

**CONTROL DEL MEDIO AMBIENTE
BAJO INVERNADERO Y TUNEL
DE PLASTICO**

**Japan International Cooperation Agency
(JICA)**

A D L
J I C A
1 9 7 7

**CONTROL DEL MEDIO AMBIENTE
BAJO INVERNADERO Y TUNEL
DE PLASTICO**



**Japan International Cooperation Agency
(J.I.C.A.)**

国際協力事業団		
受入 月日	'87. 6. 16	711
記録 No.	08650	85.6
		ADL

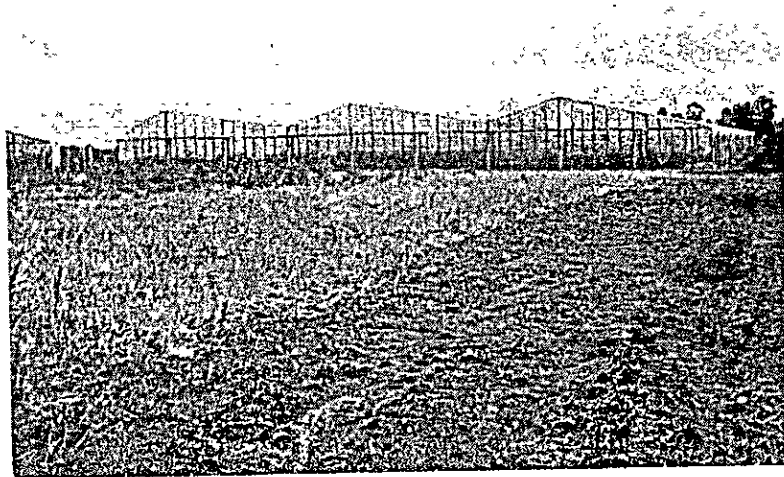
CONTROL DEL MEDIO AMBIENTE BAJO INVERNADERO Y TUNEL
DE PLASTICO

Masakatsu Tanaka *

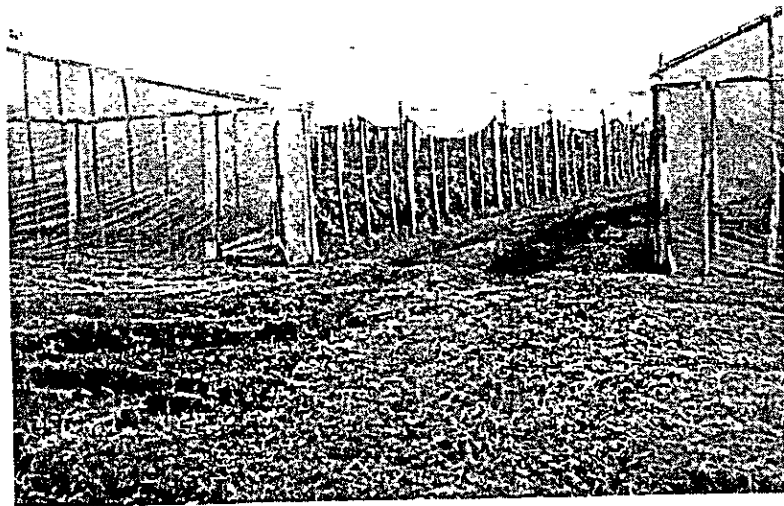
Héctor Genta **

* Hokkaido National Agricultural Experiment Station.

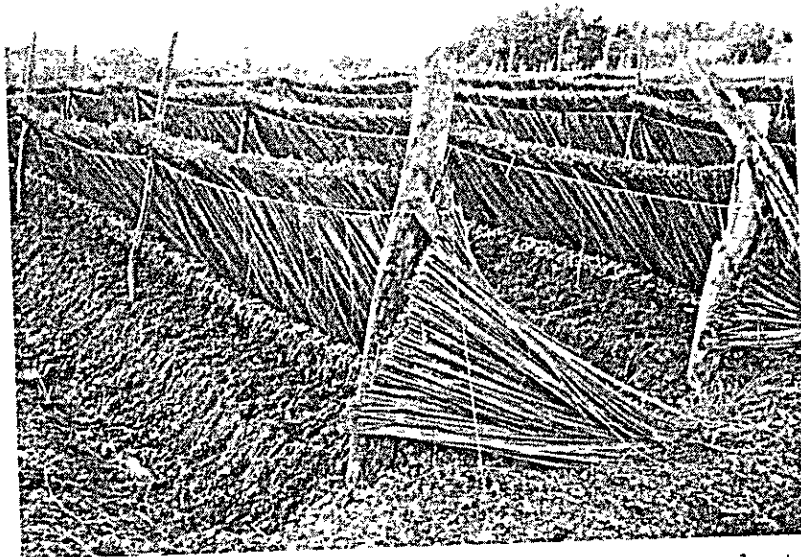
** Estación Experimental de Citricultura, CIABB.



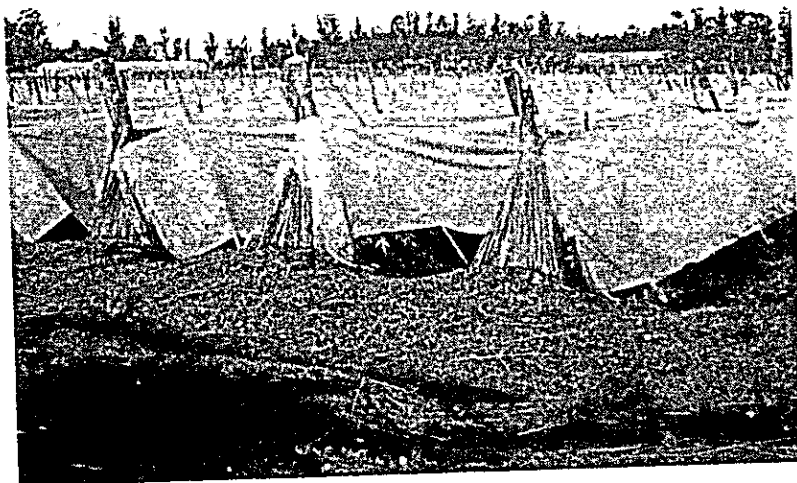
Cultivo de tomate primor bajo invernadera con estructura de
madera y film de polietileno (Bella Union 1982)



Cultivo de tomate primor bajo invernadero. Se observa el
mecanismo de ventilación a través de pares. (Bella Union 1982)



Cultivo de primor bajo quincho. Momento del transplante de tomate. (Bella Union y Salto, 1982)



Cultivo de tomate primor bajo quincho. Para la mayor conservación de la temperatura se tapa el lado norte durante la noche con nylon de plastillera (Bella Union y Salto, 1982)

INDICE

<u>CAPITULO 1º.</u> ESTRUCTURAS, MANEJO Y CONTROL DEL MEDIO AMBIENTE DE CULTIVOS BAJO INVERNADERO DE PLASTICO	1
I. PREFACIO	1
II. TIPOS DE INVERNADEROS DE PLASTICO Y SU RESISTENCIA AL VIENTO	2
A. Invernadero de plástico semicilíndrico	2
B. Invernadero grande de plástico	4
C. Resistencia al viento	10
D. Procedimiento para la construcción del invernadero semicilíndrico	13
III. MECANISMO DE CONSERVACION DE LA TEMPERATURA EN EL INVERNADERO DE PLASTICO	17
A. Acumulación de energía en el suelo, durante el día	19
B. Disminución de pérdidas de energía a través del techo, en invernaderos de plástico	23
C. Disminución de pérdidas de energía por el suelo	23
D. Disminución de pérdidas de energía, por rendijas y a través del filme	24
IV. VENTILACION DEL INVERNADERO DE PLASTICO PARA EL CONTROL DE LA TEMPERATURA Y LA HUMEDAD DEL AIRE	24
A. Niveles térmicos y de humedad que hacen necesario la ventilación en un invernadero de plástico semicilíndrico	24
B. Métodos de ventilación forzada	27
1. Tipos de ventiladores	27
2. Índice de ventilación	28
3. Lugar de instalación de los ventiladores y de la abertura de aspiración	29
4. Uso de tubos perforados de polietileno	32
5. Criterios para el uso de ventiladores	35
C. Otros tipos de ventilación	36
1. Ventilación por ventana	36

2.	Ventilación por el techo	38
3.	Ventilación a través de cortinas húmedas	38
V.	FOTOSINTESIS Y LUMINOSIDAD EN EL INVERNADERO DE PLASTICO	39
A.	Factores que afectan la fotosíntesis	39
B.	Suministro de gas carbónico (CO ₂)	42
<u>CAPITULO 2^o</u>	DIFERENTES MATERIALES DE COBERTURA EN EL CULTIVO BAJO TUNEL Y SU EFECTO EN LA CONSERVACION DE LA TEMPERATURA	45
I.	PREFACIO	45
II.	INFLUENCIA DE DIVERSOS MATERIALES DE FILME EN LA CONSERVACION DE LA TEMPERATURA	48
	Ejemplos de investigaciones sobre temperaturas	48
III.	MECANISMO EN LA CONSERVACION DE LA TEMPERATURA	52
	Indice de longitud de onda de la luz transmitida por el filme	52
IV.	ALGUNOS FACTORES QUE AFECTAN LA CONSERVACION DE LA TEMPERATURA	54
A.	Adherencia de la gota de agua en el filme	54
B.	Deposición de polvo sobre el filme	55
V.	METODOS PARA AUMENTAR LA CONSERVACION DE LA TEMPERATURA	55
A.	Efecto de la doble cubierta de plástico	55
B.	Conservación de la temperatura dentro de invernadero con túneles de plástico	56
C.	Conservación de la temperatura bajo túneles con esteras de diferentes materiales	57

CAPITULO 1º. ESTRUCTURAS, MANEJO Y CONTROL DEL MEDIO AMBIENTE DE CULTIVOS BAJO
INVERNADERO DE PLASTICO

I. PREFACIO

El Uruguay ha probado los primeros cultivos de invernaderos de plásticos para hortalizas en 1972, alcanzando en 1978 una superficie de 0.70 ha. Pocos años después, dicha área siguió creciendo, para llegar en 1982 a 11 has, situadas en la zona norte del país.

Las principales zonas productoras de hortalizas en invernaderos son: Bella Unión y Salto. Las estructuras de éstos son de madera de eucaliptus y el filme usado es el poliestileno (PE), el que en comparación con el cloruro de vinilo (PVC), el PE conserva menos la temperatura, permite una menor penetración de los rayos solares, y es de corta duración (4 a 6 meses). En general se toman precauciones en el control de la ventilación del invernadero.

Por otra parte, en los cultivos tempranos (primor) en la época de bajas temperaturas, en dichas zonas, se utiliza el quincho, como forma de protección contra los fríos. Esto es comparable al sistema de cultivo protegido por persianas de juncos, pajas de trigo o de arroz del antiguo Japón. Puede decirse que este sistema es muy económico debido al material que se usa para su construcción (paja, postes y alambre, etc), pero para el manejo del cultivo, conservación de la temperatura ya aprovechamiento de la luz solar, no siempre es el más adecuado. Además, requiere muchas horas de trabajo para la construcción y manejo posterior del cultivo. De modo que, excepto las ventajas económicas, este sistema parece no tener buen éxito en el futuro.

Las investigaciones sobre materiales e instalaciones económicas de invernaderos son temas muy importantes, debido a que éstos están en las primeras etapas de desarrollo en Uruguay.

Por razones económicas de inversiones en instalaciones y equipos, similares a los que usan los países más avanzados, la tendencia futura del cultivo protegido por esa vía en este país, tendrá aumentos de áreas poco importantes.

Por consiguiente, se considera que se deben estudiar las técnicas de construcción y estructuras más económicas para la situación actual de precios de insumos y productos en nuestras condiciones.

Este informe tiene como objetivo resumir los resultados experimentales de diversos trabajos de investigación sobre el manejo y control del medio ambiente en cultivos hortícolas de primor.

II. TIPOS DE INVERNADEROS DE PLÁSTICO Y SU RESISTENCIA AL VIENTO

A. Invernadero de plástico semicilíndrico

Este tipo de invernadero es el más propagado en Japón, por constar de materiales de bajo costo, instalación y desmontaje fáciles, su estructura de tubos de hierro las hace muy manuales y la forma es más o menos semicircular (tipo D). Miden de 4 a 6 m de ancho y de 2.30 a 2.40 m de altura (Fig. 1, Foto 1).

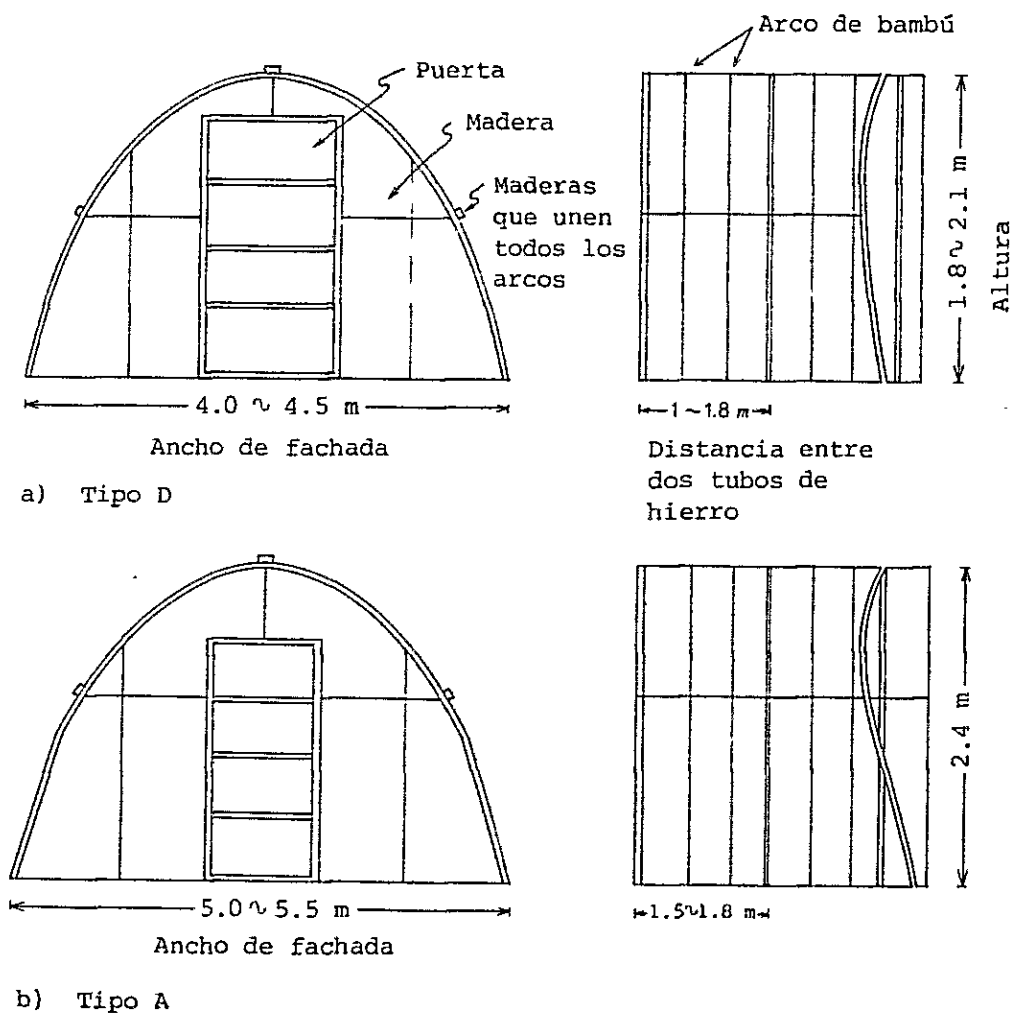
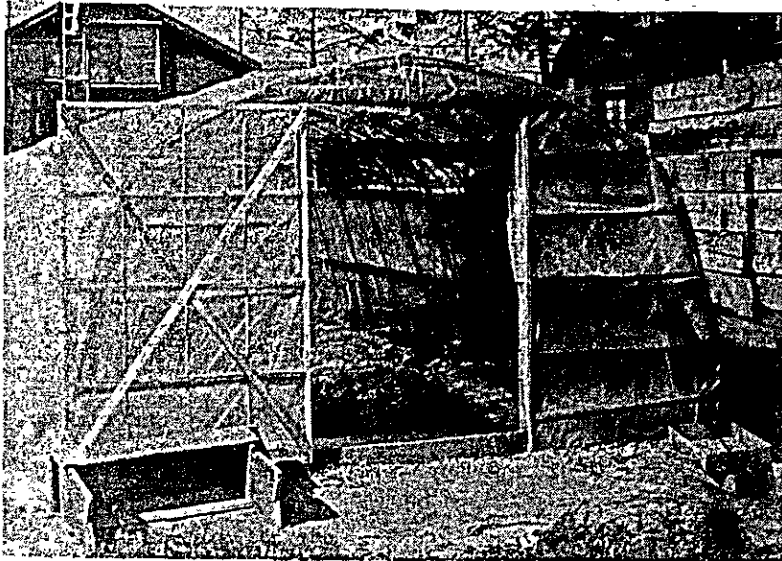
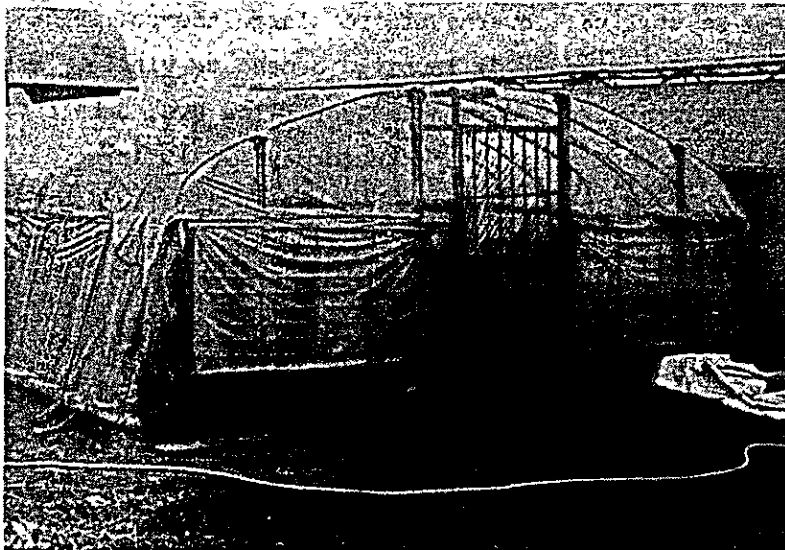


Fig. 1 Estructura del tipo D y A



a) Fachada de 4 m de ancho



b) Fachada de 5.5 m de ancho

Foto. 1 Vista general de invernaderos de plástico semicilíndrico (Tipo D)

Se estima que, para las condiciones de Uruguay, una combinación de hierro y bambú sería la más adecuada desde el punto de vista económico. La estructura en sí, tiene un arco de tubo de hierro cada 1.80 m de distancia y dos arcos de caña bambú cada 60 cm entre los primeros. Actualmente en Japón, sólo se utiliza material de hierro, con excepción de las fachadas de entrada y salida, que son de madera. El material de cobertura es en general PVC de 0.075 a 0.1 mm de espesor. El filme está fijado con piolas gruesas de vinilo entre los arcos.

Para evitar corrosión en los tubos de hierro, se usan antióxidos por galvanización con cinc, y de acuerdo con su objetivo y el tiempo de utilización, existen tubos con diferente consistencia, teniendo los más comunes 19 a 34 mm de diámetro exterior y 1.2 a 2.5 mm de espesor.

Algunas veces, por razones económicas, dichos tubos poseen insuficiente espesor, creándose problemas por inadecuada resistencia al viento. Los más seguros son los que poseen un espesor mayor de 2.3 mm. El punto esencial que debe considerarse siempre, es la resistencia a los vientos. Los tubos de hierro con poco espesor tienen alta probabilidad de torcerse en las regiones muy ventosas y se hace indispensable de mayor espesor. La distancia más común entre los tubos es de más o menos 90 cm, pero, en regiones de fuertes vientos, es importante disminuir ese espacio a 45 - 60 cm.

En caso de utilizar invernadero por largo tiempo, se debe tener mucho cuidado con el fijador de la piola gruesa de vinilo. Esta, que va entre los arcos de hierro y por encima del filme PVC, debe estar bien atada a un fuerte alambre que corre exteriormente a lo largo del invernadero, lo cual evita de esta manera que el filme se afloje.

B. Invernadero grande de plástico

Generalmente, un invernadero grande de plástico tiene de 8 a 15 m de ancho y muchos tipos de forma (Cuadro 1). Si se compara con el de plástico semicilíndrico, aquel es más resistente al viento, es de fácil uso y se puede utilizar durante todo el año. El material usado es el hierro y la estructura es diferente de acuerdo a la consistencia y a los materiales de cobertura usados (Cuadro 2).

Al principio en Japón, se usaban en este tipo de invernadero, materiales de hierro y madera; actualmente se usa únicamente el hierro y/o aluminio. Con esto, se han logrado buenos resultados por el escaso sombreado que provocan, si se compara a las estructuras de madera, siendo notable en cuanto a su durabilidad y consistencia.







Cuadro 1 Información general de las principales características de invernaderos sencillos de dos aguas y semicilíndricos

Tipo de forma	Ancho de fachada	Altura Centro Pared	Altura Pared	Lugar de la ventilación Techo Pared	Si	Si	Aluminio	Tipo de estructura	Film	Cultivo	Costo*/ 3.3 m ²	Anos de uso
Techo de dos aguas	5.4 m	3.2 m	1.6 m	Si	Si		Aluminio	P.V.C.	Tomate	220	Peso 10 ~ 15	
"	"	"	"	"	"	"	Hierro angulo	"	Pepino	160	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	2.8	1.5	"	"	"	"	"	"	"	190 ~ 220	"
"	4.8	3.2	1.5	"	"	"	Hierro angulo doble	"	"	220	"	"
"	5.4	3.1	2.0	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	4.5	3.2	1.5	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	3.0	1.35	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	5.0	2.6	1.65	"	"	"	"	"	"	"	60	"
Semici-lindrico	3.3	1.7	1.3	-	"	"	Tubo de hierro	"	"	60	8 ~ 12	"
"	5.0	2.3	1.35	-	"	"	"	"	"	70	"	"
"	4.0	2.2	1.30	-	"	"	"	"	"	55	"	"
"	4.5	2.0	1.20	-	"	"	"	"	"	60	"	"
"	"	2.1	1.20	-	"	"	"	"	"	70	"	"
"	5.4	2.6	1.35	-	"	"	"	"	"	60	"	"
"	2.7	1.7	"	-	"	"	"	"	"	55	"	"

* N\$ Uruguayos de Abril 1982 (Dólar = N\$ 12.45).

El material más comúnmente usado de este invernadero es el filme de PVC de 0.1 a 0.15 mm de espesor. Además de éste, otros materiales duros y resistentes pueden ser utilizados en algunas ocasiones, tales como fibra de vidrio y vidrio flexible. Por razones económicas el invernadero de vidrio es poco común en hortalizas y su uso se limita únicamente a pequeñas áreas dedicadas a almácigos y floricultura.

Cuadro 2 Tipos, formas, medidas de fábrica y kg/m líneal de los materiales usado en las estructuras de hierro en invernaderos

Tipo	Forma	Medidas de fábrica Espesor x Altra x Largo horizontal	kg/m líneal
Tipo L		3 x 20 x 20 mm	0.89 kg
		3 x 25 x 25	1.12
		3 x 30 x 30	1.86
		3 x 40 x 40	1.83
		5 x 40 x 40	2.95
Tipo C		1.6 x 60 x 30	1.44
		2.3 x 60 x 30	2.03
		4.0 x 150 x 30	7.33
Tipo C		C-1.6 x 60 x 30 x 10	1.63
		C-2.3 x 60 x 30 x 10	2.25
Tipo double C		2C-2.3 x 60 x 30 x 10	
Tipo H		H-7 x 100 x 50 x 5	
Tipo Z		3.2 x 150 x 50 x 50	

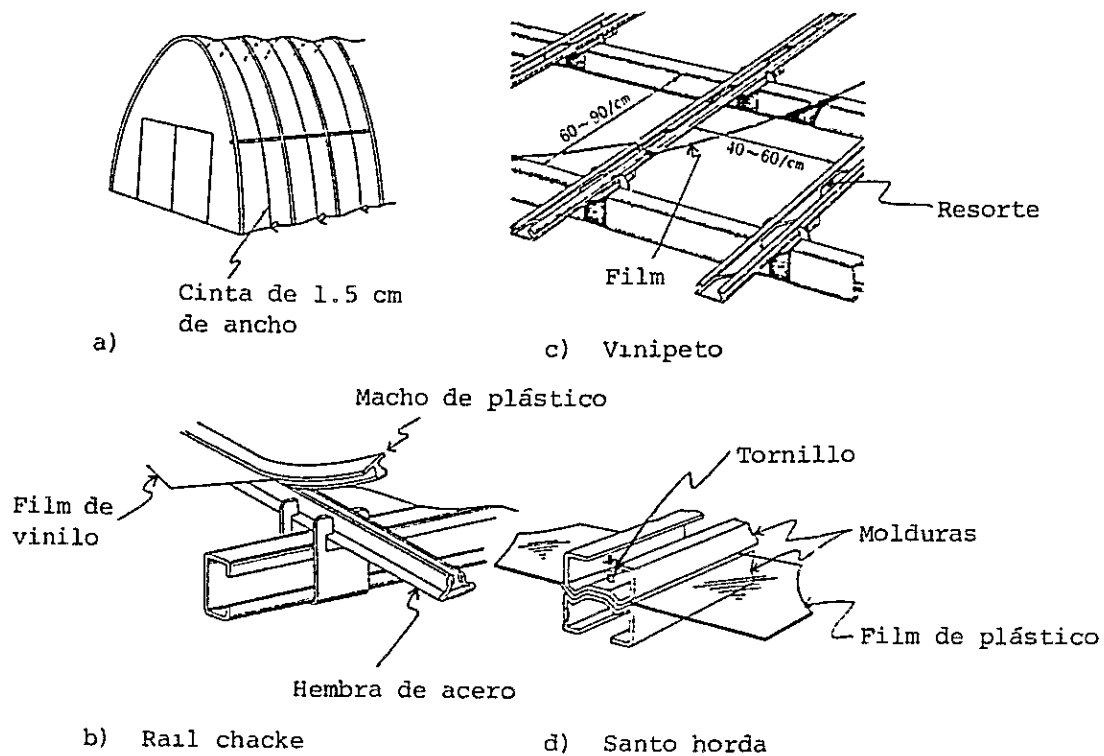


Fig. 2 Tipos de materiales para sujetar el film de plástico

Invernaderos semicilindrico

- a) Invernadero pequeño donde el plástico es amerrado con cintas de vinilo de 1.5 cm de ancho, entre los arcos de hierro.

Invernaderos con estructuras muy fuerte

- b) Sistema para asegurar film de plástico blando. Consiste en una moldura de acero (hembra) y un seguro (macho) de plástico, la que apreta el plástico entre anbos.
- c) Sistema para asegurar el film de plásticos blando. Consiste en una moldura de acero (hembra) y un resorte (macho) que va dentro del anterior, la que asegura el film entre anbos.
- d) Sistema para asegurar film de plástico rígido. Consiste en dos molduras de acero iguales con tornillos, la que apreta el film entre anbas.

Como se observa en la Fig. 2, tanto en los invernaderos grandes de forma circular, como en los de plástico semicilíndricos se usan piolas gruesas que fijan el filme a las estructuras de hierro. En los invernaderos grandes con techo de dos aguas, el filme es comúnmente asegurado con el sistema de riel de cierre (cremallera) (Fig. 2 b). Hay que tener cuidado con los filmes finos, pues existe la posibilidad de corte en la zona del riel de cierre. Cuando la cobertura es con filme duro se usan apretadores con tornillo (fac volt), o aseguradores especiales (holders). Recientemente se ha comenzado a utilizar el "VINI PET" (Fig. 2 c) de acero en vez de "riel de cierre", que en comparación con el anterior puede ser usado con filmes blandos y duros. Es de fácil manejo y económico; también el daño al filme es pequeño y puede ser usado por largo tiempo. Hasta ahora los "rieles de cierre" podían ser sustituidos por piolas gruesas de vinilo (Fig. 2 a), pero en el caso de filmes duros y/o gruesos, los tipos de aseguradores vistos antes, no son los más adecuados, sino aquellos con mayor resistencia, como por ejemplo el tipo "Santo Horda" (Fig. 2 d).

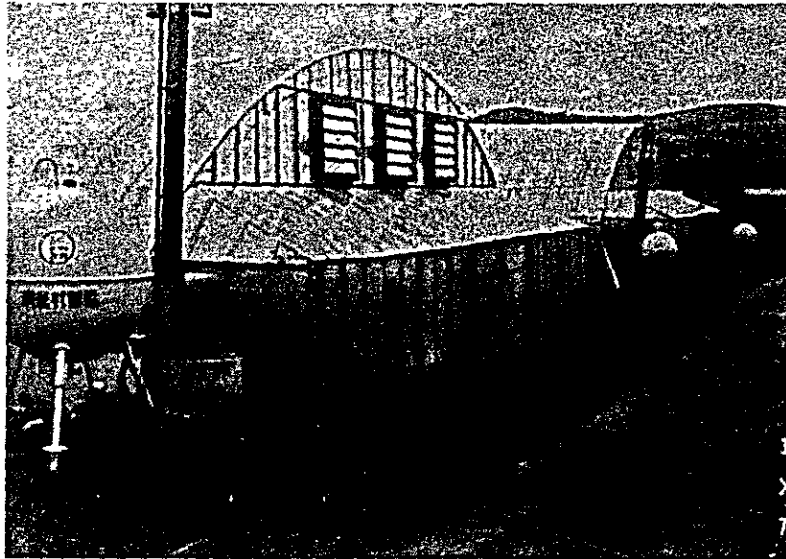


Foto. 2 Invernadero de plástico semicilíndrico con fachada de 10 a 12 m de ancho

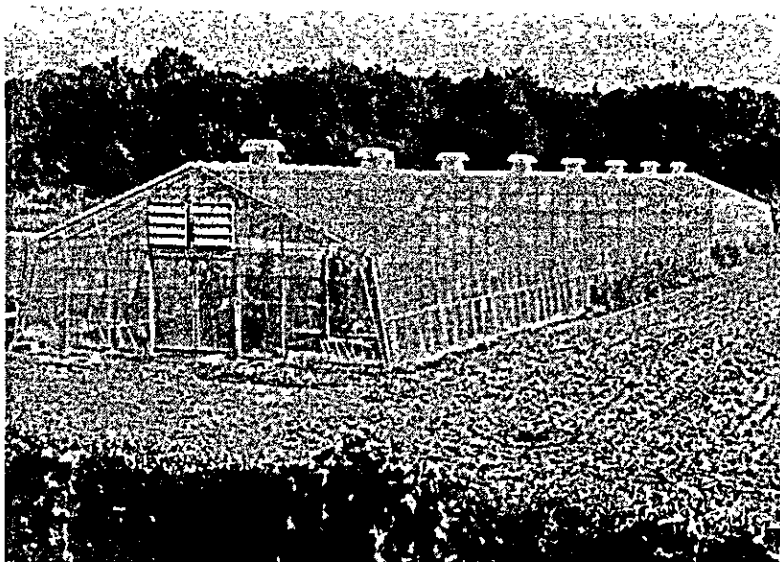


Foto. 3 Invernadero de plástico en forma de techo a dos aguas, con fachada de 8 a 15 m de ancho

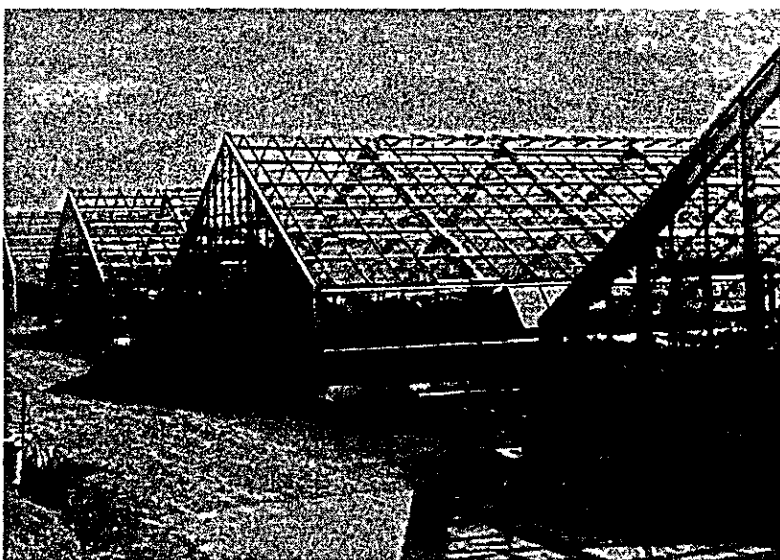


Foto. 4 Invernadero de vidrio en forma de techo a dos aguas simétricas y con fachadas de 10 a 15 m de ancho

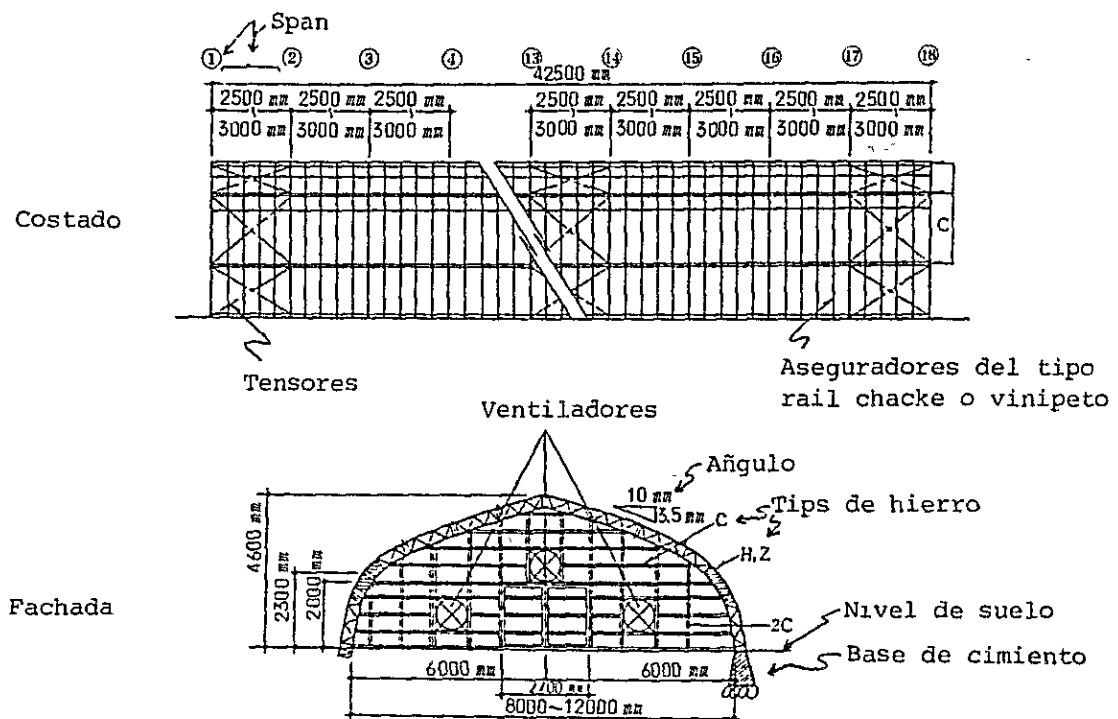


Fig. 3 Estructuras y disposición de los ventiladores en un invernadero grande de plástico

Un punto esencial en la construcción de un invernadero son los cimientos. Cuanto más grande es el invernadero, más importante serán los cimientos en tamaño y peso; en los invernaderos sencillos semicirculares y en los que no fueran hechas las bases convenientemente serán frágiles a la presión del viento. Los vientos fuertes algunas veces pueden desmontar los tubos de hierro, como así también a los aseguradores de piola de vinilo, y la suspensión en el aire de esos materiales es muy peligrosa. En un invernadero grande, el peso de la base de un pilar debe corresponder a un bloque de cemento de 100 a 150 kilos.

C. Resistencia al viento

La presión del viento es directamente proporcional a la velocidad del viento al cuadrado, como se ve en la ecuación siguiente:

$$q = \frac{1}{16} v^2 \text{ donde}$$

q = presión del viento (Kg/m^2) y

v = velocidad del viento (m/segundo)

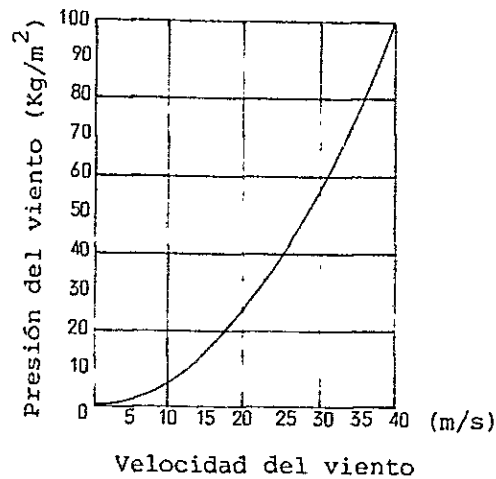


Fig. 4 Relación entre la velocidad (m/s) y presión del viento (Kg/m²)

Con la ecuación anterior fue efectuada la gráfica de la Fig. 4, que muestra la relación entre la velocidad y la presión del viento. La presión del viento que recibe la construcción del invernadero cambia con el tipo de estructura, dirección del viento, y principalmente, con las protecciones de casas y árboles, pero, cuando el viento sopla en dirección de las paredes laterales, la presión que reciben todos los lados del invernadero se obtiene multiplicando la presión del viento por los coeficientes de fuerza que se muestran en la Fig. 5. Si se aplica lo visto anteriormente a un invernadero con una inclinación del techo de 22° con respecto a la horizontal, la presión del viento que soportan todos los lados del invernadero es mostrado en la Fig. 6.

En las paredes la presión es mayor en la dirección que sopla el viento. La presión que soporta el lado del sotavento es la mitad de la que soporta el lado que bate el viento. Por otra parte, en el techo, la parte del barlovento casi no sufre deformaciones, pero, en el sotavento se producen fuerzas que tienden a elevar el techo.

Suponiendo una velocidad del viento de 30 m por segundo, la presión que recibe la superficie del techo es de 28 Kg/m². Si suponemos ahora, una velocidad de 40 m/s, la presión que recibe la superficie del techo es de 50 Kg/m² y 100 Kg/m² en las paredes.

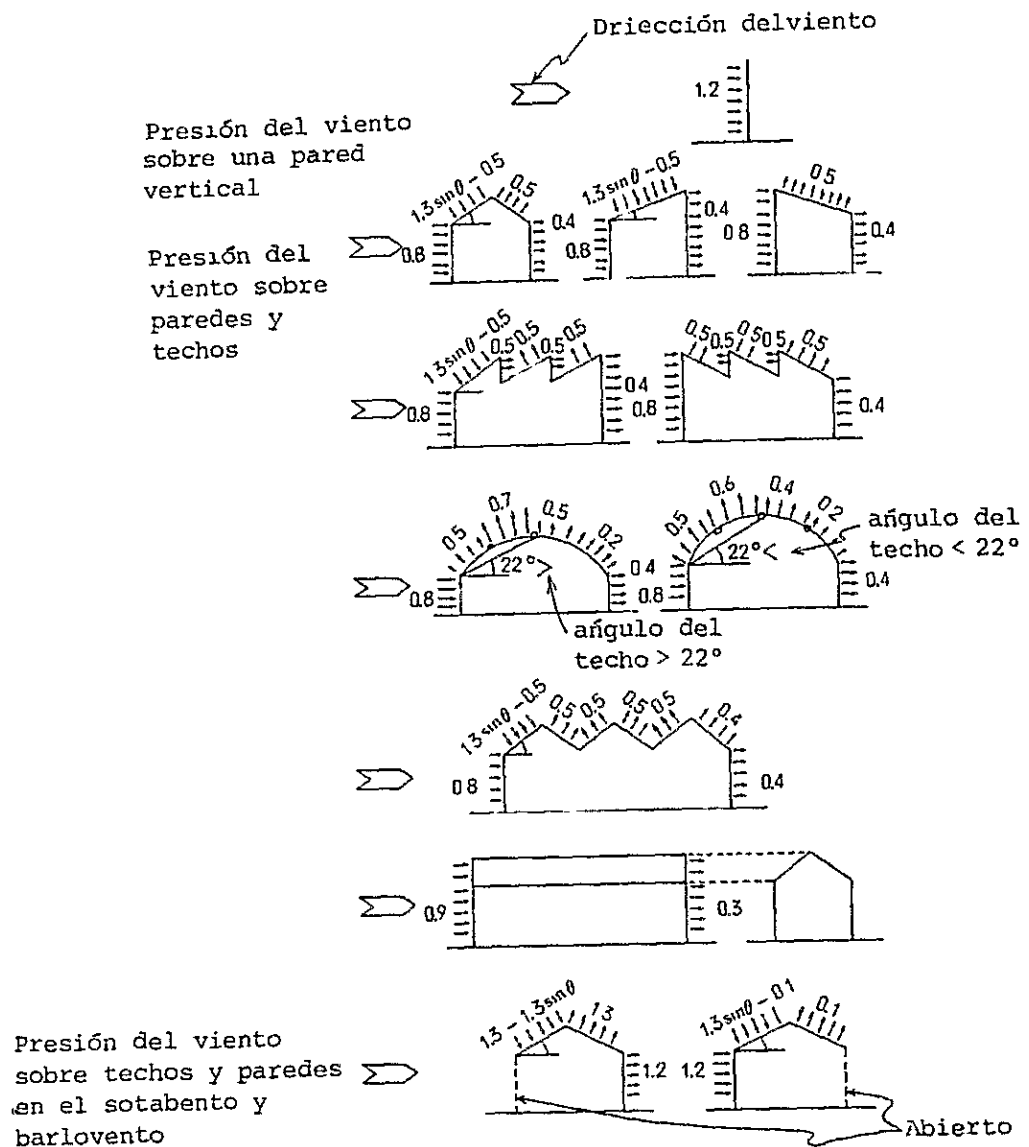


Fig. 5 Influencia de dirección y presión del viento en diferentes tipos de invernaderos. Las flechas indican la dirección del viento los números la presión del viento (Kg/m^2) (Yamamoto: 1972)

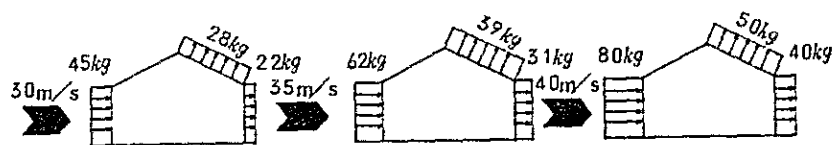


Fig. 6 Dirección y presión del aire (Kg/m^2) Sobre paredes y techos del invernadero. (Yamamoto: 1972)

D. Precedimiento para la construcción del invernadero semicilíndrico

Para la construcción del invernadero se necesita primeramente calcular la cantidad de trabajo y los días necesarios para su ejecución y poder así terminar antes del inicio de la plantación. Esto es muy importante cuando se construye un invernadero por primera vez, debido a que, en general se atrasa su terminación; por estas razones es aconsejable calcular un tiempo mayor. También es necesario tener preparado e inspeccionado el material con mucha anterioridad.

Condiciones generales del lugar donde se construye el invernadero

La construcción debe efectuarse en suelo fértil y sin probabilidad de infección de enfermedades. El sitio debe ser arreglado cuidadosamente, y el perímetro debe ser marcado precisamente con un hilo, fijando la orientación de la cumbre del techo en la dirección este-oeste (Fig. 7).

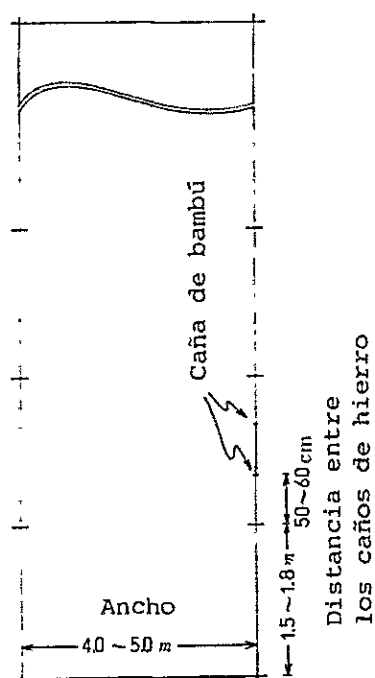


Fig. 7 Mapeo del lugar del invernadero semicilíndrico

Construcción del invernadero semicilíndrico

Generalmente el espacio entre los tubos de hierro es de 1.5 m a 1.8 m, pero en los lugares con mucha nieve y fuertes vientos es conveniente

dejar un espacio de más o menos 1.2 m. Como norma, la fachada del tipo D tiene de 4.0 a 4.2 m de ancho y la del tipo A tiene 4.7 a 5.0 m. Se debe dar suma importancia no sólo al diámetro del tubo, sino también a su espesor. El diámetro más comúnmente utilizado es de 21.7 a 27.2 mm y el espesor de 1.9~2.3 mm. Cuando se clava el tubo de hierro en el suelo debe adjuntarse un herraje en forma de ocho, el cual en uno de los agujeros se pasa el tubo y en el otro el alambre de hierro prendedor de la piola de vinilo que asegurará el filme (Fig. 8 y 9).

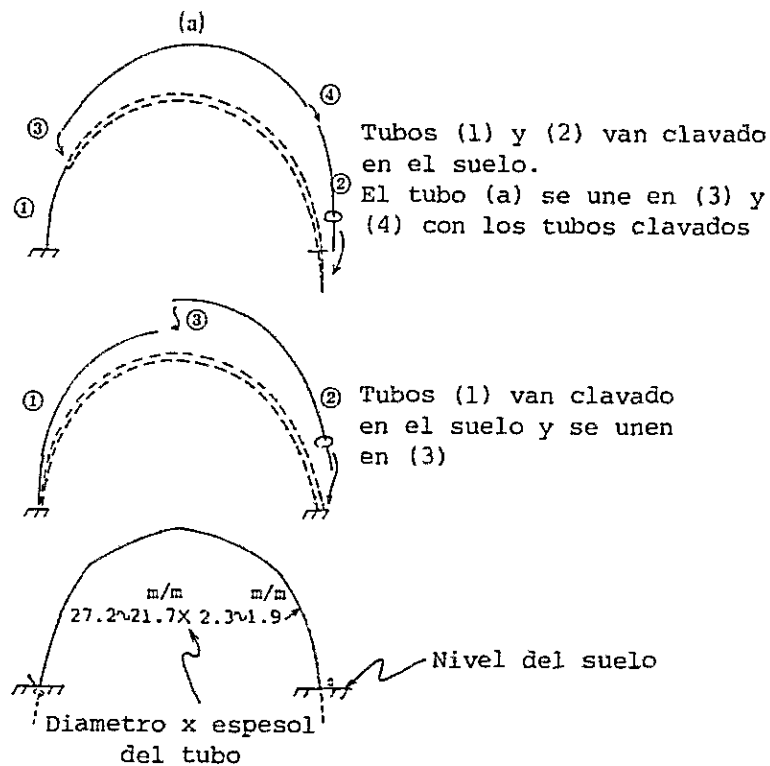


Fig. 8 Esquema de construcción de invernadero semi-cilíndrico con caños de hierro

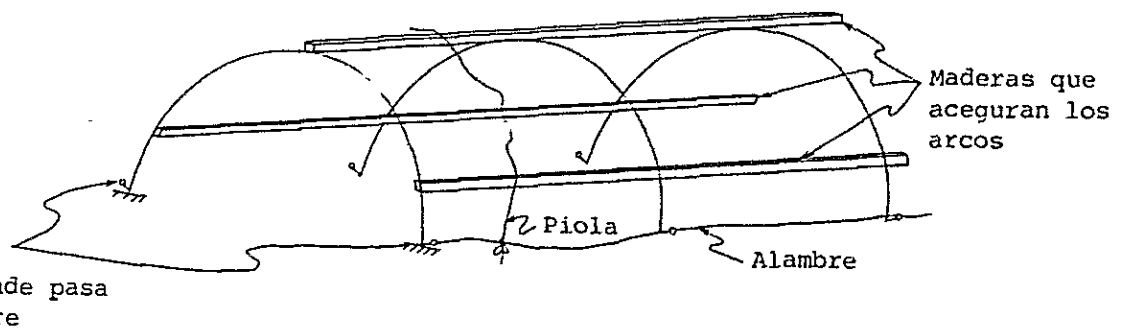


Fig. 9 Esquema de construcción del invernadero semi-cilíndrico. Colocación de la madera horizontales y alambres en la base de los arcos

Trabajos de construcción

Terminada la puesta de tubos de hierro, se realizan las fachadas con armazón de madera y los dos arcos con bambúes partidos entre dichos tubos. Recientemente en Japón se usa hierro pintado con aluminio (Pentaito Pipe) de 19.1 mm de diámetro y 1.2 mm de espesor, en lugar de madera o bambú, por su alta resistencia y durabilidad. La unión de todos los arcos y fachadas se realizan con madera o bambú, en tres posiciones del invernadero, arriba (cubrera) y costados (hombros). El bambú es atado con piola de vinilo y también se usa alambre envuelto con vinilo (Takilón). En el caso de "Pentaito Pipe" se utilizan aseguradores de hierro en cruz (crossring). El alambre de hierro se tiende paralelo a las paredes longitudinales del invernadero, del cual se atan las piolas de vinilo que aseguran el filme entre los arcos (Fig. 9 y 10).

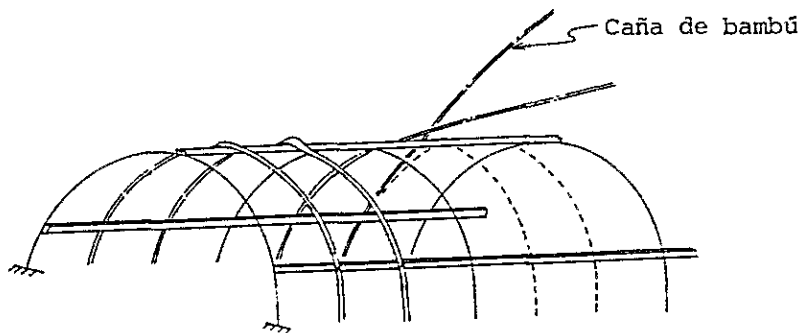


Fig. 10 Esquema de construcción del invernadero semicilíndrico.
Colocación de las cañas de bambú

Construcción de las fachadas de entrada

En invernaderos pequeños (aproximadamente de 20 m de largo) se construye únicamente una puerta de entrada y en los grandes (más de 45 m) es conveniente construir las en ambos lados para facilitar el manejo. En los del tipo D, el armazón de la puerta es enrejada de madera para fijar el filme de vinilo, y en los invernaderos del tipo A, son similares pero más consistentes (Fig. 11).

Construcción de las fachadas de entrada

En invernaderos pequeños (aproximadamente de 20 m de largo) se construye únicamente una puerta de entrada y en los grandes (más de 45 m) es conveniente construirlas en ambos lados para facilitar el manejo. En los del tipo D, el armazón de la puerta es enrejada de madera para fijar el filme de vinilo, y en los invernaderos del tipo A, son similares pero más consistentes (Fig. 11).

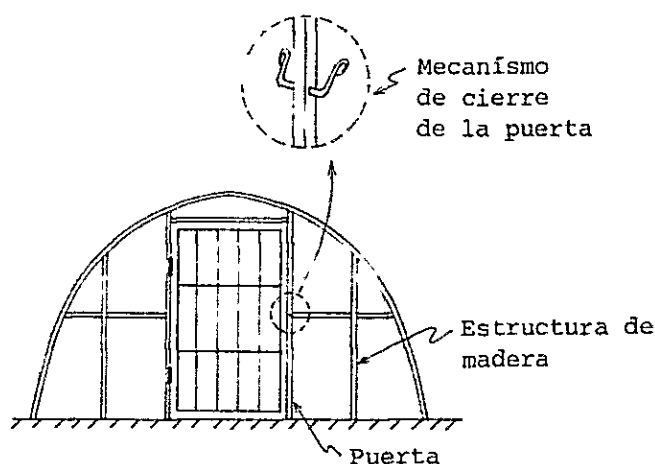


Fig. 11 Esquema de construcción de la fachada de entrada

Puesta del filme

Primero se tiende el filme en ambas paredes laterales, posteriormente en ambas fachadas (entrada y salida), y por último en el techo, en el cual el vinilo es fijado con piolas del mismo material (cinturones). Los aseguradores de piola de vinilo se colocan por encima del filme entre los espacios de los tubos de hierro y/o bambú, lo que quedan finalmente distanciados a 25 ~ 30 cm de los arcos. En los invernaderos del tipo D las medidas del filme son: en techo es de 4.0 m de ancho y 0.1 mm de espesor; en las paredes laterales 1.35 m de ancho y 0.1 mm de espesor y en las fachadas de entrada y salida son de 1.85 m de ancho y 0.1 mm de espesor. En los del tipo A las medidas son: en el techo de 5.4 m de ancho y 0.1 mm de espesor; en paredes laterales de 1.35 m de ancho y 0.1 mm de espesor y en las fachadas de entrada y salida 2.30 m de ancho y 0.1 mm de espesor. Si la nivelación de los arcos de las estructuras no es

tenida en cuenta, existe la posibilidad de rotura del filme. Por otra parte si hay aflojamiento de los aseguradores de piola, éste se estragará fácilmente con el viento (Fig. 12).

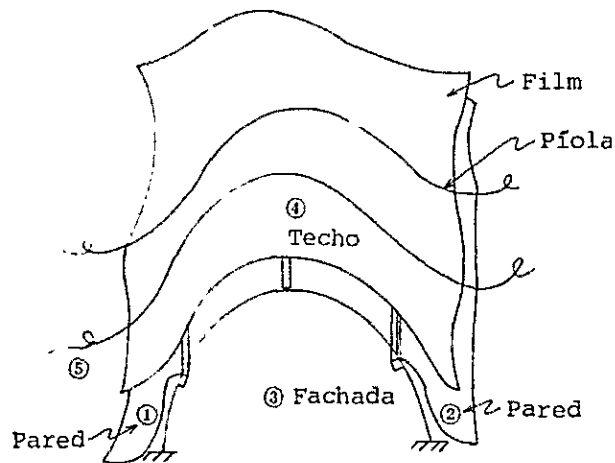


Fig. 12 Esquema y orden a seguir (números) en la colocación de los films y píasolas

III. MECANISMO DE CONSERVACION DE LA TEMPERATURA EN EL INVERNADERO DE PLASTICO

Parte de la emisión de energía que emite el sol a la tierra es absorbido por la atmósfera, otra es reflejada por la misma o por las nubes, pero en general más del 70% de la energía de la radiación total llega a la superficie terrestre y la calienta.

En general los cultivos hortícolas crecen en un total de volumen atmosférico muy reducido (no más de 2 metros de altura) por lo que tendrá muy poca influencia el calentamiento directo del sol. Por el contrario la energía solar que es absorbida primero y emitida después desde la superficie de la tierra y plantas serán las de mayor importancia en cuanto al calentamiento de ese volumen mencionado.

La Figura 13 representa esquemáticamente, el balance calórico de energía más importante de un invernadero. En los días de tiempo claro (sin nubes), dentro de un invernadero cerrado, las condiciones de temperatura son distintas a las del exterior en virtud de la poca pérdida de calor ocasionada por el poco movimiento del aire dentro del mismo. Por lo tanto, la energía solar acumulada en el suelo hará subir la temperatura

interior. Cuando ésta sobrepasa el límite de crecimiento de los cultivos hortícolas, se registrarán dificultades para el crecimiento y desarrollo de las plantas y será necesaria la ventilación, pero, en la temporada fría, entre el otoño y la primavera, la cantidad de calor acumulado por el suelo durante el día desempeña un papel importante en el mantenimiento de la temperatura del invernadero durante la noche.

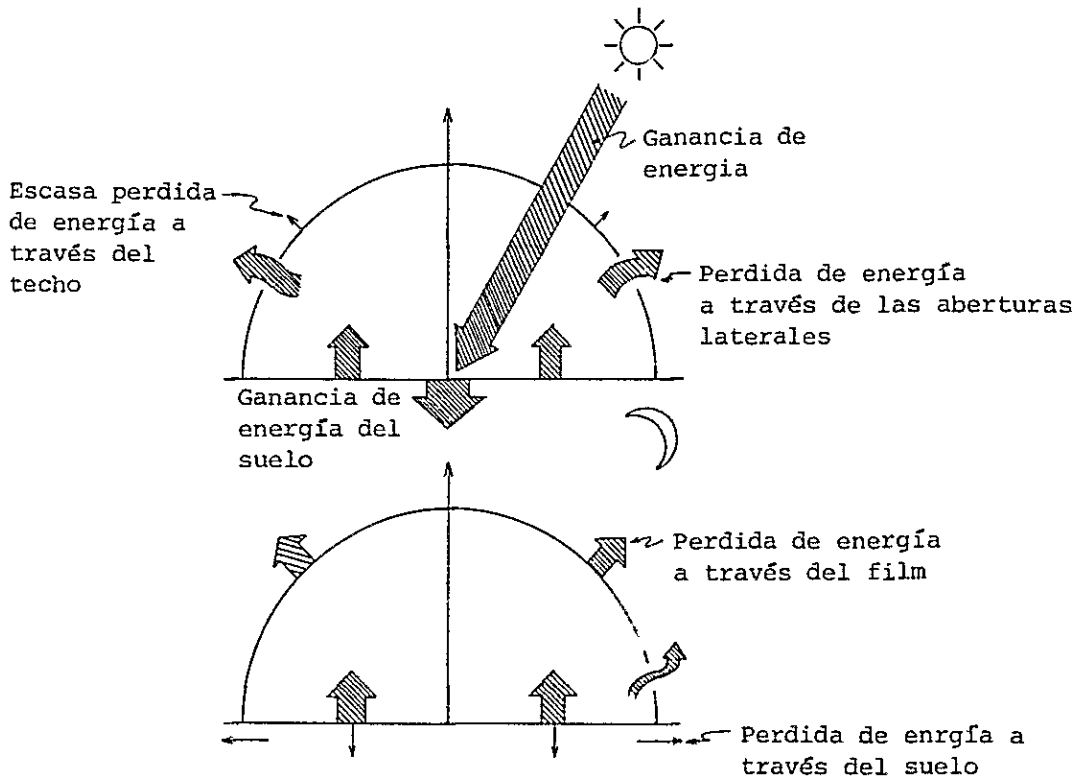


Fig. 13 Esquema teórico de intercambio energético del día y la noche en un invernadero (Komochi: 1975)

La energía acumulada en el invernadero durante el día es liberada hacia la atmósfera en la noche. Cabe aclarar que, durante el día, la energía sale también del invernadero, pero la cantidad que entra es mayor. La radiación desde el invernadero es emitida por la superficie del suelo y por los cultivos dentro del mismo y de la superficie del invernadero a la atmósfera, y también es conducida del suelo del invernadero al suelo exterior y aún más, el calor puede escapar por las rendijas de paredes y techo. Para conservar una temperatura adecuada en el interior del invernadero durante la noche (cuando no hay calefacción)

es muy importante aumentar la acumulación de energía durante el día, y en la noche evitar al máximo posible las pérdidas de radiación. Este es el principio fundamental de la conservación de la temperatura del invernadero. Si las precauciones de conservación de la temperatura son buenas, se pueden economizar gastos extras de energía, en caso de usar calefacción.

Las condiciones que deben tenerse en cuenta en la conservación de la temperatura en el invernadero son las siguientes:

A. Acumulación de energía en el suelo, durante el día

Para conservar al máximo la energía solar que acumula el suelo durante el día, es necesario usar una cobertura en el techo que permita el pasaje de luz solar e impida al máximo la radiación emitida desde el suelo. La utilización de mulch actúa además como un obstáculo (aislante) de las pérdidas de calor de la superficie del suelo a la atmósfera. También es necesario evitar las pérdidas de agua por evaporación del suelo y por consiguiente las pérdidas de energía que se registrarán de la evaporación del agua.

La cantidad de radiación solar que atravieza el filme en un invernadero está en función de la clase de material de cobertura, del ángulo de incidencia de la luz solar y de la dirección del invernadero. Cuanto más perpendicular a la superficie del techo es el ángulo de incidencia de la luz solar que entra por la cobertura del invernadero, más alto será el pasaje de luz. Por otra parte, si la incidencia de la luz es muy oblicua, la luz será reflejada en mayor grado.

La dirección del invernadero tiene también relación con la cantidad de luz que atraviesa el filme, porque de acuerdo con la dirección del mismo habrán cambios entre el ángulo de incidencia de la luz y la superficie del filme. La cantidad de luz que atraviesa un invernadero orientado en dos direcciones diferentes, norte-sur y este-oeste, fue estudiado en Bélgica (Lat. N 50°) durante un año (Fig. 14). La entrada de luz en verano con la orientación norte-sur fue mayor que aquella con la cumbre con dirección este-oeste. Por el contrario, en invierno la entrada de luz en cumbres con dirección este-oeste. Por el contrario, en invierno la entrada de luz en cumbres con dirección este-oeste fue mayor que las de dirección

norte-sur. En estudios realizados en Japón sobre dirección de cubreras de los invernaderos, se arribó a similares resultados (Fig. 16) (7). Por esta razón, es conveniente utilizar en invierno y hasta principios de la primavera la dirección de la cubrera este-oeste en invernaderos para almácigos y/o cultivos.

Respecto a la entrada de luz solar al invernadero, como así también la conservación de la temperatura, es más ventajosa la cubrera con dirección este-oeste que aquella con dirección norte-sur, durante los cultivos de invierno. En general, cuando se cultivan plantas de gran tamaño como tomate o pepino, existen problemas de desigualdad de crecimiento ocasionados por la distribución de luz y temperatura.

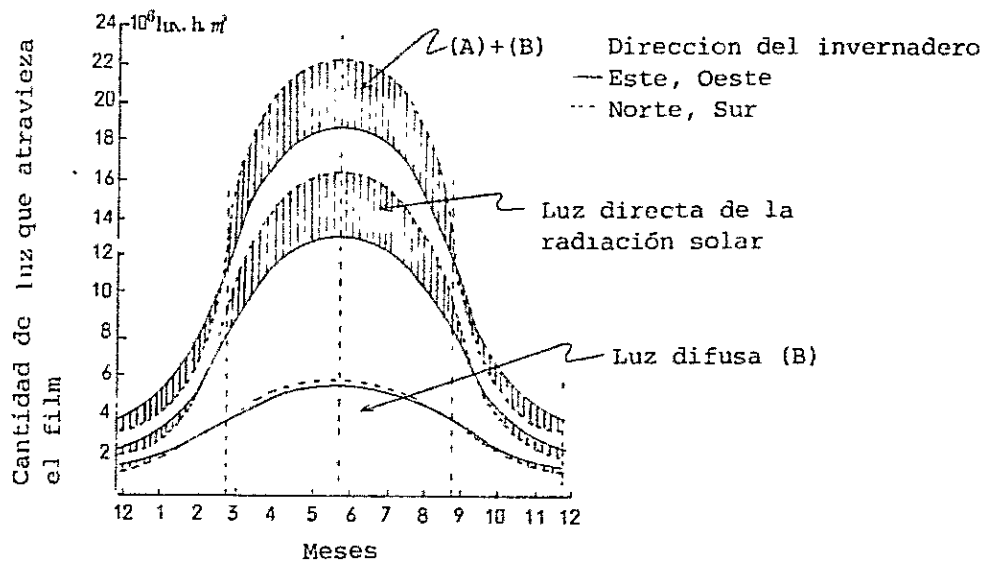
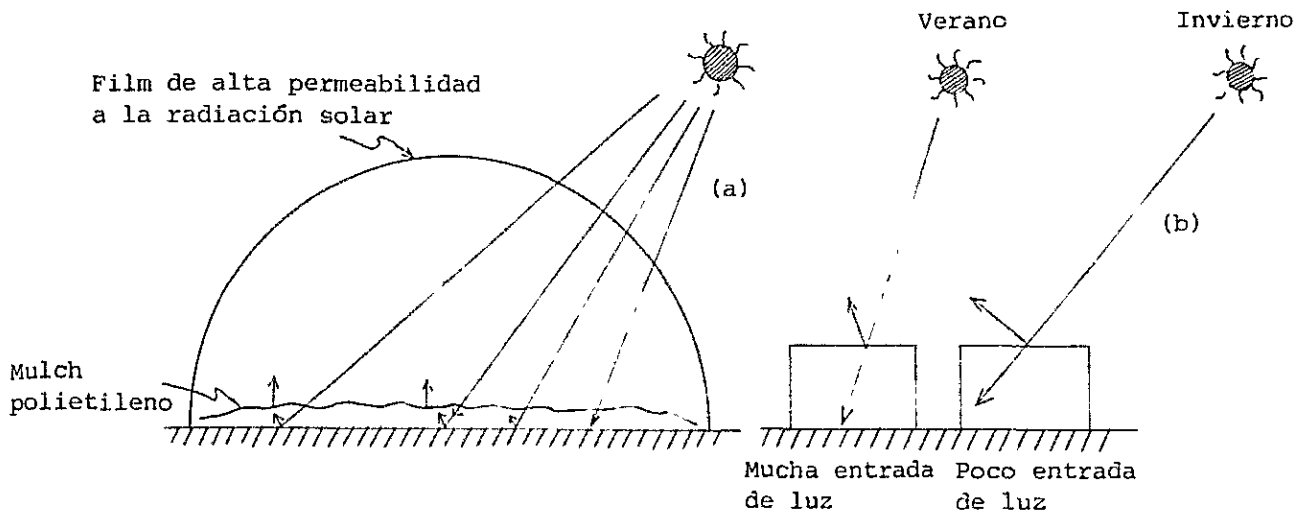


Fig. 14 Cantidad mensual de luz directa y difusa que atraviesan el invernadero orientados en dos direcciones en el transcurso de un año. (Nisen: 1965)



Mulch: con alta permeabilidad a la radiación solar de longitud de onda corta y baja permeabilidad a la radiación proveniente del suelo de longitud de onda larga

Verano: incidencia del sol casi perpendicular sobre el techo del invernadero.

Invierno: incidencia del sol con baja perpendicularidad sobre el techo del invernadero.

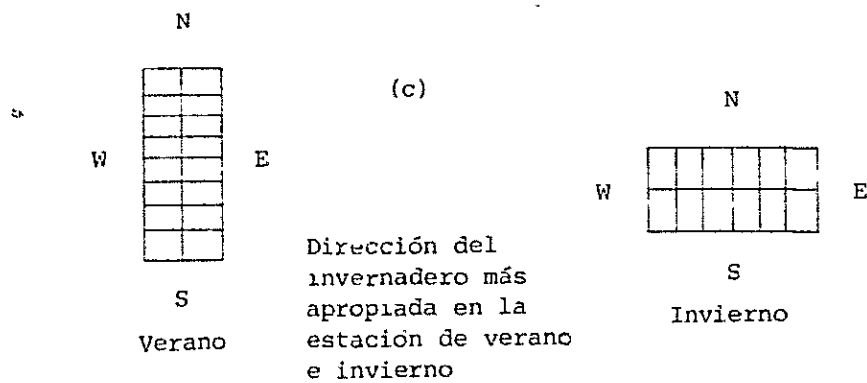


Fig. 15 Métodos para aumentar la retención del calor dentro de invernaculo (Komochi: 1975).

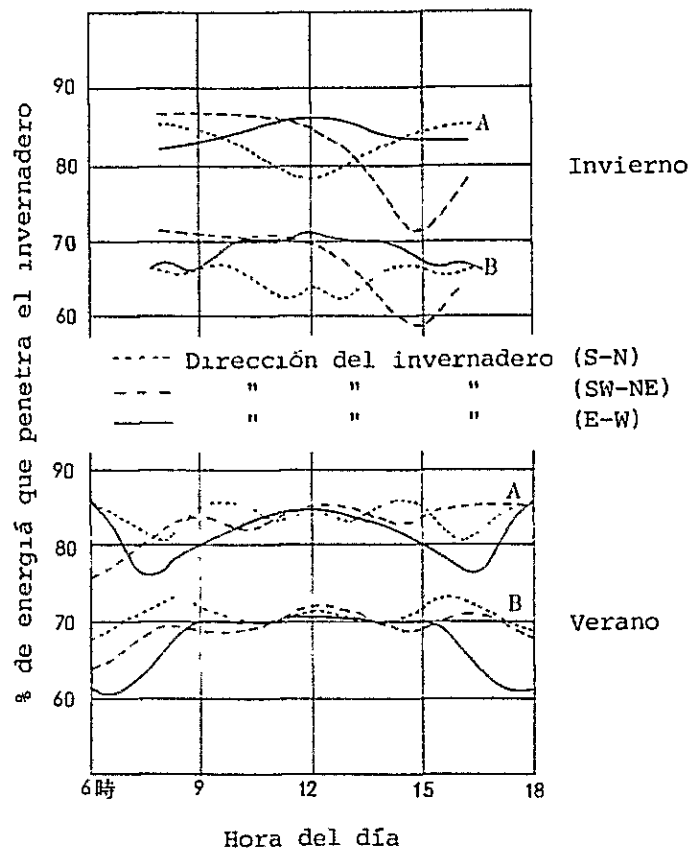


Fig. 16 Orientación del invernadero para un mejor aprovechamiento de la luz solar (Mihara: 1972)

- A: Invernadero hipotético de vidrio sin estructuras (no sombreado)
- B: " " " " con " (con ")

B. Disminución de pérdidas de energía a través del techo, en invernaderos de plástico

En virtud de la mayor temperatura del suelo alcanzada en el interior del invernadero durante el día, con respecto al suelo exterior, la temperatura del aire durante la noche es mayor en el primero que en el segundo. Por otro lado, la energía del interior pasa al exterior a través de la superficie del filme. Por esto, para lograr una mayor conservación de la temperatura en el interior, la superficie de paredes y techos expuesta a la atmósfera debe ser la menor posible a los efectos de que la radiación emitida por el suelo (actuando como una estufa) pueda perderse más lentamente.

La superficie del techo y paredes del invernadero dividida por la superficie del suelo del mismo, se llama proporción de pérdidas de energía. Cuanto menor es esta relación, más alto será el grado de conservación de la temperatura.

C. Disminución de pérdidas de energía por el suelo

Durante el día, la superficie terrestre es calentada por la emisión de la energía solar, mientras que durante la noche, sólo hay emisión de energía desde el suelo. La emisión de la radiación infrarroja directamente en dirección a la atmósfera causa el descenso de la temperatura en el interior del invernadero. La cantidad total de energía emitida por un objeto es igual a la temperatura absoluta de ese objeto (la temperatura absoluta de 0° es igual a -273°C) elevada a la 4^{a} potencia, por lo que la radiación emitida será de mayor longitud de onda cuanto más baja sea la temperatura del objeto. Generalmente, la temperatura del suelo durante la noche en el invernadero está entre 10° y 30°C , siendo las principales longitudes de onda emitidas, las correspondientes a la radiación infrarroja de 9 a $10\ \mu$. Debido a que los rayos visibles tienen longitud de onda entre 0.4 a $0.8\ \mu$, la emisión de rayos infrarrojos de la superficie terrestre son invisibles.

Como se verá posteriormente, existen diferentes clases de materiales en cuanto al pasaje de diferentes cantidades de energía con longitudes de onda larga; de manera que si se usan materiales de cobertura con bajo pasaje de energía con longitud de onda larga, se pueden disminuir las pérdidas provenientes de la superficie del suelo.

El filme de PVC en comparación con el filme de PE tiene baja proporción de pasaje de energía de longitud de onda larga y es por esto, excelente conservador de la temperatura. El filme acetato de vinilo es intermedio entre ambos. El vidrio por no permitir el pasaje de longitudes de onda mayores a 3μ , tendrá pues, más alto poder para conservar la temperatura que los filmes de plásticos.

D. Disminución de pérdidas de energía por rendijas y a través del filme

Son numerosos los casos de invernaderos con puertas no cerradas herméticamente y filmes rotos sin reparar. Además, es común cuando se construyen claraboyas o ventanas laterales, o cuando se instala ventiladores o bocas de inhalación, dejar rendijas que permiten la entrada del aire frío. Esas imperfecciones, provocan en todos los casos gran pérdida de calor y para evitarlas es necesario tener cuidado con la construcción de las estructuras, impidiendo la formación de rendijas provocadas generalmente por una inadecuada colocación del filme y realizar ajustes inmediatos en casos de existir partes dañadas.

Para disminuir las pérdidas de energía a través del filme es muy útil la instalación de túneles dentro de los invernaderos o la colocación de cortinas dobles. Como se ha dicho anteriormente, desde el punto de vista de transferencia de energía, el filme de vinilo es más eficiente que el de PE, pero respecto a la utilización en cortinas y túneles, es suficiente este último. En el caso de las cortinas, se hace trabajoso por el tiempo que lleva el abrir y cerrarlas, y más aún si los filmes utilizados son de fácil adherencia. En este sentido puede decirse que el filme de PE es mucho más práctico que el de vinilo.

IV. VENTILACION DEL INVERNADERO DE PLASTICO PARA EL CONTROL DE LA TEMPERATURA Y LA HUMEDAD DEL AIRE

A. Niveles térmicos y humedad del aire que hacen necesario la ventilación en un invernadero de plástico semicilíndrico

Cuando la temperatura es muy alta, este tipo de invernadero requiere ventilación, la cual se realiza levantando el filme de vinilo del techo, que se encuentra sobrepuesto con las paredes laterales a la altura de los hombros. La Fig. 17 A, muestra la distribución de

isotermas en un invernadero, cuando la ventilación se hace por aberturas de 30 cm a la altura de los hombros laterales. Los números en la figura están expresados como la diferencia entre la temperatura en dichos puntos con la temperatura tomada como referencia, de 21.8°C a un metro de altura en el centro del invernadero (representada por una X).

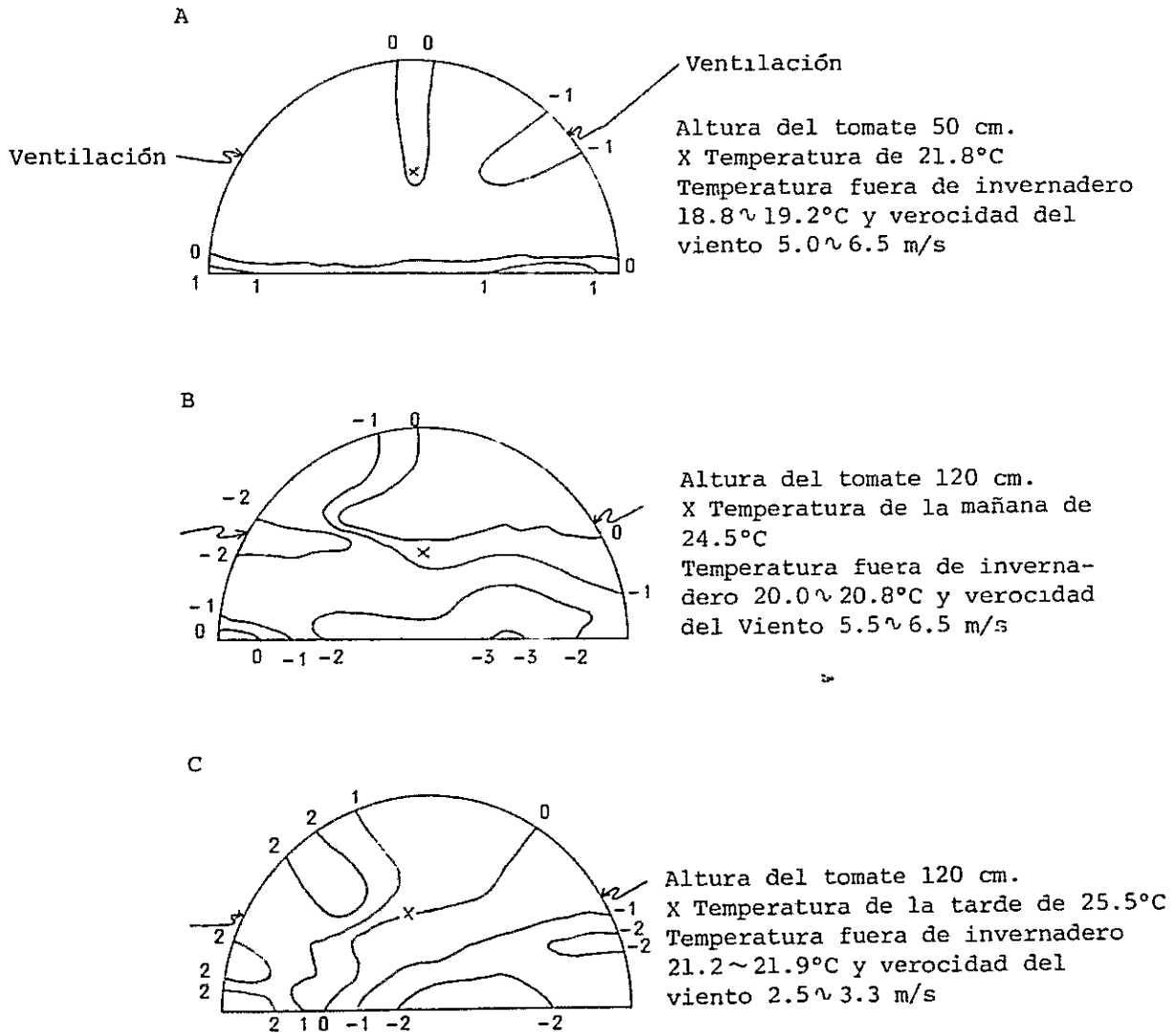


Fig. 17 Isotermas dentro de invernadero, expresadas como diferencia entre las temperaturas en diferentes lugares y la temperatura del centro del invernadero, cuando se hace la ventilación con aberturas de 30 cm a través de los hombros laterales (flechas), lugar en que se superponen los film del techo y pared (Komochi, Tanaka 1971)

Cuando las plantas cultivadas dentro del invernadero es de bajo porte (Fig. 17 A), la distribución de las isoterms son uniformes, pero tienen 1.2 m de altura y hacen sombras, la distribución no es uniforme (Fig. 17 B, C). En la Fig. 17 B la temperatura fue registrada en la mañana y en la Fig. 17 C en la tarde. El lugar de incidencia del sol en la mañana es por el este, y por consiguiente la temperatura es más alta en dicho sector; por el contrario, por la tarde, la temperatura del lado oeste es más alta. En todos los casos el lado contrario al sol es de más baja temperatura por el menor pasaje de la luz solar a través del filme en dicho sector.

Si se realizan diferentes manejos, en cuanto a la forma de ventilar el invernadero de plástico, se pueden observar las siguientes variaciones de la humedad relativa:

- a) cuando la ventilación es a través de las dos puertas abiertas, la humedad relativa alcanza valores cercanos al 90%.
- b) cuando al manejo anterior se agrega la ventilación lateral (apertura de los hombros) de 30 cm de ancho en todo el largo lateral, la humedad de la parte superior del invernadero baja, pero la parte inferior donde se encuentran las plantas (en este caso tomate) no es afectada.
- c) cuando al caso (b) se le agrega una ventilación de 50 cm de ancho en las faldas (parte inferior de las paredes laterales), la humedad relativa de todo el invernadero baja aún más.
- d) cuando se realiza la ventilación únicamente a través de las faldas, la humedad relativa es tan baja como en el caso (c), pero, la temperatura de la parte superior del invernadero es mayor.

Es así entonces, que únicamente con una ventilación lateral de 30 cm de ancho a la altura de los hombros, es insuficiente para bajar la humedad relativa donde se encuentran las plantas, provocando condiciones propicias para el desarrollo de enfermedades. Como el filme de vinilo de las paredes es cubierto con tierra en la parte que hace contacto con el suelo, la ventilación a través de las faldas dificultará la ventilación por esa vía, pero de todas maneras es conveniente usarla en casos extremos de altas temperaturas. Por otra parte, si la superficie del suelo dentro del invernadero está seca, la humedad relativa será baja y la ventilación lateral a la altura

de los hombros será suficiente. La operación de ventilar el invernadero está directamente relacionada con el suministro de agua de riego, o sea que a mayor suministro de agua existirán mayores necesidades de ventilación.

B. Método de ventilación forzada

En invernaderos grandes, la ventilación se realiza fundamentalmente por medio de ventiladores. Como vimos anteriormente, la ventilación en los invernaderos grandes y los semicilíndricos se realiza principalmente a través de los hombros. Pero, si se realizan adecuadamente los cálculos de la relación entre el volumen de aire a desalojar con la capacidad de los ventiladores, este método de ventilación será más efectivo.

1. Tipo de ventiladores

Pueden ser de 2 tipos: "presión de aire" y "cantidad de viento" (Foto 5). El primero tiene la característica de extraer el aire a pesar de que el viento exterior sople fuerte en dirección contraria a la que él se encuentra, desalojándolo desde el invernadero. Por el contrario el segundo no puede desalojar el aire interior si el viento está soplando fuerte en la dirección de los ventiladores; éste último, por otro lado tiene la gran



Foto. 5 Ventiladores tipo "cantidad de viento."

ventaja de que si el viento exterior no es fuerte en dicha dirección puede introducir grandes volúmenes de aire en cortos períodos de tiempo.

En el invernadero se pueden separar dos tipos de presiones que están relacionadas con la ventilación: una, llamada presión exterior, que es producida por la presión del viento, que sopla en dirección del ventilador y otra llamada presión interior, que es la producida por la presión del aire dentro del invernadero, y que tiene relación directa a la capacidad en área de la abertura de aspiración, o sea que si la abertura de entrada del aire se pequeña y la cantidad de aire que sale a través del ventilador es grande, se producirá un vacío en el interior - por tal motivo el ventilador no podrá sacar el aire eficientemente.

El ventilador del tipo de "cantidad de viento" es más barato que el de "presión de aire". Comúnmente el primero es el más usado porque, de acuerdo con la ubicación de la construcción, medidas de la abertura de aspiración y la cantidad de viento que extrae de los invernaderos es el más eficaz.

2. Índice de ventilación

Para medir la eficiencia de la ventilación de un invernadero se usa la expresión "Índice de ventilación", el cual se define como el número de veces por hora o por minuto que cambia el volumen de aire del invernadero con respecto al aire exterior. Por consiguiente cuanto mayor es éste índice, tanto menor será el tiempo requerido para sacar el aire que ha entrado y la temperatura en el interior del invernadero se aproximará a la del exterior.

La Fig. 18 muestra la relación entre la temperatura del centro del invernadero con el "índice de ventilación" en un día claro y nublado. Generalmente, la curva depende de la humedad relativa del aire, del tenor de humedad del suelo, de la estación del año, y grado de crecimiento de las plantas. La temperatura baja muy aceleradamente cuando el "índice de ventilación" es de 1 vez por minuto. Si se aumenta más este índice, la temperatura cambia muy poco, considerándose como el máximo índice de ventilación.

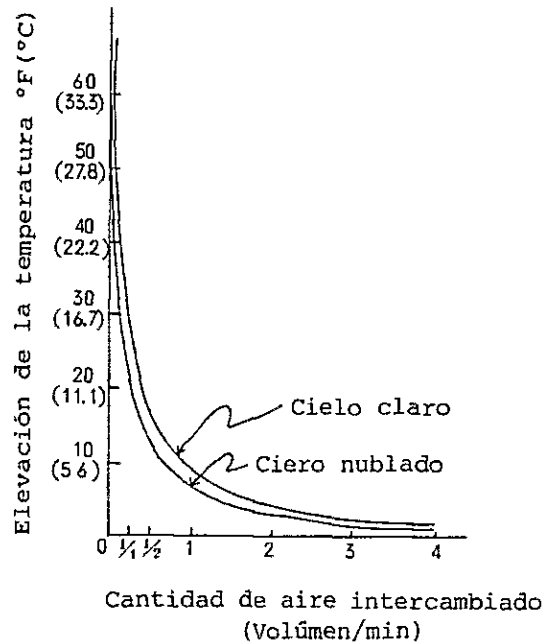


Fig. 18 Relación entre la cantidad de aire intercambiado y la elevación de la temperatura de un invernadero en día claro y nublado. (Walker, Cotter, 1968)

3. Lugar de instalación de los ventiladores y de la abertura de aspiración

Cuando el invernadero es muy largo, se deben instalar los ventiladores en ambas fachadas y la boca de aspiración en la parte central de las paredes laterales (Fig. 19 A). Pero, en general, cuando el invernadero no es demasiado largo es suficiente la instalación de los ventiladores en una de las fachadas. Si se coloca el ventilador directamente en el lado que soplan los vientos predominantes, se disminuye la capacidad efectiva, por tal motivo se deberá instalar en la parte opuesta. Igualmente cuando los invernaderos son construídos con varias divisiones juntas, el rendimiento será mayor si se instalan los ventiladores en la fachada contraria a la dirección de los vientos más frecuentes.

Cuando la boca de aspiración es muy pequeña, la presión del aire en el invernadero sube, se comprime y el rendimiento de trabajo del ventilador no es efectivo; por tal motivo, el diámetro de la

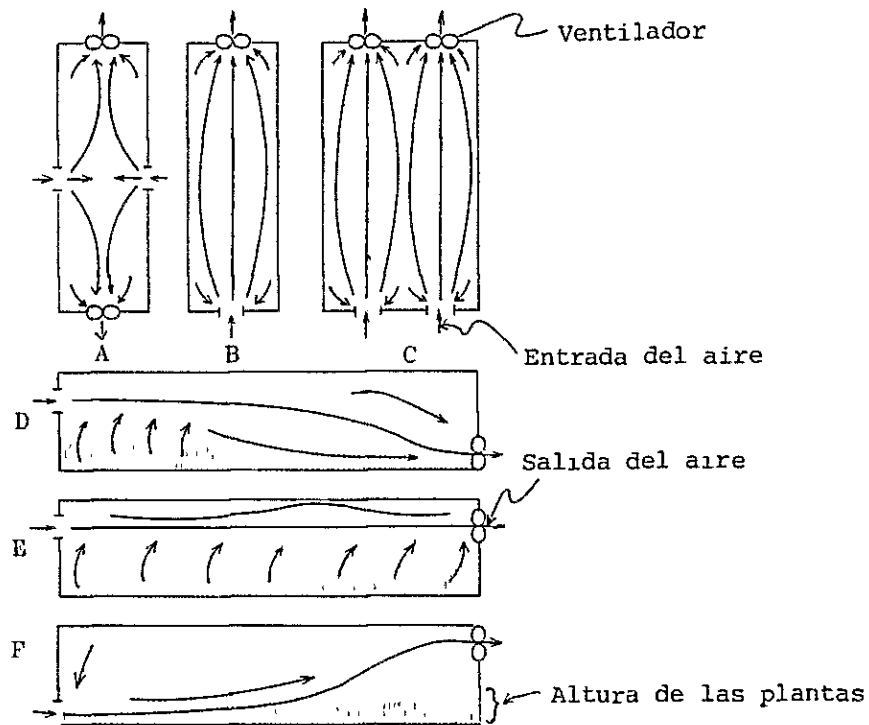


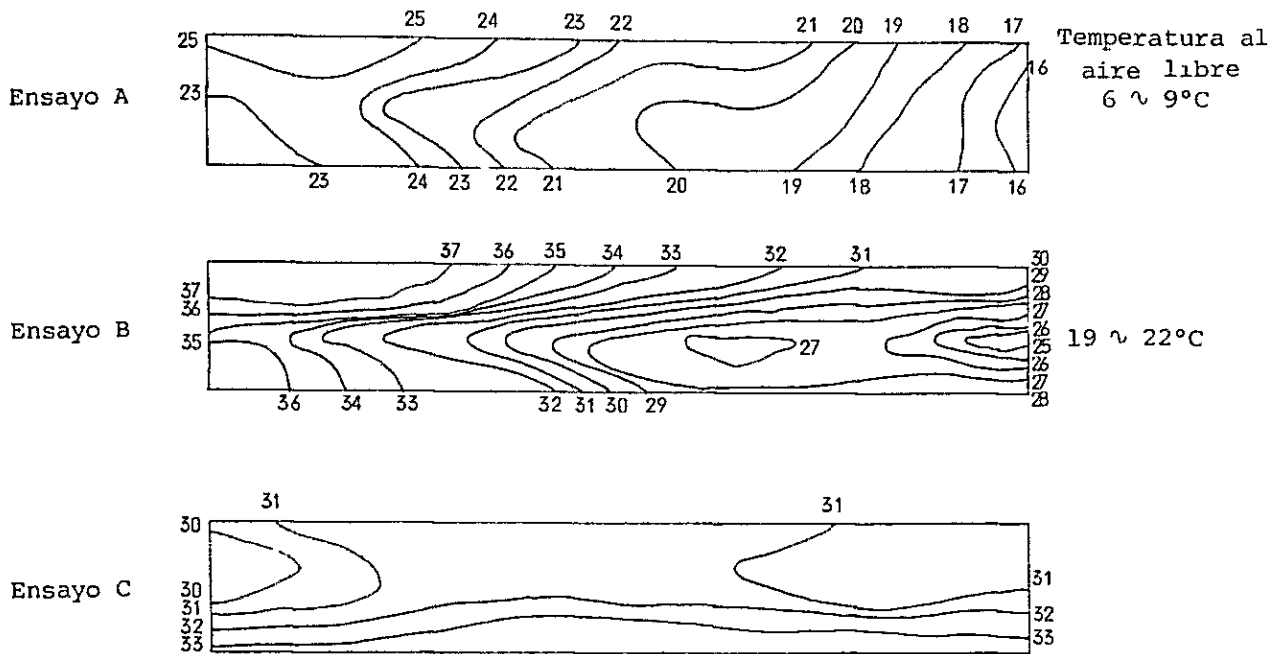
Fig. 19 Diferentes posiciones verticales de los ventiladores y bocas de entrada del aire y esquema del movimiento interno del aire. (Mori: 1970).

boca de entrada de aire debe estar relacionada con la capacidad del ventilador. En general, es necesario que la boca de aspiración sea 2 a 3 veces mayor que la boca de salida del ventilador. Pero, en el período de frío, de mayo a setiembre, es suficiente una abertura de aspiración, cercana a 1.5 veces mayor que la abertura de escape.

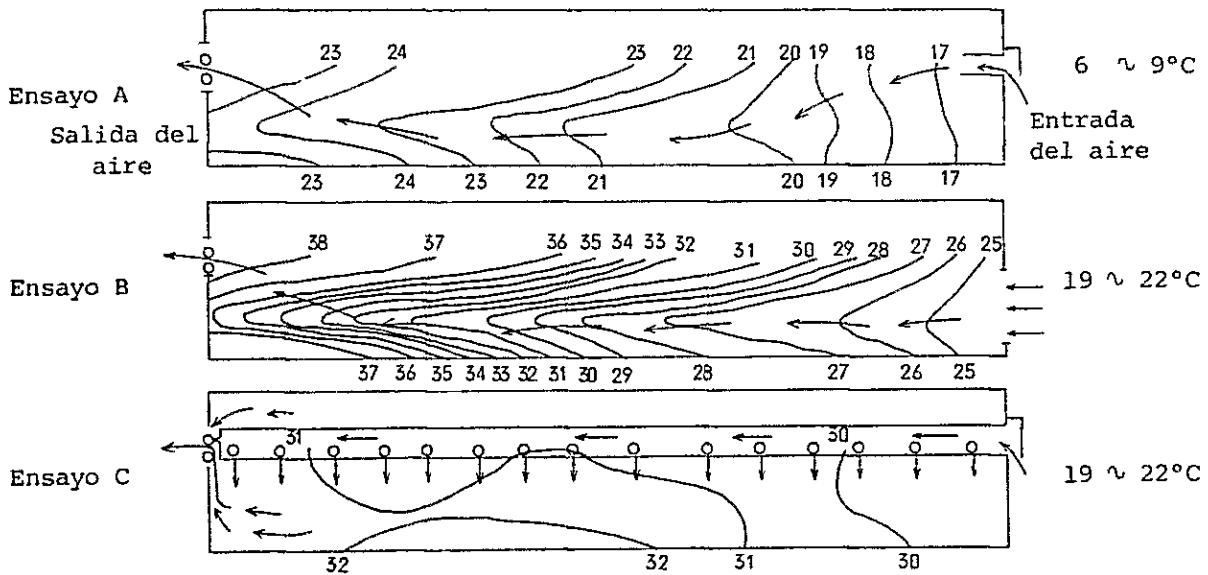
En épocas de altas temperaturas se usa además como boca de entrada a la puerta abierta de la fachada del lado contrario a la boca de aspiración.

La instalación del ventilador se puede efectuar tanto en la parte alta como en la parte baja de las fachadas, pero, como el aire caliente es más liviano, sube hacia el techo, en consecuencia el rendimiento del ventilador será mayor en las partes altas. De la misma forma la boca de aspiración debe ser construida en la parte alta de las fachadas. Si por el contrario se hace la boca de entrada de aire en las partes bajas en el período frío, las

Distribución horizontal de la temperatura °C



Distribución vertical de la temperatura °C



Area de boca de salida del aire

Area de la entrada del aire

A: 0.5 m²

0.36 m²

B: "

1.62 m²

C: "

0.28 m²

Fig. 20 Distribución vertical y horizontal de las temperatura °C, en el momento que el ventilador esta operando. (Ejemplo de un invernadero pequeño, Komachi, Tanaka et. al 1972)

plantas que están cerca de la entrada de aire reciben directamente el "shock" del aire frío, lo que puede ocasionarles graves daños (Fig. 20 B). Cuando no hay posibilidad de instalación en las partes altas, se deben usar cortinas de filme de PE cerca de la entrada y así obligar al aire a pasar por encima de las mismas. De igual forma, cuando se instala la boca de entrada y salida en la parte superior, (Fig. 20 A), el aire baja cambiando la temperatura en las partes interiores del invernadero. Por esa razón, en invierno y cuando la boca de aspiración está en la parte alta, el aire frío puede causar daños en las partes centrales del invernadero. Para evitar este inconveniente, se pueden hacer dos cosas: una, es cerrar un poco la boca de aspiración, y otra es usar conductos perforados de PE.

4. Uso de tubos perforados de polietileno

Como se observa en la Fig. 20 A, B, independientemente del lugar en que es instalada la abertura de aspiración en el invernadero, las isotermas presentan una distribución de temperatura más alta en la parte de salida del aire y más baja en la parte de aspiración. Para evitar en parte dicho problema, existe el sistema de ventilación a través de tubos perforados de PE. Este tubo se une en uno de sus extremos a la boca de aspiración y el otro se deja ciego (se lo ata) a poca distancia del ventilador (Fig. 20 C, 21). De acuerdo con el diámetro del tubo, los intervalos con agujeros deberán sistuarse entre 1 a 1.5 m, el cual se abren 2 a 4 agujeros alrededor de dichas distancias y cada agujero deberá tener 10 a 15 cm de diámetro. En cada agujero se producirá la salida de aire del tubo hacia el interior del invernadero. La superficie total de las bocas de emisión (total de área de todos los agujeros) deberá ser aproximadamente 1 vez y media mayor que la superficie de la boca de aspiración. La Fig. 20 C muestra la distribución de la temperatura en un invernadero pequeño usado para almácigo, en el cual se usa tubo perforado. Si comparamos este sistema con el de aspiración directa, vemos que la distribución de la temperatura es mucho más uniforme en el primer caso. En el caso del sistema de tubos perforados, en invernaderos grandes, con cultivo de tomate, la situación es muy similar a la vista para invernaderos grandes (Fig. 21).

Los puntos indican la ubicación de los termómetros y velocímetros

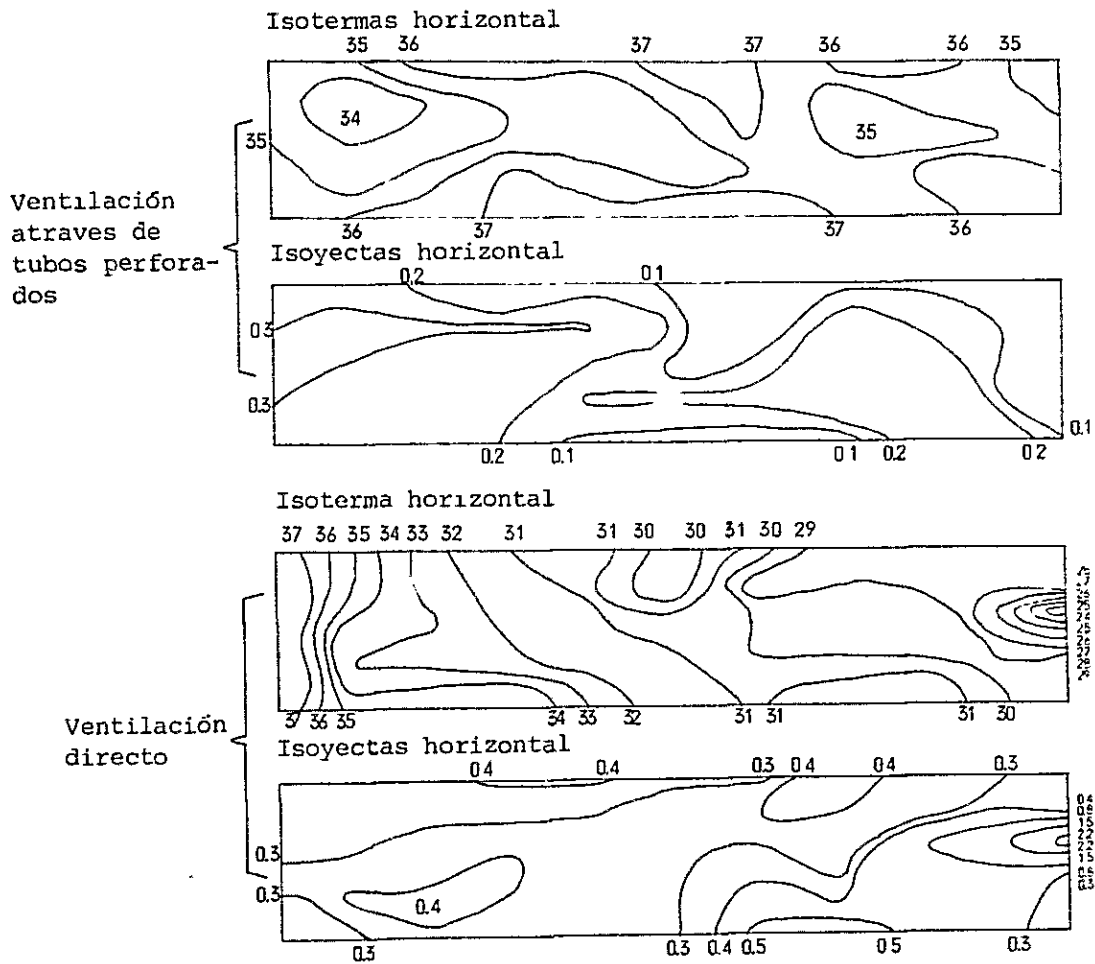
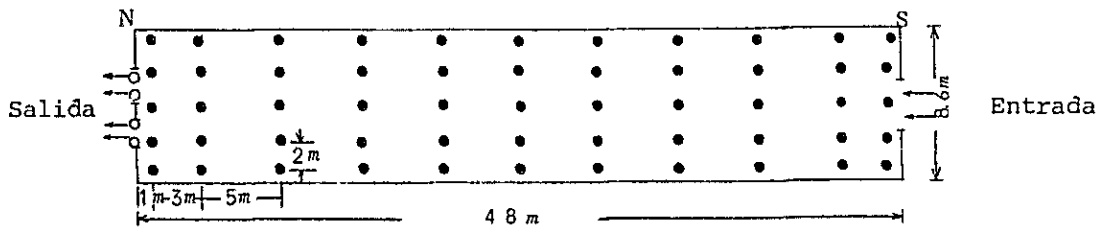
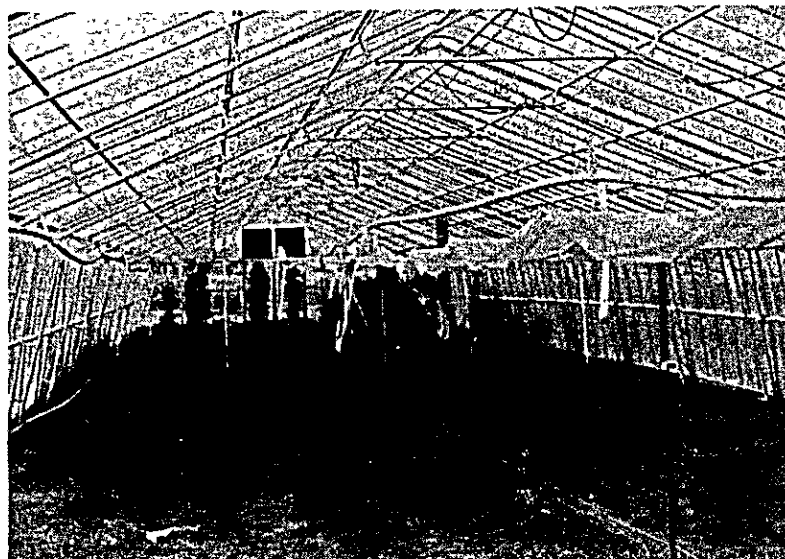
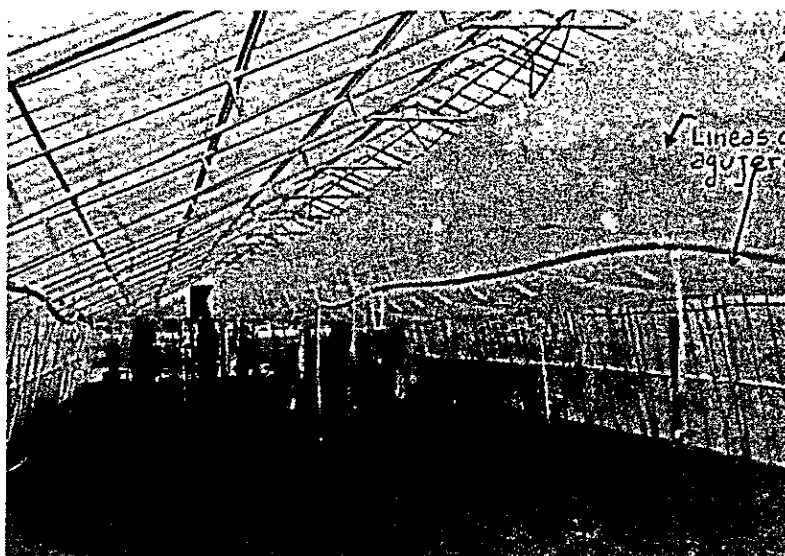


Fig. 21 Distribución horizontal de la temperatura y distribución de la velocidad del viento en el momento de operar el ventilador. La temperatura del aire en el exterior del invernadero fue de 26°C. (Ejemplo de un invernadero grande, Komochi, Tanaka et al 1972)



a) La flecha indica el tubo de plástico desinflado
(ventiladores no funcionando)



b) La flecha indica el tubo de plástico inflado
(ventiladores funcionando)

Foto. 6 Ventilación forzada a través de tubos inflados
de plástico perforados en todo su largo

5. Criterios para el uso de ventiladores

El grado de eficiencia de la ventilación dado por un ventilador está representado en el Cuadro 3. Los resultados que en ella se exponen fueron realizados en verano, con una radiación total de $10 \text{ Kcal/m}^2/\text{min}$ y se supuso un crecimiento de plantas en el momento de mayor crecimiento (1.0 m de altura) en invernadero. Aunque el ventilador tenía una capacidad de extracción de aire asegurada por la fábrica, de 300 m^3 por minuto, el volumen medido en la abertura de aspiración fue de $150 \text{ m}^3/\text{min}$ para el caso de aspiración por tubo perforado y de $215 \text{ m}^3/\text{min}$ en el caso de aspiración directa. La fórmula aplicada en estas estimaciones fue desarrollada por YABUKI (19) donde α representa el grado de crecimiento del cultivo y estado de humedad del suelo.

A los efectos de estos estudios se tomó un valor de α de 0.5

$$v = \frac{S_0 (1 - \alpha) A}{C_p \delta \cdot \Delta \theta}$$

donde: v = cantidad de entrada de aire (m^3/min)

C_p = temperatura específica del aire (0.24)

δ = densidad del aire (1.2)

A = superficie del invernadero (m^2)

$\Delta \theta$ = diferencia de temperatura en grados centígrados entre el interior y el exterior del invernadero.

S_0 = radiación total ($\text{Kcal/m}^2/\text{min}$).

$\alpha = (V + L + B_0)$

V = cantidad de evapotranspiración

L = cantidad de energía interna intercambiada entre los diferentes materiales (plantas, filmes, estructura, etc) con el aire.

B_0 = Intercambio de energía entre el suelo y el aire.

De acuerdo con las estimaciones realizadas en el Cuadro 3, se desprende que para poder mantener una temperatura no mayor a 35°C en el interior, hay que limitarse a una superficie de invernadero de 100 m^2 , o ser ventilada por un ventilador. Hay días en verano en los cuales la temperatura sobrepasa los 30°C . Pero, para el caso de Hokkaido (isla al norte de Japón) los días de pleno verano que

exceden los 30°C no son mayores a 10 en promedio, por lo que es considerado como de corta duración. Por lo visto anteriormente, se puede establecer como apropiado, una superficie de invernadero de 150 m² para ser ventilado por un ventilador.

De acuerdo con el uso del tubo perforado de PE que hemos visto anteriormente, se concluye que con el mismo se puede elevar la uniformidad de distribución de la temperatura, pero, la capacidad de recambio del aire es menor que la de ventilación directa. Para mantener una temperatura de hasta 35°C en el interior del invernadero cuando se usa el sistema de tubo perforado de polietileno y la superficie de invernadero a ventilar es de 150 m²/ventilador, el límite máximo de la temperatura del exterior será de 25°C. En el caso de que dicha temperatura sobrepase ese nivel, se deberá usar un sistema de aspiración (ventilación) directa.

Cuadro 3. Comparación de diferentes tamaños de invernaderos con la diferencia de temperatura entre el interior y exterior, volumen de aire intercambiado con el exterior/hora y dos formas de distribución del aire, directa y a través de tubos perforados

Area del invernadero	Distribución directa del aire		Distribución del aire a través de tubos de plástico perforado	
	Diferencia de la temperatura entre el interior y exterior del invernadero °C	Volumen de aire intercambiado con el exterior /hora	Diferencia de la temperatura entre el interior y exterior del invernadero °C	Volumen de aire intercambiado con el exterior /hora
50	2.2	100	3.2	69
100	4.4	50	6.3	34
150	6.5	33	9.5	23
200	8.7	25	12.7	17

C. Otros tipos de ventilación

1. Ventilación por ventana

En los invernaderos de PVC, la construcción de ventanas en el techo y/o ventanas laterales en las paredes, crea inconvenientes en el sobretiempos utilizado en la colocación del vinilo. También

disminuye la resistencia de las estructuras. Pero, por el contrario, en los de vidrio, que son suficientemente fuertes es muy común usar el sistema de ventilación por ventana.

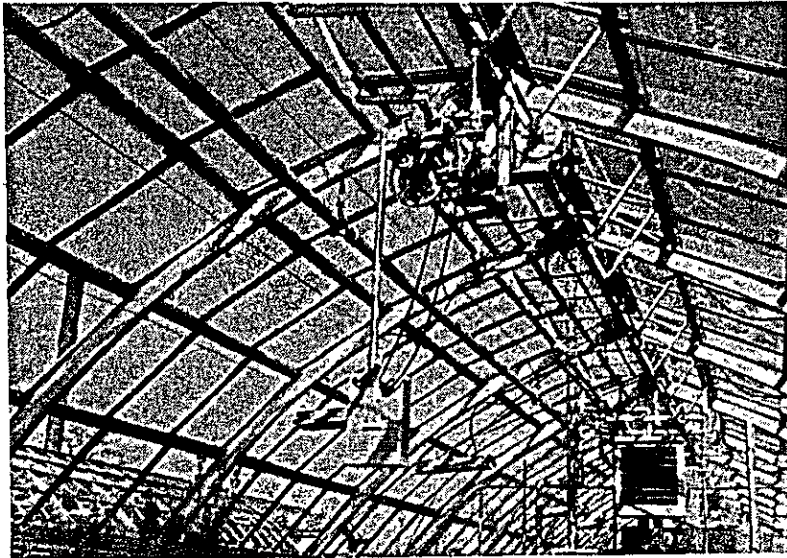


Foto. 7 Sistema automático de apertura y cierre del techo, en un invernadero de vidrio

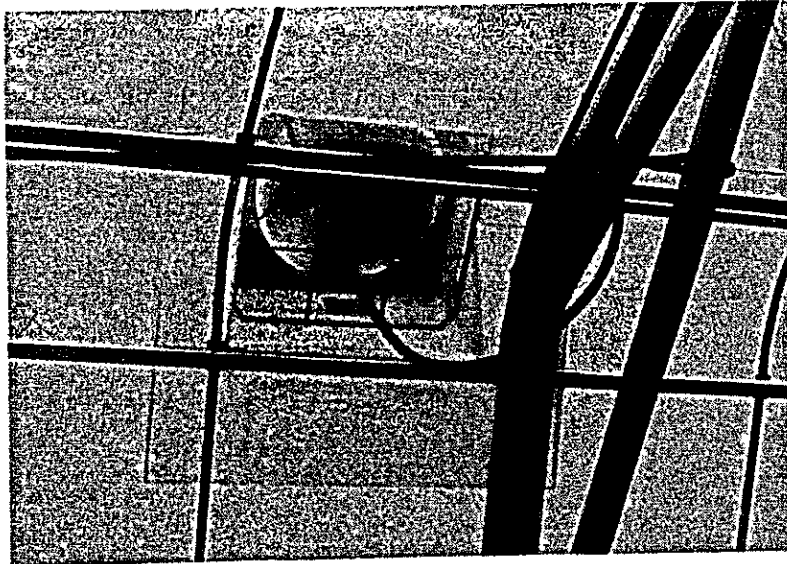


Foto. 8 Sistema de extracción de aire en el techo, en un invernadero de plástico

Las ventanas en el techo en general no son suficientes para la ventilación, por lo que se hace necesario su instalación en las paredes laterales. Por estas dos vías mejora mucho la corriente de aire hacia el exterior. Cuando no se puede instalar más de una ventana en el techo, se lograrán altos rendimientos de la ventilación, si ésta se coloca en el lado del sotavento, (lado opuesto al viento). Para abrir y cerrar las ventanas se puede usar un sistema automático con termostato, colocándolo en un lugar estratégico dentro del invernadero.

2. Ventilación por el techo

En este caso, el ventilador es instalado en el techo del invernadero (Foto. 8). Este sistema de ventilación es superior en cuanto al rendimiento de la ventilación y distribución de la temperatura con respecto al sistema de ventilación en las paredes. La colocación de varios ventiladores de poca capacidad (35 a 40 cm de diámetro) tienen el inconveniente de que su costo total es muy elevado en comparación a los comunes instalados en las paredes laterales.

3. Ventilación a través de cortina húmeda (Pad) (Fig. 22)

Este sistema es una combinación de ventiladores y cortinas húmedas, los cuales se instalan alineados en una de las fachadas del invernadero. La cortina en sí es de madera fibrosa totalmente perforada, de aproximadamente 10 cm de espesor, y es fijada en los bordes por 2 metales con tornillos. Dicha cortina debe estar siempre húmeda, lo cual se realiza a través de un sistema de continuo mojado. El "Pad" hace el papel de abertura de aspiración, y cuando el aire exterior pasa a través de la pared húmeda, la temperatura desciende dentro del invernadero.

Se han desarrollado otras formas de enfriar el aire dentro del invernadero utilizando la evaporación del agua.

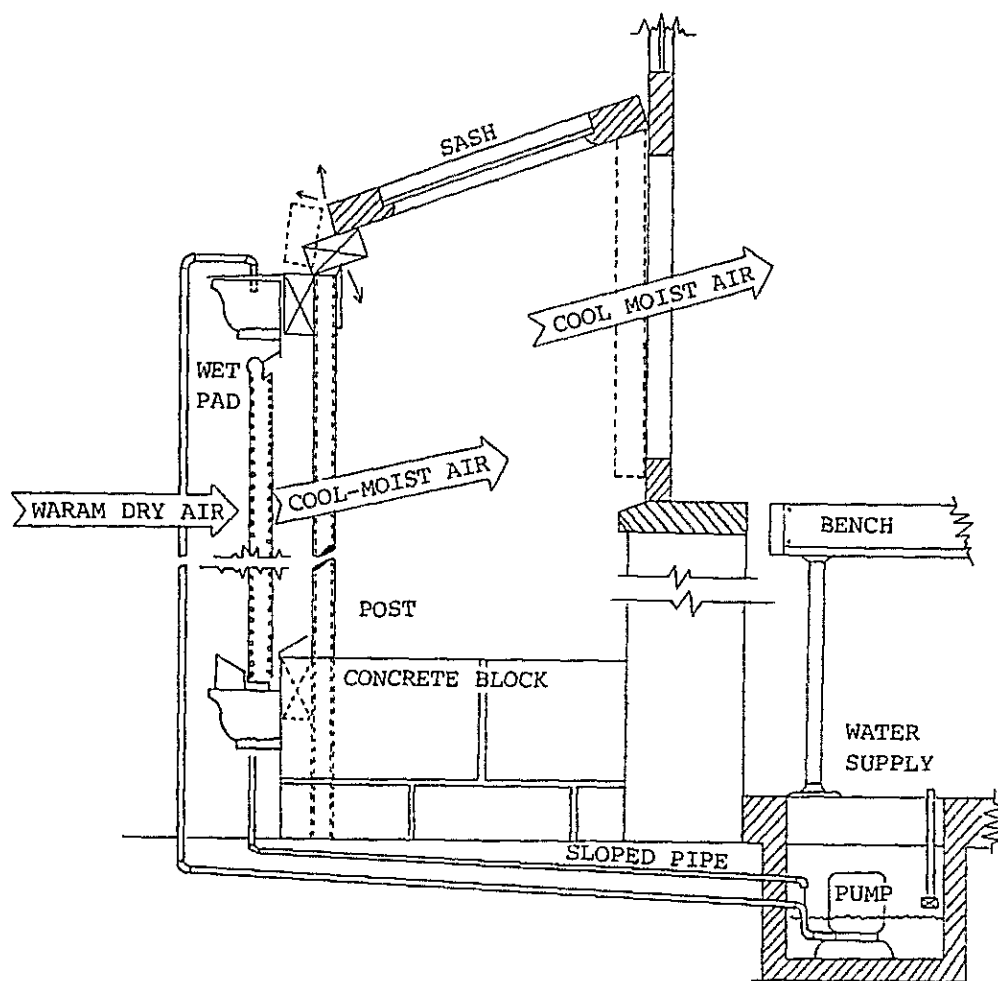


Fig. 22 Lower sash on greenhouse wall open for wet pad cooling (Berkel, 1968)

V. FOTOSINTESIS Y LUMINOSIDAD EN UN INVERNADERO DE PLASTICO

A. Factores que afectan la fotosíntesis

La fotosíntesis está relacionada a muchos factores ambientales. La cantidad de luz solar, afecta directamente la fotosíntesis de las hojas de los vegetales. Existe alta correlación entre la cantidad de asimilación de CO_2 e intensidad de luz. La Fig. 23 muestra los resultados obtenidos por TATSUMI (14, 15) en condiciones de ambiente controlado.

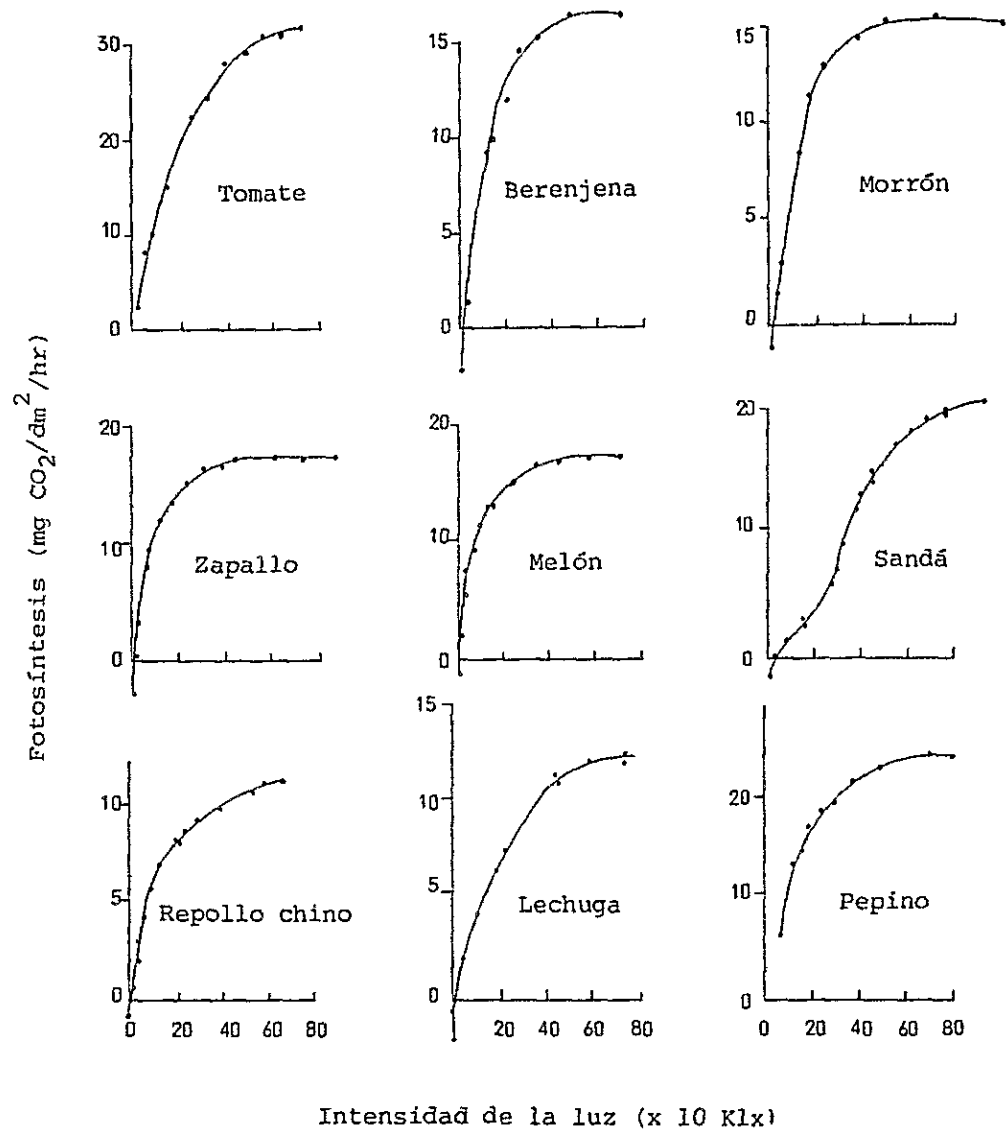


Fig. 23 Relacion entre la intensidad de luz y la fotosíntesis (asimilación de mg CO₂/dm²/hr) en varios cultivares (Tatsumi et al. 1969)

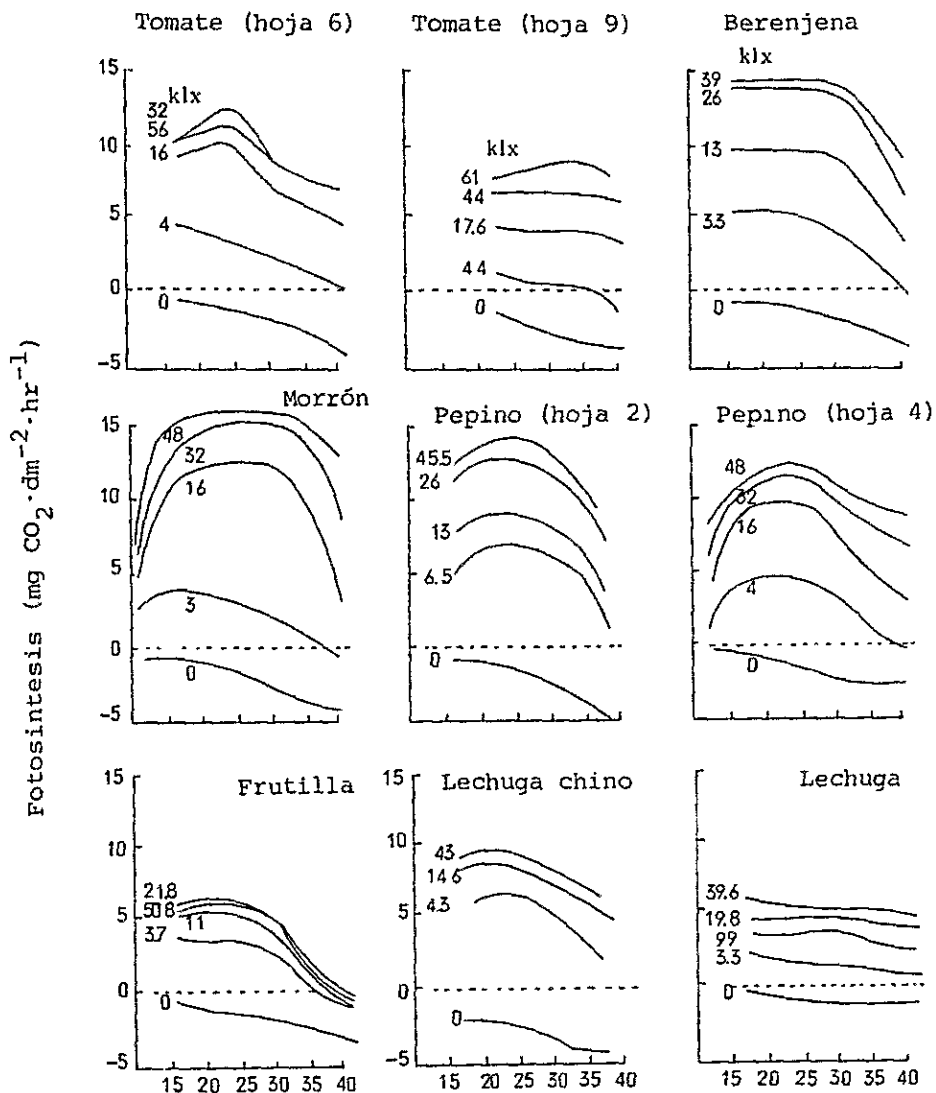


Fig. 24 Influencia de la temperatura (°C) e intensidad de luz (Klx) sobre la fotosíntesis (Tatsumi et al 1970)

Generalmente en las hortalizas, se ha verificado que la cantidad de asimilación de CO₂ baja aceleradamente por debajo de 30.000 a 40.000 lux. La Fig. 24 muestra que la influencia de la temperatura sobre la fotosíntesis es menor que la intensidad de la luz, principalmente, cuando la temperatura varía entre 15 y 30°C durante el día dentro de invernadero.

En la Fig. 24 se observa la relación que existe entre la velocidad del viento y la humedad relativa del aire sobre la fotosíntesis en pepino. De los resultados se desprende que el aumento de la velocidad del viento y la disminución de la humedad relativa del aire, aumentan la cantidad de asimilación de CO₂ (Tatsumi et al 1970), pero, con veloci-

dades de viento mayores, se obtienen un máximo en la fotosíntesis o asimilación de CO_2 , ya que con un excesivo aumento de la velocidad del viento, se pierde una considerable cantidad de agua por transpiración, provocando una disminución de la turgencia de las hojas y por lo tanto el cierre estomático, con el consiguiente descenso de la fotosíntesis. Al aumentar la humedad relativa alrededor de las plantas, desciende la pérdida de agua de las hojas, aunque no hay descenso de la fotosíntesis. En la Fig. 25 se observa que cuando la humedad relativa es del 80% y la velocidad del viento es de 1 m/s no se produce todavía el descenso en la fotosíntesis. Generalmente, la humedad en los invernaderos es superior al 65%. Por los resultados analizados se puede concluir que para el caso del pepino, el aumento de la velocidad del viento hasta 0.5 m/s, aumenta la fotosíntesis. Además, se verificó que la ventilación es importante no solamente en el control de la temperatura sino también en el mayor enriquecimiento del aire interior con anhídrido carbónico con el consiguiente aumento de la fotosíntesis.

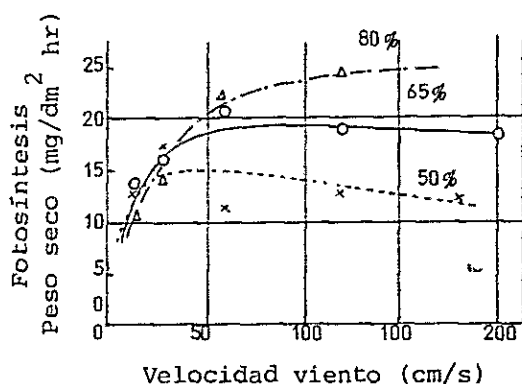


Fig. 25 Relación entre la velocidad del viento (cm/s) y la humedad relativa (%) en la fotosíntesis de pepino (Yabuki, Miyakawa, 1971)

B. Suministro de anhídrido carbónico

La cantidad de anhídrido carbónico en el aire atmosférico es de aproximadamente 0.03% (300 ppm). Cuando se cierra la circulación de aire del invernadero con el exterior, los valores de gas carbónico descienden durante el día por su utilización en la fotosíntesis. Por el contrario, durante la noche los niveles se elevan por la alta tasa de respiración de las plantas (Fig. 26).

Además, se puede observar que la media de la proporción del gas carbónico del aire de 300 ppm no es suficiente para el crecimiento de las plantas. En los países europeos y Estados Unidos es muy antiguo la aplicación de este gas en invernaderos, como técnica para aumentar los rendimientos.

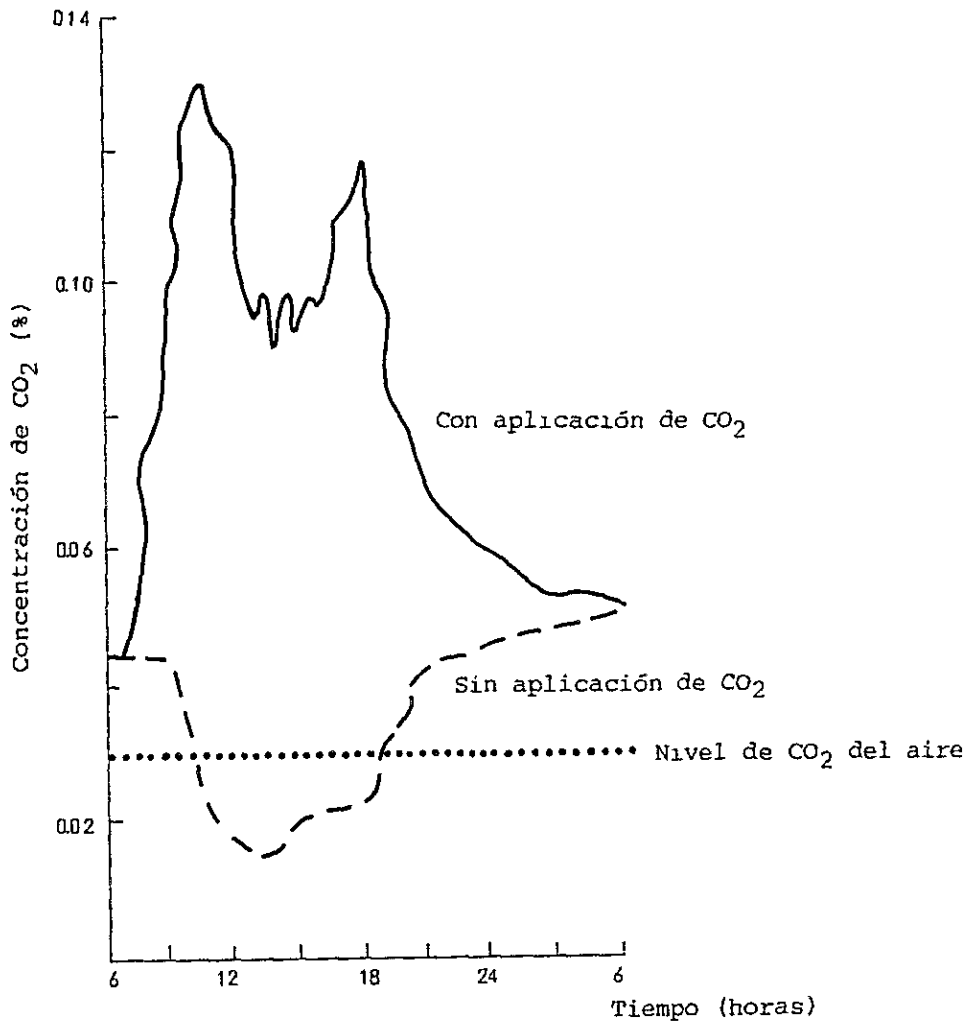


Fig. 26 Influencia de la concentración de CO₂ sobre la fotosíntesis en un invernadero de vidrio cerrado. (Wittwer & Robb, 1964: Von Berkel 1968)

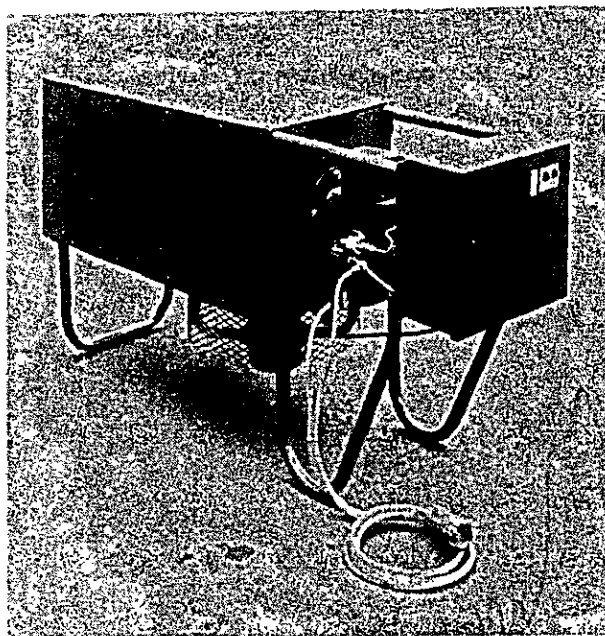


Foto. 9 Aparato para producir gas carbónico

Cuadro 4 Efecto de la concentración de CO₂ en el rendimiento y peso de fruta de 6 variedades de tomate en invernadero

(Wittwer 1966)

Variedad	Rendimiento (lb/pl)		Peso medio de fruta (onza)	
	300 ppm CO ₂	1,000 ppm CO ₂	300 ppm CO ₂	1,000 ppm CO ₂
Michigan - Ohio Hybrid	6.0	9.1	3.5	4.6
W - R7 Pink Globe	5.7	8.6	4.6	5.4
Spartan Red 8	4.9	6.5	3.9	4.6
Spartan Pink 10	5.5	8.0	3.6	5.4
Tuckcross 0	7.2	9.3	3.7	4.8
Michigan 138	7.3	10.0	4.3	4.7
Promedis	6.1	8.6	3.9	4.9

El Cuadro 4 muestra los resultados de un experimento con el uso de anhídrido carbónico en tomate. El crecimiento fue de alrededor de 4 veces mayor con la concentración de anhídrido carbónico de 1,000 ppm respecto a la de 300 ppm (Wittwer, 1966). (18)

Recientemente se ha propagado la venta de aparatos para su producción. Se pronostica que en el futuro su propagación será aún mayor, pero, hay que tener cuidado con gases tóxicos, que son desprendidos en la combustión, principalmente, anhídrido sulfuroso, debido al gran daño que pueden sufrir las plantas. Por lo tanto, es importante elegir un aparato adecuado para este propósito.

CAPITULO 2^o. DIFERENTES MATERIALES DE COBERTURA EN EL CULTIVO BAJO TUNEL Y SU EFECTO EN LA CONSERVACION DE LA TEMPERATURA

I. PREFACIO

Los filmes de plástico usados en los cultivos bajo túneles son principalmente el cloruro de vinilo (PVC) y polietileno (PE). El primero es usado en invernaderos y túneles; el segundo se usa casi exclusivamente en túneles y mulching. La razón de ser usado con preferencia el PVC en las coberturas de invernaderos es que, a pesar de ser más caro que el PE tiene la ventaja de su gran durabilidad, alta resistencia a las condiciones adversas del clima y una adecuada capacidad para conservar la temperatura, como veremos más adelante. Sin embargo a pesar de ser excelente como material de cobertura, el PVC tiene la desventaja de contener en su estructura molecular muchos agentes de plasticidad, lo que lo hacen de alta capacidad de mezclarse con el polvo del aire, facilitando que la superficie del filme se ensucie. Por esto, se han desarrollado actualmente otras clases de filmes sin estos agentes de plasticidad, entre los que se cuentan, el filme de PVC rígido, y filme de acetato de vinilo y acetato de vinilo copolimerizado de etileno. Recientemente, se ha producido un filme de PVC con propiedades protectoras contra el polvo, a base de recubrir el mismo con una sustancia acrílica.

En la actualidad se encuentra una gama muy amplia de tipos de filmes, entre los que se cuentan los siguientes: transparentes, con o sin color, con o sin poder adherente de gotas de agua, con o sin agente de absorción de luz ultravioleta, existiendo también diferentes tipos en espesor y anchura. Los productores que van a usar un tipo u otro, tienen que hacer primeramente una elección apropiada del filme, de acuerdo con sus objetivos planteados y grado de tecnología usada.

Las condiciones necesarias que debe reunir un buen material de cobertura para invernaderos y/o túneles son las siguientes: 1) buen pasaje de los rayos solares y alto poder de conservación de la temperatura; 2) baja captación de polvo del aire; 3) fuertes y resistentes a roturas; 4) fáciles de ser colocados; 5) bajo costo.

Las bajas temperaturas de invierno y las débiles insolaciones hacen que en los cultivos forzados y semiforzados de legumbres y frutas, sea de extrema importancia el uso de filme de alto poder para conservar la temperatura.

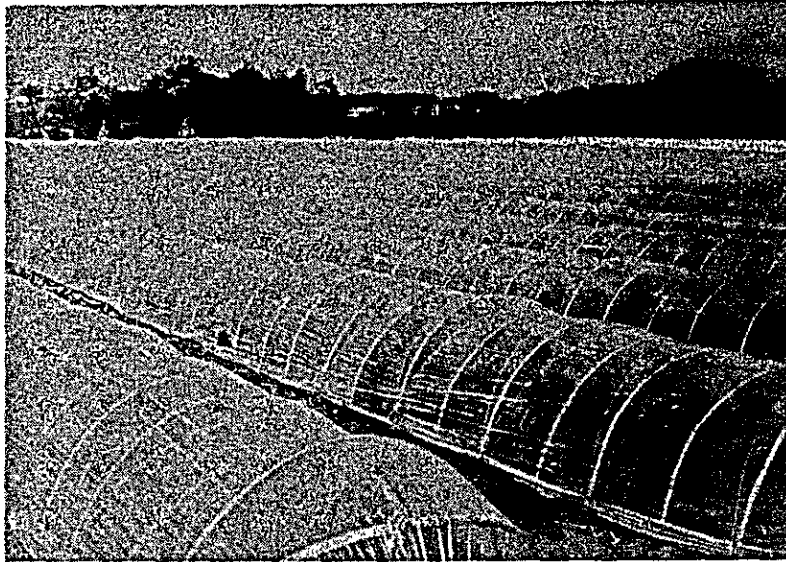


Foto. 10 Vista general de túneles instalados para el cultivo de lechuga temprana

Cuando la temperatura se eleva a $25 \sim 30^{\circ}\text{C}$ dentro de los tuneles se levanta el plástico a ambos lados.

Materiales usados: Caña, polietileno y pñola de plástico

Caña: Se construyen primeramente los arcos de cañas de bambú. Estos tienen 1 m de ancho en su base y 0.60 m de altura en la parte más alta. Dependiendo del cultivo a sembrar, dentro del túnel, los arcos se disponen a una distancia de 0.40 a 0.60 m.

Polietileno: Se utiliza polietileno de 1.8 0 2 m de ancho y 0.05 0 0.075 mm de espesor.

Pñola de plástico: Una vez de puesta la cubierta de polietileno se amarra con pñolas de plástico procediendo de la siguiente forma: se inicia atando en un extremo del túnel y en la base de uno de los arcos por un lado del túnel y en el siguiente arco se ata del otro lado y así sucesivamente formando un zig zag.

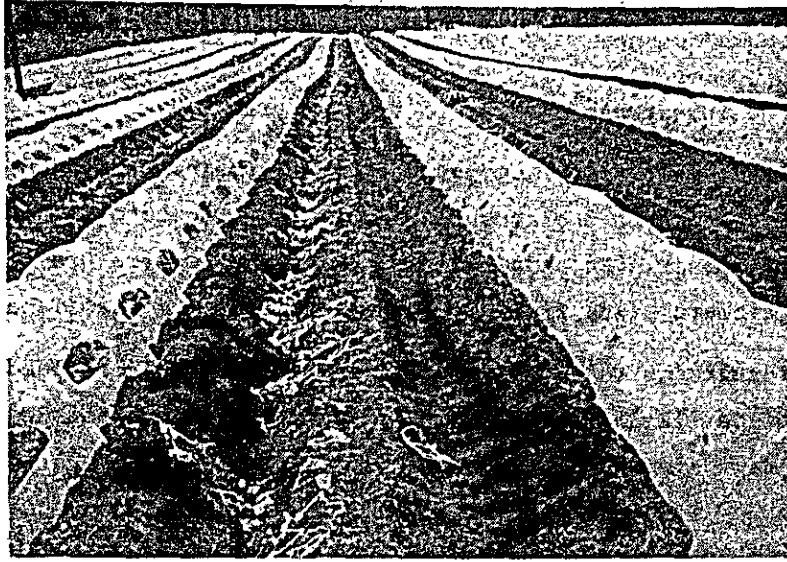


Foto. 11 Cultivo de zapallo temprano bajo tuneles de polietileno

En éste cultivo en los primeros estadios de crecimiento no se abren los túneles. Luego a medida que el cultivo crece se proceden a abrir pequeños agujeros para su mejor ventilación, más tarde cuando la temperatura de la primavera va aumentando se van agrandando, y finalmente cuando las temperaturas son muy elevadas se quitan los túneles.

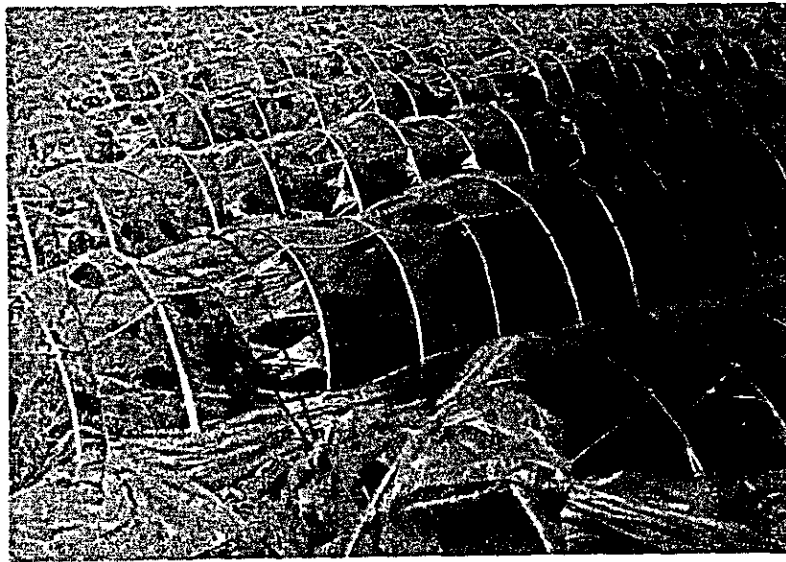


Foto. 12 Cultivo de lechuga temprana bajo tuneles

En éste caso los túneles tienen doble cubierta. Una es perforada y esta fija a ambos lados y la otra es entera y va fija de un solo lado para subir y bajar cuando sea necesario aerear el cultivo o cuando la temperatura sube mucho dentro del túnel.

II. INFLUENCIA DE DIVERSOS MATERIALES FILME EN LA CONSERVACION DE LA TEMPERATURA

Ejemplos de investigaciones sobre temperaturas

Ejemplo 1. Consistió en la construcción de túneles de pequeño tamaño, en el cual se colocaron 3 clases de filmes: PVC, acetato de vinilo y PE, de 0.1 mm de espesor. En cada túnel se midió la temperatura interior, desde el 1^o de febrero hasta fines de marzo (hemisferio norte) (Takahashi, 1971).

Los resultados están representado en la Fig. 27 y se puede observar, que desde la salida del sol, la temperatura interior de los túneles sube rápidamente, llegando al máximo aproximadamente al mediodía. En la tarde, la temperatura baja rápidamente hasta la puesta del sol, y luego el descenso es lento hasta su salida, llegando a la mínima temperatura a las 7 de la mañana. La amplitud térmica entre el día y la noche para las diferentes clases de filme fueron en orden decreciente, las siguientes: PVC, acetato de vinilo y PE.

Los túneles de PE tienen la dsventaja de retener gotitas de agua debajo del filme, lo que dificulta la penetración de la radiación solar; ésta es la principal razón por la cual durante el día las temperaturas en el interior del túnel de PE sea más baja que la de los otros filmes.

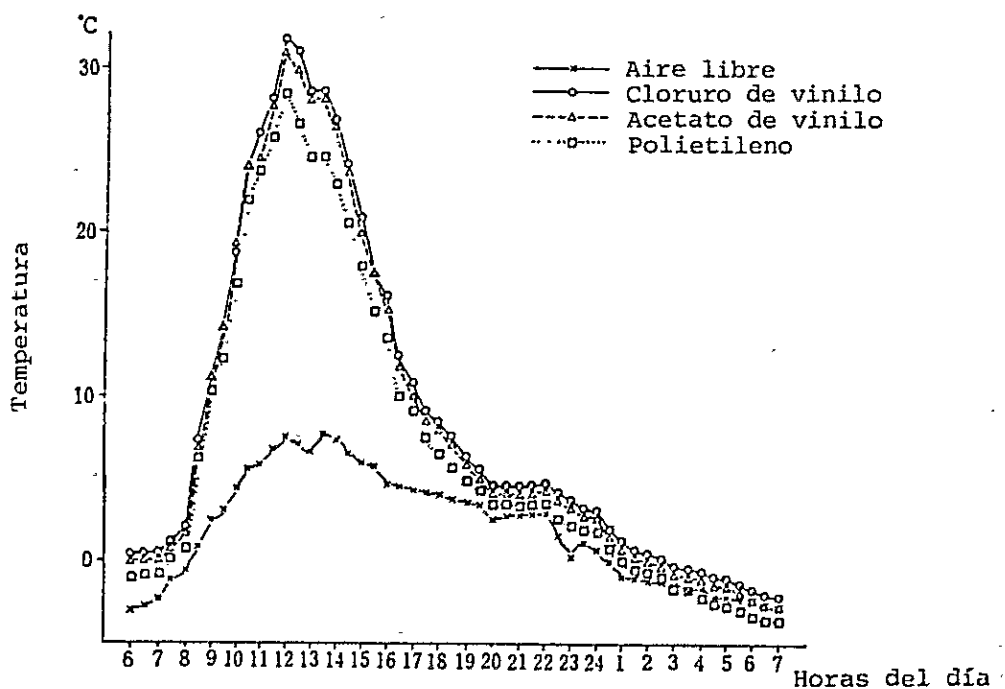


Fig. 27 Curvas de temperaturas durante las 24 horas del día bajo tuneles de diferentes materiales filme comparados con la temperatura del aire libre (Takahashi, 1971)

Ejemplo 2. Se estudió la relación existents entre el espesor de dos clases de materiales filmes y dos tipos de PVC, con la temperatura dentro de los túneles, en un día sin nubes (Fig. 28) (Sugiyama, Takahashi y Lee, 1966). Primeramente se observó que en el PVC tratado con sustancias hidrofóbicas no hay deposición de gotitas de agua debajo del filme y sí hay deposición en el PVC no tratado y en el PE, por esto la temperatura debajo del PVC tratado es mayor que la no tratada y ésta última es similar a la del PE. Por otras parte, el PVC sin tratar de 0.1 mm de espesor, produjo temperaturas más altas que el PVC de 0.05 mm pero, el efecto del espesor del filme en el PE no presentó casi diferencias. Aproximadamente a las 14 horas, la temperatura debajo de los túneles comenzó a descender, y antes del anochecer se aproximó a la del aire, mientras que durante la noche, la del túnel de PE fue menor que la del túnel de PVC; por lo tanto no presentó casi diferencias con la temperatura del aire. En cuanto al PVC con o sin adherencia de gota de auga, la temperatura durante la noche, no presentó diferencias entre ambos.

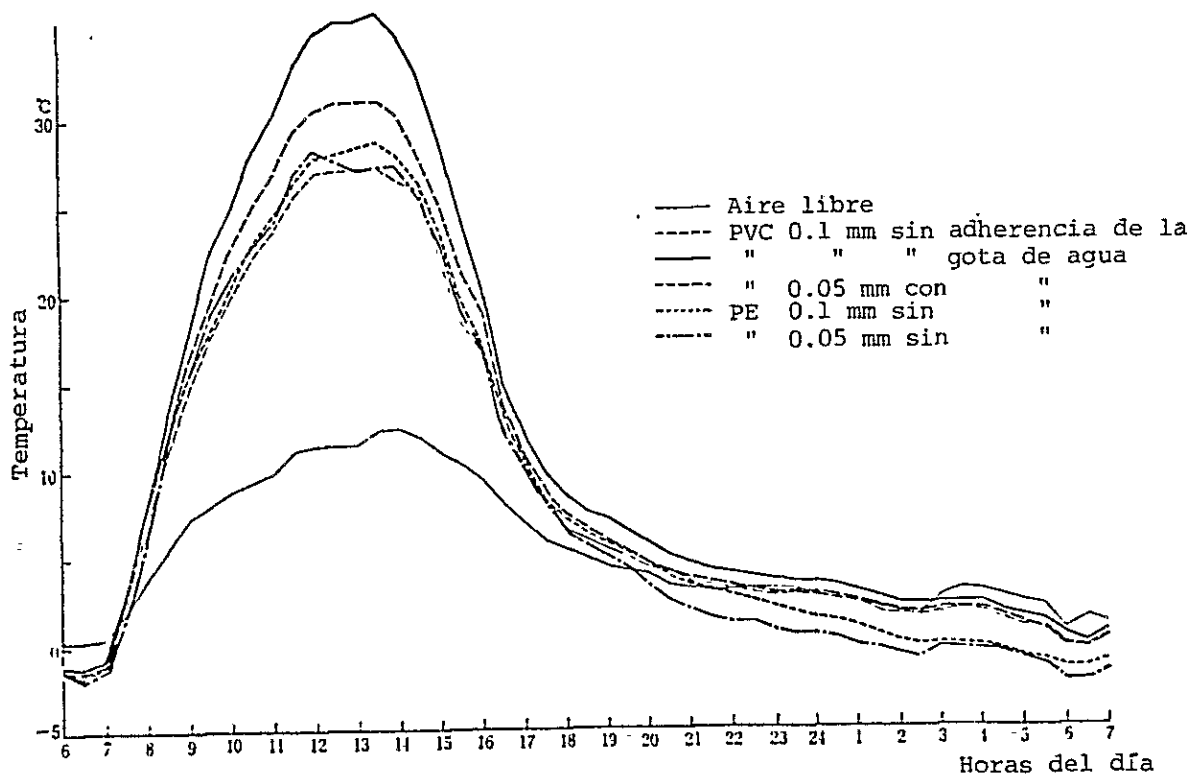


Fig. 28 Distribución de la temperatura durante las 24 horas del día, al aire libre, bajo túneles de PVC y Polietileno con diferentes propiedades en cuanto a la adherencia o no de las gotas de agua y espesores del film

(Sugiyama, Takahashi, Lee 1967)

Ejemplo 3. Los resultados que se muestran en las Figuras 29 y 30 fueron realizados con túneles de PVC, los cuales fueron recubiertos con diferentes materiales aislantes del calor (plásticos de diferentes tipos y estera de paja de arroz tejida). Se registró la temperatura en cada situación y al aire libre, durante la noche (Takahashi *et al*, 1968).

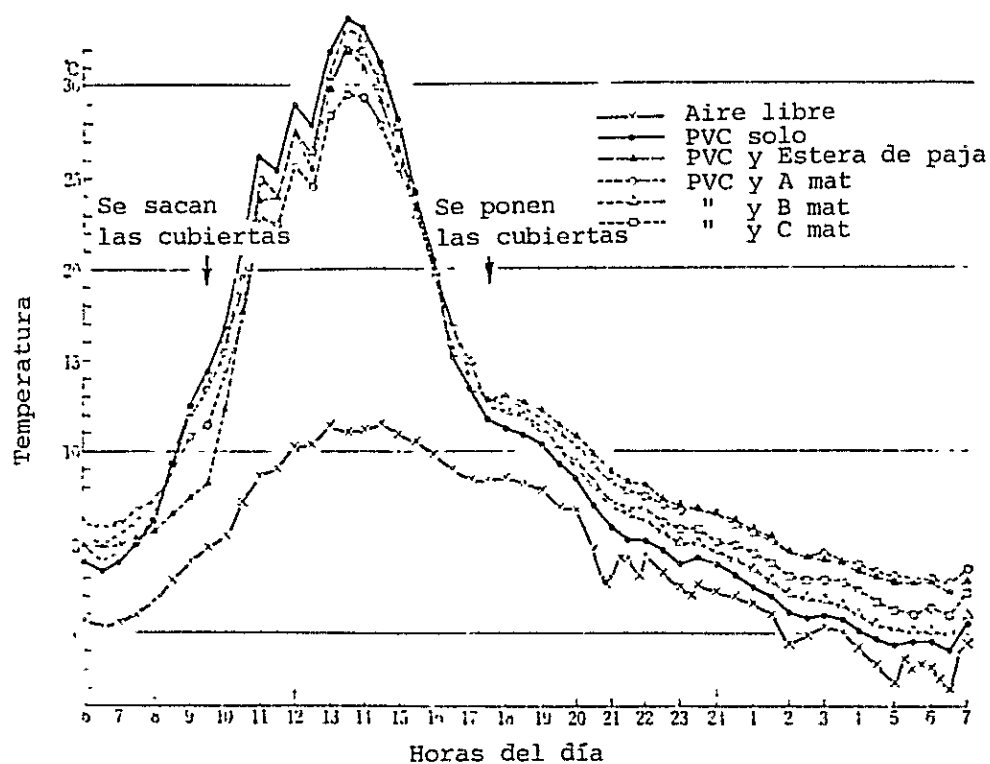


Fig. 29 Distribución de la temperatura durante las 24 horas del día al aire libre y bajo túnel sin y con abrigos de diferentes materiales sobre el film de PVC, en un día de cielo claro (Takahashi, Sugiyama 1968)

A mat: Foamed polyethylene sheet, 0.35 mm thick

B mat: Wadded polyethylene sheet, made from double layers of 0.05 mm polyethylene film, with inserted Tevilon (PVC) fibre, 0.25 mm thick, between them

C mat: Laminated polyethylene film, made from double layers of 0.05 mm polyethylene film, and re-inforced with polyethylene net.

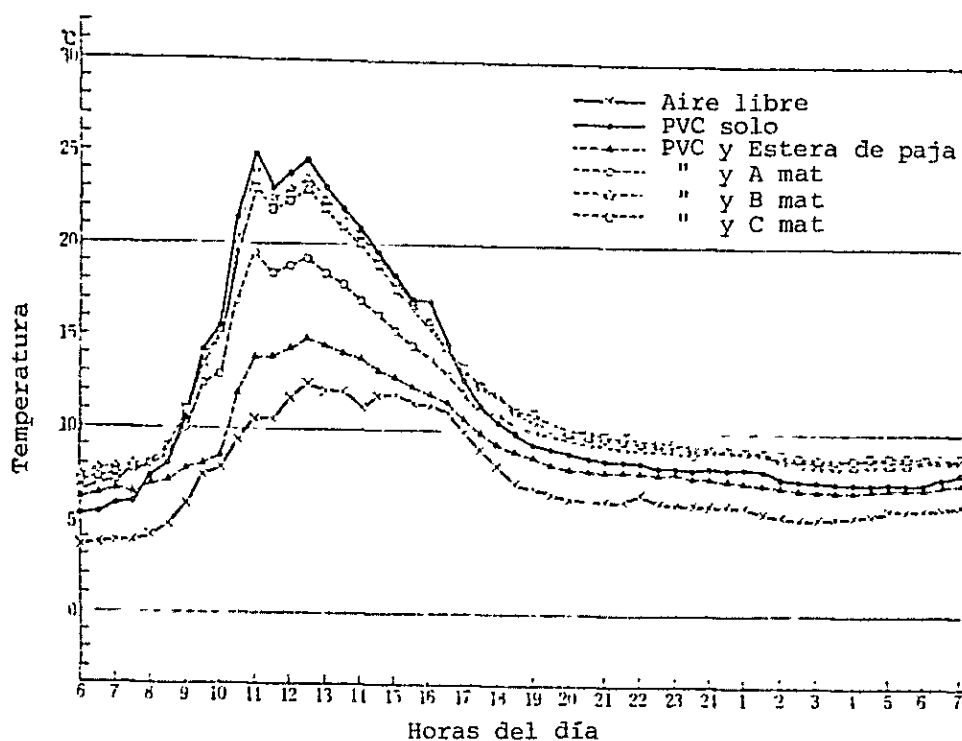


Fig. 30 Distribución de la temperatura durante las 24 horas del día al aire libre y bajo tuneles sin y con abrigos de diferentes materiales sobre el film de PVC, en un día de tiempo nublado y con lluvias después (Takahashi y Sugiyama, 1968)

En el caso de estera de paja de arroz tejido y seca, (condiciones de cielo despejado) experimentó temperaturas del orden de 2 a 3°C superior durante la noche, que con el PVC sin cubierta protectora. En general, la conservación de la temperatura fue mayor con la cubierta de paja de arroz seca, que el resto de los materiales usados sobre el filme de PVC. Por el contrario, cuando la estera de paja de arroz estuvo mojada por lluvia o nieve, su poder de conservación de la temperatura fue muy bajo, siendo la temperatura más baja que la de los otros materiales de cubierta e inclusive en muchos casos al control (PVC sin cubierta).

Cuando está nublado o lluvioso, los materiales que contienen mucho aire dentro de las capas de plástico, tienen alto poder de conservación de la temperatura, pero cuando el tiempo es despejado los que continen mucho aislante térmico, como la paja de arroz, tienen los más altos poderes de conservación de la temperatura. Además de la conservación de la temperatura durante la noche, son favorables los materiales que tengan propiedades como: buen pasaje de radiación

solar; bajo poder de absorción de agua; livianos, poco voluminoso; no flamear con el viento; resistente a roturas; alta durabilidad y que no se altere su calidad con el tiempo.

III. MECANISMO DE LA CONSERVACION DE LA TEMPERATURA

Indice de longitud de onda de la luz transmitida por el filme

La transmisibilidad de la radiación ultravioleta es baja en PVC, pero es alta en acetato de vinilo y PE (Fig. 31 y 32). Cuanto más alta es la absorción de la radiación ultravioleta por el filme, la transmisibilidad es más variable. Las radiaciones ultravioletas son llamadas también "rayos químicos" y son las principales causantes del envejecimiento del filme. Los filmes como el PE, son atravezados fácilmente por la radiación ultravioleta, lo cual provoca fácil cambio en las estructuras de las combinaciones macromoleculares, y en consecuencia roturas del filme a temprano uso. El PVC, por el contrario posee alta durabilidad por no dejar pasar la radiación ultravioleta. El vidrio, en cambio, no deja pasar casi la radiación ultravioleta (Fig. 33). En conclusión, el PE, comparado al PVC o al vidrio, tiene la desventaja de permitir el pasaje de la radiación ultravioleta. La transmisibilidad de los rayos visibles en el rango de longitud de onda más corta en el PE es baja, siendo de todas maneras del orden del 70 al 85% (Fig. 31).

El índice de transmisión de luz de los rayos visibles, durante el día, tiene íntima relación con el aumento de la temperatura en el interior del túnel o invernaderos, el cual a mayor índice de transmisión, mayor

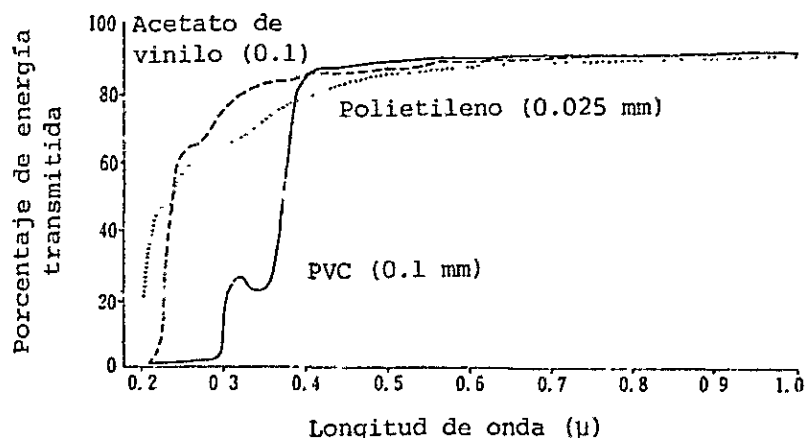


Fig. 31 Porcentaje de energía transmitida en los longitudes de onda entre 0.2 y 1.0 μ para tres clases de films

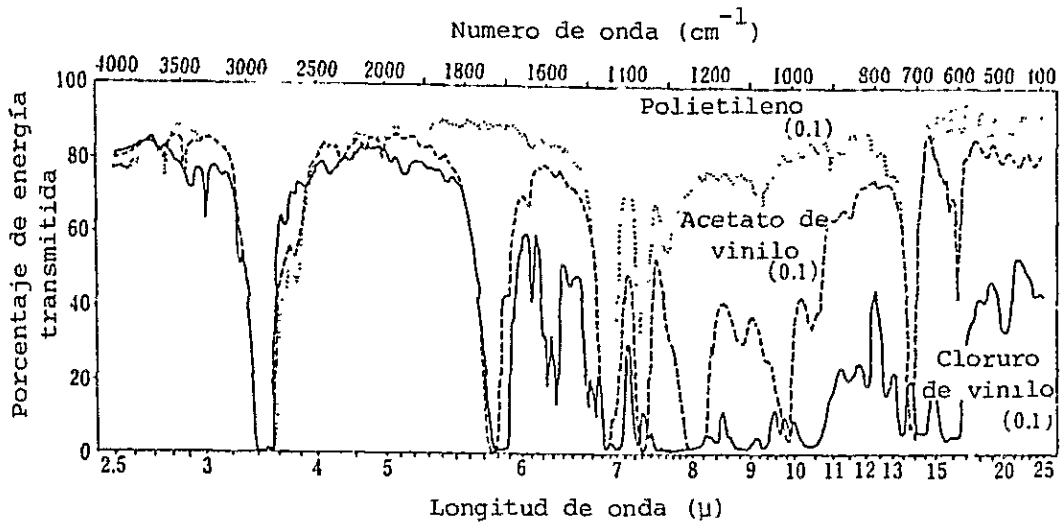


Fig. 32 Porcentaje de energía transmitida en las longitudes de onda entre 2.5 y 25 μ (sección infrarroja del espectro) de tres clases de film. (Takahashi, 1971)

temperatura. La luz atraviesa el filme y entra en el interior del túnel, calienta la superficie del suelo, las plantas y el aire. El índice de transmisión de la longitud de ondas largas en el área de radiación infrarroja tiene profunda relación con la conservación de la temperatura durante la noche, el cual está además relacionado a la clase de filme (Fig. 32).

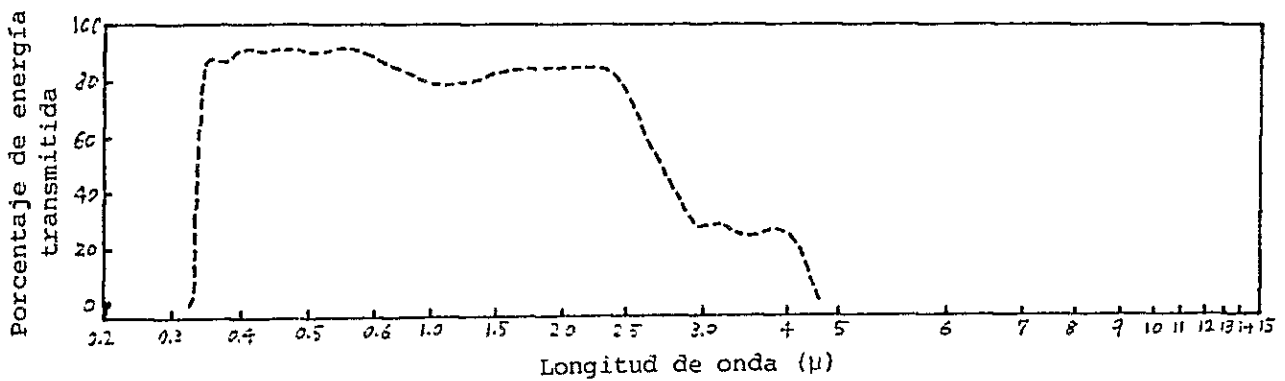


Fig. 33 Porcentaje de energía transmitidas en las longitudes de onda entre 0.2 y 15 μ del material de vidrio

El PVC, acetato de vinilo y PE, no tienen casi diferencias hasta 6μ de onda, pero superior a 7μ se diferencian pronunciadamente. En el caso del PVC se observa el pico de máxima luz transmitida entre 12 y 13μ , mientras que las otras longitudes tienen transmisibilidad más baja. En el caso del PE, el índice de transmisión es alto, alcanzando valores superiores al 80%. En el acetato de vinilo, el índice de transmisión se encuentra entre los dos anteriores. Si aumentamos el espesor del filme, el índice de transmisión baja un poco, pero la relación entre las clases de filmes no cambia. El vidrio a su vez es impermeable a la longitud de onda ultravioleta (Fig. 31) y longitud de onda infrarroja superior a 3μ , en consecuencia, la conservación de la temperatura es muy alta.

IV. FACTORES QUE AFECTAN LA CONSERVACION DE LA TEMPERATURA

A. Adherencia de la gota de agua en el filme

En el caso de existir adherencia de gotas de agua en el filme del invernadero o del túnel se producirán cambios en el índice de transmisibilidad. El índice de transmisión de la longitud de onda de 7μ de una fina película de agua de 0.01 mm es cercano a 35%. A medida que la longitud de onda larga aumenta, el índice de transmisibilidad baja, no registrándose transmisibilidad con valores superiores a 12μ . Por lo tanto, la adherencia de gotas de agua en toda la superficie del filme, cuando se compara al caso de no adherencia del agua, la interceptación de la longitud de ondas largas infrarrojas es excelente y en consecuencia mayor conservación de la temperatura.

La cantidad de agua adherida al filme, está directamente relacionada al estado de humedad de la superficie del suelo bajo el túnel. Por lo tanto, es necesario regar con agua suficiente para el adecuado crecimiento de las plantas, y conservación de la temperatura durante la noche. Como se vió anteriormente, no existen diferencias entre los distintos tipos de filmes en cuanto a la conservación de la temperatura cuando hay adherencia de gotas de agua, pero esto no siempre es así, debido a que pueden registrarse diferencias en cuanto a la uniformidad en la deposición del agua en el filme, ya que a veces algunas clases de filmes aghieren únicamente agua en forma de gotas gruesas, dejando rendijas entre ellas, con el consiguiente escape de calor, facilitando además su caída cuando el viento hace flamear el filme.

La temperatura en la superficie del filme baja en el siguiente orden: PE; acetato de vinilo y PVC; en éste último, la radiación de longitud de onda larga que proviene del suelo en el interior del túnel, es detenida y su superficie exterior tendrá por lo tanto menor temperatura.

En contraste con el caso anterior, el PE deja pasar toda la radiación de longitud de onda larga proveniente del suelo y los vegetales que son los causantes de la radiación; ésta pasa a través del filme emitiéndose directamente a la atmósfera.

B. Deposición de polvo sobre el filme

La utilización de filme en túneles por largo tiempo, traerá como consecuencia que el polvo del aire se adhiera y por tal motivo se registrarán cambios en el índice de transmisión de luz. Se ha verificado que en un filme usado por 2 meses, se produce un descenso en el índice de transmisión luminosa de los rayos ultravioletas y de los visibles, aunque los de longitud de ondas largas no disminuye pronunciadamente. También se ha observado que el PVC no se ensucia tan fácilmente en relación al acetato de vinilo o PE. El resultado final de las observaciones a simple vista fue que la adherencia del polvo en los filmes era más o menos igual. En consecuencia, no se puede afirmar que durante la noche, la conservación de temperatura cambie por la diferencia de clases de filmes ocasionada por contaminación con el polvo del aire. Además, los resultados medidos en el índice de transmisión del filme lavado con detergente neutro, respecto al filme sin uso, no arrojó diferencias en cuanto a su calidad.

V. METODOS PARA AUMENTAR LA CONSERVACION DE LA TEMPERATURA

A. Efecto de la doble cubierta de plástico

Un método para aumentar el ahorro de energía cuando no se usa calefacción, es por medio de cortinas dobles de PE a 2 m de altura, horizontales al suelo y paralelas a las paredes durante la noche. También se usan cortinas internas con filme finos de PE paralelo al techo y distanciados a 3 cm.

La influencia de la doble cubierta es muy grande sobre el ahorro energético de la temperatura, y sus efectos fueron estudiados primeramente por Favilli et al, 1964 (1). Los autores tomaron un cajón abierto

de madera, de 50 cm³ el cual fue cubierto con una tapa construida con dos filmes de plástico, paralelos y separados a 1 cm, obteniendose considerables ahorros de energía. Posteriormente se comparó el efecto de tapar con uno y dos filmes de PE paralelos a 3 cm de distancia y con vidrio de 3 mm de espesor, y se constató que el grado de conservación de la energía era muy similar.

B. Conservación de la temperatura dentro de invernadero con túneles de plástico

La Fig. 34 representa un ejemplo de la conservación de la temperatura con túnel doble con filme de PVC en el interior de un invernadero también de PVC. La temperatura fue medida en un día completamente despejado y en tres posiciones diferentes, en el interior del túnel, entre el túnel y la cobertura del invernadero y fuera del mismo. Los resultados muestran que la temperatura durante el día en el exterior fue de 11 a 12°C, en el interior del invernadero sin túnel 23 a 24°C, y en el invernadero con túnel la temperatura alcanzó el valor máximo de 30°C. La temperatura en el interior del invernadero en las primeras horas de la noche, fue de 2°C superior a la del exterior que llegó a -3°C.

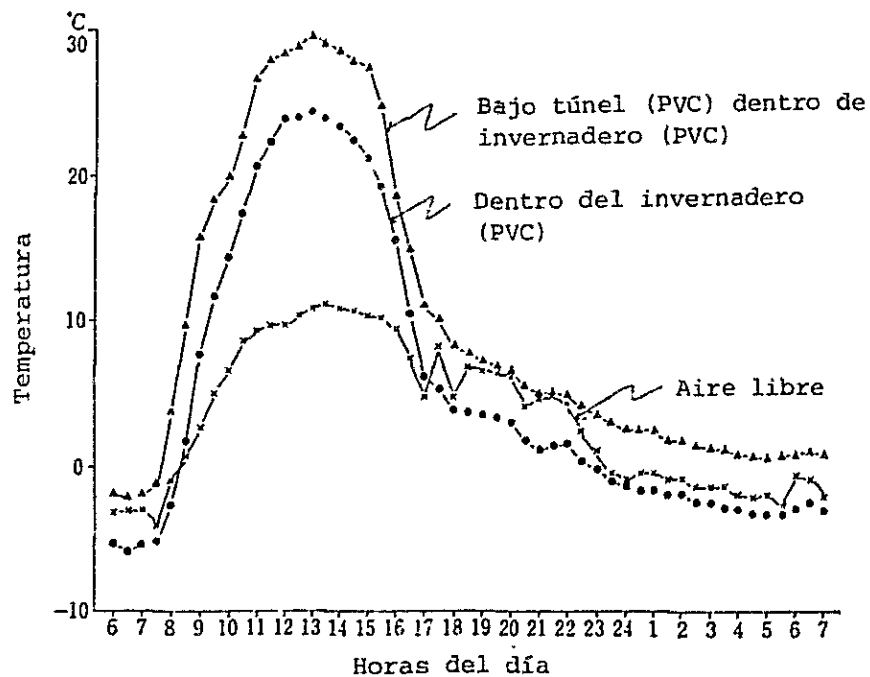


Fig. 34 Distribución de la temperatura durante las 24 horas del día, al aire libre, dentro de invernadero y bajo túnel dentro de invernadero. (Takahashi, 1972)

La temperatura en el interior del túnel fue de 4°C más alta que la del invernadero sin túnel, alcanzando una mínima de 1°C . Estos resultados comprueban la mayor efectividad del sistema combinado de invernaderos con túnel de plástico en su interior. Respecto a la clase de filme se observó una mayor conservación de la temperatura en el filme de vinilo que el de polietileno.

C. Conservación de la temperatura bajo túneles con esteras de diferentes materiales

Se realizó un experimento a campo, con túneles de PVC y PE. A su vez los tratamientos se dividieron en: sin recubierta sobre el filme y con sobrecubierta con estera de polietileno espumoso (High Mat) entre las 16 y 30 horas y las 9 horas de la mañana. Se registró la temperatura en cada tratamiento y se observó que la temperatura en la noche fue de 3 a 5°C mayor en los tratamientos con estera que sin ella. Se comprobó además que la temperatura del túnel de PVC sin estera, era más alta que la de PE sin estera, y cuando se comparaban a ambos con estera, también el túnel de PVC experimentó mayor temperatura.

Por otra parte, si el tiempo es lluvioso, existe el inconveniente del peso que las esteras mojadas ejercen sobre el túnel de plástico, lo que además dificulta el manejo diario de apertura y cierre. Estas desventajas condujeron a la creación de nuevos tipos de plásticos de muy fácil manejo y alta conservación de la temperatura tales como: lona de PE espumoso (High Mat); fibra de tebirón entre dos capas de PE (Hoka-Hoka-Mat), estireno espumoso entre dos capas de PE (Poli Mat); burbujas de aire entre dos capas de PE (Air Cap); PE plateado, hoja de plata entre dos capas de PE (Silver PE); vinilo plateado, hoja de plata entre dos filmes de PVC (Silver vinilo), Red de Polinet entre dos capas de PE (Air Mat), filme de PE corrugado en ondas entre dos capas de PE (Linkcrumet).

Se realizó además un experimento cubriendo los túneles con muhos de los materiales antes nombrados y esteras de lona, como forma de conservar la temperatura durante la noche. Las condiciones climáticas fueron de cielo totalmente despejado. En los resultados mostrados en la Fig. 35, se observa que la temperatura bajo esteras de lona fue mayor que las de otros materiales plásticos. Cuando las esteras de lona se mojaron por las lluvias y al día siguiente el cielo fue totalmente despejado, los

materiales plásticos conservaron mayor la temperatura que la estera de lona, Esto se debió a la mayor absorción de calor provocada por el agua para su evaporación, trayendo en consecuencia un mayor enfriamiento de la lona.

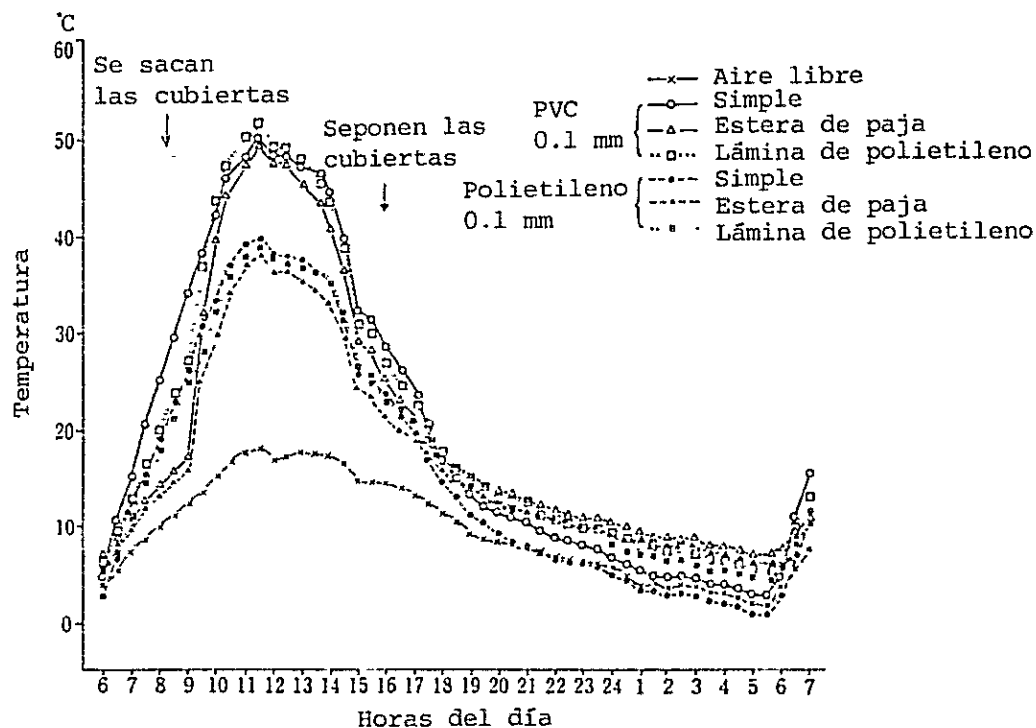


Fig. 35 Distribución de la temperatura durante las 24 horas del día, al aire libre, bajo tunel de PVC y PE y con abrigos de estera de paja y lámina de polietileno. (Takahashi, 1972)

Las condiciones óptimas que deben reunir las esteras son:

- a) buen pasaje de la radiación solar para elevar la temperatura del suelo en casos de no poder levantar las esteras en ciertas horas del día.
- b) livianos y de fácil manejo
- c) alta durabilidad
- d) resistente contra los vientos
- e) bajo poder de retención de agua de lluvia

Estas condiciones son aplicables también para túneles dentro de invernadero, excepto lo concerniente a resistencia al viento y retención de agua de lluvia, que prácticamente son nulas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración de la Profesora Adjunta Sra. Morishita de la Universidad de Sapporo; Ing. Agr. Ismael Müller Director de la Estación Experimental de Citricultura de Salto y al Sr. Carlos Piñeiro de la misma Estación por la elaboración de este trabajo.

BIBLIOGRAFIA

1. Favilli, R. y Verona, M.P. (1964) Proc. 7e Coll. Appl. Matier. Plast. Agric., Paris, 55-63
2. Komochi, S. (1975) Tecnicas de Cultivo del Hortalizas. Yasai no Saibai Gijutsu, Kisoheh 1.
3. _____ y Tanaka, M. (1967) Information of Horticulture Laboratory. Hokkaido National Agric. Exp. Station
4. _____ Takahashi, F. y Sawada, K. (1973) A manthly report of Hokunou 40(10) 1-14
5. Mihara, Y. (1962) Agricultural Meteorology. Outline of Applied Meteorology Chijin Shokan 221-222
6. Mihara, Y. (1972) Enviromental Control of Horticulture Under Structure. Seibundo Sinkosha
7. Mori. T. (1970) Primary Subjects Technique of Horticulture Under Structure. Seibundo Shinkosha.
8. Ninomiya, K. (1966) Sizuoka Prefecture Agric. Exp. Station, 11, 89-94
9. Nisen, A. (1978) Shlter Covers Plasticulture, 40, 15-24
10. Shimizu, S. (1972) Primary Subjects Technique of Horticulture Under Structure, Seibundo Shinkosha
11. Sugiyama, T. Takahashi K. y Lee, B. Y. (1967) The Japanese Society for Horticultural Science, 36(2), 46-54
12. Takahashi, K. y Sugiyama, T. (1968) The Japanese Society for Horticultural Science, 37(2), 54-60
13. Takahashi, K. (1971) Environment and Soil of Horticulture Under Structure, Seibundo Sinkosha 125-135
14. Tatsumi, T. y Hori. Y. (1969) Bulletin of the Horticultural Research Station, Series A-8, 127-140
15. _____ (1970) _____
_____ A-9, 181-188
16. Von Berkel, N. (1968) Acta Horticulturae, No. 6, 207-223
17. Walker, L.N. y Cotter, D.J. (1968) Technical Communication of the I.S.H.S. No. 6, 26-46

18. Wittwer, S.H. (1966) *Acta Horticulturae*, No. 4, 129-133
19. Yabuki, M. (1967) *Agricultural Meteorology* 23(1) 39-46
20. Yabuki, M. y Miyakawa, H. (1971) *Agricultural Meteorology*, 26(3), 137-141
21. Yamamoto, R. (1972) *Journal of the Society of Agricultres, Japan*.
Vol. 2, No. 2,48-54



11E