo rápido y casi óptimo de los cultivos.
 - Se utilizan variedades altamente productivas, creadas especialmente para el cultivo en invernadero, que cuando se cultivan al aire libre no se obtienen tan buenos resultados.
 - Se controlan mejor los patógenos que hacen disminuir las producciones.

- Obtención de mejor calidad. Las hortalizas y flores que se obtienen en invernadero tienen una presentación excelente, respecto a los mismos productos obtenidos en cultivo al aire libre. Es lógico que esto sea así, ya que las plantas no están sometidas a las inclemencias de los meteoros (lluvia, granizo, viento, etc.). Por otra parte, al ser el desarrollo más rápido, los tejidos son más tiernos, presentan mejores condiciones organolépticas al consumidor y, por otra parte, no se disminuye su sabor y aroma.
- Mejor control de las plagas y enfermedades. Las plagas y enfermedades se controlan mejor en los invernaderos que al aire libre, ya que necesariamente hay que tratar preventivamente por lo que se puede llevar a cabo una programación para el control de todos los parásitos, la rentabilidad de los cultivos en invernadero permite esa programación preventiva, que en cultivos al aire libre no se puede prever y en la mayoría de los casos costear. Por otra parte, los tratamientos son más efectivos. Una simple fumigación de gases en el interior del invernadero es suficiente para eliminar todas las plagas que existen en su interior. En un futuro inmediato se conseguirá fabricar unos materiales de cubierta que controlen algunos aspectos biológicos dentro del invernadero; actualmente ya se fabrican materiales plásticos que impiden la visión de los insectos y la esporulación de determinados hongos.
- Ahorro en agua de riego. El ahorro de agua para el riego de los cultivos de invernadero es bastante considerable, ya que el suelo y las plantas no están sometidas a la deshidratación que el viento hace en los suelos y cultivos al aire libre. A esta economía de agua hay que añadir el ahorro que implica el riego localizado, que en el caso de los invernaderos es recomendable y rentable la inversión, mientras que en algunos cultivos al aire libre es más discutible su interés.

- Menos riesgos catastróficos. Los daños producidos por viento, helada, granizo, sequía, etc., se eliminan totalmente cuando los invernaderos están perfectamente diseñados.
- Trabajar con más comodidad y seguridad. El trabajo de las personas es más agradable, al desarrollarse en un medio confortable cuando el tiempo es adverso en el exterior, con lo que se aprovecha al máximo su actividad diaria.

8.2.2 INCONVENIENTES

En los invernaderos también hay que tener en cuenta algunos inconvenientes, como:

- Alta especialización, empresarial y técnica, de las personas que se dedican a esta actividad productiva.
- Elevados gastos de producción (semillas, abonos, jornales, tratamientos, conservación, etc.), que aumentan bastante respecto a los mismos cultivos realizados al aire libre.
- Si ocurren riesgos catastróficos, éstos son mayores; en las cubiertas de polietileno, cuando no tienen calefacción, se puede producir la inversión térmica.

8.2.3 LOCALIZACIÓN DEL INVERNADERO

Las condiciones al elegir el lugar idóneo para la instalación de un invernadero, son las siguientes:

- En suelo saneado, sin peligro de encharcamientos. Un suelo encharcado que no tenga solucionado su drenaje, siempre dará resultados negativos cuando se instale en él un invernadero. La asfixia de raíces y la humedad elevada del ambiente, en casos extremados, puede dar lugar a la pérdida total de los cultivos.

- En lugar suficientemente abrigado de los vientos dominantes, pero que se vea beneficiado de brisas suaves. Los vientos fuertes son peligrosos por la amenaza de destrucción que representan para los invernaderos. Además, cuando los vientos dominantes son fríos refrigeran demasiado la cubierta y es necesario realizar más gasto de calefacción; en el supuesto de que no haya instalación calorífica, puede presentar mayor posibilidad de producirse la inversión térmica.
- Donde se disponga de agua para riego, siempre que se precise. Para el riego de los invernaderos es necesario disponer de agua en el mismo momento en que se precise: en el caso de que el agua disponible tenga que estar sometida a un turno de disponibilidad más o menos largo, se hace necesario la construcción de cisternas, al pie del invernadero, con capacidad suficiente para que permita regar con la cantidad de agua que se precisa entre dos turnos de disponibilidad.
- Siempre en solana, nunca en umbría. El invernadero nunca debe situarse en umbría, siempre en solana. Si el invernadero está situado en solana, recibe la luz solar directamente durante el día y las radiaciones inciden más o menos perpendicularmente sobre la cubierta del invernadero; en cambio, si se construye en umbría, tendrá bastante menos luminosidad, recibirá menos horas de luz solar y los rayos incidirán oblicuamente y, por tanto, con menos intensidad.
- Lo más cerca posible de la vivienda del responsable de la instalación y sus cultivos. La vigilancia del invernadero, tanto de día como de noche, es fundamental para la buena marcha de los cultivos que se establezcan y de la propia instalación.
- Con energía eléctrica, o con posibilidad poder disponer de ella. Disponer de energía eléctrica es muy interesante para la mecanización y automatización en el control del ambiente del invernadero. También es necesario en el cultivo de plantas ornamentales y flor cortada, para el control del fotoperiodismo.
- Con suelo de extraordinaria calidad. El invernadero exige a su suelo el máximo rendimiento; no se puede permitir un suelo de cultivo que no esté en un óptimo de fertilidad.
- Donde las nieblas no se asienten. En los lugares donde se asienten niebla, aparte del peligro que para los cultivos significa el exceso de humedad que produce este meteoro, la luminosidad será siempre menor que lo normal en esos días de niebla.
- Alejado de caminos o zonas polvorientas. El polvo que se deposita y fija en las cubiertas de los invernaderos resta luminosidad en las épocas de más necesidad.

8.2.4 ORIENTACIÓN

La orientación geográfica que se debe de dar a un invernadero es variable, según los cultivos a que se dedique y la época en que se realicen.

La luz y el viento son los factores determinantes de la orientación que hay que dar al invernadero.

El viento puede ser dominado con el refuerzo del anclaje del invernadero y con la colocación de cortavientos (cañas, mallas, setos vivos, etc.).

La luminosidad es el factor más importante a tener en cuenta. En invierno, desde septiembre a marzo, en nuestras latitudes, la orientación Este-Oeste es aquella en la que el invernadero recibe más cantidad de luz durante el día; a partir de marzo y hasta septiembre, a medida que pasan los días y el sol torna altura en el horizonte, en esa orientación las cubiertas y paredes del Norte reciben luz solar durante varias horas de la mañana y la tarde; parte de esa luz es reflejada al exterior.

En verano, que conviene más luz por la mañana y por la tarde menos luz a las horas del mediodía, la orientación mejor es la Norte-Sur.

Para cultivos hortícolas en invernaderos de plástico, sin calefacción, con cultivos realizados en otoño-invierno-primavera, conviene la orientación Este-Oeste. Esto es válido cuando se trata de naves aisladas, pero en el caso de invernaderos en batería, que no sean asimétricos, la orientación aconsejable es la Norte-Sur, ya que con la Este-Oeste puede ser importante la proyección de la sombra de una estructura sobre la otra.

Cuando por razón del viento, o de la topografía, u otro factor sea necesario modificar esta orientación se tenderá hacia la Sureste-Nordeste, con el fin de que reciba la máxima luz en las primeras horas de la mañana; aunque en las últimas horas de la tarde reciba menos luz, no es grave inconveniente puesto que el invernadero ha tomado calor y las temperaturas vespertinas son más moderadas que las matutinas.

En el supuesto de heladas nocturnas, con la orientación Suroeste-Nordeste se tendría más peligro que con la Sureste-Noroeste.

En los invernaderos de cubierta plástica donde se realicen cultivos de hortalizas en primavera o en otoño, conviene la orientación Sureste-Nordeste.

En cultivos de plantas ornamentales y algunas especies florales que se hagan en invernadero de cristal, policarbonato o poliéster y que estén provistos de calefacción, es más interesante la orientación Norte-Sur.

8.2.5 CONDICIONES QUE DEBE REUNIR UN INVERNADERO

El invernadero es una instalación que debe cumplir determinadas condiciones, sin las cuales no puede realizar las funciones para las que se construye y pueden resultar poco rentables los cultivos que en él se hagan.

Las condiciones más importantes, entre otras, son las siguientes:

- **Diafanidad.** La luz es fuente de energía, tanto para que la planta realice sus funciones vitales (fotosíntesis, respiración, crecimiento, reproducción, etc.), como para su transformación en calor; los materiales que se utilizan como cubierta de invernadero deben tener una gran transparencia a las radiaciones luminosas. El material que se utilice en las estructuras debe presentar en sus secciones dimensiones reducidas; los pies derechos del interior deben ser los imprescindibles para que la instalación sea resistente.
- **Calentamiento rápido.** El aire del interior del invernadero debe calentarse con rapidez, para conseguir durante el día mayor número de horas con temperaturas óptimas y que cuando se utilice calefacción el gasto sea menor. El calentamiento del invernadero ocurre cuando las radiaciones infrarrojas que penetran a través de la cubierta se transforman en calor, al ser absorbido por el suelo, las plantas, la estructura y los objetos que haya dentro del invernadero.

- Efecto de invernadero. El calor absorbido por los materiales del interior del invernadero (suelo, plantas, etc.), a su vez, es emitido en forma de radiación de longitud de onda larga, que al llegar a la parte interior de la cubierta, una parte de esta radiación sale al exterior y otra parte se emite hacia el interior, calentando la atmósfera del invernadero. El material de cubierta no debe dejar que se escape el calor acumulado en el interior y, sobre todo, su resistencia a enfriarse debe ser mayor a medida que la temperatura desciende.
- Ventilación fácil. La ventilación de los invernaderos es necesario realizarla en las horas que la temperatura se eleva por encima de las óptimas que precisan los cultivos. Por tanto, las instalaciones han de tener suficiente superficie de ventilación y su mecanismo de apertura y cierre debe ser rápido y cómodo.
- Estanqueidad al agua de lluvia. El agua de lluvia y de la nieve, por poco que sea, no debe de entrar de ninguna forma en el recinto cubierto; para evitarlo deben hacerse construcciones cuya cubierta sea lo más estanca posible al agua (placas o láminas sin agujerear) y que tenga pendientes suficientes en el caso de invernaderos tipo capilla para que evacue fácil-mente el agua por los canalones. Tanto la cubierta como las juntas de los espacios de ventilación tienen que ser estancas al agua de lluvia; si se localizan goteras fijas sobre determinadas plantas de cultivo, éstas se ven dañadas gravemente.
- Resistencia a los agentes atmosféricos. El invernadero es una instalación frágil que debe de tener resistencia suficiente para afrontar la fuerza del viento, el peso de la nieve y la acción destructora del granizo. Esto se consigue con un buen anclaje, una estructura bien calculada y un material de cubierta resistente a dichos agentes atmosféricos. Respecto a la nieve hay que tener en cuenta: el tipo de perfil de la estructura, la resistencia de la estructura a soportar el peso de una fuerte nevada y las pendientes suficientes de la techumbre para que la capa de nieve se deslice sobre la cubierta y se evacue fácilmente; esta evacuación se hace muy bien en los invernaderos tipo túnel y, también, en los tipos capilla de una sola nave, si tienen suficiente pendiente (20 a 30°); en cambio, se hace bastante difícil en los túneles o capillas adosados en batería, por la acumulación de la nieve en la confluencia de las aguas de ambas naves. En el supuesto de naves adosadas en batería podría solucionarse el peligro de hundimiento del invernadero, aumentando la resistencia de los pies derechos que soportan esta línea de confluencia; al no evacuarse y quedar acumulada la nieve en esa parte del invernadero surgirán dos problemas, como es la disminución de luminosidad y tener un refrigerador en la cubierta del invernadero, durante el tiempo que se mantenga acumulada la nieve.
- Economía. La explotación del invernadero tiene un fin lucrativo; por tanto, si aumentan demasiado los gastos fijos de amortización, interés y conservación, la rentabilidad puede disminuir a límites en que estos gastos sean factores limitantes. El invernadero tiene que ser económico, de conservación fácil y barata, así como de fácil montaje. Es importante que se pueda ampliar la superficie cubierta sin necesidad de modificar la estructura.
- Mecanización fácil. La mecanización del invernadero es factor de gran importancia, la instalación debe ser apta para poder incorporar los medios de calefacción, ventilación, trabajo, etc., sin grandes modificaciones en la estructura y en la superficie de cultivo; la altura de cubierta, puertas, pies derechos, obstáculos interiores, etc., debe estar calculada para que el tractor pueda trabajar con distintas máquinas.

8.2.6 BALANCE DE LA ENERGIA DENTRO DEL INVERNADERO

Este balance puede ser optimizado mediante la utilización apropiada de un techo con propiedades ópticas y térmicas especiales y sistemas efectivos de calentamiento, enfriamiento y ventilación. Estas modificaciones proporcionarán un microclima diferente a los cultivos del interior, específicamente en lo que se refiere a:

1. La cantidad de radiación disponible para la fotosíntesis.
2. La temperatura de las hojas.
3. La concentración de bióxido de carbono.
4. La humedad relativa del aire.

Las propiedades ópticas del vidrio o cubierta transparente del invernadero son de vital importancia. La mayoría de los materiales utilizados, cuando están limpios, reducen la radiación solar incidente aproximadamente en un 20 ó 30%. Sin embargo, las modificaciones de la radiación solar no sólo son cuantitativas, sino también cualitativas; la fracción difusa de la radiación solar medida dentro del invernadero es mayor que en condiciones naturales. En términos generales, el poder de dispersión de la luz que tienen los plásticos, es mayor que el del vidrio. La distribución de la energía luminosa bajo la cubierta es más homogénea, lo que permite un uso más eficiente de la misma.

No todos los materiales transparentes tienen necesariamente las propiedades ópticas del vidrio; por ejemplo, el polietileno deja pasar de preferencia luz y radiaciones infrarrojas cercanas y lejanas y prácticamente no las absorbe. Consecuentemente los invernaderos con polietileno son menos calientes que los de vidrio y tienden a enfriarse más rápidamente durante la noche. Sin embargo, existen medios para minimizar el fenómeno de enfriamiento nocturno mediante calentamiento adicional. Las cubiertas de polietileno se usan

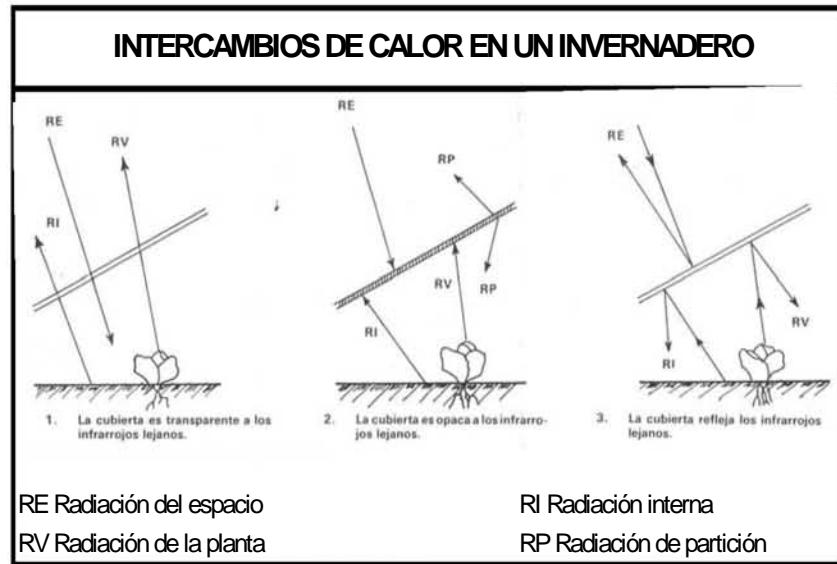
frecuentemente debido a su precio reducido, en comparación a otros materiales.

El material de recubrimiento ideal que podría proporcionar el mejor "efecto de invernadero", debe ser transparente para los rayos infrarrojos cercanos y la luz, que son utilizados para la fotosíntesis y otros procesos biológicos, y reflejar perfectamente los infrarrojos lejanos que no son aprovechados por las plantas, sino que pueden tener un efecto negativo al alterar el sistema, aumentan el calor y por consecuencia la transpiración de las plantas y el gasto de agua.

La pared del invernadero ofrece una resistencia considerable al flujo de calor entre éste y el medio que lo rodea. Esta resistencia puede mortificarse con la abertura de puertas y ventanas o el uso de elementos para ventilación mecánica. Este control de los cambios de aire, modifica la relación existente bajo condiciones naturales entre los intercambios turbulentos de calor en forma de evaporación, pero también determina el control de la concentración de bióxido de carbono. Dentro del invernadero la temperatura de las paredes es más parecida siempre a la temperatura del ambiente exterior que a la del interior. Esta "barrera fría" en un invernadero calentado artificialmente y con ausencia de turbulencia, crea un sistema preferencial de intercambio por radiación entre la superficie de la cubierta vegetal o el suelo y la pared.

La temperatura que se recomienda para el óptimo crecimiento de los diversos cultivos, generalmente se refiere a la temperatura que debe tener el aire que rodea a las plantas y generalmente es suficiente para alcanzar condiciones adecuadas para el desarrollo; sin embargo no es útil para determinar la temperatura crítica de un cultivo o evaluar con precisión la eficiencia de cubiertas y resguardos de diverso diseño; lo correcto sería considerar la temperatura misma del vegetal, que depende, entre otros factores, de la temperatura del suelo, las cubiertas, las condiciones externas y el balance

de radiación entre los infrarrojos cercanos y lejanos; por eso es muy importante medir la temperatura al mismo nivel en el que el cultivo se encuentra y no por arriba de él.



Fuente Serrano Cemeño (construcción de invernaderos)

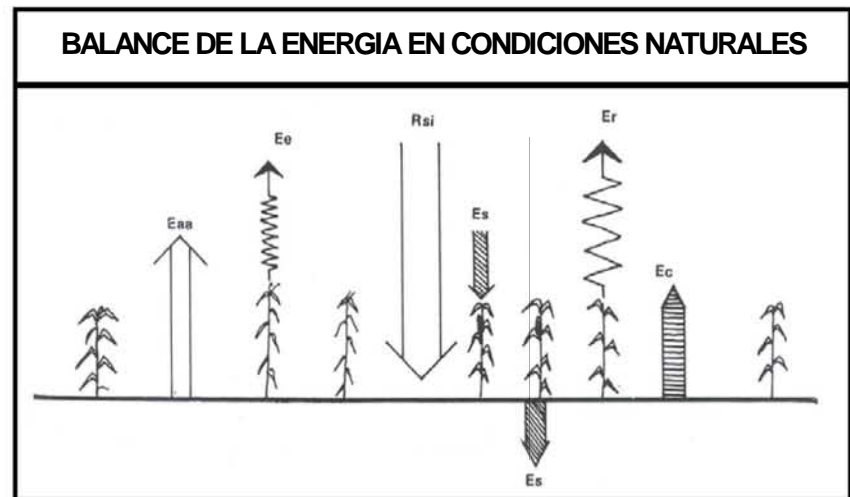
Debido a que el periodo más crítico lo constituye la noche, la temperatura propia de las plantas puede ser semejante al promedio de la del suelo y las cubiertas. La temperatura del suelo, cuya importancia fue subestimada durante mucho tiempo, es un factor muy importante para el crecimiento de las plantas.

Durante los días nublados con baja cantidad de luz, frecuentemente es necesario reducir ligeramente la temperatura del invernadero, para disminuir el grado de respiración y conservar la reserva de carbohidratos durante estos periodos. La temperatura de la planta no debe ser necesariamente constante. El régimen de calentamiento óptimo debe

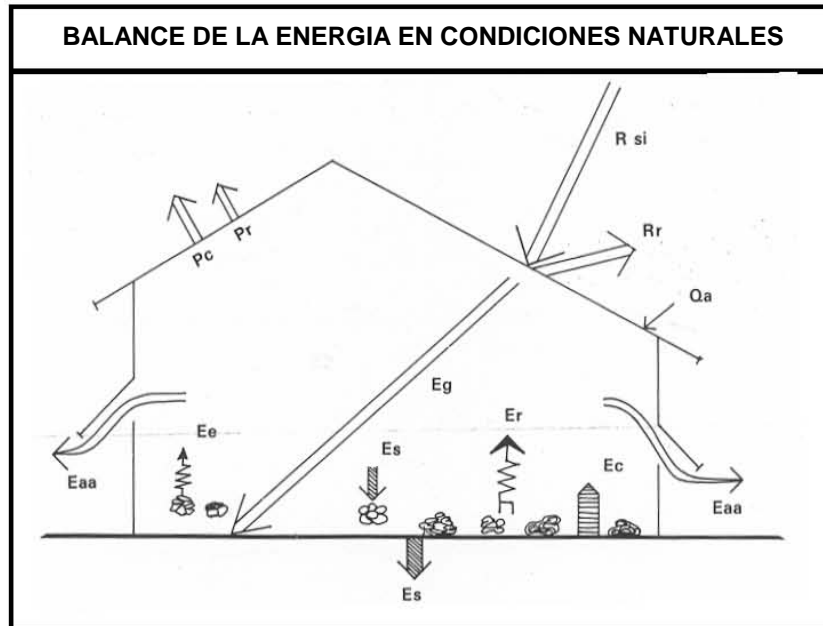
mantenerse principalmente durante el periodo fotosintético y las primeras horas de la noche, para permitir la transferencia de sustancias dentro de la planta; pero de la mitad de la noche hasta el amanecer, el invernadero puede enfriarse sin problemas, siempre y cuando no se llegue al mínimo crítico para el cultivo (Timboli 1978).

8.2.7 RADIACION INFRARROJA

El balance en el intercambio de radiación de las longitudes de onda larga (infrarrojo cercano y lejano), varía considerablemente de acuerdo al tipo de material de la cubierta del invernadero y si éste permite el paso de radiación (polietileno) o no (vidrio, PVC), o bien si el vidrio tiene una emisión baja de onda larga al exterior (Fry 1967). Las pérdidas del invernadero debidas a la radiación, son considerables comparadas con el balance establecido en condiciones naturales y puede aumentar con la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior.



Fuente Serrano Cemeño (construcción de invernaderos)



Fuente Serrano Cermeño (*construcción de invernaderos*)

- R_{si} Energía Solar incidente (Radiación Solar, Luz Visible, Radiación roja, Radiación infrarrojo).
- R_r Porción reflejada de la R_{si}
- E_g Ganancia de energía (Luz visible, Radiación roja, Radiación infrarrojo)
- Q_a Energía absorbida en la cubierta
- E_s Cantidad de energía ganada por el suelo y/o plantas.
- E_r Cantidad de energía rerradiada (infrarrojo) por el suelo y plantas.
- E_c Cantidad de energía removida del suelo y plantas al aire por convección.
- E_e Energía utilizada en la evaporación de agua
- P_c Pérdidas por convección y conducción a través de la cubierta
- P_r Pérdidas por radiación a través de la cubierta
- E_{aa} Pérdida por convección por remoción de aire y agua.

Este fenómeno puede aumentar enormemente el "efecto de invernadero" durante el día, pero durante la noche puede disminuir demasiado la temperatura, determinando un clima extremo y perjudicial, en el invernadero.

Para impedir que esto suceda, pueden adaptarse las siguientes medidas:

1. Uso de materiales que absorban el infrarrojo lejano. En este punto puede decirse que las industrias plásticas han mejorado, considerablemente, el funcionamiento de las cubiertas para usos agrícolas (PVC y EVA, entre otros).
2. Uso de pantallas que reflejen el infrarrojo lejano (pantallas antirradianes). Estas pantallas aluminizadas se extienden por la noche sobre los cultivos. La ganancia o beneficio en el balance de calentamiento auxiliar puede variar de 10 a 30% de acuerdo a la calidad de la construcción.
3. Uso de vidrio transparente para los rayos visibles y reflejante para los rayos infrarrojos lejanos; este material está aún en periodo de experimentación y control.
4. Uso de una superficie reflejante perpendicular al piso. En invierno, las plantas no crecen bien cuando están sembradas a lo largo de las paredes debido a que ahí los intercambios son más intensos; para evitar los daños a las plantas, se propone reforzar las paredes con una cubierta de aluminio que refleje el infrarrojo.

8.2.8 TRAMPAS Y ACUMULADORES DE CALOR

Para capturar el exceso térmico diurno y compensar el déficit nocturno, se emplean captadores de calor solar y acumuladores en diferentes lugares cercanos, o dentro del mismo invernadero. Por ejemplo, un método desarrollado en

Francia consiste en colocar una tubería de plástico negro sobre el piso del invernadero y circular agua a través de ella. La superficie cubierta por esta tubería es del 50 al 70% de la superficie interna del invernadero, sin afectar la densidad del cultivo (Chiapale et al 1977).

8.2.9 AISLAMIENTO TERMICO

Los invernaderos pueden aislarse térmicamente reemplazando la monocapa tradicional de partición o cubierta, por una de dos capas del mismo material o de dos diferentes materiales, con un volumen de aire inmóvil entre ellas. Para que sea eficiente, deben eliminarse los puentes térmicos. Una buena doble cubierta puede reducir de 30 a 50% el flujo de energía, dependiendo del estado del invernadero y del tipo de aislamiento que se planea usar. El mayor inconveniente del aislamiento es la reducción de la penetración de la luz solar (Short y Baverle 1977).

Debe subrayarse que si la cubierta está hecha de dos vidrios o dos capas de material que tengan la misma propiedad que el vidrio con respecto a los rayos infrarrojos lejanos, el efecto de invernadero se aumentará.

El aislamiento es instalado permanentemente y su adopción no reduce el interés de las pantallas antirradiantes antes mencionadas y que sólo se instalan durante el periodo nocturno. Sin embargo, si la cubierta estuviera permanentemente constituida de un vidrio tradicional en el exterior, y de un vidrio reflejante de rayos infrarrojos en el interior, sería una cubierta compuesta muy eficientemente. Desafortunadamente, este tipo de cubierta es aún muy costoso.

Claro que en una estructura aislada es necesario abrir ventanas para garantizar diariamente la reserva de bióxido de carbono en el interior.

8.2.10 PANTALLAS CONTRA EL VIENTO

Los intercambios convectivos dependen de la agitación del aire, por lo que es conveniente proteger el invernadero en las zonas airosas de los Vientos frecuentes, ya sea escogiendo un sitio abrigado o poniendo como pantalla de viento, árboles o redes de plástico. Aunque estos elementos no tienen un efecto protector 100% efectivo, pueden funcionar para limitar el desperdicio de calor en las áreas con mucho viento.

Es interesante combinar los procesos principales, conducentes a disminuir el déficit de energía de un invernadero en invierno. Si logramos una estructura aislada, con cubierta doble transparente y si durante la noche, una pantalla reflectora se coloca sobre los cultivos, es posible disminuir el calentamiento auxiliar de 40 a 60%, que es en promedio una economía de por lo menos 100 toneladas de combustible por año y hectárea de invernadero.

Los nuevos desarrollos aún en experimentación, especialmente el invernadero solar y las tuberías subterráneas, permitirán en el futuro eliminar, al menos, la mayor parte del calentamiento auxiliar basado en el petróleo o gas, en regiones con clima relativamente favorable (Miguel1978).

8.2.11 EL FACTOR SUELO DENTRO DE UN INVERNADERO

El suelo es una unidad natural conformada por diversos elementos que en conjunto le confieren sus características propias. Los suelos pueden considerarse como medios complejos con mayor o menor porosidad, dependiendo del tamaño, proporción, forma y disposición de las partículas minerales y orgánicas que los forman; dentro del suelo encontramos también aire, agua, sales solubles e insolubles, micro y macroorganismos.

Se reconocen generalmente tres fases en un suelo: la sólida, integrada por las partículas minerales y orgánicas; la líquida, formada por la solución de suelo que forman el agua y las sales solubles; y la gaseosa o atmósfera del suelo.

Hay cuatro requisitos que el suelo o sustrato debe cumplir para que las plantas tengan un buen crecimiento:

- Debe contener nutrientes en cantidad adecuada.
- Debe retener agua de una forma aprovechable para las plantas.
- Debe permitir el intercambio de gases entre las raíces y la atmósfera por encima del suelo.
- Debe funcionar adecuadamente como soporte físico de las plantas.

Los suelos propiamente dichos pueden clasificarse por su textura. Esta propiedad se refiere al tamaño y proporción de las partículas que forman un suelo. Se reconocen tres categorías de tamaños:

- las partículas cuyo diámetro es menor a 0.002mm, son las más pequeñas y corresponden a la arcilla;
- aquellas cuyo diámetro se encuentra comprendido entre 0.002 y 0.05 mm, que integran el limo;
- aquellas mayores a 0.05 mm que forman la fracción arenosa del suelo.

La clasificación textural de un suelo nos indica la proporción de partículas de cada uno de estos tamaños en el mismo, lo que va a determinar lógicamente la capacidad del suelo para retener agua y aire. Otra característica del suelo que influye sobre la cantidad de humedad y aire que contiene éste, es la estructura que se refiere al grado de combinación de las partículas en agregados de diversas formas y tamaños. Un suelo con una buena estructura, se dice que es suelto o

desmenuzable. La cantidad de materia orgánica degradada o humus que un suelo contiene es muy importante para la estructura del mismo, puesto que las secreciones de los microorganismos y las hifas de los hongos actúan como pegamento que favorece la unión de partículas en agregados.

Esta función y la de proporcionar nutrientes para las plantas, son las más importantes que la materia orgánica realiza dentro de un suelo. Existen numerosos materiales que pueden ser agregados al suelo para mejorar su textura, estructura y contenido de materia orgánica: arcilla, arena, estiércol, fertilizantes orgánicos, humus diversos, turba y otros, según se requiera. La acidez o alcalinidad de un suelo (pH) es otro factor muy importante para el crecimiento de las plantas y que debe regularse de manera que no exceda los límites de tolerancia de los cultivos a este factor. El cambio gradual del pH del suelo durante el cultivo se considera normal y usualmente se presenta en invernaderos donde se fertiliza frecuentemente con abonos nitrogenados. Por lo tanto, puede ser necesario ajustar el pH después de un uso continuo de fertilizantes de este tipo. Esto puede lograrse aplicando azufre o cal.

Una de las decisiones más importantes al cultivar es cuándo y cuánto fertilizante debe aplicarse. El método y la forma de aplicar el fertilizante no es extremadamente importante; sin embargo, la aplicación de pequeñas cantidades a distintos intervalos es mucho mejor que una sola aplicación de la cantidad total, especialmente si se trata de nitrógeno.

En el caso de un cultivo en invernadero, el suelo puede sustituirse por algún otro sustrato, que cumpla adecuadamente con ciertos requerimientos necesarios para un buen crecimiento del cultivo.

Este sustrato puede ser: arena, grava, vermiculita, perlita, espuma de poliestireno, resinas sintéticas (floramuli), arcilla calcinada, cortezas de pinos especialmente tratadas y

fragmentadas o bien el mismo suelo modificado, adicionado o mezclado con alguno de éstos u otros materiales.

El agua natural con nutrientes en solución, puede utilizarse como medio para el crecimiento de las plantas, aunque debe proporcionárseles a éstas, aireación y soporte mecánico para que puedan crecer convenientemente (Cooper 1975).

El proceso de crecer plantas en un sustrato conteniendo una solución nutritiva se llama hidroponía y es un sistema que ha sido estudiado y experimentado desde mediados del siglo XIX e impulsado considerablemente a partir de la 2a Guerra Mundial, para tratar de convertirlo en una práctica comercial viable. Actualmente es un sistema que con diversas modificaciones se utiliza frecuentemente para cultivos en Invernadero; la mayoría de las veces combinándolo con el uso de un sustrato inerte como soporte mecánico (Harris, 1978).

El suelo en determinado momento puede contener agua de las siguientes formas:

- agua gravitacional, que es la que se encuentra en los poros grandes, no capilares del suelo, y que atraída por la gravedad se pierde hacia las capas profundas. El agua gravitacional no es aprovechada por las plantas.
- agua capilar que se encuentra retenida por los espacios capilares del suelo y por ello no es arrastrada por la gravedad. El agua capilares la única que las plantas pueden aprovechar.
- agua higroscópica, que es retenida por absorción por las partículas del suelo y que no es aprovechable para las plantas.

La capacidad de retención de humedad de un suelo, varía según su tipo y es necesario valorarla para calcular y controlar la cantidad de agua de riego. Siendo el agua un elemento vital para cualquier cultivo al aire libre o en el invernadero, debe conocerse la calidad que tiene para controlar los iones que son muy tóxicos en grandes cantidades para las plantas, como son el cloro y el sodio. Si el agua utilizada para el riego contiene altas proporciones de sales, de éstos u otros elementos, no debe usarse sin extraérseles primero, pues causaría graves daños al cultivo; sin embargo, el costo del tratamiento puede resultar prohibitivo por lo que el cultivo resultaría de todas maneras incosteable. Si además del problema de alta salinidad en el agua se aúna el de escasez del vital elemento, se comprenderá la importancia que tiene el hallazgo y utilización de los medios más adecuados y económicos para aprovechar las fuentes de agua disponibles.

Esto podría incluir un método de desalación del agua, de bajo costo, que permitiera usar ésta para regar y desde luego buscar el sistema que permita una economía óptima del vital líquido (Hewitt 1952).

8.2.12 RIEGO

Los sistemas de riego varían según sea la forma en que se hace llegar el agua a las raíces de los cultivos.

1. Riego superficial. El agua se aplica directamente sobre la superficie del suelo, inundando los surcos y permitiendo su penetración.
2. Sub-irrigación. El agua se aplica directamente bajo la superficie del suelo, mediante tubería especial y llega por capilaridad hasta las raíces del cultivo.
3. Riego por aspersion. El agua se aplica a la superficie del suelo o a las hojas en forma de lluvia.
4. Riego por goteo. El agua solamente se aplica en puntos localizados del suelo que coinciden con los sitios donde la

planta se encuentra; este riego se hace mediante una tubería perforada colocada por encima, a nivel o por debajo del suelo. En el caso de que el cultivo consista en plantas arbustivas o arbóreas, el riego por goteo puede consistir, simplemente, en la colocación sobre el tronco de la planta, a no más de 1m de altura, de un recipiente con agua que tenga una pequeña perforación o un tubo de plástico que llegue hasta el suelo y que permita un lento goteo del líquido en la zona del suelo inmediata al tronco. Esto permite un ahorro considerable del agua, que puede optimizarse al máximo si se protege la zona humedecida del suelo con piedras planas a manera de una cubierta radial que impida la evaporación.

5. Riego por difusión. Es semejante al anterior, sólo que en este caso la tubería no está perforada, sino que tiene integradas cada 20 cm aproximadamente, piezas de un material poroso (generalmente barro) que permiten la difusión del agua a través de ellas, lográndose de esta manera una humidificación localizada del suelo. En este tipo de riego, también se logra una gran economía de agua.

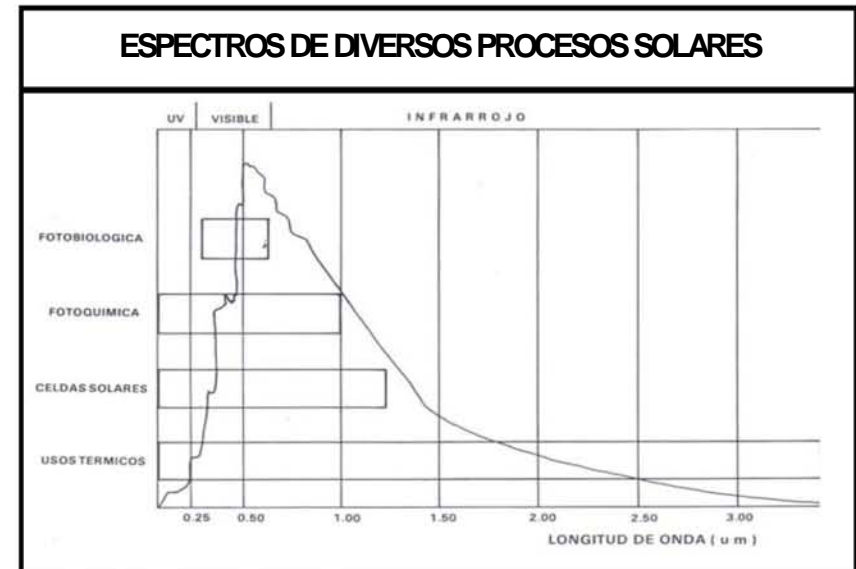
LÍMITES PERMISIBLES DEL TOTAL DE SALES DISUELTAS POR CIENTO DE SODIO Y CONCENTRACION DE BORO EN LAS AGUAS DE RIEGO			
Tipo de agua	Total de sales disueltas (ppm)	Sodio % del total de sales disueltas	Boro (ppm)
Excelente	< 175	< 20	< 0,33
Buena	175-525	20-40	0,33 - 0,67
Permisible	525-1400	40-60	0,67 - 1,00
Dudosa	1400-2100	60-80	1,00 - 1,25
Impropia	> 2100	> 80	> 1,25

Fuente Antonio Mantalla Gonzalez (*invernaderos*)

El uso apropiado del agua representa uno de los mayores problemas de la producción hortícola en invernaderos. Tanto la aplicación insuficiente de agua como el exceso de la misma, son perjudiciales para el crecimiento y productividad de los cultivos. La cantidad y frecuencia del riego debe estar relacionada con tres etapas del crecimiento de una planta:

1. Desde la siembra hasta el desarrollo de los primeros frutos.
2. Desde el desarrollo de los primeros frutos hasta el principio de la cosecha.
3. Desde el principio de la cosecha hasta que la planta es retirada.

Al parecer el agua, más que el nitrógeno, es responsable principalmente del tamaño de los frutos (Brooks 1977).



Fuente Serrano Cermeño (*construcción de invernaderos*)

8.3 REFRIGERACIÓN DEL INVERNADERO.

8.3.1 REDUCCION DEL CALOR SOLAR EN LOS INVERNADEROS.

Las diversas utilizaciones de la energía requieren distintas longitudes de onda. La aplicación fotoquímica utiliza el espectro 0-1 μm , mientras que la fotobiológica lo requiere entre 0.3 a 0.7 μm . La radiación solar de 0.73 μm en adelante, provee principalmente calor, ya que cae en la región infrarrojo del espectro, la que se trata de eliminar en los invernaderos de regiones con climas calientes para que no dañe a los cultivos.

Se ha propuesto que pueda establecerse una simple relación entre la cantidad de la luz solar necesaria para el crecimiento de las plantas y la latitud donde se construye el invernadero. A medida que la latitud decrece, la cantidad de radiación solar debe decrecer en forma parabólica ($y = X^2$, donde Y es la latitud en grados y X es el porcentaje de la luz del día). En Riyadh, Arabia Saudita que está a 25° de latitud norte, la cantidad de luz necesaria para la mayoría de las plantas es de aproximadamente 5% de la luz de día total ($25 = 5^2$) (Sayigh 1979).

8.3.2 EL USO DE UNA CUBIERTA TERMICA.

Las técnicas de manipulación y modificación del microclima aplicadas por los agricultores para proteger a sus cultivos de los rigores del tiempo, han venido evolucionando hasta nuestros días, buscando siempre formas más efectivas para el control del medio ambiente.

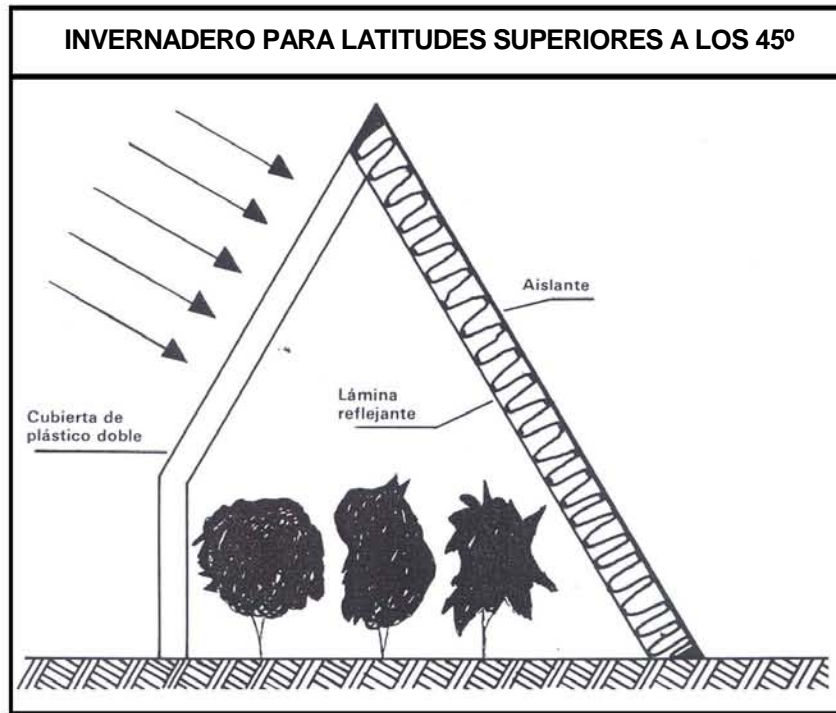
En algunas zonas áridas, la experiencia de los agricultores los lleva a proteger las plantas jóvenes y las hortalizas, tanto del calor severo del día, como del frío intenso de la noche. Entonces la mayoría de los cultivos estacionales, los árboles jóvenes y los cítricos se siembran entre árboles de palma.

Los almácigos se protegen también mediante una cubierta o cobertizo de hojas secas de palma. Durante el invierno, en algunas zonas del norte del Este Medio, los cultivos de legumbres se protegen del frío mediante paredes inclinadas de hojas de palma o tablones de madera en el lado norte de los surcos. La inclinación de estas paredes es generalmente de 30° (lo que está en función de la latitud del lugar), de manera que el sol ilumine suficientemente el cultivo durante el día para calentarlo y permitir que se efectúe normalmente el proceso fotosintético.

En los invernaderos los vidrios de color rojos y verdes se han usado para detener, en parte, la entrada de la luz. El plástico ha resultado mejor que el vidrio porque rechaza parcialmente el calor y el interior no se calienta tanto como sucede en algunos invernaderos de vidrio.

Una capa de agua circulando entre una doble capa de vidrio, detiene parte de la radiación infrarrojo, pero aún deja entrar mucho del calor y de la radiación que no es usada por las plantas. Una forma de aumentar la eficiencia de esta capa de agua, consiste en añadir a esta agua un poco de cloruro de cobre que absorbe fuertemente las radiaciones infrarrojas y deja pasar las ultravioletas y la luz visible. En climas calientes, la solución de cloruro de cobre calentada en el día, se puede utilizar para desalar agua o secar hojas o semillas de algún cultivo. Los invernaderos de este tipo se llaman "invernaderos selectivos".

El Instituto de Investigaciones Brace, en Canadá, ha diseñado algunos tipos especiales de estos invernaderos que son dignos de mencionarse. El primero de ellos tiene forma trapezoidal. El lado norte del invernadero es opaco, con una lámina extra reflejante con doble propósito: proveer insolación extra y detener parte de la luz que entra al invernadero. Este diseño es aplicable a latitudes mayores de 45° donde se necesita poco o nada de enfriamiento.

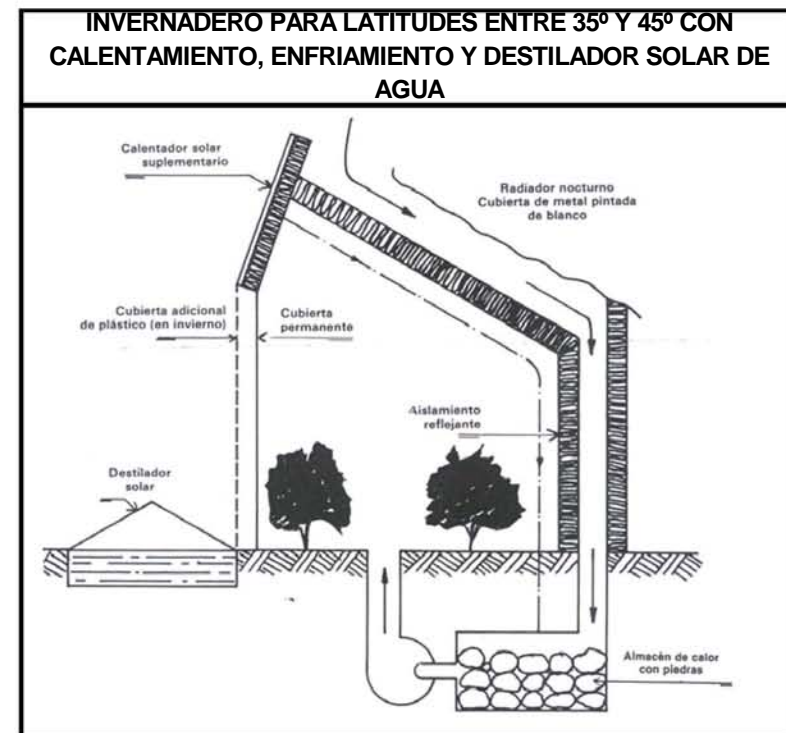


Fuente Serrano Cermeño (*construcción de invernaderos*)

Para las latitudes entre 45° y 35° se requiere tanto calentar como enfriar el invernadero. Para áreas tropicales o subtropicales donde el enfriamiento es lo más indispensable, se pueden usar placas blancas en el techo o láminas de aluminio, para reflejar el calor durante el día y como radiadores de calor en la noche. El enfriamiento por evaporación es aconsejable cuando se tiene disponible agua y un estanque suficientemente grande.

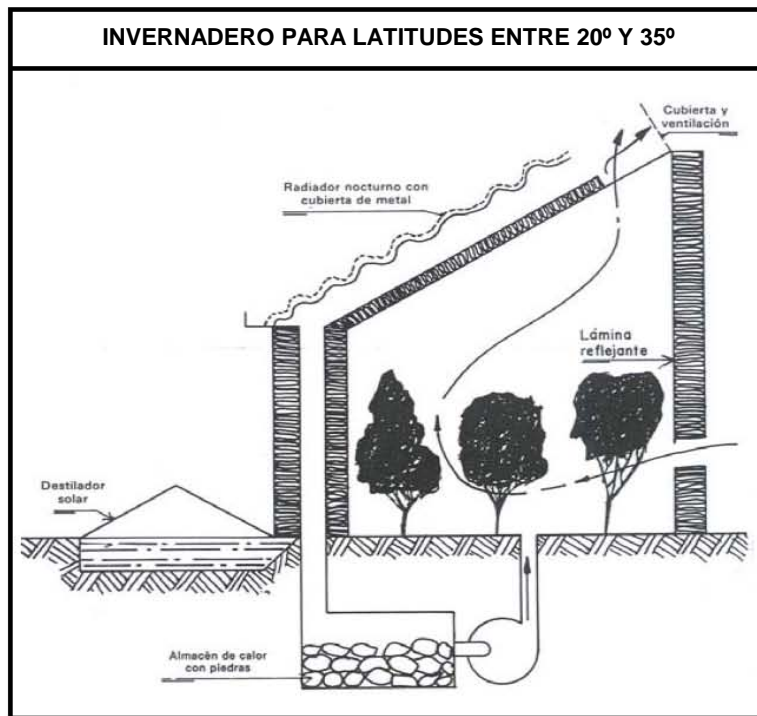
Un diseño poco usual, aplicable a latitudes menores de 35°, consiste en un techo parcialmente abierto; la parte sur está cerrada y la pared norte es reflejante. De esta forma entra sólo la cantidad necesaria de luz sin quemar las plantas.

Otro concepto en el diseño experimental de un invernadero consiste en el uso de concentradores solares dentro de él. La inclinación de los concentradores se ajusta de tal manera, que absorban toda la radiación solar excesiva que no necesitan las plantas. Este exceso de calor es absorbido por un fluido circulante que generalmente es agua. El calor puede utilizarse para destilación solar de agua, o bien se almacena para circularle en la noche durante épocas frías. Durante la noche, los colectores de calor se invierten y se orientan hacia el piso del invernadero para mantener la temperatura a un nivel adecuado. Se puede circular agua caliente a través de ellos en el invierno y agua fría en tiempo de calor.



Fuente Serrano Cermeño (*construcción de invernaderos*)

En los países con climas muy calientes, el exceso de calor quema a las hojas provocando un gasto excesivo de agua a las plantas y un shock por el enfriamiento drástico en las noches de invierno. Por esto debe usarse siempre alguna estructura tipo invernadero, sin la cual muchos cultivos no podrían realizarse; techos sombreados con hojas de palma o bambú, pintura en las paredes y techo de Invernadero y siembra de plantas entre las palmas de un oasis entre otras alternativas.



Fuente Serrano Cermeño (*construcción de invernaderos*)

Sayigh, en 1976 desarrolla otra técnica utilizando enfriamiento pasivo en los invernaderos de zonas áridas y semiáridas, donde las intensidades solares en el día son muy altas y si las nubes son escasas durante la noche, la

temperatura de un cuerpo negro (en este caso el invernadero) de cara al cielo puede caer de 10 a 15°C abajo de la temperatura ambiental. En un invernadero para zonas áridas operando con efecto enfriador nocturno. Los colectores están colocados en la parte alta orientados hacia el cielo negro y conectados en serie. Además están pintados con TiO_2 (dióxido de titanio) u óxido de aluminio (Al_2O_3) y cubiertos con polietileno. El agua fría captada durante la noche se almacena y circula dentro del invernadero hacia los radiadores en el día, mientras que los colectores cuyas entradas y salidas se cierran durante el día, se cubren totalmente.

Durante el invierno es posible operar los colectores durante el día y el agua reunida se circula en la noche hacia los radiadores. En este caso, los colectores se cubren durante la noche.

Como el máximo de requerimiento de la luz solar disponible de la mayoría de las plantas, es sólo del 15%, las paredes sur y norte pueden ser de ladrillo o material aislante, mientras que las paredes este y oeste pueden ser transparentes, hechas de una doble capa de vidrio o plástico.

Las ventilas deben colocarse de manera que favorezcan, por su posición, la circulación del aire y regulen la humedad interna. Los vidrios pueden tratarse con pintura especial que detenga parte de la luz ultravioleta y del espectro visible, para no dañar mucho a las plantas.

8.3.3 PELICULAS SELECTIVAS DE LA RADIACION.

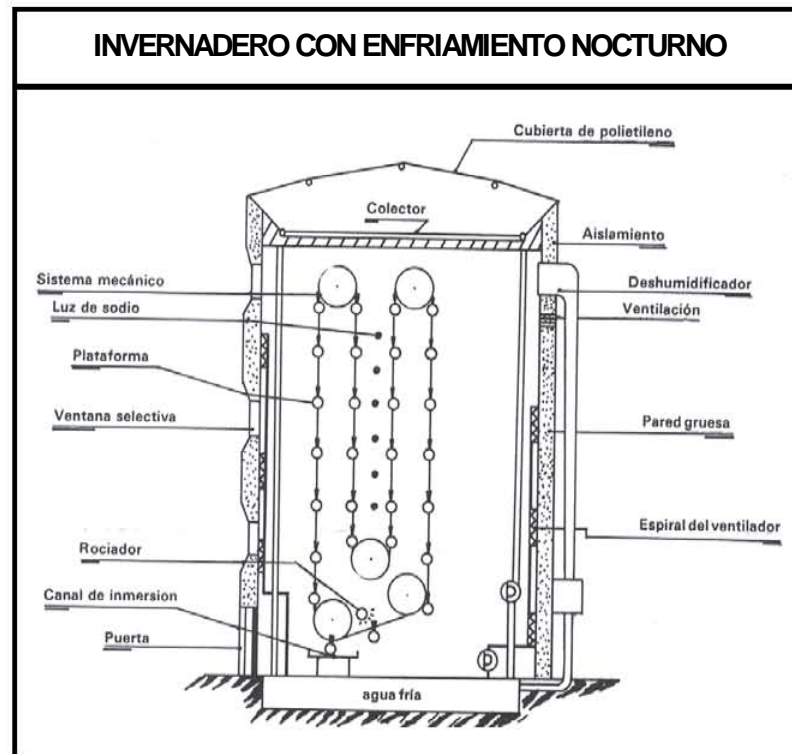
Las películas que se fabrican para seleccionar ciertas longitudes de onda de la radiación solar, es decir, como filtros ópticos especialmente para detener las radiaciones infrarrojas que producen más calor, no satisfacen 100% estos dos requisitos:

1. Detener las radiaciones infrarrojas.
2. Permitir el paso de la luz visible.

Sin embargo, se puede lograr una aproximación satisfactoria en el filtrado, utilizando una simple capa metálica sobre el vidrio, ya que los metales reflejan la radiación infrarroja debido a su alta conductividad eléctrica, o sea, debido a la presencia de electrones libres. Teóricamente el oro (Au), cobre (Cu), plata (Ag) o aluminio (Al) dan buenos resultados, aunque se pierdan algunas radiaciones visibles. Otros materiales como el ZnS (sulfuro de zinc), PbCl_2 (cloruro de plomo) y Bi_2O_3 (óxido de bismuto), aplicados sobre las películas metálicas minimizan las pérdidas por reflexión, pero no las de absorción.

Los compuestos más convenientes para ser usados como filtros, son: SnO_2 (óxido de estaño) y el In_2O_2 (óxido índico), que se preparan en la forma convencional para la mayoría de los óxidos.

Probablemente uno de los mejores sistemas para cultivo en invernadero es aquél que utiliza combinadamente la luz de sodio y el enfriamiento pasivo, para producir cosechas ininterrumpidas en un invernadero de clima totalmente controlado. El inconveniente de tal sistema es que el costo de una pequeña unidad piloto es aproximadamente de un millón de dólares, la cual produciría tomates a unos 60 centavos de dólar por kilo, durante todo el año.



Fuente Serrano Cermeño (construcción de invernaderos)

8.4 CALEFACCIÓN DEL INVERNADERO.

8.4.1 SISTEMAS DE CONSERVACION DE CALOR PARA INVERNADEROS DE VIDRIO, USANDO UNA CAPA DOBLE DE PLÁSTICO.

La mayoría de los invernaderos comerciales construidos en los Estados Unidos antes de 1960, fueron fabricados con recubrimiento de vidrio colocado sobre una estructura de madera y/o metal. En este tipo de invernaderos se producen ciertas fugas de aire, del interior al exterior, especialmente en los días airosos del invierno, debido a las grietas o separaciones entre el vidrio y la estructura, causadas por la intemperización. Se ha calculado que el calor perdido por esta razón varía dependiendo de la magnitud y velocidad del viento, pudiendo duplicarse esta pérdida de calor cuando la velocidad del viento rebasa los 24 km/H y cuando la temperatura se acerca a los 0°C . Para evitar estas pérdidas, se pueden emplear selladores plásticos que reducen al máximo las fugas de calor.

Después de 1960, la mayoría de los invernaderos en los

Estados Unidos se fabricaron de plástico. Algunos de ellos se recubrieron con una doble capa de este material (con aire entre los mismos). Los requerimientos de calor para este tipo de invernadero, con doble capa de plástico, han sido aproximadamente 40% menores que los de vidrio.

El Centro de Desarrollo e Investigación Agrícola del Estado de Ohio, ha realizado una serie de pruebas en invernaderos utilizando una doble capa de plástico, sobre el vidrio de un invernadero común, para valorar las pérdidas de calor con esta técnica en comparación a un invernadero sin este doble recubrimiento. Ambos invernaderos se mantuvieron a la misma temperatura, de manera que todas las pérdidas de calor fueran debidas a las superficies exteriores expuestas.

Aproximadamente el 80% de la calefacción, usada en ambos invernaderos, fue nocturna; durante el día, los invernaderos usaron energía solar para compensar la carga calorífica.

El invernadero con doble capa de plástico, utilizó 85% menos calefacción diurna que el de vidrio solo. Durante las noches, usó 52% menos. El resultado combinado dio un promedio de 57% de ahorro, tanto en otoño como en invierno.

El invernadero con plástico difundió más homogéneamente la luz interior, pero la redujo aproximadamente un 18%.

El promedio invernal diurno de humedad relativa en el invernadero de plástico, fue casi 12% mayor que el de vidrio, lo que benefició la polinización. No se notó un incremento en la incidencia de enfermedades en ambos casos.

Un objetivo crucial en este estudio, fue la observación de la respuesta de las plantas en ambos invernaderos. Los datos de productividad revelaron que en el invernadero de plástico, el tamaño de los frutos se redujo ligeramente y la distancia entre

los racimos de frutos aumentó. Ambas manifestaciones dieron como resultado una pequeña pérdida en la productividad total.

La ligera reducción de luz en el invernadero con la doble capa de plástico, fue suficiente para que en el periodo invernal, en el que precisamente la luz es ya muy pobre, se redujera la productividad de un cultivo como el del jitomate. Sin embargo, esta pérdida se ve más que compensada con el ahorro de energía del invernadero con plástico, mucho mejor aislado por este material, que el de vidrio solo.

Estas pruebas comparativas realizadas en Ohio, podrían ser de gran utilidad para justificar el uso de plásticos de bajo costo, como recubrimientos de invernaderos en pequeña o gran escala en México, ya que la baja inversión que se requiere para construirlos (refiriéndonos al tipo de plástico), sumada al uso de materiales muy económicos para la estructura (como madera de origen diverso, carrizo, bambú, hojas de palma, varilla, desperdicios de construcción y otros similares), se verían plenamente compensados con el aumento consecuente de la productividad agrícola (Short y Baverle, 1977).

8.4.2 OPTIMA UTILIZACION DE LA ENERGIA SOLAR EN EL USO DE INVERNADEROS

México es un país privilegiado por la enorme y, continua radiación solar que recibe. A pesar del mosaico climático que caracteriza a nuestro país y que está determinado, entre otros factores, por la accidentada topografía, la construcción de invernaderos es una muy buena alternativa, casi en cualquier región en donde exista una fuente mínima disponible de agua.

Esto se debe a que los límites latitudinales de México, permiten una insolación adecuada durante todo el año, excepto en sitios con alto porcentaje de nubosidad anual.

Dado que los invernaderos son el punto de partida de otras utilidades de la energía solar, como son: los destiladores de agua, los colectores planos, la arquitectura solar, el calentamiento de aire para secado de materiales vegetales (granos, hojas, madera, raíces, bulbos), es indispensable subrayar que las acciones que se emprendan para fomentar su construcción y su uso, traerán como consecuencia el desarrollo de estas otras utilidades que multiplicarán los beneficios del aprovechamiento integral de la energía solar.

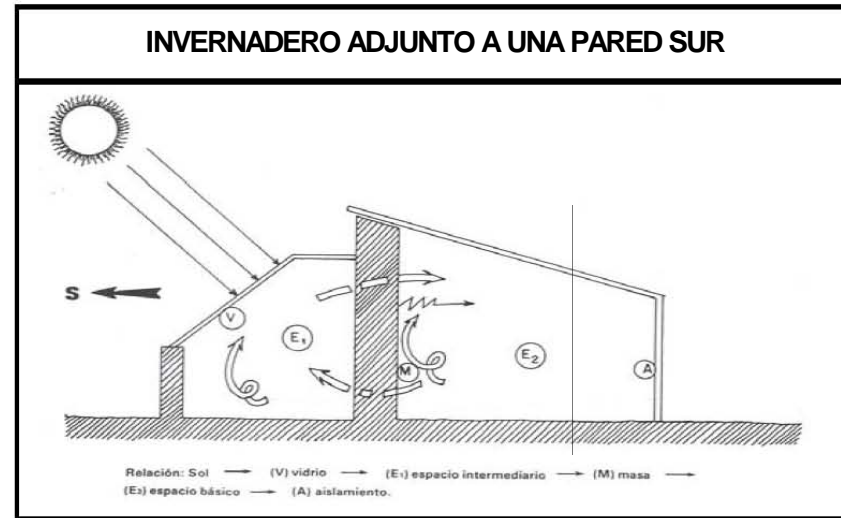
Extensas zonas litorales de la República Mexicana, donde la disponibilidad de agua dulce es muy escasa, podrían desalar el agua de mar por medio de destiladores solares y utilizarla para fines diversos entre los que se incluya el riego de invernaderos, como se ha mencionado con anterioridad.

Paralelamente a la construcción de un invernadero pueden realizarse, mediante la correcta aplicación de los principios de arquitectura solar, sistemas de calefacción para vivienda, cuartos secadores de hojas, hornos solares para secar madera, granos y otros comestibles, establos, porquerizas y criaderos para diversos animales.

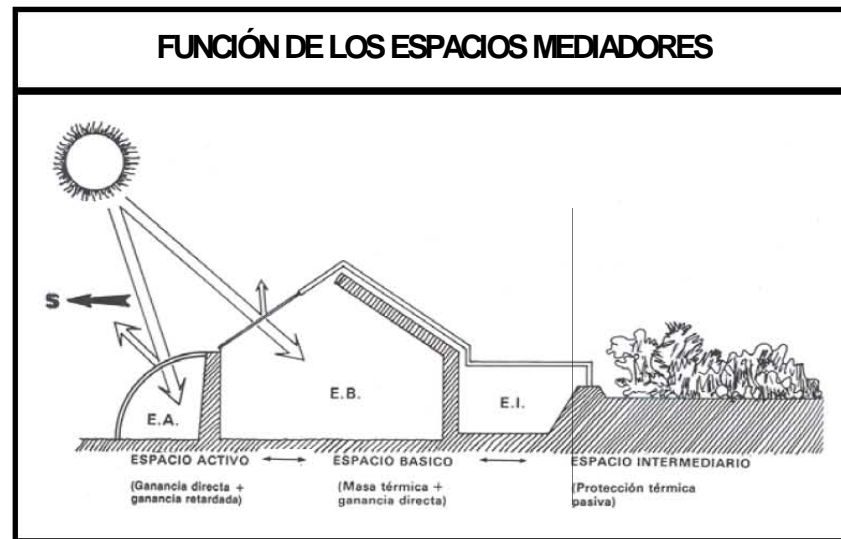
El calentamiento derivado de la energía solar también puede utilizarse, ya sea directamente o a través de precalentamiento de aire, para acelerar el proceso de digestión de la biomasa para la producción de biogás, en los tanques digestores.

El uso combinado de todas estas alternativas habla concretamente de la integración de las propiedades fotosintéticas y térmicas de la radiación solar. Las finalidades de ello en el renglón agrícola y básicamente alimenticio, serían la conversión de la energía solar en abundantes materiales de alto valor nutritivo, por medio de la fotosíntesis de diversas plantas útiles y desde el punto de vista de las otras alternativas, la

conversión de energía solar, en electricidad y calor utilizable para muy diversos fines.



Fuente Serrano Cermeño (*construcción de invernaderos*)

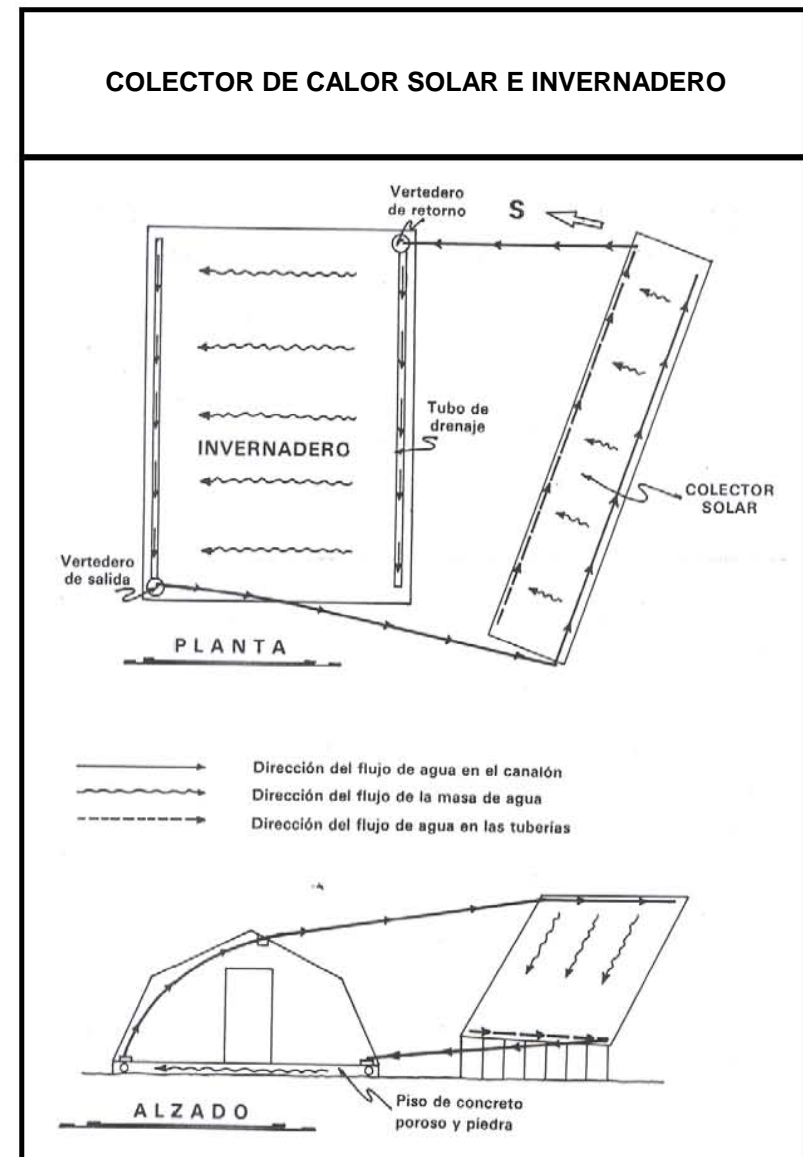


Fuente Serrano Cermeño (*construcción de invernaderos*)

8.4.3 SISTEMA RUTGERS PARA CALENTAR INVERNADEROS POR MEDIO DE ENERGÍA SOLAR

Este sistema de calentamiento con ayuda de la energía solar, consiste en 4 elementos principales.

1. Un sistema de cortinas móviles aislantes de polietileno oscuro, que actúan como intercambiadores de calor y que reducen las pérdidas de éste. Este sistema refuerza la captura de calor, que realiza la doble capa de polietileno de la cubierta del invernadero.
2. El siguiente elemento realiza un doble papel de almacenamiento e intercambio de calor. Se trata del piso del invernadero, formado por 4 capas: la del fondo de polietileno aislante; la siguiente, un estanque forrado de vinil; la tercera, un relleno de grava que se inunda con agua y la de encima, una tapa de concreto poroso que constituye un piso firme, una superficie de intercambio de calor que permita que drene el exceso de agua de riego.
3. Para proporcionar transferencia adicional de calor, entre el agua tibia almacenada y el invernadero, se construyeron cortinas verticales de intercambio de calor. Una manguera de riego por goteo se amarró a un soporte horizontal y un plástico se colgó sobre el soporte. Este soporte está unido al sistema de cortinas aislantes, de manera que la cortina vertical puede bajarse al suelo cuando no se usa. El agua tibia se bombea del almacén a la manguera de goteo, fluye entre las dos capas de plástico liberando el calor al invernadero regresando al almacén, a través del concreto poroso.
4. El cuarto elemento es el colector solar independiente del invernadero, que consiste básicamente de un almacén cubierto con cinco capas de plástico.



Fuente Serrano Cermeño (*construcción de invernaderos*)

La capa media de color negra para absorber calor y las otras cuatro son de polietileno transparente. Los espacios entre las dos capas del fondo y las dos de la superficie, están infladas de manera que la capa negra se encuentra presionada entre las dos secciones.

El colector se orienta hacia el sur y el agua se introduce en la parte alta. El agua es calentada por el sol a medida que fluye por la capa negra, es captada por un canal que la lleva al piso y por gravedad regresa al tanque de almacenamiento del piso del invernadero.

Un calentador de petróleo se usa para proporcionar calor suplementario al invernadero, cuando el frío exterior es muy fuerte. La contribución energética del colector solar al sistema, representa el 48% de la energía total utilizada. La del combustible, el 52 por ciento. La eficiencia del colector, en todo momento, depende del aislante y de las temperaturas relativas del agua y del exterior. Los límites de eficiencia en días claros son entre 40 y 60%, con el máximo de eficiencia en los días calurosos. En los días fríos, varía alrededor de 35%.

Este tipo de invernadero ha sido diseñado para climas extremos y su principal finalidad es buscar el ahorro máximo posible de combustibles derivados del petróleo y, desde luego, el óptimo aprovechamiento de la energía solar.

8.4.4 DISEÑO DAMAGNES PARA UN INVERNADERO SOLAR

Este diseño está basado en la formulación de un balance de energía adecuado dentro de un invernadero en relación al balance de energía al aire libre (Chiapale y Damagnes. 1976).

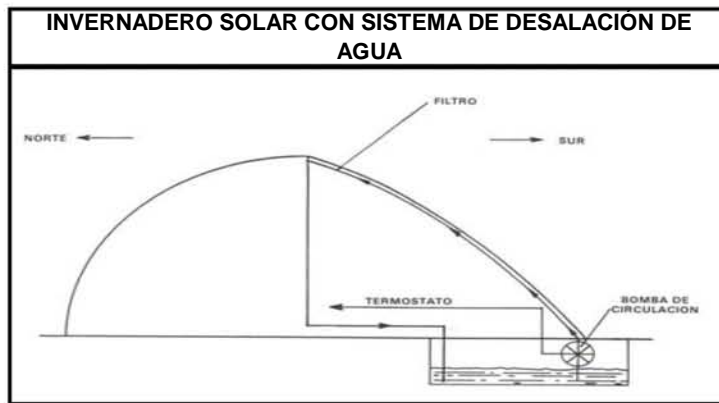
Las modificaciones al balance interno son posibles, siempre y cuando se elijan correctamente las propiedades ópticas y térmicas de la cubierta y los sistemas de

calentamiento, enfriamiento y ventilación. Esto nos permitirá optimizar los factores más importantes para la producción de los cultivos, que son:

1. La cantidad de radiación fotosintética aprovechable.
2. La temperatura de las hojas.
3. La concentración de bióxido de carbono.
4. La humedad relativa del aire.

El diseño del invernadero solar consiste, principalmente, en una doble capa de techo rígido de plástico, con un fluido intermedio que circula desde un tanque. Este fluido constituido por agua y una solución de cloruro de cobre al 1 ó 2% actúa como transportador de calor, es transparente a las longitudes de onda visibles, y absorbe fuertemente las infrarrojas.

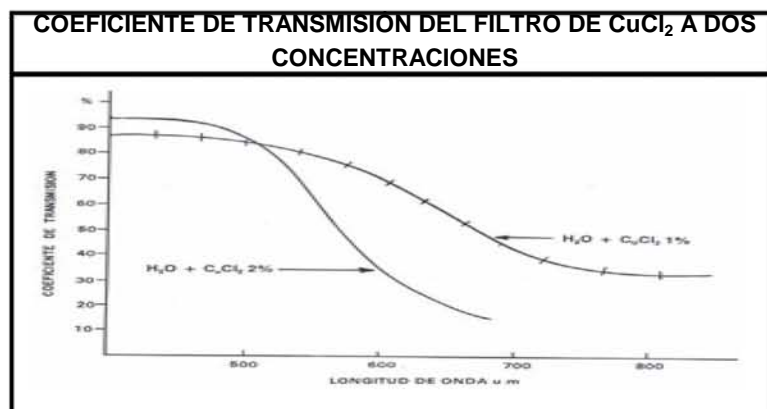
Durante el día el sistema actúa como colector solar. El calor radiante del sol, absorbido por esta cubierta, es transportado hacia un tanque por circulación (un estanque situado dentro del invernadero) y ahí se acumula. Durante la noche, el calor ahí acumulado se libera de la misma forma por circulación del tanque hacia el techo. Se cree que es posible, durante el día y la noche, controlar la temperatura óptima de las hojas que requieren cierto cultivo, teniendo una regulación simple de temperatura del techo y proporcionando una cantidad suficiente de calor en el tanque almacén. Usando un sistema de este tipo, las necesidades de enfriamiento y ventilación se reducen considerablemente durante el día; la temperatura máxima de las hojas durante el día se reduce y durante la noche se incrementa la cantidad de evaporación dentro del invernadero es también reducida en proporción al calor radiante absorbido por el techo (en algunas zonas áridas este proceso puede conservar la escasa y costosa agua producida por desolación del agua de mar).



Fuente Serrano Cermeño (construcción de invernaderos)

PROPIEDADES OPTICAS DE LA CUBIERTA.

A medida que la solución de cloruro de cobre se concentra, la respuesta física del invernadero será mejor en lo que respecta al presupuesto de calor, reducción de las necesidades de ventilación y mejoras en el almacenamiento de calor. Sin embargo, dentro de los límites de longitud de onda larga, existen ciertas necesidades biológicas por parte de las plantas.



Fuente Serrano Cermeño (construcción de invernaderos)

En particular, hay algunas necesidades específicas en el "rojo lejano" para controlar el desarrollo vegetal a través de los fitocromos; pero se sabe también que esta particular necesidad puede satisfacerse con pequeñas cantidades de energía.

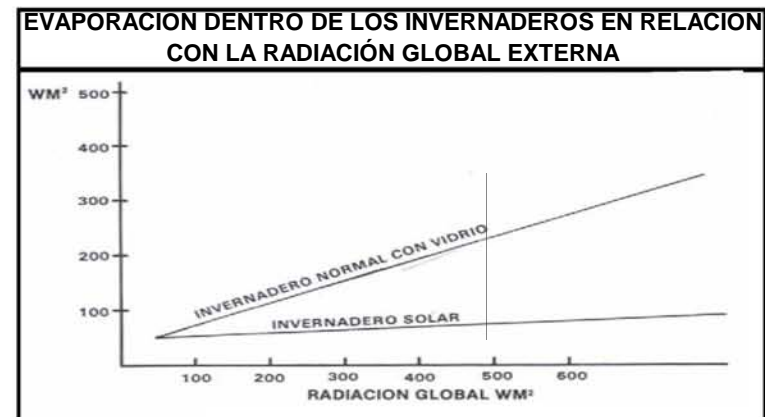
El mejor ajuste entre las necesidades físicas y biológicas, se obtuvo con una concentración al 1 % de $CuCl_2$ (cloruro de cobre).

CONSUMO DE AGUA POR LOS CULTIVOS.

En general, la evaporación de los cultivos está estrechamente relacionada a la radiación solar incidente disponible.

EVAPORACION.

Se puede apreciar una reducción de la evaporación de más del 50%, bajo condiciones de alta radiación solar. Esta importante reducción es, probablemente, uno de los resultados más significativos del proyecto de invernadero solar debido a:



Fuente Serrano Cermeño (construcción de invernaderos)

1. Que la reducción de la evaporación potencial significa que a través de este proceso, se puede reducir la cantidad de agua de riego aplicada, de manera significativa.

Este proceso resultara muy útil, asociado con la desalación de agua de mar en zonas costeras y áridas, para reducir la cantidad de agua de riego destinada a los cultivos.

2. Que la reducción de la evapotranspiración potencial a nivel de cultivo, tiene probablemente un efecto secundario benéfico sobre la respuesta de crecimiento del mismo, ya que mantiene un alto potencial de agua en las hojas (Damagnes 1976).

8.4.5 INVERNADERO CON DESALACION SOLAR

Un invernadero con destilación solar, autónomo y apto para la agricultura contando sólo con agua de mar o salobre, ha sido estudiado y patentado por el Centro de Estudios Nucleares de Grenoble, en Francia. Los objetivos del estudio son los siguientes:

1. Los sistemas de desalación solar, siendo económicamente difíciles de justificar debido a su bajo rendimiento comparado con la inversión, pueden desarrollarse, asociados a otras instalaciones.

2. Los invernaderos para cultivos son grandes consumidores de agua dulce, pero al mismo tiempo son un ejemplo en donde la inversión se amortiza fácilmente. Aumentando un poco ésta, es posible asegurar una autoproducción del agua dulce para su consumo, si se le asocia un sistema de desalación solar.

Los estudios efectuados en el Centro de Estudios Nucleares de Grenoble, en Francia, durante el año 1978 verificaron la exactitud de la hipótesis acerca del cálculo térmico. La producción de agua dulce, aun en las condiciones desfavorables del clima de Grenoble, fue excelente. Estos

estudios han demostrado, entre otras cosas, que el sistema efectúa una verdadera climatización del invernadero: enfriamiento diurno y calentamiento nocturno.

Esta climatización es también muy interesante en las regiones donde el rango de variación diaria de la temperatura, sólo permite los cultivos con calefacción y aire acondicionado (temperaturas mínimas nocturnas muy bajas y máximas diurnas muy altas).

La economía de este sistema de climatización facilita también la amortización del sistema de destilación. Además, la climatización que se obtiene es válida aun para las zonas de humedad relativa muy alta, donde los sistemas existentes y actualmente económicos resultan ineficaces (Bailigand et al, 1979).

a. PRINCIPIO DEL INVERNADERO CON DESALACION

El concepto básico de retención de calor consiste en dejar llegar a los cultivos sólo la parte del espectro solar que es utilizada para la fotosíntesis, es decir, la radiación solar cuya longitud de onda es inferior a 700 nm; el resto, alrededor del 55% de la energía total del espectro, se absorbe por un filtro y se transforma en calor.

Este calor es recuperado por el agua destilada, la que se hace escurrir en forma de capa delgada sobre los filtros, para después almacenarla caliente por estratificación en la parte superior del depósito de alimentación y extraerla por la parte inferior.

La climatización diurna del invernadero se logra almacenando en el depósito el excedente de calor diurno; la interfase agua caliente/agua fría, se desplaza en el curso del día, desde arriba hacia el fondo del depósito.

El calor así almacenado asegura la climatización nocturna al restituirlo al invernadero, chorreando siempre el agua destilada sobre los filtros (el agua es, pues, removida de la parte superior del depósito y restituida a la parte inferior). Esta agua que se encuentra a una temperatura superior a la del ambiente, se evapora parcialmente y se condensa sobre la pared externa del invernadero refrigerado por las pérdidas térmicas nocturnas. Los condensados se recuperan después de escurrir sobre dicha pared externa, mediante dos canales del desagüe colocados a nivel del terreno y dirigidos hacia un tanque.

El recinto de la destilación entre los filtros y la cubierta exterior donde la humedad relativa es siempre cercana a 100%, se aísla de manera prácticamente hermética del lugar del cultivo bajo los filtros, lo que permite controlar totalmente la humedad de este último.

La cubierta exterior está constituida por un invernadero “túnel” de arcos tubulares, con orientación este-oeste y de perfil asimétrico, con el fin de reducir la zona donde los condensados no puedan recuperarse fácilmente por deslizamiento. Este invernadero está cubierto con polietileno, con el propósito de conservar al máximo la eliminación térmica

La estructura metálica ligera del invernadero tiene dos funciones: formar los canales de desagüe y sostener los cristales filtrantes. Los cristales se utilizan sin pulir, con objeto de reducir su costo, ya que una investigación demostró que el estado de su superficie no tiene, prácticamente, influencia en la transmisión de la luz.

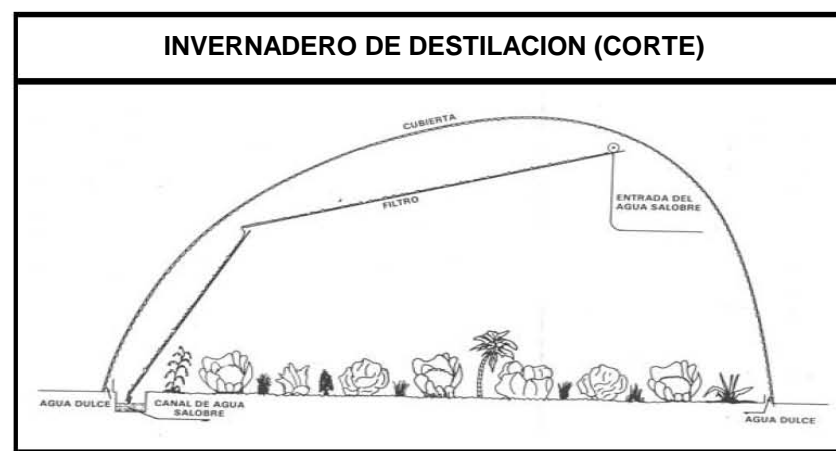
En el invernadero prototipo de 150 m² construido en el Centro de Estudios Nucleares de Grenoble, en Francia, la producción diaria promedio de agua dulce, durante el verano y otoño de 1978, fue mayor de 2 l/m²/día, llegando hasta 3.5 l/m²/día, los días más favorables.

Durante los días más cálidos del verano, sin la menor ventilación y sin ningún sistema de enfriamiento, la temperatura interior no sobrepasó de 43°C y se pudo bajarla fácilmente mediante una simple aireación. Un invernadero igual, sin filtro y en las mismas condiciones, sobrepasó los 60°C.

Al final del otoño, sin calefacción la temperatura interior mínima se mantuvo alrededor de 7°C por encima de la temperatura exterior (invernadero de polietileno).

El invernadero amortiguó notablemente los cambios térmicos y la temperatura interior evolucionó lentamente después de enfriamientos o calentamientos rápidos de la atmósfera. Por el contrario, la producción de agua dulce resultó sensiblemente alterada por los cambios: un enfriamiento rápido de la atmósfera condujo a una mejor producción y un alza de temperatura de la misma, bajó la producción; la magnitud de las desviaciones de la producción pueden calcularse en 75% de la producción promedio.

El invernadero prototipo funcionó satisfactoriamente de acuerdo al proyecto térmico y, paralelamente, se desarrolló una versión comercial que aunque rústica, resultó económica.



Fuente Serrano Cermeño (construcción de invernaderos)

8.5 ELECCIÓN DE LOS MATERIALES DE COBERTURA PARA EL INVERNADERO.

Un invernadero es un intercambiador excepcional de calor, en el cual todas las formas de transferencia térmica tienen lugar: 1) por conducción, 2) por convección y 3) por medio de radiaciones visibles y radiaciones infrarrojas cercanas y lejanas. 1 a conducción es el proceso mediante el cual, la energía calórica es transferida a través de las moléculas de un material o cuerpo, o entre dos que están en contacto físico, por interacción molecular directa. La dirección del flujo de calor es siempre del cuerpo caliente al frío. La velocidad del flujo de calor o conductibilidad térmica de un cuerpo, depende de la capacidad de sus moléculas de recibir y enviar el calor. Por ejemplo, el hierro tiene mucha mayor conductibilidad térmica que la madera, ya que sus moléculas absorben y transmiten a gran velocidad el calor en comparación con las de esta última. A mayor conductibilidad térmica de un cuerpo, más frío se siente éste cuando uno lo toca. Esto define exactamente la diferencia entre hierro y madera.

La convección es la transferencia de calor, desde la superficie de un cuerpo o de un fluido, hacia las moléculas de otro fluido adyacente o viceversa. En la convección, el calor fluye también del cuerpo caliente al frío. A mayor diferencia de calor entre los dos cuerpos, mayor será la transferencia de calor. La radiación de energía térmica, es un proceso continuo que todos los cuerpos o materiales efectúan, es decir, constantemente están radiando calor en todas direcciones. Esto se debe al movimiento de vibración continua de las moléculas de su superficie (medido como temperatura).

La cantidad de energía térmica que un material radia, depende de la temperatura de la superficie radiante. Además, el flujo de la radiación térmica de una superficie depende, no solo de la temperatura de la misma, sino también de su capacidad emisiva. En general, la mayoría de los materiales son buenos

emisores de la radiación térmica, esto es que la radian fácilmente. Sin embargo no todos los materiales la absorben, algunos la reflejan y/o la transmiten.

La capacidad de una superficie de reflejar la radiación térmica depende más de su densidad y su composición que de su color. El color es un buen indicador de la capacidad que tiene una superficie de reflejar la radiación solar, y un mal indicador de la capacidad de reflejar la radiación térmica. La mayoría de los materiales de construcción, sin considerar su color, actúan como un "cuerpo negro" absorbiendo la mayor parte de la radiación térmica que interceptan. Un "cuerpo negro" es un material ideal que es capaz de absorber y emitir perfectamente la radiación.

Sólo las superficies pulidas o brillantes, como una lámina de aluminio, reflejan en general grandes cantidades de la radiación térmica que interceptan, aunque son pobres emisoras de la misma. Esto último quiere decir que aunque radian muy poco calor a una temperatura dada, son capaces de reflejar mucho del calor que reciben de alguna fuente como el sol.

Los materiales que transmiten la radiación solar visible no necesariamente transmiten la radiación térmica. El vidrio, que permite el paso a través de su superficie de prácticamente toda la radiación solar visible, absorbe en cambio la mayor parte de la radiación térmica que intercepta. Esta propiedad del vidrio es altamente deseable para utilizarla en el almacenamiento de energía solar.

Para que haya intercambio de calor entre un invernadero y el exterior que lo rodea, debe haber una diferencia de temperatura entre ambos. La dirección del intercambio puede variar, de manera que siendo una ganancia durante el día, se convierta en pérdida durante la noche. Puesto que la estructura de un invernadero, las plantas y la atmósfera interna, representan una inercia térmica pequeña, el sistema

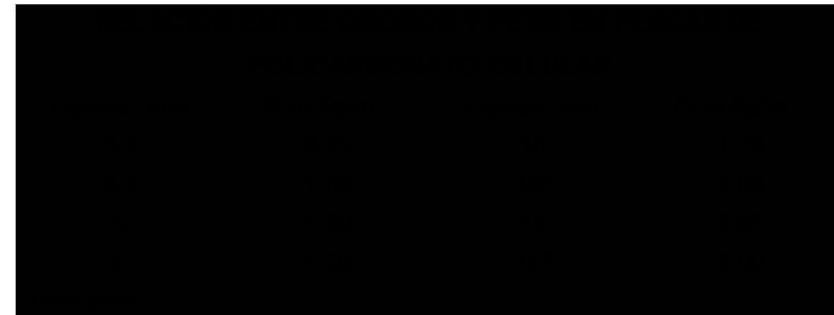
globalmente hablando, parece estar constantemente en un estado de balance térmico. Cualquier modificación en uno de los elementos del sistema tiene una influencia sobre todos los otros elementos y modifica el balance.

El piso del invernadero, que también tiene cierta inercia térmica, funciona como rueda del balance; provoca un vacío de algunas horas, entre el periodo diurno que acumula calor y el nocturno, en el cual el calor es devuelto al exterior, es decir, que durante ese periodo permanece estático sin ganar ni perder calor.

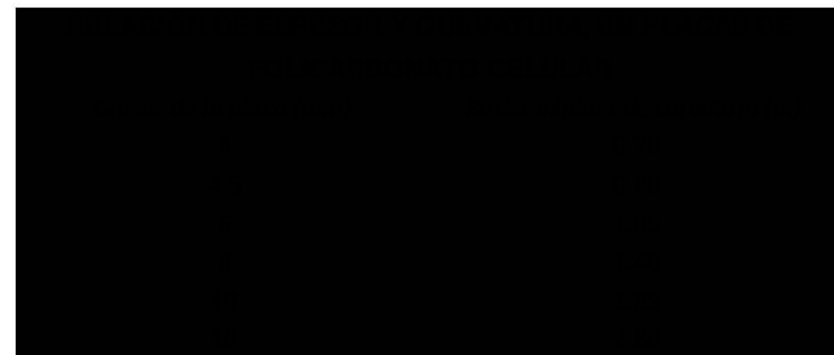
El efecto de invernadero es una consecuencia de las propiedades ópticas de ciertas cubiertas transparentes, especialmente de las de vidrio, que permiten el paso de la mayor parte de las longitudes de onda de la luz y de los rayos infrarrojos cercanos, es decir, de la mayoría de la radiación solar; en cambio, el vidrio no permite el paso de los rayos infrarrojos lejanos, sino que los absorbe como si fuera un objeto negro ideal. Durante el día, la radiación absorbida por el suelo y las plantas dentro del invernadero es transformada en calor y el resto es reflejada. Dependiendo de la temperatura, tanto el suelo, como las plantas y la atmósfera interna radian este calor y el vidrio impide parcialmente su pérdida hacia el exterior, lo que determina el almacenamiento de calor adicional (Mazria, 1979). Este principio es la base de la mayoría del calentamiento obtenido a partir de la energía solar.

8.5.1 POLICARBONATO.

El policarbonato es un polímero termoplástico. La presentación de este material es en planchas alveolares, que consta de dos o tres paredes paralelas unidas transversalmente por paredes del mismo material; también se fabrica en forma de placa compacta, con distintos perfiles: plano, ondulado y trapezoidal. El grosor de estas placas, que se puede encontrar en el mercado, es de 4 a 32 milímetros.



Un inconveniente de este material es que se ve afectado por la absorción de las radiaciones ultravioletas, produciendo cambios de color, que van pasando del amarillo primitivo al color marrón, pasando por otras tonalidades. Por esta razón, en la utilización de este material como cubierta de invernadero debe utilizarse la placa que se fabrica con una protección por la parte que se expone al exterior; esta película protege los rayos ultravioleta al resto del material evitando su degradación. También se fabrica sin esta protección a las radiaciones ultravioletas, pero no es conveniente utilizarla en la cubierta de invernaderos.



La intemperie (viento, arena, polvo, lluvia, granizo, etc.) van deteriorando el plástico junto a las radiaciones y la propia oxidación, dando lugar a una gran pérdida de transparencia y a una reducción del poder de difusión de la luz.

Propiedades

La transformación a la luz de la gama de radiaciones visibles y de infrarrojos cortos es del 76 a 83 por 100, según el grosor de la placa y paredes (2 ó 3), en las placas que no llevan protector a la radiación UV.

En los productos que llevan la protección en la parte exterior, para no dejar pasar las radiaciones ultravioletas, éstas no pasan al interior; esta propiedad que presenta una ventaja para los cultivos que se hacen en invernadero, resulta inconveniente cuando el invernadero se dedica a la producción de plantas hortícolas (semillero), que luego van a plantarse al aire libre, por efecto del choque que se produce, al recibir la luz directa del sol con todas las radiaciones UV.

El policarbonato celular tiene una opacidad total a las radiaciones de longitud de onda larga. Las múltiples paredes de que consta la placa, forman una cámara de aire dentro de los canales internos que hacen aumentar el poder aislante en un porcentaje muy elevado, respecto al mismo material en placa sencilla.

Es un material muy ligero, comparado con el grosor de la placa; aproximadamente es 10-12 veces menos que el vidrio, a igualdad de espesor.

El policarbonato celular tiene una gran resistencia al impacto (granizo, piedras, etc.).

Estas placas pueden adaptarse en frío a estructuras con perfiles curvos de radio suave.

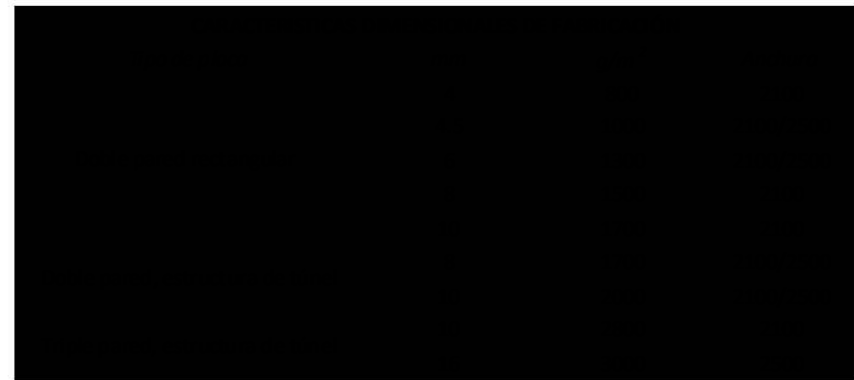
En los fabricados actuales en la pared, que queda en el interior, puede llevar un tratamiento anticondensación y antigoteo, que permiten el deslizamiento de las gotas de agua, sin que lluevan sobre el cultivo.

Datos de interés

La duración de las placas de policarbonato celular está garantizada por los fabricantes en 10 años contra el amarilleo y la pérdida de transmisión de luz.

Se raya con objetos punzantes.

Para la limpieza de las placas de policarbonato nunca se empleará abrasivos o productos altamente alcalinos. Se lava con agua a presión y si se emplean aditivos para esta limpieza habrá que solicitar información del fabricante. Para evitar la pérdida de la superficie protegida contra UV no debe emplearse Butilo, Cellosolve, ni Isopropanol.



8.6 DISEÑO DE LA ENVOLVENTE (INVERNADERO).

El principal objetivo al proyectar un edificio, desde el punto de vista térmico, consiste en lograr un ambiente interior cuyas condiciones se encuentren muy próximas a las de confort. Es decir que, en términos arquitectónicos, la planificación y el sistema constructivo de un edificio deben utilizar al máximo las posibilidades naturales para mejorar las condiciones interiores, sin recurrir a la utilización de aparatos mecánicos.

La insolación esta fundamentalmente influenciada por la localización, forma y selección de materiales y métodos constructivos desde el principio de la historia de la arquitectura, aunado a otras características climatológicas determinan la evolución de los tipos de casas y estilos regionales de construcción.

Un ejemplo de la antigüedad se aprecia en la casa de Sócrates Megaron (470-399 A.C.) en donde se ejemplifican los principios de la arquitectura solar, y estos son:

- Disminución de superficie expuesta (rayos ultravioletas e infrarrojos)
- Aperturas hacia el movimiento solar
- Zonificación solar (habitaciones frías al norte y calientes al sur)
- Sombreado selectivo (protecciones acorde con la altitud solar en verano)
- Utilización de masas de almacenaje térmico para la compensación de temperaturas.

En el siglo XIX, nuevas oportunidades para la arquitectura solar aparecieron con la evolución de los eficientes costos de los procesos de producción, para grandes áreas acristaladas, las recientes casas acristaladas crearon mundos exóticos artificiales, haciendo posible el efecto de invernadero

del vidrio, el cual fue usado para transformar la radiación ultravioleta en radiación térmica infrarroja y capturarla detrás del vidrio.

En los principios del siglo XX, la transparencia, luz, aire y sol se convirtieron en el credo del modernismo. Los artistas y arquitectos de Glaserne Kette propagaron las estructuras cristalinas como modelos ideales y diseñaron ambientes que fueron una alternativa para la oscuridad y antihigiénicas ciudades que fueron causadas por la revolución industrial, sin embargo esas ideas fueron realizadas solo hasta la época mas reciente, mediante las fachadas acristaladas, las que presentaron considerables problemas estructurales al principio de los 1930s, justo en medio de la crisis mundial solo hasta 1970s fueron reconsideradas las ideas ecológicas a través del concurso “Das Wachsende Haus” en Berlín donde los conceptos de durabilidad y autonomía eran exigidos para el diseño solar pasivo como energía de suplemento.

La crisis energética de 1973 demostró nuestra dependencia sobre combustibles fósiles y que son fuentes que se agotan, la precaución de nuestro crecimiento global, son las bases sobre las que se sustenta el desarrollo ecológico, manifestándose y retornando a las formas tradicionales de construcción, el uso de materiales naturales y de energías renovables.

Acorde con lo anterior para diseñar y construir arquitectónicamente se deben valorar los siguientes puntos:

- Localización: naturalmente las zonas climáticas globales tienen un gran impacto en las temperaturas por estaciones y la duración del día, humedad, insolación, velocidad y dirección del viento.
- Microclima: determinado por la topografía, regiones verdes, cuerpos de agua, etc.
- Protección del viento

- Forma
- Biónica
- Incidencia de ondas
- Enterrar
- Orientación e insolación
- Sombreado
- Zonificación
- Piel del edificio
- Aperturas
- Zonas acristaladas de amortiguamiento
- Transparencia de materiales
- Conductividad térmica: Masividad de materiales y Retención de calor latente
- Arquitectura solar vivaz: piso radiante, enfriamiento adiabático, enfriamiento nocturno libre, elementos direccionales de luz, vidrios intercambiables, películas cambiantes y los paneles de aislamiento vacío.



*Panel termolight
Francisco Vidal Mendoza*

Así tenemos los siguientes elementos constructivos:

- Estructura de panel termo-light de forma catenaroides con un espesor de 30 cm auto-soportante seccionada y unida por termoespuma y un sistema de machiembrado.
- Como envolvente en techos tenemos policarbonato de 4 paredes de 25 mm.
- Como envolvente en muros (sur, este y oeste) tenemos policarbonato de 3 paredes de 20 mm
- Como envolvente en muros (sur, este y oeste) del suelo hasta una altura de 1.22 m tenemos un panel termolight de 30 cm,
- Como envolvente en muro norte en su totalidad con una altura de 3.66 m tenemos un panel termolight de 30 cm,
- Como instalación bioclimática de apoyo tenemos zoclos radiantes en la periferia del invernadero con una doble función en temperaturas bajas se calienta el agua por medio de calentadores solares y en épocas calurosas circula agua fría enfriada por el subsuelo.



*Flujo de calor de zoclo radiante
desconocido*

Para el suelo se opta por poner un sustrato natural llamado zeolita.

Las zeolitas naturales son minerales silicatos que aparecen en la naturaleza en yacimientos al aire libre, los cuales contienen iones grandes y moléculas de agua con libertad de movimiento, para así poder permitir un intercambio iónico muy alto.

Las zeolitas poseen una estructura cristalina microporosa tridimensional, que forma sistemas de canales uni-, bi- y tridimensionales. Dichos canales actúan como perfectos almacenes de nutrientes y agua para plantas y animales.

Son los cultivos de plantas sin suelos en sustratos compuestos fundamentalmente de zeolitas. Los sustratos zeopónicos se formulan incorporándole a la zeolita los nutrientes necesarios para que las plantas crezcan y se desarrollen, tomando en cuenta las características de las plantas y el tipo de agua con la cual se regarán. El resultado de estos estudios nos da un tipo de Sustrato Zeopónico que es especialmente diseñado para brindar los mejores rendimientos posibles.

Características de operación		
Concepto	Zeoponia	Hidroponia
Análisis de calidad de agua en estudios/ciclo	1	6
Toneladas por ciclo	260	200
Uso de materiales sintéticos	No	Si
Ciclos por año	2	2
Vida útil del sustrato en años	3	1
Reutilización del sustrato	100%	0%
Mantenimiento de los sustratos	Agua	Agua + Químicos
% de pérdida de producto activo	0%	30%
Números de riegos por día	2	09-oct
Consumo de agua en L/día/m2	04-may	10-nov
Vida útil de los contenedores en años	8	1
Personal especializado para operación	No	Si

Fuente: Rancho Chinobampo

Características generales de los cultivos		
Característica	Zeoponia	Hidroponia
Uso de materiales sintéticos	No	Si
Reciclaje de insumos	100%	30%
Personal especializado para operación	No	Si
Manejo de materiales contaminantes	No	Si

Fuente: Rancho Chinobampo



Zeolita: Rancho chinobampo

Debido a que el sistema Zeopónico no utiliza materiales sintéticos durante el desarrollo de los productos, es mucho más alcanzable una certificación como producto orgánico que con el uso de la hidroponía. Lo anterior puede proporcionar una ventaja en cuanto al precio de venta de los productos elaborados con el uso de la zeoponia contra la hidroponía.

Entre los puntos más importantes de la comparación de ambas tecnologías esta la pérdida de producto activo que presenta la hidroponía, además del alto consumo de agua que requiere esta tecnología al compararla con la zeoponia.

Otro factor importante es que la tecnología hidropónica requiere de la sustitución total tanto de sus sustratos como de los contenedores cada año. Todo lo contrario de la zeoponia que tiene una duración de 3 años y la posibilidad de reutilizar tanto los sustratos como los contenedores.

Por último el hecho de que la operación de la tecnología zeopónica utiliza únicamente agua permite que los operarios sean personas sin ningún tipo de capacitación técnica, reduciendo los costos de operación. Todo lo contrario que pasa con la hidroponía ya que para reducir los costos de los materiales utilizados se requiere del apoyo de personal capacitado.

Dadas las propiedades de almacenamiento de nutrientes que tienen los Sustratos Zeopónicos Chinobampo, los mismos se convierten en medios idóneos para la germinación de semillas de diversos vegetales. En el estudio se compara la efectividad de germinación de los Sustratos Zeopónicos contra un cultivo hidropónico, considerado en la actualidad como una de las mejores tecnologías de producción agrícola.

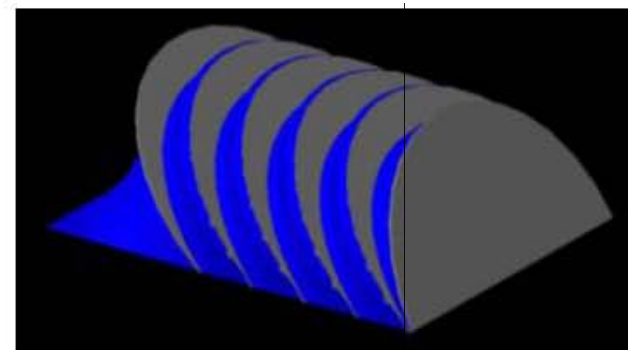
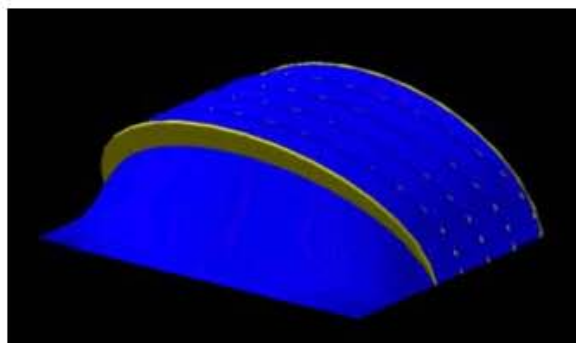
Tiempos de germinación y número de semillas germinadas				
Vegetal	Sustrato Zeopónico Chinobampo		Hidropónico de roca silícea	
	Días	% Germinación	Días	% Germinación
Tomate	6	90%	8	70%
Ajo	6	70%	8	40%
Lechuga	5	70%	5	40%
Col	4	100%	5	90%
Pepino	4	70%	4	50%
Cebolla	8	100%	9	60%
Berenjena	8	100%	10	70%
Remolacha	4	60%	8	100%
Calabaza	8	100%	11	20%
Col China	4	100%	8	100%

Fuente: Rancho Chinobampo



Zeolita: Rancho chinobampo

Datos climatológicos para el cálculo del invernadero



INVERNADERO MILPA ALTA D.F.

27-abr

hora	temperatura	radiacion	humedad	< corte	< planta	viento	tem-int-zoclo	ml/zoclo	tem-int-s/zoclo
00:00	17,58	0,00	74,17	0,00	0,00	8,82	17,88622993	56	16,77447886
01:00	17,63	0,00	73,50	0,00	0,00	9,35	17,90010245	47	16,37621301
02:00	16,92	0,00	77,67	0,00	0,00	7,19	17,90260803	54	16,15175633
03:00	16,83	0,00	78,33	0,00	0,00	5,88	17,90708022	55	16,12380534
04:00	16,75	0,00	79,00	0,00	0,00	5,40	17,91616437	56	16,10046631
05:00	16,88	0,00	79,67	0,00	0,00	4,65	17,93263813	55	16,14936325
06:00	15,83	22,50	85,33	13,00	80,00	4,86	17,95987144	66	15,81994159
07:00	16,28	103,25	84,00	32,00	77,00	4,77	17,98322703	61	16,00541307
08:00	19,92	258,94	68,50	34,00	75,00	4,61	18,01339823	23	17,2676651
09:00	23,12	427,14	55,67	40,00	67,00	5,72	18,00835731	-10	18,33258911
10:00	24,12	584,92	49,50	45,00	49,00	7,76	18,00459765	-23	18,75033078
11:00	26,12	708,14	44,00	47,00	27,00	3,18	17,99217962	-45	19,45122271
12:00	26,50	776,67	43,00	48,00	0,00	1,91	17,97215062	-50	19,5933096
13:00	26,67	778,95	43,30	47,00	27,00	5,34	17,94433831	-52	19,63034365
14:00	28,30	714,59	39,00	45,00	49,00	0,33	17,94410638	-67	20,11645942
15:00	27,93	594,47	40,33	40,00	67,00	4,98	17,94027332	-62	19,95051046
16:00	27,88	438,26	39,83	34,00	75,00	1,10	17,91104749	-61	19,88886145
17:00	25,47	269,99	47,50	32,00	77,00	2,18	17,90148152	-35	19,0362928
18:00	24,23	112,86	47,83	13,00	80,00	9,09	17,87190174	-22	18,5852117
19:00	23,73	0,00	47,67	0,00	0,00	12,41	17,85623013	-16	18,375001
20:00	23,20	0,00	45,83	0,00	0,00	16,21	17,8333305	-11	18,18998547
21:00	22,32	0,00	45,50	0,00	0,00	14,65	17,82003775	-2	17,88488411
22:00	21,45	0,00	45,67	0,00	0,00	10,69	17,8489065	8	17,58952106
23:00	21,15	0,00	45,67	0,00	0,00	10,53	17,86677167	11	17,5101167

CALCULO TERMICO

MILPA ALTA, D.F.

latitud	19° 13'	LN			
longitud	99° 03'	LO			
altitud	2710	msnm			
dia de diseño	27/04/2006				
hora de inicio	00:00	hrs			
temperatura ambiente	17,58	°C			
radiación solar global	0,00	w/m2			
humedad relativa	74,17	%			
temperatura interior	17,8667717	°C			
angulo corte =	0,00				
angulo planta =	0,00				
Wamb	0,003				
Wint	0,005				
velocidad / viento	0,5	-	4,5	=	2,5

temperatura ambiente	17,58	+	273,15	=	290,73 °K
temperatura interior	17,8667717	+	273,15	=	291,02 °K

Propiedades ópticas

absortancia α	
muros TERMOLIGHT	0,80
POLICARBONATO	0,15

emitancia ε	
muros TERMOLIGHT	0,99
POLICARBONATO	0,82

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

	espesor	cond. térmica
muro exterior		
TERMOLIGHT	0,3	0,031
ventanas		
policarbonato	0,02	0,034
losa		
policarbonato	0,025	0,034
TERMOLIGHT	0,3	0,031

SUPERFICIES	altura o ancho	largo	superficie
muro exterior TERMOLIGHT			
poniente	4	12,2	48,8
sur	1,22	12,2	14,884
oriente	4	12,2	48,8
norte	4,8	12,2	58,56
			171,044

ventanas policarbonato			
poniente	3	12,2	36,6
sur	4,88	12,2	59,536
oriente	3	12,2	36,6
norte	0	12,2	0
			132,736

techo policarbonato	0	12,2	0
----------------------------	---	------	----------

constante de stefan-boltzman

$$\bar{\sigma} = 5,6609 \times 10^{-8} \text{ w/hrm}^2\text{k}^4 = 5,6609 \times 0,00000001 = 5,6609\text{E-}08$$

coeficiente de convección exterior

muros TERMO 34,06 w/m²°K

techos POLI 17,03 w/m²°K

viento 2,5

coeficiente de convección interior

muros TERMO 9,36 w/m²°K

techos POLI 9,08 w/m²°K

ventanas POLI 9,08 w/m²°K

Calculo de flujo de calor

$$Q_{\text{cond}} = U \times A \times (t/s/a - t \text{ int})$$

Calculo del coeficiente global de transferencia de calor

$$U \text{ muros} = \frac{1}{\frac{1}{34,06} + \frac{0,3}{0,031} + \frac{1}{9,36}} = \frac{1}{0,02935995 + 9,677419355 + 0,106837607} = \frac{1}{9,813616915} = 0,10189923$$

$$U \text{ ventanas} = \frac{1}{\frac{1}{34,06} + \frac{0,02}{0,034} + \frac{1}{9,08}} = \frac{1}{0,02935995 + 0,588235294 + 0,110132159} = \frac{1}{0,727727406} = 1,37414091$$

$$U \text{ techos} = \frac{1}{\frac{1}{17,03} + \frac{0,025}{0,034} + \frac{1}{9,08}} = \frac{1}{0,05871991 + 0,735294118 + 0,110132159} = \frac{1}{0,904146182} = 1,10601584$$

Calculo de la temperatura sol/aire (techo)

$$t_{s/a} = t_{amb} + \frac{Ht \times \alpha}{h_o} - \frac{DR + \epsilon}{h_o}$$

$$t_{s/a} = 290,73 + \frac{0 \times 0,80}{25,15327003} - \frac{148,4316 + 0,99}{25,15327003} = 290,73 + 0 - 5,84207476 = \mathbf{284,89}$$

$$h_o = h_w + h_{ir} = 18,59722222 + 6,55604781 = \mathbf{25,15327003}$$

$$h_w = 32,7 + 13,7 \left(\frac{2,5}{3,6} \right) = 32,7 + 34,25 = 66,95$$

$$h_{ir} = 46 \times \epsilon \times T^3$$

$$h_{ir} = 2,2644E-07 \times 0,99 \times 29245661 = \mathbf{6,55604781}$$

$$T = 17,58 - 0,5 = 17,08 + 17,8667717 = 34,94677167 + \frac{273,15}{T^3} = \frac{308,10}{29245661}$$

Calculo del coeficiente DR

$$slp = 0$$

$$tsky = 0,0522 \times 290,73^{1,5} = \mathbf{258,7648458}$$

$$tsurr = 300,73$$

$$tamb = 290,73$$

$$DR = 6 \times \frac{1 + \cos SLP}{2} (tsky^4 - tamb^4) + \frac{1 - \cos SLP}{2} (tsurr^4 - tamb^4)$$

$$DR = 5,6609E-08 \times \frac{1 + 1}{2} (4483540548 - 7144295233) + \frac{1 - 1}{2} (300,73^4 - 7144295233)$$

$$DR = 5,6609E-08 \times 1 (-2660754685) + (0 - -7144294932)$$

$$DR = 5,6609E-08 \times -2,66E+09 + 7144294932$$

$$DR = \frac{253,80873}{148,4316}$$

Calculo de la temperatura sol/aire (muros/ventana)

radiacion solar = 0
 angulo corte = 0
 angulo planta = 0

$$t_{s/a} = t_{amb} + \frac{Ht \times \alpha}{h_o} - \frac{DR + \epsilon}{h_o}$$

$$t_{s/a} \text{ muro} = 290,73 + \frac{0 \times 0,80}{25,15327003} = 290,73 + \frac{0}{25,15327003} = \mathbf{290,73}$$

$$t_{s/a} \text{ ventana} = 290,73 + \frac{0 \times 0,15}{25,15327003} = 290,73 + \frac{0}{25,15327003} = \mathbf{290,73}$$

Calculo del flujo de calor por conducción. = -828,3057055

QCOND muro oriente	=	0,10189923	x	48,80	x	(	290,73	-	291,02	) =	-1,42602444
QCOND ventana oriente	=	1,37414091	x	36,60	x	(	290,73	-	291,02	) =	-14,4227675
QCOND muro sur-poniente	=	0,10189923	x	63,68	x	(	290,73	-	291,02	) =	-2,809268148
QCOND ventana sur-poniente	=	1,37414091	x	96,14	x	(	284,89	-	291,02	) =	-809,6476454
QCOND techo	=	1,10601584	x	0,00	x	(	284,89	-	291,02	) =	0

Calculo del flujo de calor por infiltración. = -863,80

QINF S	=	0,278	x	1,50	x	336,00	x	1,18	x	1,0065	x	(	290,73	-	291,02	) =	-47,7207616
QINF L	=	0,278	x	1,50	x	336,00	x	1,18	x	2468	x	(	0,013	-	0,015	) =	-816,079542

factor de conversion kj-w	0,278
cambios aire/hora	1,5
volumen cuarto	336 m ³
densidad aire	1,18 kg/m ³
calor especifico/aire	1,0065 kj/kg °k
calor latente/vaporización	2468 kj/kg °k

Calculo de la ganancia de calor por radiación

Q SHG	=	36,6	x	0,00	x	0,1500	=	0,00
-------	---	------	---	------	---	--------	---	-------------

Calculo del flujo de calor por ventilación. x -71880,5252

QVENT S	=	0,278	x	1,18	x	1,0065	x	41940,00	x	(	290,73	-	291,02	) =	-3971,049094
QVENT L	=	0,278	x	1,18	x	2468,00	x	41940,00	x	(	0,003	-	0,005	) =	-67909,47615

G= flujo de viento = Cv x Av		G =	0,25	x	36,60	+	2,5	=	11,65	x	3600	=	41940
abertura de ventana	0,25										s / hora		
area	36,60												
velocidad / viento =	2,5												

Ganancia de calor por usuarios = 1625

Q MET S = 177 x 5,00 = 885

Q MET L = 148 x 5,00 = 740

calor sensible/persona 177 w
calor latente/persona 148 w
Nº personas 5,00

Ganancia de calor por aparatos

Q LIGHT = 5400 w

desbrozadoras 2 x 1200 = 2400
cultivadoras 2 x 1500 = 3000

Q LOAD1 = -66547,63
Q LOAD2 = 67733,12
Q LOAD 1185,49

TEMP CUARTO = 17,8667717 + $\frac{1185,49}{60924,718}$ = 17,86677167 + 0,01945826 = **17,88622993**

TEMP CUARTO = 17,8667717 + $\frac{-66547,63}{60924,718}$ = 17,86677167 + -1,09229281 = 16,77447886

Capacitancia

		volumen m ³	peso vol kg/m ³	masa kg	calor esp. Kj/kg °C	capacitancia kj/°C
termolight						
poliestireno	0,21 m	35,91924	48	1724,12352	1,46	2508,599722
aplanado	0,09	92,36376	900	83127,384	2,46	204077,7277
						206586,3274
policarbonato						
policarbonato	0,02 m	2,65472	1500	3982,08	3,20	12742,66
losa						
policarbonato	0,025 m	0	1500	0	3,20	0

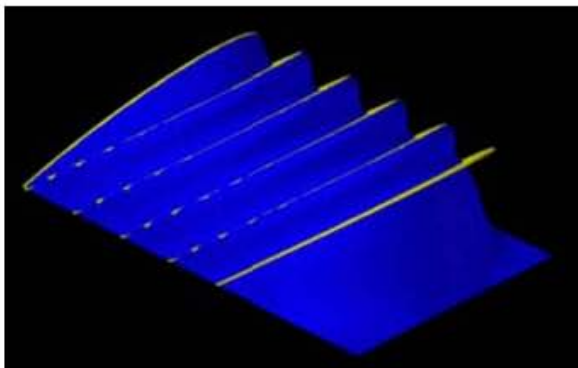
219328,98 / 3,6 = **60924,7176**

Ganancia de calor por zoclo radiante

Q LIGHT2 = 67733,12 w

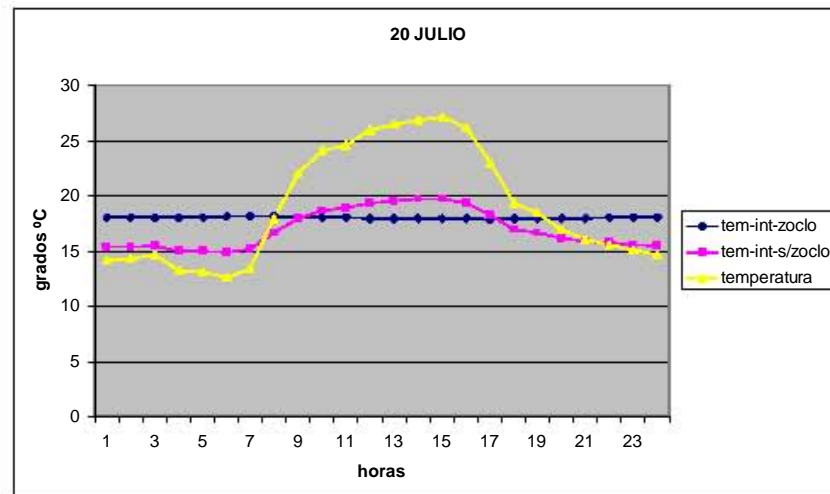
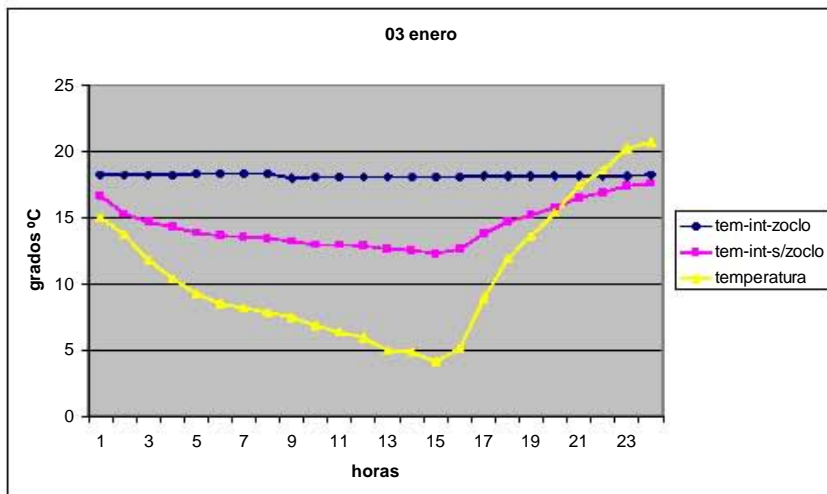
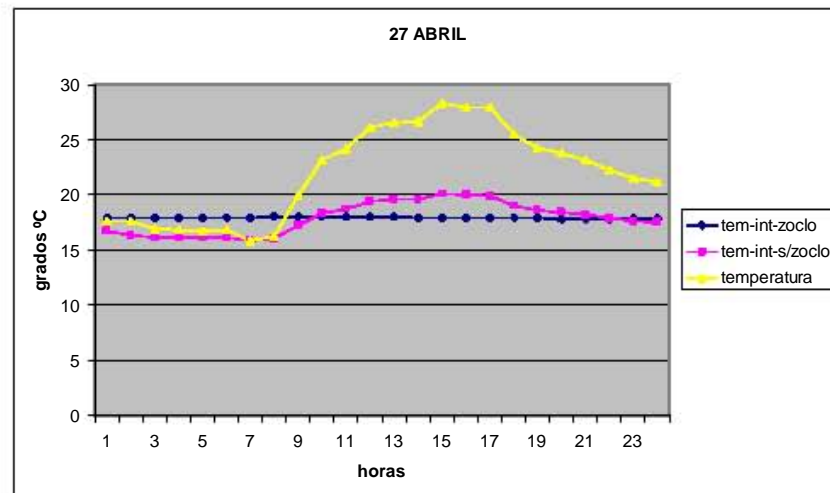
zoclo radiante 1209,52 x 56 = 67733,12

66547,63 ÷ 1209,52 = 55,019868 56

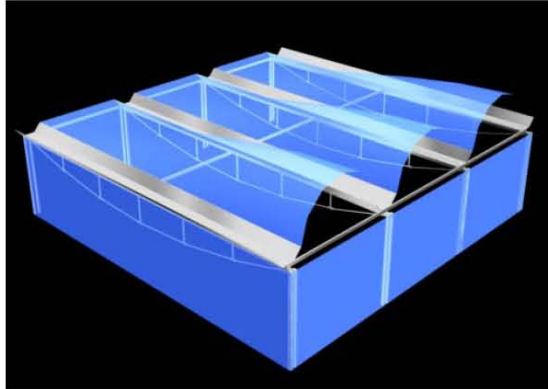


Graficas de los días más representativos de acuerdo al cálculo anterior:

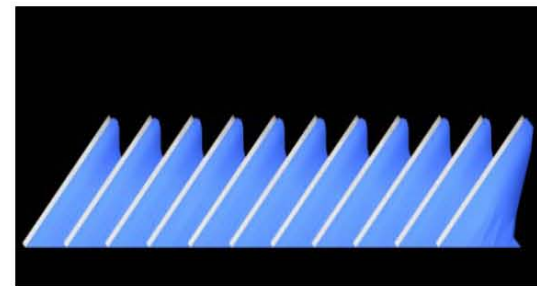
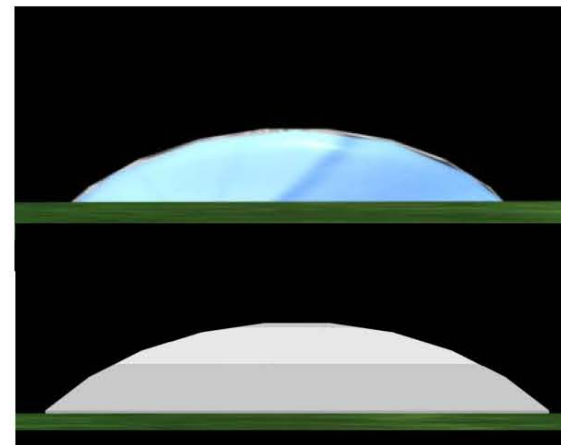
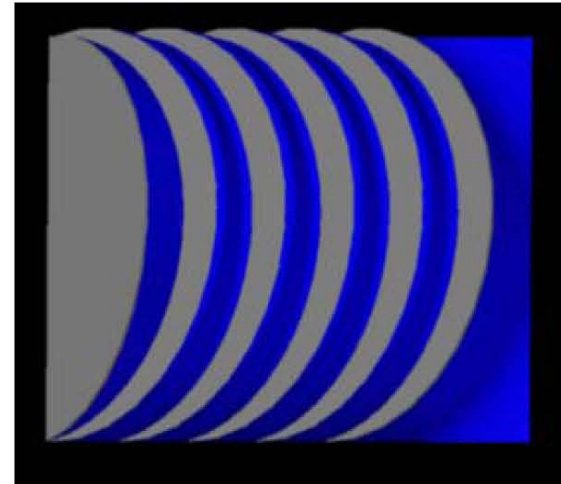
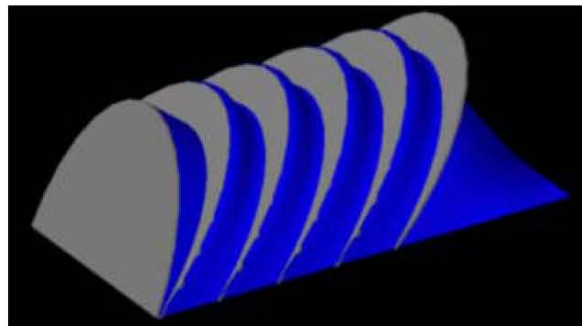
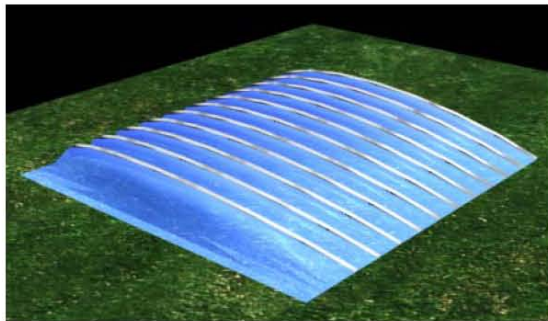
- 3 de enero día más frío.
- 27 de abril día más caluroso.
- 20 de julio día más lluvioso.



Vista de la primera propuesta de la envolvente



Vista de las propuesta final.



Nombre de archivo: A11
Directorio: C:\Users\PACO\Documents
Plantilla: Normal.dotm
Título: CENTRO DE ACOPIO DISTRIBUCION Y
 PROCESAMIENTO DE NOPAL EN MILPA ALTA D
Asunto:
Autor: FRANCISCO VIDAL MENDOZA
Palabras clave:
Comentarios:
Fecha de creación: 31/10/2007 11:52:00 a.m.
Cambio número: 11
Guardado el: 31/10/2007 12:58:00 p.m.
Guardado por: FRANCISCO VIDAL
Tiempo de edición: 47 minutos
Impreso el: 13/11/2007 01:36:00 a.m.
Última impresión completa
 Número de páginas: 52
 Número de palabras: 17,916 (aprox.)
 Número de caracteres: 98,543 (aprox.)

CONCLUSIONES.

**ARQUITECTURA AGRÍCOLA SUSTENTABLE
ENVOLVENTE PARA EL CULTIVO DEL NOPAL.**

CONCLUSIONES.

La relación agricultura-clima se basa, esencialmente, en la adaptación apropiada del trabajo del hombre a las condiciones climáticas y en técnicas de manipulación o modificación del medio ambiente local, (micro-clima) para minimizar su efecto perjudicial sobre plantas y animales.

Muchas de estas técnicas tales como la siembra y el cultivo, la irrigación, la protección contra las heladas, los albergues para animales y las barreras para romper el viento, entre otras, han sido practicadas durante siglos. Estos métodos han hecho posible una adecuada explotación de las plantas y animales que se han logrado cultivar y domesticar respectivamente a lo largo de la historia.

La civilización principió hace alrededor de un millón de años, cuando el hombre nómada comenzó a transformarse en sedentario gracias al cultivo de algunas plantas. El hombre dependía principalmente de ellas o de sus productos, en especial de las plantas con semillas; sin éstas no hubiera podido obtener harinas; sin los tallos fibrosos no hubiera podido manufacturar canastas y cuerdas; sin los tallos leñosos no hubiera tenido, madera para construir su vivienda y sin los pastizales, no hubiera podido mantener un rebaño para consumir carne. Además, puede señalarse como cuestión fundamental para la historia humana, que si no hubieran aparecido las plantas herbáceas de ciclos anuales, todas ellas productoras de semillas, el hombre nunca hubiera desarrollado la agricultura (Schery, 1972).

Cuando la agricultura constituyó la fuente principal y permanente de obtención de alimentos, se inició una evolución de los primitivos e improvisados métodos de mantenimiento de los crecientes núcleos de población humana sedentaria; y sólo entonces, la civilización comenzó a desarrollarse y dio origen a las grandes ciudades con sus edificios, escuelas y

comodidades. Desde el principio, hasta la actualidad y aun podemos decir que para siempre, las plantas y sus productos constituyen la base fundamental sobre la cual toda la civilización moderna está constituida.

México ha sido, por tradición, un país eminentemente agrícola. Las técnicas y métodos para cultivar la tierra, aún antes de la conquista, eran ya la suma de antiguas y continuadas experiencias que el hombre adquirió en su diario y afanoso contacto con la tierra. Un claro ejemplo de la sabiduría indígena para cultivar la tierra, lo constituyen las chinampas, que especialmente en la zona lacustre de la cuenca de México, fueron el asombro de los conquistadores que nunca imaginaron tal conocimiento e ingenio en el arte del cultivo agrícola. El aprovechamiento del espacio, el manejo de los abonos naturales, la conservación de una altísima productividad y de la fertilidad del suelo, fueron la prueba de la racional explotación y el perfecto equilibrio entre el hombre y la naturaleza.

En la actualidad, la agricultura en nuestro país sigue siendo la base de nuestro progreso. En el campo, están depositadas nuestras más grandes riquezas, las que sabemos que son duraderas y renovables si las aprovechamos racionalmente con Inteligencia y responsabilidad.

Como consecuencia de nuestro crecimiento, la demanda en el renglón de alimentos se ha incrementado en los últimos años y ha planteado la necesidad de aumentar la productividad agrícola, no sólo para cubrir adecuadamente el consumo nacional, sino también para evitar la pérdida de divisas por la importación de productos agrícolas extranjeros.

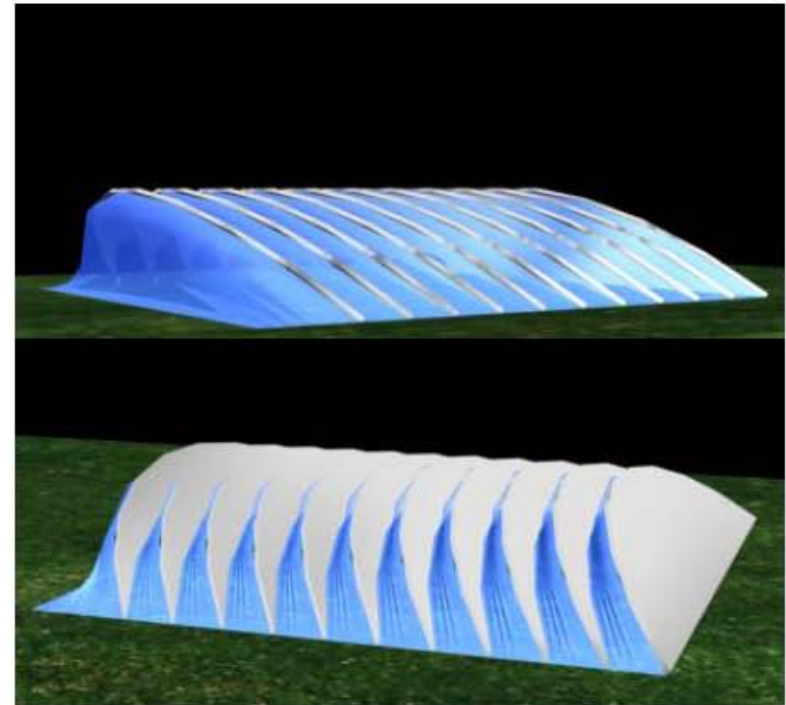
El Plan Nacional de Desarrollo tiene como uno de sus principales objetivos, alcanzar una producción agrícola tal, que nos permita en primer lugar ser autosuficientes en cuanto al logro y suministro de alimentos para la población y, en segundo lugar, poder elevar la calidad nutritiva de los mismos, hasta los

niveles necesarios para el desarrollo sano y óptimo del ser humano. Este objetivo se logrará en la medida que se coordinen los esfuerzos de todas las instituciones, grupos e individuos que directa o Indirectamente puedan contribuir a ello.

Ahora bien, si las crecientes necesidades nacionales plantean una reorganización y un adecuado uso del suelo para satisfacerlas, debemos recordar que la población humana, como cualquier otra, al crecer y aumentar sus demandas, influirá en forma creciente sobre el ambiente y más aún si se toma en cuenta su excesivo crecimiento; esto quiere decir que desplazará, explotará, depredará y destruirá a otras especies. Si el hombre olvida que él es tan sólo una parte de la naturaleza y que también será perjudicado por estas acciones, entonces se verá en una situación sumamente crítica que puede poner en peligro su propia supervivencia. Por lo tanto, no sólo debe buscarse el aumento de la producción agrícola, sino que debe plantearse con gran responsabilidad la forma en que se logrará. Una explotación cada vez más extensiva de la tierra, conducirá a la destrucción irremediable de preciados, recursos naturales; los bosques y las selvas están siendo arrasados; el suelo se erosiona y se pierden valiosas especies de animales y plantas; los desiertos y yermos se multiplican, debido a la acción indiscriminada del hombre buscando alimentos y también, desafortunadamente, a la ambición desmedida y a la ignorancia, sin que al parecer nos demos cuenta exacta del trágico significado de todo ello.

Transformar la explotación extensiva e intensiva, teniendo en cuenta las diversas alternativas y las posibilidades reales de producción de cada lugar, constituye el único camino para conciliar los intereses humanos con los de la naturaleza, y conservar los recursos naturales al mismo tiempo que se explotan racionalmente. Esta tarea es un reto enorme que debe enfrentarse sabiamente, ya que la supervivencia actual y la de las futuras generaciones dependen de que esto se logre íntegramente.

El presente trabajo tiene como objeto plantear una de las alternativas agrícolas para alcanzar las metas de producción de alimentos: el uso de Invernaderos que contribuyan al aumento de la productividad agrícola; al mejoramiento de la alimentación de nuestro pueblo; a la creación de empleos; al arraigo de la gente a su tierra; a la elevación de los niveles de vida y al logro de una autonomía económica y social que permita acelerar nuestro desarrollo y nuestro progreso.



Prototipo de invernadero, Francisco Vidal Mendoza, 2007

Nombre de archivo: A12
Directorio: C:\Users\PACO\Documents
Plantilla: Normal.dotm
Título: CENTRO DE ACOPIO DISTRIBUCION Y
 PROCESAMIENTO DE NOPAL EN MILPA ALTA D
Asunto:
Autor: FRANCISCO VIDAL MENDOZA
Palabras clave:
Comentarios:
Fecha de creación: 31/10/2007 02:11:00 p.m.
Cambio número: 2
Guardado el: 31/10/2007 02:11:00 p.m.
Guardado por: FRANCISCO VIDAL
Tiempo de edición: 1 minuto
Impreso el: 13/11/2007 01:38:00 a.m.
Última impresión completa
 Número de páginas: 3
 Número de palabras: 983 (aprox.)
 Número de caracteres: 5,410 (aprox.)

BIBLIOGRAFÍA.

BIBLIOGRAFÍA.

ALDRICH, R., y WELLS, D.A.: Estimating wind loads on glasshouses. Transactions off the ASAE, 1979.

BASOCCU, L., y cols.: Indirizzi agronomici per il risparmio energetico in ortofloricoltura protetta. Colture Protette. Diciembre, 1983.

BOT, G.P.A.: Greenhouse climate: from physical processes to a dynamic model. Universidad de Wageningen, 1983.

CANHAM, A.E.: The air-supported greenhouse. Agriculture vol. 79, n.º 3. Marzo, 1972.

CASTEJON, J.A.: Transmisión de radiación solar: aplicación a los invernaderos de Cataluña. 129 pp. Proyecto Fin de Carrera. E.T.S.I.A. Lérida, 1991.

CASTILLA, N., P. LORENZO, J.J. MONTERO, E. FERRERES.: Alternative greenhouses for mild winter. Acta Horticulturae 245: 63.70, 1988.

CASTILLA, y cols.: New greenhouse structures for the south of Spain. Acta Horticulturae. 281: 153-158, 1990.

COCKSHULL, K.E.: The integration of plant physiology with physical changes in the greenhouse climate. Acta Horticulturae 229: 113-121, 1988.

DA SASSO, P., y cols.: Misure sprettroradiometriche su alcuni materiali di copertura per serre. colture Protette nº 2 Febrero, 1985.

FAILLA, A., y cols.: Design criteria and technical and building solutions for protected cultivation in the mediterranean areas. Acta Horticulturae n.º 176. Mayo, 1986.

MATALLANA, A., y cols.: Consideraciones sobre los tipos de protecciones para cultivo ornamental en la comarca de El Maresme (Barcelona). Hoja técnica INIA, o.' 41,1982.

NISEN, A.: Traité de l'éclairage naturel des serres et abris pour végétaux. Institut Royal Météorologique en Belgique, 1975.

SERRANO, Z.: Tipos de invernaderos en España y materiales utilizados en su construcción. Vergel nº 2. Enero, 1981.

SMITH, V., y cols.: A contribution to glasshouse design. Agricultural meteorology 8,1971.

WORKSHOP ON EUROPEAN GREENHOUSE STANDARDS. FAO. Technical Series 25. 1992 (Protección del galvanizado).

EUROPEAN COMMISSION, INSTITUTE FOR PROSPECTIVE TECHNOLOGICAL STUDIES OF SEVILLE, Overview of recent European and non-European National Technology Foresight Studies, 1997.

BALWANT SAINGH SAINI Construcción en climas cálidos secos Editorial Limusa

SV SZOCOLAY
Energía solar y edificación
Editorial Blume

JOSÉ ROBERTO GARCÍA CHÁVEZ, VÍCTOR FUENTES FREIXANT, Viento y arquitectura, Editorial Trillas

R .M.E. DIAMANT, Aislamiento térmico y acústico de los edificios, Editorial Blume
MIGUEL PAYA PEINADO, Aislamiento térmico y acústico
Editorial C .E.A.C.

HAURELLA, Fundamentos de calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire Editorial McGraw Hill

ROGER CAMOUS , DONALD WATSON, El hábitat bioclimático, de la concepción a la construcción, Editorial Gustavo Gili

ANA TAPIA GÓMEZ, Topografía subterránea, Editorial alfaomega, ediciones UPC, México 1999

CLAUDIO A. FLORES VALDES Y J. ROGELIO AGUIRRE RIVERA
"El Nopal como forraje"

CLAUDIO A. FLORES VALDES."Producción, industrialización y comercialización del nopal en México

CLAUDIO A. FLORES VALDES.
"El Sistema Productor del Nopal en México

HELIA BRAVO Y LÉIA SCHEINVAR El Interesante Mundo de las Cactáceas, .1998. CONACYT.

ERNESTO VELÁZQUEZ , El nopal y su historia.1998.

REVISTA "ARCHITECTURAL REVIEW", march 1997,U.K.

REVISTA CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGÍA, IMCYC
Vol. X # 3, oct. 1997,México

REVISTA OBRAS, Enero 1997, México

REVISTA "QUO", Número 20,Junio 1999.

REVISTA: El nopal, número 59, año 2002, Artes de México.

REVISTA: Detail, número 2000-6, año 2000, Detail, Munich, Alemania.

www.freedomship.com

<http://www.anfytrion.com/espaniol/showhtml.php3?pagina=sesub.htm>

Copyright (2003) EFE
<http://www.terra.com.mx/noticias/articulo/119542/>

Documento: Oportunidades de comercialización y exportación del nopal verdura.
Unión de productores de Milpa Alta. 1998

ANUARIOS: Estadísticos de la Producción Agrícola de México SARH.

CUADERNO: Milpa Alta Distrito Federal, cuaderno estadístico delegacional, 2000, INEGI

CUADERNO: Distrito Federal, Resultados definitivos, Datos por AGEB urbana, censo de población y vivienda, 2000. INEGI

CUADERNO: Milpa Alta, de información básica delegacional, D.F.2000, INEGI

MANUAL PARA LA EDUCACIÓN AGRÍCOLA (área industrial rural 24)

MANUAL: Investigación Urbana, Martínez Paredes T. Oseas, Trillas, México 1991

MANUAL: Criterios de diseño urbano, Bazant Jan, Trillas, México 1983

MEMORIAS: Conocimiento y aprovechamiento del nopal. VII Congreso Nacional y V Congreso Internacional. 1997.

Nombre de archivo: A14
Directorio: C:\Users\PACO\Documents
Plantilla: Normal.dotm
Título: CENTRO DE ACOPIO DISTRIBUCION Y
 PROCESAMIENTO DE NOPAL EN MILPA ALTA D
Asunto:
Autor: FRANCISCO VIDAL MENDOZA
Palabras clave:
Comentarios:
Fecha de creación: 31/10/2007 02:18:00 p.m.
Cambio número: 11
Guardado el: 31/10/2007 04:38:00 p.m.
Guardado por: FRANCISCO VIDAL
Tiempo de edición: 138 minutos
Impreso el: 13/11/2007 01:42:00 a.m.
Última impresión completa
 Número de páginas: 3
 Número de palabras: 681 (aprox.)
 Número de caracteres: 3,749 (aprox.)

ANEXO.

FISIOLOGÍA Y FENOLOGÍA DE LAS CACTÁCEAS

A. FISIOLÓGIA Y FENOLOGÍA DE LAS CACTÁCEAS.

Como ya se mencionó, las cactáceas se consideran vegetales muy evolucionados, con estructuras anatómicas de adaptación altamente especializadas que les confieren una fisonomía particular (Bravo, 1978), entre las cuales se pueden citar la adquisición de tallos globosos o cilíndricos provistos de surcos o costillas que reducen sobremanera su superficie de transpiración, el desarrollo de succulencia en todos los órganos, la reducción de las hojas hasta su ausencia total, el notable desarrollo de capas epidérmicas cerosas, el aumento en el grosor de la cutícula y de la membrana de las células epidérmicas, la formación de gran concentración de mucílagos y el desarrollo de cristales de oxalato de calcio en el citoplasma (Bravo, 1937).

Específicamente, el género opuntia es una planta xeromorfa que ha desarrollado un mecanismo de resistencia a la sequía con base en el mantenimiento de un alto potencial hídrico, durante los periodos de déficit de precipitación, a través de las siguientes características:

- a) Mantenimiento de absorción de agua mediante el incremento de la cantidad y la densidad de raíces, y el aumento de la conductancia hidráulica.
- b) Reducción de la pérdida de agua, mediante la reducción en la conductancia epidermal, en la radiación absorbida y en la superficie evaporativa.

Walter y Stadelman (1974) indican que el potencial hídrico es menor en plantas xerófitas y arbustos perennes, que pueden tolerar la sequía con bajos contenidos de agua. Asimismo, el potencial hídrico de las suculentas es mayor al de las demás

plantas, pero internamente es menor para poder establecer un flujo de agua del exterior al interior cuando llueve, ya que el agua fluye de un sitio con mayor energía libre superior a otro con energía libre inferior.

Una característica de las especies resistentes a sequías es su gran proporción de masa en raíces y la profundidad de las mismas. Los pastos perennes y los arbustos de zonas áridas, por lo general, tienen una gran proporción de materia seca en sus raíces que, en casos extremos, puede llegar al 90% del total de materia seca (Fischer y Turner, 1978).

En general, el sistema radical de las cactáceas es superficial y particularmente denso; las raíces muertas proporcionan gran cantidad de materia orgánica al grado de cambiar el color de los horizontes superficiales de las plantaciones viejas. El parénquima cortical de las raíces gruesas permanece turgente y funciona como almacén de agua. Las raíces secundarias mueren durante periodos largos de sequías y vuelven a crecer durante los lapsos de lluvias (Barrientos, 1983). En relación con este aspecto, Sudzuki (1975) menciona que durante los periodos de sequía el sistema radicular de las cactáceas se desarrolla mucho más que su copa aérea la misma autora (1969) demuestra con sus experimentos que:

1. En el suelo seco, algunas plantas tienen la capacidad de incrementar la absorción adicional de agua mediante sus raíces superficiales, debido a que en éstas se eleva un potencial hídrico más negativo.
2. La absorción adicional de agua que realizan las cactáceas se logra al aumentar el volumen radicular, el cual hace que haya mayor superficie de absorción. En estas plantas hay mayor presión osmótica que la ejercida por las raíces de plantas comunes, lo que les permite obtener una cantidad extra de agua.

3. El mecanismo de absorción de agua se relaciona con el funcionamiento de los estomas; esto es, su cierre y apertura están condicionados al horario de mayor humedad relativa del aire y de menor temperatura ambiental.

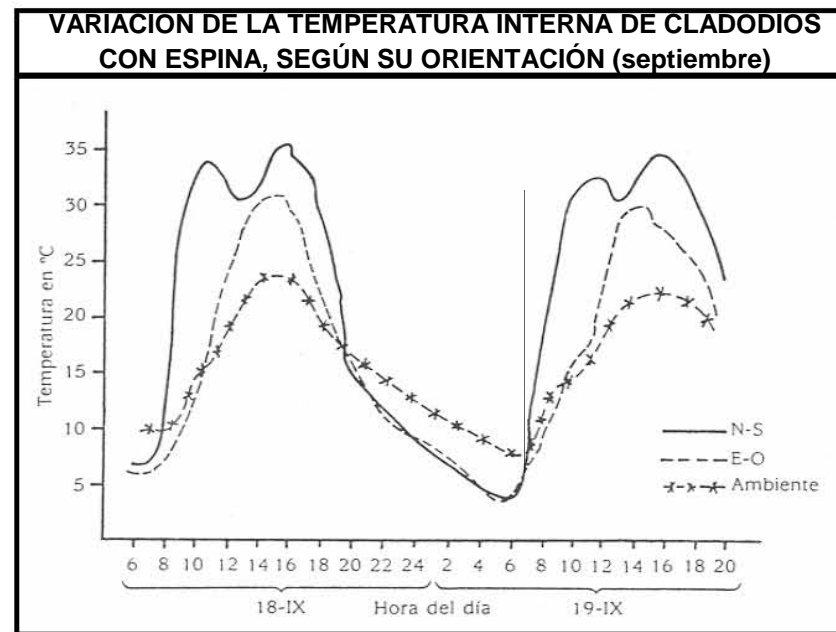
El género *Opuntia* está provisto de una gruesa cutícula impermeable y estomas unidos; el comportamiento de éstos se relaciona con la exposición de las plantas al viento cargado de vapor de agua. Algunos estudios indican que el mayor o menor hundimiento de los estomas en la epidermis es directamente proporcional a este factor, lo que influye en la optimización del agua como se verá más adelante.

Los estomas que se localizan en una epidermis impermeable operan como reguladores de la pérdida de agua entre la hoja y la atmósfera seca circundante; sin embargo, los estomas son el sitio de entrada del CO_2 por lo que una reducción de la pérdida de agua a través del control estomatal tiene como consecuencia una reducción en la fijación de CO_2 y por lo tanto, en la productividad. No obstante, el control estomatal para la pérdida de agua es un mecanismo de sobrevivencia y no de optimización de la productividad, excepto en circunstancias especiales (Turner, 1979).

Para que el mantenimiento del balance interno del agua en la planta sea efectivo, los estomas se deben cerrar firmemente y la pérdida de agua se efectuará sólo a través de la cutícula (Turner, 1975-. Turner et al 1978). Las plantas suculentas son un ejemplo por excelencia del control epidermal del potencial hídrico de los tejidos. Szarek y Ting, (1974), y nobel (1977), encontraron, en dos especies de cactus, que los estomas son muy sensibles a la caída del potencial hídrico en la planta, ya que cuando la pérdida cuticular es muy ligera los estomas reaccionan cerrándose. Así, en suelos secos los cactus aíslan su humedad interior de la atmósfera seca. De acuerdo con Watson (1956), la mayor influencia sobre el rango de asimilación neta de materia orgánica la ejercen la luz y la

temperatura, sin embargo, esto depende del genotipo y de la aplicación de fertilizantes y agua. Se sabe que la Fotosíntesis se incrementa proporcionalmente a la intensidad de la luz hasta una intensidad de saturación y luego se vuelve estable (Heinicke y Childers. 1937). Hay pruebas amplias sobre la gran importancia de la luz en la iniciación floral (Becerra, 1975).

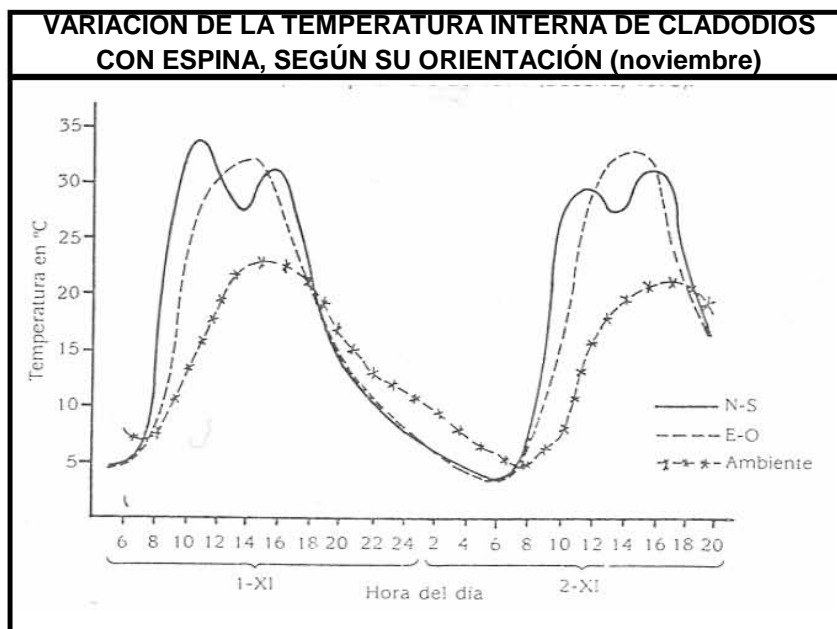
Existen numerosos informes acerca de que la sombra de los árboles de manzano reduce la iniciación floral.(Kraybil, 1923). En frutales, principalmente manzanos, se ha encontrado una asociación entre altos niveles de carbohidratos en la planta y la tendencia a florecer (Becerra, 1975).



Fuente: Becerra, 1975

Después de muchos trabajos realizados por investigadores se sabe que la luz solar tiene una influencia marcada sobre diferentes características del fruto tales como

firmeza, tamaño, color, contenido de sólidos solubles, etcétera (Becerra, 1975). Lozano (1958) menciona que las partes soleadas de los cladodios del nopal producen más frutas así, en la región de San Luis Potosí, la cara sur de los cladodios orientados producen casi la totalidad de los frutos, en tanto que la cara norte es casi improductiva porque está muy sombreada. En un estudio que se realizó (Becerra, 1975), se observó que los cladodios orientados en dirección norte-sur (con sus caras hacia el este-oeste) acumulan más calor durante el día, lo que prueba una mayor captación de luz directa en relación con los orientados en dirección este-oeste: así se produce mayor número de frutos, con mayor cantidad de sólidos solubles, pues se encontró que los cladodios orientados en dirección norte-sur tuvieron promedios estadísticos superiores (0.0 1 de probabilidad) a los cladodios en dirección este-oeste para las tres variables en estudio: cladodios con frutos/planta, frutos/planta y frutos/cladodio.



Fuente: Becerra, 1975

El mayor contenido de sólidos solubles, se debe a que las partes soleadas producen frutos con un contenido más alto de sólidos solubles que las partes sombreadas; las partes soleadas también acumulan mayor cantidad de carbohidratos y auxinas, por lo que también, tienen un mayor enraizamiento debido a que los carbohidratos proporcionan energía para los nuevos crecimientos y las auxinas Promueven la división y el alargamiento celular de las nuevas raíces.

El aumento de materia seca se presenta cuando la producción de compuestos orgánicos sobrepasa a los que se consumen por la respiración. En cladodios de nopal se encontró que la orientación norte-sur establece una estrecha relación entre la radiación total recibida y el incremento de materia seca logrado, ya que a mayor radiación se obtuvo mayor incremento de materia seca. En este sentido, la orientación de los cladodios influye en la eficiencia fotosintética de acuerdo con la forma aplanada de éstos, que se manifiesta en:

- Producción y calidad del fruto.
- Producción de materia seca.
- Enraizamiento de cladodios.
- Temperatura interna

VALORES PROMEDIO DE LA PRODUCCIÓN DE FRUTOS CON DIFERENTE ORIENTACIÓN DE CLADODIOS

Orientación de los cladodios	Lado de la planta	Cladodios con frutos/planta	Frutos / planta	Frutos / Cladodios
Norte-Sur	Este	8,4	31,5	2,9
Norte-Sur	Oeste	7,6	26,2	3,1
Este-Oeste	Norte	5,4	16,1	2,7
Este-Oeste	Sur	5,5	19,2	3,1

Fuente: Becerra, 1975

VALORES PROMEDIO DEL INCREMENTO DE MATERIA SECA EN CLADODIOS CON DIFERENTE ORIENTACIÓN				
Número de experimento	Fecha de realización	Orientación de cladodios	Incremento de materia seca mg/cm ² /hr	Radiación total cal/cm ²
1	14-X-74	Norte-Sur	0,332	553
		Este-Oeste	0,211	
2	22-X-74	Norte-Sur	0,260	516
		Este-Oeste	0,159	
3	7-XII-74	Norte-Sur	0,218	382
		Este-Oeste	0,271	
			0,123	

Fuente: Becerra, 1975

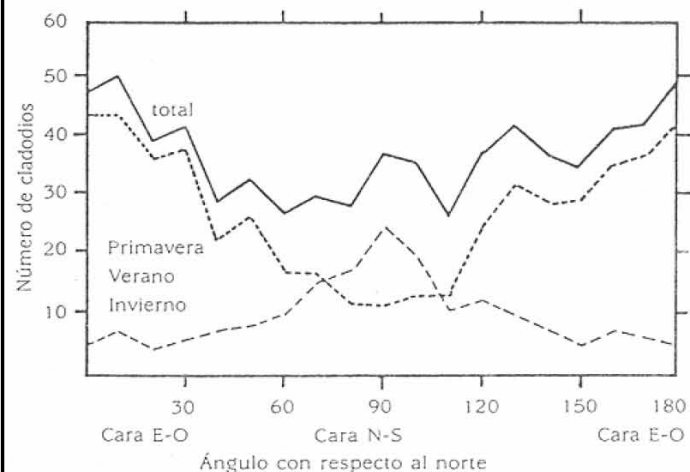
Por otra parte, en los órganos fotosintéticos de la mayoría de las plantas suculentas con metabolismo del ácido carsuláceo (CAM), como lo es la *Opuntia*, desempeña un papel muy importante la relación entre morfología y fisiología. Por esta razón, la radiación de actividad fotosintética (RAF) (de 400 a 700 mm) no puede pasar de un lado a otro, por lo que la orientación de cada superficie de tales plantas suculentas influye en la RAF, que puede ser absorbida por el clorénquima fundamental y, en consecuencia, afectar la casa fotosintética. Además en las características hojas delgadas de plantas la RAF puede alcanzar el clorénquima del haz o del envés, ya que estas hojas son relativamente flexibles y su orientación puede cambiar debido al viento o al curso de los movimientos diurnos; mientras que la orientación de los órganos fotosintéticos de las suculentas CAM se establece esencialmente desde el inicio de su desarrollo y su superficie fotosintética es vertical, por lo que, en general, recibe considerablemente menos RAF que la superficie horizontal y, con frecuencia, no recibe del todo la RAF incidente (Gates, 1980). Por lo tanto, la relación entre RAF y orientación tiene consecuencias fisiológicas importantes en

plantas CAM, ya que la luz limita su productividad (Nobel, 1982).

El género *Opuntia* forma parte de las plantas suculentas CAM, cuya superficie fotosintética es vertical. Para verificar si la orientación de los cladodios terminales de estas plantas era o no casual, Nobel realizó un estudio con 23 especies de *Opuntia*, las cuales se encontraron en América del Norte, América del Sur, Australia e Israel y se encontró que, en la mayoría de los casos, la orientación no casual de los cladodios era altamente significativa, aunque la dirección de esta orientación dependía de la latitud de la época de mayor precipitación, de la época en que se empiezan a desarrollar los cladodios y del relieve topográfico.

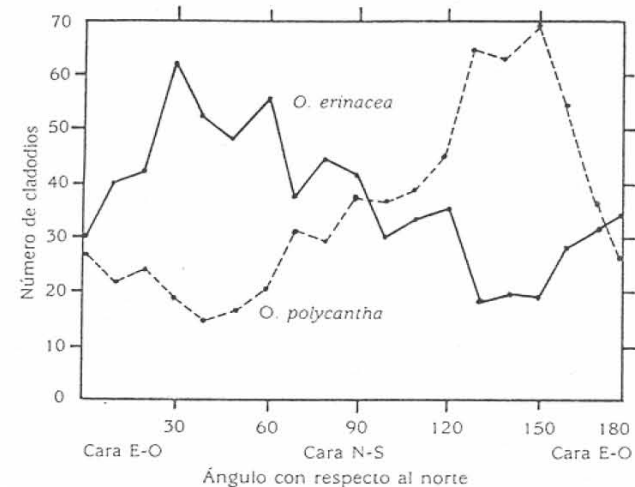
Así, cuando los cladodios empezaban a desarrollarse en invierno (diciembre-febrero), las cactáceas tendían a orientar sus caras hacia el norte-sur, mientras que si la mayoría de ellos se desarrollaba en primavera-verano (marzo-septiembre) sus caras tendían a orientarse hacia el este-oeste, a excepción de los cladodios, situados por arriba de 27° N o debajo de 27° S, pues, en este caso, los cladodios expusieron sus caras en orientación norte-sur. El relieve topográfico también puede afectar la tendencia de orientación de los cladodios, ya que cuando en un lugar de California en el que alguna montaña bloqueaba la incidencia de la RAF al oeste y al noroeste, se observó una exposición de caras al noreste-sureste; es decir, la orientación preferida de los cladodios, debido a la interpretación máxima de RAF, cambió con lo que se limitó la productividad. Monsi y Seaki (1953), en una cita de Nobel (1982), Anderson (1964); Fisher y Honda (1979) y Woodhouse, et al.(1980), menciona que la orientación de todos los lados del tallo de un cactus o de las hojas de un agave, afectan la interceptación de RAF y, por lo tanto, también la influencia neta del CO₂ que toma la planta. Asimismo, es frecuente que la RAF se limite por efecto del CO₂ capturado y, por ende, también se limita el crecimiento de las suculentas.

INFLUENCIA ESTACIONAL EN LA ORIENTACIÓN DE LOS CLADODIOS TERMINALES



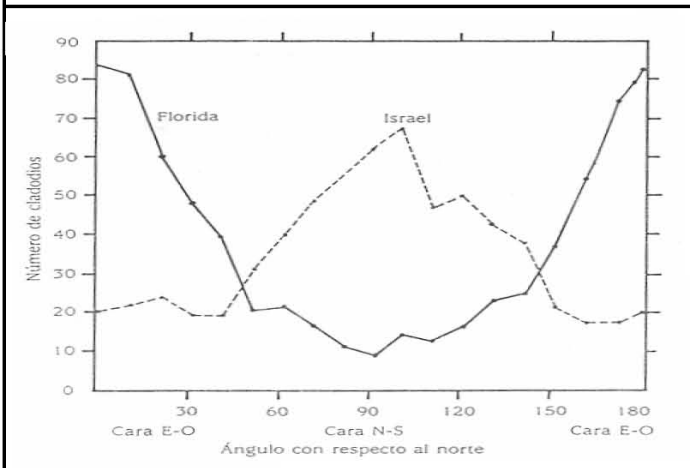
Fuente: Nobel, 1982

INFLUENCIA DEL RELIEVE TOPOGRÁFICO EN LA ORIENTACIÓN DE LOS CLADODIOS TERMINALES



Fuente: Nobel, 1982

ORIENTACIÓN DE LOS CLADODIOS TERMINALES O. STRICTA EN ISRAEL Y FLORIDA



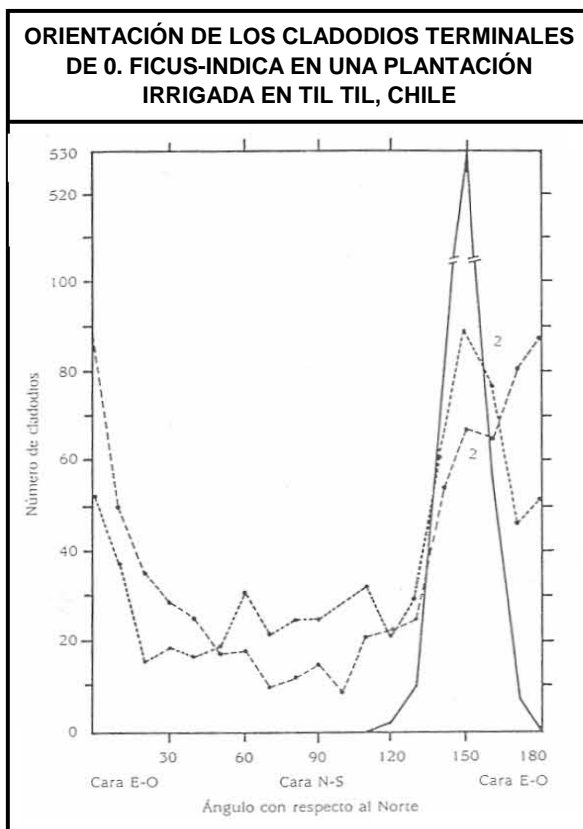
Fuente: Nobel, 1982

Nobel (1982) también observó la orientación y la interpretación de la RAF así como el incremento de la acidez nocturna en cladodios terminales de cultivos de *Opuntia ficus-indica* en Chile, California e Israel, y descubrió que la orientación de los cladodios terminales estaba influida por, al menos, tres factores, que son:

1. La orientación del cladodio del cual se originó el nuevo cladodio pues éste tiende a orientarse en la misma dirección que los cladodios inicialmente plantados. El efecto residual de la orientación del cladodio original puede ser dominante durante casi dos años y ser notable aún después de cinco años, no obstante, después de dos años los cladodios nuevos no sombreados tienden a exponer sus caras en dirección este-oeste. La orientación de los cladodios refleja la orientación del cladodio original también como respuesta a la variación de la

luz solar en las diferentes estaciones del año.

2. La dirección en la cual se maximiza la intercepción de la RAF, pues en las trayectorias observadas así sucedió, sin embargo, la orientación que depende de la luz puede ser dominante después de dos años en cladodios con efecto residual de la dirección de plantación inicial (que no sea óptima para la intercepción de RAF), los cladodios con sus caras este-oeste aumentan la intercepción de RAF, a excepción de los que inician su desarrollo cerca del solsticio de invierno a latitudes mayores de 27° del Ecuador.



Fuente: Nobel, 1982

3. Fototropismo. El uso de RAF unidireccional (horizontal) mostró claramente una respuesta fototrópica, pues el desarrollo de los cladodios nuevos fue vertical, después tendió a ser horizontal y apuntar hacia la fuente de luz: la orientación de éstos tuvo un giro de 16° promedio en la dirección de más RAF, que los cladodios de los cuales se originaron.

Como los cactus son suculentos con metabolismo del ácido crasuláceo, se midió la acumulación nocturna de ácido, en particular con respecto a la orientación de los cladodios y por lo tanto, a la intercepción de RAF.

El incremento de acidez nocturna, así como el incremento en la productividad, generalmente se limitan debido a la luz, ya que el incremento de acidez nocturna para el 90% de saturación o captura de CO₂ indica que las plantas desérticas CAM por lo común tienen RAF limitada por poseer superficies verticales. La RAF depende de los cambios de acidez, la cual a su vez, se correlaciona con un cambio mucho más grande en el patrón de orientación. Una pequeña diferencia en la RAF puede tener un mejor efecto en la orientación de los cladodios.

El relieve topográfico también puede modificar el patrón de orientación de los cladodios, pues en un lugar donde las montañas circundantes bloquearon considerablemente la RAF, se incrementó la acidez nocturna máxima y los cladodios quedaron orientados a 160° (a 20° de cara este-oeste).

Así, el efecto de la luz en la tendencia de orientación de las Opuntias depende probablemente del incremento de la productividad de los cladodios originales que interceptan la RAF máxima al orientar sus caras generalmente, al este-oeste y de la respuesta fototrópica de los cladodios nuevos debido a los cambios de acidez máxima, que se combinan para producir las trayectorias observadas (Nobel, 1982).

ORIENTACIÓN DE LOS NUEVOS CLADODIOS CUANDO LA RAF ERA HORIZONTAL Y ESTABA DIRIGIDA HACIA LAS SUPERFICIES VERTICALES DE ÉSTOS

	Un lado	Ambos lados
Número de cladodios plantados verticalmente	10	9
Número de cladodios desarrollados en dos meses	18	17
Ángulo entre el eje longitudinal de los nuevos cladodios y el horizontal	21+19	87±15*
Ángulo entre los nuevos cladodios y la proyección sobre el plano horizontal y la dirección de RAF	28±17*	30±16*

*Desviación estándar

Fuente: Nobel, 1982

La relación anterior existe entre la detención del crecimiento (letargo) y la diferenciación vegetativa entre el crecimiento vegetativo y la diferenciación floral y entre el sistema radical y el vástago; así, cuando se favorece el crecimiento radical se afecta la parte aérea y viceversa, cuando se detiene el crecimiento vegetativo se favorece la diferenciación floral.

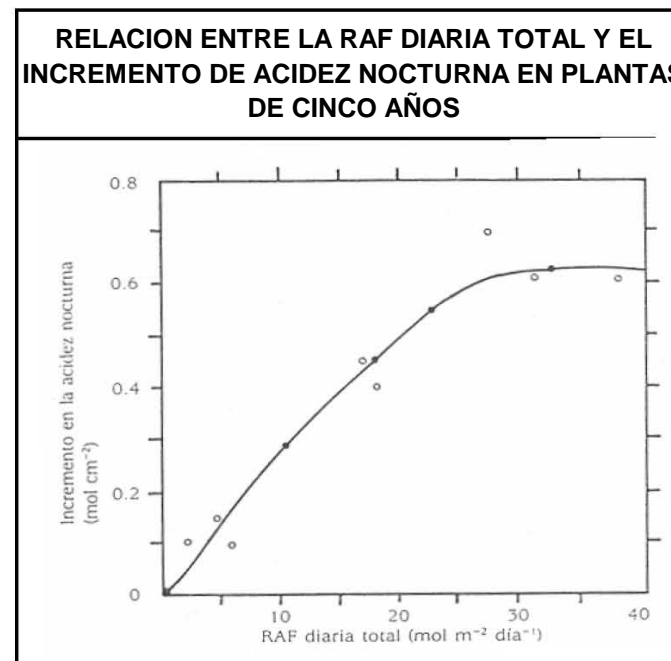
RAF TOTAL DIARIA EN CLADODIOS A VARIAS LATITUDES

	RAF total diario (mol m ² día ⁻¹)	Incremento nocturno en la acidez (% max)							
		latitudes	N	NE o NO	E u O	SE o SO	S	N_S	E-SO o SE-N	E-O
Solsticio de invierno	0	32,2	29,5	23,4	10,6	6,7	67	74	88
	10	27	27,9	25,6	13,5	7,5	66	79	92
	20	19,2	26	27,9	19,4	8,4	60	86	95
	30	14,9	24,8	31,6	24,2	13	63	90	99
	40	12,9	22,3	31,2	28,2	20,8	71	91	99
	50	11,3	19,7	29,9	32	28,5	75	90	98
Equinoccio	0	7,5	21,2	27,5	21,2	7,5	38	84	95
	10	7,4	18,7	27,3	24,2	15,8	53	84	95
	20	7,4	16,1	26,7	28,1	25,2	64	83	94
	30	7,2	13,1	24	29,7	33,3	68	78	90
	40	7,1	11	22,8	32,1	36,2	68	76	87
	50	6	9,1	18,2	29,8	36,1	65	71	76
Solsticio de verano	0	6,7	10,6	23,4	29,5	33,2	67	74	88
	10	6,5	8,7	19,8	29,9	36,6	66	70	81
	20	6,1	7,1	16,7	29,1	38,2	65	66	72
	30	5,5	5,8	13,3	25,7	34	64	61	61
	40	4,6	4,8	9,4	19,9	26,9	59	53	46
	50	3	3,1	5,1	10,1	13,6	39	32	26

Fuente: Nobel, 1982

La relación carbono-nitrógeno influye, a través de sustancias nitrogenadas y carbohidratos, al determinar el crecimiento y la producción; de esta manera tiene las condiciones que favorecen la fructificación como es el aumento de carbohidratos y las condiciones que reducen esta acumulación e incrementan las sustancias nitrogenadas, las cuales favorecen la actividad vegetativa. De este principio se derivan cuatro tipos de plantas.

- a) Plantas cuya nutrición carbonada es deficiente, Cuando la deficiencia se debe a eliminación de materia verde o poca luminosidad, este tipo de plantas florecen poco.

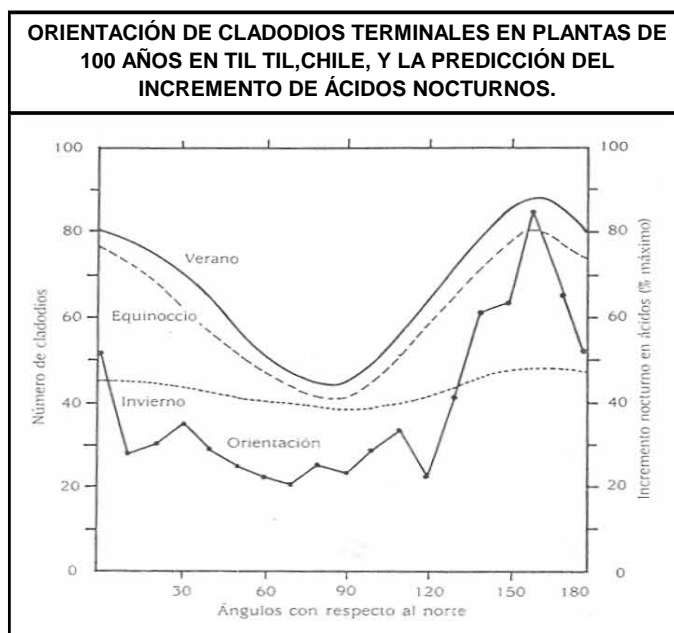


Fuente: Nobel, 1982

- b) Plantas vigorosas de crecimiento rápido. Aquí, los carbohidratos elaborados por las hojas se utilizan para la formación de nuevos tejidos y no hay diferenciación floral.

c) Plantas adultas. En este tipo de plantas el crecimiento es lento, a veces nulo, los carbohidratos se forman en gran cantidad y la floración es abundante.

d) Plantas pobres en crecimiento vegetativo. En este caso la superficie foliar queda reducida a causa del poco desarrollo de las hojas y se obtiene una floración precaria.



Fuente: Nobel, 1982

En las plantas superiores el proceso de fotosíntesis por lo general se realiza en las hojas; sin embargo, existen excepciones como es el caso del nopal *Opuntia* spp, que al principio de su desarrollo tiene hojas pequeñas que posteriormente se caen. Así, en la ausencia de hojas, la fotosíntesis se realiza en los cladodios, es decir, los callos (Becerra, 1975), que también funcionan como órgano de

reserva de fotosíntesis (Bravo, 1937). Se ha observado que cuando se eliminan brotes de un cladodio se favorece la emisión de retoños (García 1971; Barrientos, 1976); esta brotación es más numerosa mientras más extensa es la poda.

En el nopal, la fotosíntesis se lleva a cabo a través del parénquima clorofiliano situado bajo la epidermis y el tejido tuberoso; la estructura de este parénquima es análoga al parénquima en empalizada de las hojas y consta de varias capas de células prismáticas de gran tamaño y paredes delgadas con numerosos cloroplastos. El parénquima clorofiliano se comunica al exterior por medio de los estomas: gradualmente se convierte en acuífero para constituir la zona central y esponjosa del cladodio por donde circula la sabia ascendente. El tejido esponjoso almacena grandes cantidades de agua lo cual permite, en parte, mantener a la planta durante largos periodos de sequía (Bravo, 1937).

La incorporación neta de CO_2 de una hoja está en función de la intensidad de la luz incidente. Por lo tanto a baja intensidad de luz hay una dependencia lineal entre el flujo de CO_2 y dicha intensidad.

En la oscuridad el flujo neto de CO_2 es negativo y su magnitud corresponde a la respiración mitocondrial. Cuando la hoja se ilumina comienzan a funcionar los cloroplastos, en cuya cadena de transporte de electrones se produce la síntesis del ATP, de modo que en estas condiciones funcionan simultáneamente dos procesos productores de ATP: el fotosintético, a nivel de los cloroplastos y el oxidativo a nivel de las mitocondrias.

La intensidad de la luz en la cual el intercambio neto de CO_2 es nulo se denomina punto de compensación de luz; por encima de cierta intensidad de la luz no hay incremento en el flujo neto de CO_2 y este valor de la intensidad es el punto de saturación de luz.

La concentración natural de CO₂ en el aire (300 a 350 ppm) es un factor limitante de la fotosíntesis; si el aire que circunda en las hojas carece de CO₂ a alta intensidad de luz, se puede observar que muchas plantas tienen un flujo neto negativo de CO₂ mientras que a otras apenas despiden CO₂ al ambiente, es decir, se trata de dos grupos de plantas que se diferencian en cuanto al punto de compensación de CO₂ el cual es la concentración de CO₂ donde es nulo el flujo neto de CO₂ de la hoja. En el primer caso, el punto de compensación de CO₂ es cercano a cero, mientras que en el segundo punto de compensación oscila alrededor de 60 ppm y su magnitud depende de la temperatura. Por encima de cierta concentración de CO₂ hacia la hoja, de modo que se habla entonces del punto de saturación de CO₂.

A baja intensidad de luz, el sistema fotoquímico limita la reducción de CO₂. Las altas intensidades de luz saturan el sistema fotoquímico, y es la capacidad del sistema bioquímico lo que regula el proceso; por ello, el aumento de la temperatura o de la concentración de CO₂ incremento, en grado notable, el flujo neto de CO₂ hacia el interior de la hoja.

Al estudiar el intercambio neto de CO₂ en plantas superiores, se pueden diferenciar tres tipos básicos de comportamiento (diferentes metabolismos fotosintéticos):

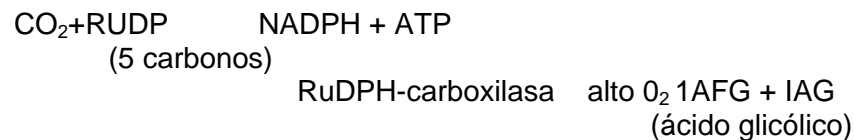
1. Plantas C₃ Alto punto de compensación de CO₂ sin fotorrespiración, sin vaina vascular, con cloroplastos desarrollados: fijación de CO₂ durante el día
2. Plantas C₄ Bajo punto de compensación de CO₂ Sin fotorrespiración detectable, con cloroplastos de mayor tamaño que los del parénquima dispuesto muchas veces en forma radial; fijación de CO₂ durante el día
3. Plantas o CAM (metabolismo ácido de las crasuláceas) Punto de compensación de CO₂ y fotorrespiración variable,

tejido asimilatorio suculento, fijación diurna y nocturna de CO₂ fotorrespiración durante la fijación diurna pero no en la nocturna.

En cuanto a la eficiencia de la fotosíntesis se puede decir que las plantas eficientes no fotorrespiran y las no eficientes sí lo hacen y, al hacerlo, baja su eficiencia fotosintética, puesto que la fotorrespiración es una reacción por medio de la cual la planta genera CO₂ en presencia de luz a través de un ciclo llamado oxidación de carbón; en este caso el fosfoglicolato sirve como sustrato, por lo que se pierde el CO₂ que se fijó en la fotosíntesis. En este proceso el oxígeno se consume en la conversión de glicolato a glicoxilato, en los peroxisomas, y el CO₂ se libera durante la subsecuente condensación de glicina a serina, en la mitocondria (Woo y Osmond, 1976). La serina se metaboliza fuertemente, puede volver a entrar en el ciclo de Calvin en forma de 3 fosfoglicerato y recuperarse un 75% del carbono canalizado a la fotorrespiración; esto es una característica propia de las plantas con ciclo de Calvin C,

Las plantas equipadas con el clásico ciclo de Calvin C, funcionan con ribulosa-difosfato-carboxilasa (RuDP-carboxilasa) para catalizar la fijación primaria de CO₂

bajo O₂ 2AFG (ácido fosfoglicérico)



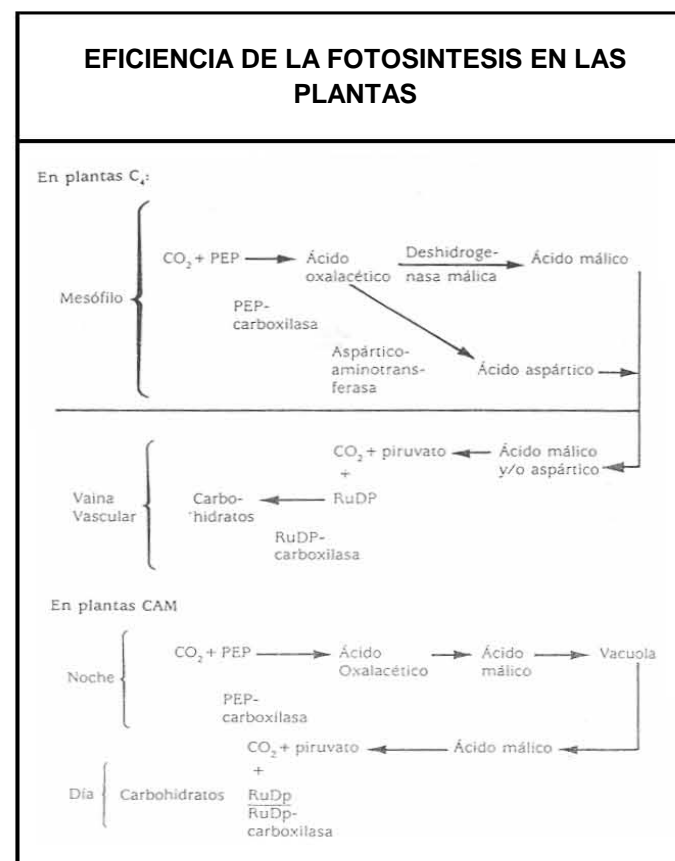
El ácido glicólico sintetizado sale de los cloroplastos y se oxida en las peroxisomas con producción de CO₂; a este proceso es al que se le denomina fotorrespiración. Sin embargo, en las plantas C₄ la fijación inicial se cataliza por medio del fosfoenol piruvato carboxilasa (PER-carboxilasa), que

es muy afín al CO_2 (Hatch y Osmond, 1976), pero no sensible al oxígeno (Bowes y Ogren, 1972); la funcionalidad de la vía C_4 depende de la cooperación metabólica entre los paquetes celulares del mesófilo y la vaina vascular fuertemente asociada a las células del complejo Kranz, que sirve de segmentos de compartimiento sobre toda la vía (Hatch y Osmond, 1976).

En plantas C_4 ocurre la fotosíntesis, aunque haya deficiencia de humedad, cierre estomático, transpiración y difusión de CO_2 ; es decir, estas plantas tienen una eficiencia en el uso de agua lo que da origen a una alta productividad de materia seca con menor humedad que las plantas C_3 (Levitt, 1969). Entre las plantas más eficientes están las que tienen el ciclo CAM que significa metabolismo ácido crasuláceo (también se denomina con las siglas CAM, por sus iniciales en inglés). CAM se distingue por la asimilación nocturna de CO_2 y formar ácidos orgánicos seguidos de la conversión diurna a compuestos neutrales. El fosfoenolpiruvato cataliza la fijación primaria de CO_2 que resulta predominante por la acumulación de ácido málico en cantidades superiores, de 100-200 mg/g peso fresco. El ácido que se almacena durante la noche se descarboxila durante el día o en un periodo de luz, cuando los estomas están cerrados y el CO_2 liberado se refija mediante la vía RUDP carboxilasa y se procesa a través del ciclo de Calvin. Con frecuencia, se realiza un proceso paralelo entre C_4 y CAM respecto a la secuencia de fijación de CO_2 ya que ésta se presenta en ambos tipos de plantas y sólo se diferencia por su actividad temporal, pues las CAM la realizan en la noche y las C_4 en el día.

La gran flexibilidad que existe en la expresión de las plantas de CAM, depende de la edad de la hoja (desarrollo, características de las especies y Condiciones del medio); el proceso semejante al metabolismo C_3 y C_4 puede ser opcional en plantas CAM (Osmond, 1975 y 1978). El patrón de intercambio de CO_2 durante la madurez, en plantas CAM, sin problemas de agua, comprende cuatro fases:

- Absorción y acidificación de CO_2 en la oscuridad.
- Fuerte atracción para la fijación de CO_2 en condiciones de luz.
- Subsecuente declinamiento de CO_2 a cero durante la fase de descarboxilación (desacidificación).
- Fijación de CO_2 de la atmósfera durante la última parte del periodo de luz.



Fuente: Nobel, 1982

El cambio diurno en la secuencia de la semejanza C_3 o C_4 se acompaña con una fluctuación de la concentración de CO_2 y cambios en la sensibilidad de O_2 en la fijación de CO_2 (Osmond y Björkman, 1975).

El metabolismo ácido de las crasuláceas constituye una opción de supervivencia para las plantas de zonas áridas que están sometidas a modificaciones considerables durante la sequía (Osmond 1978), pues son especies con un patrón típico de crecimiento en asimilación diurna, pero cuando la sequía se intensifica la asimilación nocturna de CO_2 prevalece y, en condiciones extremas, las plantas CAM pueden realizarla únicamente durante la noche (Kluge, 1976 y Bartholomew, 1973). El intercambio nocturno de gas es estable con un aprovechamiento considerable en la eficiencia del uso del agua debido a la baja demanda de evaporación (De Luca et al., 1977).

En otras plantas CAM, como las del género *Opuntia* se han encontrado pequeñas tendencias para asimilar CO_2 durante el día cuando existen más condiciones de humedad (Szarek et al., 1974; Hanscom y Ting, 1979). Durante la sequía debido al cierre estomacal y a una cutícula virtualmente impermeable de la planta, se forma un sello hermético y el intercambio de gas cesa, aunque la rutina diaria de acidificación-desacidificación continúa internamente; *Opuntia bigelowii* mantiene un estado semejante durante un periodo de tres años mediante reciclamiento respiratorio de CO_2 a través de vías de fijación. Por lo tanto, se puede decir que la mayoría de las cactáceas son CAM facultativas ya que se comportan como plantas C_3 en presencia de agua.

Por otro lado, la producción de materia seca está en función de la tasa de asimilación neta (TAN) que es la cantidad de materia seca producida por unidad de superficie (hoja), por unidad de tiempo (Grajeda, 1978); es decir, existe una relación estrecha entre el índice de área foliar (IAF) y la TAN. Se ha

visto que la tasa de crecimiento de un cultivo por unidad de área del suelo se incrementa a medida que el IAF aumenta hasta que la mayor parte de luz incidente se intercepta; por esta razón, los cladodios orientados norte-sur son los más eficientes respecto al fenómeno fotosintético.

Según estudios de Grajeda (1978), se encontró que existe una influencia de la edad del cladodio en su capacidad de producir brotes; esto, a su vez, como resultado de la orientación y la eficiencia fotosintética. De esta manera, dicho autor indica que los cladodios de seis meses son los más productivos. El hecho que estos cladodios de seis meses sean los más productivos se debe a que se presenta un equilibrio fisiológico de eficiencia máxima el cual disminuye al aumentar o disminuir la edad, por lo que la TAN también es mayor pues la producción de brotes supera en un 69.89% a la de los cladodios de tres meses y la TAN también es superior en un 194.5% que en éstos.

También se observó, en el estudio de Grajeda que el tamaño medio del brote que se dejó desarrollar en la primera emisión fue el que más influyó sobre las siguientes producciones de brotes, por lo que se supone que este tamaño presenta el nivel de alta eficiencia fotosintética. Conforme se deja desarrollar un número mayor de brotes de la primera emisión y luego se elimina (poda ligera), las producciones subsecuentes de brotes son más elevadas.

En otro estudio, Aguilar Becerril (1981) encontró que el mayor contenido de semillas abortivas presentes en el fruto se debió al ácido giberélico AG_3 que ocasionó 100% más de semillas abortivas con respecto al testigo. Aguilar explica que es probable que este fenómeno se haya originado porque la primera aplicación hormonal eliminó los óvulos de los frutos, como señala Fogg (1963), o que el AG_3 actuó como polenicida y ocasionó que las semillas no presentaran embrión (Weaver, 1961). También se informa que la prolamina incrementa el peso

del fruto y se explica que, tal vez, este efecto se presentó debido a que la sustancia ocasionó un estímulo en el fruto para atraer fotosintatos, lo cual permitió incrementar el peso (Weaver, 1976).

EFECTO DE LA EDAD DEL CLADODIO MADRE SOBRE LA PRODUCCIÓN DE BROTES Y SOBRE LA TAN DE ESTOS BROTES				
Edad en meses	Producción de brotes		TAN (mg/cm/hora)	
	A kg/m ² *	B kg/0.036 m ² **	Cladodio madre	Brotes
3	14.56	0.779	0.037	0.031
6	25.89	1.479	0.109	0.068
12	21.99	0.960	0.055	0.032
0.01	0.46	0.198	0.012	0.006

*A representa el efecto de la densidad de plantación, edades de cladodio madre y de las fechas de corte sobre la producción de corte.
 **B representa el efecto de la edad del cladodio madre, tamaño de los brotes que desarrollaron en la primera emisión y la intensidad de poda sobre la producción de brotes.

Fuente: GRAJEDA, 1978

INFLUENCIA DE LA EDAD DEL CLADODIO MADRE Y LA DENSIDAD DE PLANTACIÓN SOBRE LA PRODUCCIÓN DE BROTES		
Edad en meses	Producción 30 plantas/ms	Kg/m ² 55 plantas m ²
3	10030,00	19209
6	18110,00	33673
12	15549,00	28440
0,01	2650,00	

Fuente: GRAJEDA, 1978

Aguilar y Hein (1931) señala que, el amplio efecto de la aplicación de hormonas (auxinas y giberelinas) en las células de los frutos, hojas, tallos, etcétera, consiste en aumentar la plasticidad de las paredes celulares. Al aumentar la flexibilidad

de las paredes, disminuye la presión alrededor de la célula y la presión de turgencia causada por las fuerzas osmóticas en la sabia vacuolar; con esto se permite que el agua penetre a la célula y se propicie su expansión.

Weaver (1976) plantea la hipótesis de que el aumento de volumen de los frutos se debe, principalmente, a la elongación celular que propicia el efecto de las hormonas (giberelinas y auxinas) ya que éstas controlan la extensión del fruto; este investigador considera que tales hormonas son capaces de desempeñar un papel predominante en la determinación de los patrones de crecimiento de los frutos. Hay dos pruebas que respaldan dicha hipótesis, la primera consiste en que hay una correlación entre el desarrollo de las semillas (que presentan alta cantidad de hormonas), el tamaño y la forma final de los frutos: la segunda prueba consiste en que la aplicación de hormonas (en ciertos frutos), que en etapas particulares de desarrollo generan una respuesta de crecimiento de los frutos por que las giberelinas son capaces de atraer fotosintatos hacia ellos, les permite alcanzar el tamaño comercial aunque carezcan de semillas o éstas se hayan alterado.

La aplicación de ácido giberélico en *O. policantha* induce la producción de espinas y no causa elongación del eje. Las yemas auxiliares en estado de letargo, de estas mismas especies se pueden activar mediante citocininas o ácido giberélico; con la aplicación de este último, se ha observado que en el desarrollo de primordios no ocurren las células oclusivas, el tejido vascular y el parénquima.

Pimienta (1979), citado por Rodríguez (1982), observó en *Opuntia amyclaea* que las aplicaciones de ácido giberélico aumentan el número de espinas y de cerdas por areola.

Thiman y Went (1934), citados por Becerra (1975), demostraron que las auxinas estimulan la formación de raíces

adventicias en estacas. Las auxinas se sintetizan principalmente en las yemas apicales y en las hojas jóvenes y se desplazan del ápice a la base morfológica. Las auxinas se han promovido con el propósito de que estimulen la formación de raíces: sin embargo, las estacas pequeñas que tienen hojas con pocas reservas de auxinas o de carbohidratos requieren luz para la formación de alimentos, y auxinas para la formación subsecuente de raíces. También hay pruebas de que el fotoperiodo a que se expone la planta madre o en la que se efectúa el enraizamiento, tiene efectos sobre la iniciación de primordios radicales en donde resultan más eficaces los días largos o la iluminación continua que los días cortos (Becerra, 1975).

El desarrollo de la raíz está limitado por dos factores:

Factores ambientales:

- Humedad.
- Temperatura.
- Concentración de sales, PH, y minerales.

Factores endógenos:

- Balance hormonal entre promotores e inhibidores.
- Parar iniciar el crecimiento, el balance debe estar a favor de los promotores.

Rodríguez (1982) y Zimmerman (1971) mencionan que el estadio juvenil en los árboles que se propagan mediante semillas se caracteriza por dominancia apical, crecimiento estacional del tallo, crecimiento del tallo por efectos de posición, tallos cortos y largos, crecimiento recurrente, tallos envolventes, formación de espinas, tallos con hojas diferentes, incapacidad de producir flores, abscisión de hojas variación en fitotaxia, resistencia de enfermedades e incapacidad de formación de raíces adventicias.

En la fase juvenil también es característica el estado de

crecimiento reproductivo, lo que aparentemente es una ventaja ecológica, ya que la planta alcanza un tamaño que le permite competir con las comunidades vegetales. Para el caso del nopal, el estado de crecimiento reproductivo puede ser contraproducente en su tamaño natural debido a que la planta joven de nopal que se origina de la semilla es muy sensible a variaciones de temperatura y a grados de sequía, que son sus enemigos naturales más fuertes, al menos en sus primeros estados de desarrollo (Zimmerman, 1971).

El estadio juvenil se contrapone a los deseos de los productores, ya que ellos generalmente requieren una producción alta que se debe alcanzar al menor tiempo posible después de haber iniciado la plantación. Por esto en el nopal es muy importante la reproducción vegetativa, ya que el cladodio lleva en sí su estadio de desarrollo de madurez, por lo que las hormonas relacionadas con la reproducción estarán en la disposición de activar las yemas para la diferenciación y, por lo tanto, la iniciación floral. Esto explica por qué un cladodio puede empezar a producir desde el primero o segundo año.

Algunos autores estudiaron el comportamiento respiratorio de frutos del nopal especie *O. robusta* Mill, en condiciones ambientales (20 + 1°C; 60% - 65% humedad relativa) y encontraron un comportamiento respiratorio similar al de los frutos cítricos. Esto lo confirmaron por medio de la técnica Warbug en la que se emplean discos del tejido de la cáscara, con lo que estos autores clasifican al fruto del nopal como no climatérico. Lo que indica, de acuerdo con el patrón respiratorio, que la tuna posiblemente pueda resistir temperaturas de refrigeración, para su conservación. Estos frutos no climatéricos tienen como característica que deben cosecharse en estado de madurez comestible y no fisiológica, como los frutos climatéricos (plátano, mango). Ramayo y colaboradores (1978) encontraron que las mejores condiciones de conservación del fruto fueron a 10°C con 85% - 90% de humedad relativa y almacenado durante 30 días. Regularmente

los brotes tiernos se dañan al exponerse a temperaturas menores de 10°C.

Después del amarre del fruto se encontró un llenado del fruto cuyo crecimiento tanto de diámetro como de longitud es casi lineal, por lo tanto, Alvarado y Sosa (1978) consideraron necesario combinar los aspectos de desarrollo de la flor con los del fruto para establecer la curva de crecimiento, la cual se encontró era de tipo sigmoide y de comportamiento atípico, en comparación con otras frutas. Después del amarre dichos autores observaron varias fases críticas en relación con los cambios físicos, fisiológicos y bioquímicos del fruto. En la primera fase, 70 días después del amarre, se observaron cambios notables en apariencia física, actividad respiratoria y compuestos bioquímicos; en la segunda, alrededor de 90 a 95 días después del amarre, se presentaron cambios bioquímicos y respiratorios; mediante estas observaciones, Alvarado y Sosa encontraron un parecido con el patrón de desarrollo de algunas bromeliáceas. Los parámetros que pueden servir como índices de cosecha son: la profundidad del receptáculo, los cambios bioquímicos en la cáscara y la pulpa y, especialmente, el contenido de sólidos solubles y azúcares. También es útil, a nivel comercial, la gravedad específica, que después de la décima octava semana es mayor que 1.0. Alvarado y Sosa recomiendan que la cosecha se realice después de la decimocuarta semana.

FENOLOGÍA DEL NOPAL

La variación climática a lo largo del año se debe al movimiento de la tierra y a la posición del sol; como consecuencia de esto, las plantas (principalmente las de zonas templadas o áridas) reaccionan a los cambios climáticos.

Existen dos condiciones esenciales para que una especie vegetal se pueda desarrollar en una localidad

específica:

- 1 .La existencia de un intervalo suficientemente amplio para que la planta pueda completar su desarrollo, desde el nacimiento o el brote hasta la plena madurez de los frutos y las semillas.
2. Que durante dicho intervalo las condiciones atmosféricas adversas no alcancen una intensidad tal que pueda disminuir el rendimiento más allá de los límites convenientes; en el caso del nopal, menos de 10°C.

Por lo tanto, la fenología se encarga de estudiar las relaciones de las plantas con el clima y su respuesta a éste; es decir, es el estudio de los fenómenos biológicos que acontecen con ritmo periódico, como la brotación de yemas, las inflorescencias, la maduración de frutos, la caída de hojas, etcétera. Estos fenómenos se relacionan con el clima de la localidad donde ocurren.

La fenología también se define como la rama de la ecología que estudia los fenómenos periódicos de los seres vivos y sus relaciones con las condiciones ambientales, por ejemplo, temperatura, insolación, humedad, etcétera. La importancia de la fenología radica en que da a conocer los periodos o etapas críticas de las plantas cultivadas: además permite incrementar la producción así como ahorrar los insumos disponibles, con lo cual aumentan los beneficios.

La fenología divide al ciclo vegetativo en periodos, fases y subperiodos.

El periodo es el tiempo indispensable y suficiente que necesita una planta para ser estimulada por un excitante externo que sea capaz de provocar una reacción y permita la repetición intermitente del estímulo.

La fase es la aparición, transformación o desaparición rápida de los órganos de la planta. Estas profundas transformaciones se presentan en intervalos muy breves, por

ejemplo, el espigamiento del maíz, que se realiza en un periodo bastante corto.

El subperiodo es el intervalo de tiempo limitado por dos fases. Durante cada subperiodo, las tendencias de las plantas varían en una sola dirección o permanecen constantes, como los subperiodos de los cereales.

En el desarrollo del nopal también se pueden caracterizar estas divisiones del ciclo vegetativo. Así, se observa que el nopal tiene periodos de floración y de fructificación.

En el periodo de desarrollo vegetativo se pueden caracterizar las siguientes fases:

- Fase de germinación.
- Fase de crecimiento (establecimiento).
- Fase de madurez.

En un estudio sobre el nopal forrajero, Martínez (1967) menciona que en 1961 se estableció un vivero en el cual se incluyó una mezcla de semillas de variedades blanca, amarilla y roja, en la región de Escobedo, al norte de Saltillo, con una población de 300,000 plántulas. En enero de 1962 hubo algunas heladas de 16°C bajo cero que mataron a la mayor parte de las plántulas; sólo 45 de ellas resistieron, de las cuales se cultivaron 31; continuaron las heladas y únicamente ocho plántulas, en agosto de 1967, empezaron a producir tunas. En esta etapa de la planta se hicieron plantaciones y se formaron, así, nuevos clones que ha resistido temperaturas de 5°C bajo cero. Sin embargo, se observó que las plantas de pencas tiernas muestran mayores lesiones por heladas en comparación con las que provienen de pencas de más edad.

Por lo anterior, se puede decir que las plantas del nopal son susceptibles a daños por temperatura en fases bien

diferenciadas por ejemplo, en la etapa posgerminativa y en el subperiodo de desarrollo vegetativo del cladodio. Algunos estudios de conservación muestran que por debajo de 10°C, el frío daña gravemente los cladodios tiernos.

SUBPERIODOS DE LOS CEREALES		
Subperiodo	Intervalo	Nombre
Primero	Siembra-principio	Nacencia
Segundo	Principio-fin de amacollaje	Amacollaje
Tercero	Fin de amacollaje-espigamiento	Espigamiento
Cuarto	Espigamiento-madurez	Madurez

Fuente: Hinojosa, 1979

En la fase de crecimiento se encuentra lo que actualmente se conoce como dominancia apical; ésta explica por qué una planta en su madurez reacciona a la poda. Esta dominancia está influida por las auxinas y, en especial, por el ácido idolacético (IAA), los cuales en dosis elevadas inhiben el desarrollo; por lo tanto, es muy importante la concentración de dichos elementos, ya que, de acuerdo con ello, pueden ser o no promotores de crecimiento en el periodo de madurez para que la planta responda a las podas. Así la propagación mediante semilla es menos efectiva, ya que requiere de un conjunto de condiciones que no siempre se encuentran en tierra: cuando estas condiciones se Presentan y germina la semilla, el desarrollo subsecuente de la planta es lento, pues basta la acción mecánica de las tormentas para que se desarraigue, o la más leve sequedad para que muera. Sólo se asegura la vida de la planta cuando el sistema radical está desarrollado por

completo; después de este periodo crítico el crecimiento es más activo. De este modo las tres fases antes mencionadas constituyen el periodo crítico que Piña (1977) menciona y que corresponde específicamente al periodo de desarrollo vegetativo.

El periodo de floración y fructificación es el periodo de producción de la planta de nopal, que se divide en:

- Fase de floración.
- Fase de fructificación.

La periodicidad de estas fases se debe a una tercera fase que se genera por la influencia de la temperatura, radiación y humedad del suelo que la planta aprovecha para sintetizar reservas metabólicas.

En la fase de floración se pueden distinguir las siguientes subfases:

1.- Iniciación o aparición de yemas florales. Al respecto, Alvarado y Sosa (1978), en un estudio de fisiología y bioquímica del fruto (tuna) de *O. amyclaea* que se inició a fines de enero, tuvieron como resultado un promedio de 55 días para la apertura de la flor a partir del surgimiento de la yema, donde el crecimiento fue de tipo signoidal tanto para la longitud como para el diámetro del botón. Según Alvarado y Sosa (op. cit.) @, Barrera et al. (1975), los factores que influyen en esta diferenciación floral son el estado nutricional de la planta, la posición de la yema en el cladodio, la orientación de éste con respecto al sol y la competencia por número de yemas; estos factores pueden modificar el tiempo de esta fase.

2. Floración. Esta subfase, como su nombre lo indica. Consiste en la aparición de flores que, por lo regular, ocurre en los meses de abril y mayo. En el caso particular de *O. amyclaea* la flor permanece únicamente 24 horas; durante este lapso, los

lóbulos del estigma se separan y se observan brillosos y turgentes, lo que indica su receptividad al polen: después de esto, la flor se marchita.

El tiempo que transcurre entre la apertura de la flor y la separación de sus partes puede variar desde cinco hasta 20 días. Sin embargo, Alvarado y Sosa consideran que la vida del fruto empieza a contar a partir de dos días después de la apertura de la flor, lo que incluye el momento de antesis; en el cual se puede decir que se inicia la fase de fructificación después del amarre y dura hasta el momento de la cosecha.

SUBPERIODOS DEL NOPAL		
Subperiodo	Intervalo	Nombre
Primero	Término de cosecha-brotación de yema	Dominancia
Segundo	Brotación de yemas-floración	Floración
Tercero	Floración-fructificación	Fructificación I
Cuarto	Fructificación-iniciación de madurez	Fructificación II
Quinto	Inicio de madurez-final de madurez	Madurez
Sexto	Fin de madurez-cosecha	Cosecha

Fuente: GRAJEDA, 1978

Nombre de archivo: A13
Directorio: C:\Users\PACO\Documents
Plantilla: Normal.dotm
Título: CENTRO DE ACOPIO DISTRIBUCION Y
 PROCESAMIENTO DE NOPAL EN MILPA ALTA D
Asunto:
Autor: FRANCISCO VIDAL MENDOZA
Palabras clave:
Comentarios:
Fecha de creación: 30/10/2007 07:58:00 a.m.
Cambio número: 14
Guardado el: 31/10/2007 01:18:00 p.m.
Guardado por: FRANCISCO VIDAL
Tiempo de edición: 195 minutos
Impreso el: 13/11/2007 01:39:00 a.m.
Última impresión completa
 Número de páginas: 17
 Número de palabras: 6,594 (aprox.)
 Número de caracteres: 36,271 (aprox.)