

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



SEMIFORZADO DE CULTIVOS MEDIANTE EL USO DE TUNELES

CASO DE ESTUDIO

PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN TERMINAL EN AGROPLASTICULTURA

PRESENTA:

SAÚL RUBIO HERNÁNDEZ



11 NOV 2005

RECIBIDO

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



HACE CONSTAR QUE EL CASO DE ESTUDIO TITULADO:

SEMIFORZADO DE CULTIVOS MEDIANTE EL USO DE TUNELES

PRESENTADO POR:

SAÚL RUBIO HERNÁNDEZ

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN TERMINAL EN AGROPLASTICULTURA

HA SIDO DIRIGIDO POR:



MC. Juanita Flores Velásquez

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



A TRAVES DEL JURADO EXAMINADOR HACE CONSTAR QUE EL
CASO DE ESTUDIO TITULADO:

SEMIFORZADO DE CULTIVOS MEDIANTE EL USO DE TUNELES

QUE PRESENTA:

SAÚL RUBIO HERNÁNDEZ

HA SIDO ACEPTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL GRADO DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA
OPCIÓN TERMINAL EN AGROPLASTICULTURA

Presidente

MC. Mª. del Rosario Quezada Martín

Vocal

MC. Boanerges Cedeño Ruvalcaba

INDICE DE CONTENIDO	PÁGINA
INDICE DE CONTENIDO.....	i
INDICE DE TABLAS.....	iii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
Problemática y Justificación del Caso de Estudio.....	3
II. REVISION DE BIBLIOGRAFICA.....	5
Semiforzado de Hortalizas.....	5
Semiforzado Mediante Túneles.....	6
Efectos de los Materiales Plásticos Aplicados en los Túneles.....	6
Temperatura.....	6
Luz.....	7
Humedad.....	7
Estructura del Suelo.....	8
Fertilidad del Suelo.....	8
Protección Contra Factores Adversos.....	9
Materiales Plásticos Utilizados en la Construcción de Túneles.....	9
Película Plástica.....	9
Túneles Bajos Cubiertos con Láminas Perforadas.....	11
Otros Tipos de Cubiertas.....	12
Mallas Sombra.....	12
Cubiertas Flotantes.....	13
Estructura de Soporte.....	14
Túneles Bajos.....	14
Túneles Altos.....	15
Tamaño de la Estructura.....	15
¿Que Son Los Túneles Bajos?.....	16
Usos de los Túneles Bajos.....	16
Beneficios Obtenidos al Utilizar Túneles Bajos.....	17
Tipos de Túneles Bajos.....	18
Túnel Pentaédrico.....	18
Túnel Triangular.....	19
Túneles Semicircular.....	20
Túnel con Sujeción del Plástico Utilizando Tierra.....	21
Túnel con Alambre o Cuerda de Tensión Para la Película.....	22
Instalación de Túneles Semicirculares.....	23
¿Que Son Los Túneles Altos ó Macrotúneles?.....	25
Usos de Túneles Altos.....	25
Beneficios Obtenidos al Usar Túneles Altos.....	26
Dimensiones de la Estructura.....	27
Materiales Requeridos para la Construcción de un Macrotúnel.....	27
Instalación de un Macrotúnel.....	28
Diseño del Macrotúnel.....	28
Postura de Plástico.....	31
Trabajos Realizados con Técnicas de Semiforzado.....	33
Experiencia con Túneles Altos.....	33
Experiencia con Túneles Bajos.....	37

III. ESTADO DEL ARTE O ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO.....	40
Situación Actual de la Plasticultura en el Mundo.....	40
Túneles Altos.....	40
Túneles Bajos.....	42
La Producción de Hortalizas en México.....	43
IV. ÁREAS DE OPORTUNIDAD.....	43
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	45
VI. NOMENCLATURA UTILIZADA.....	47
VII. REFERENCIAS.....	48

INDICE DE TABLAS

Tabla. 1	Materiales requeridos para cubrir una hectárea de túneles.	23
Tabla. 2	Invernaderos y grandes túneles plásticos en el Mundo.	41
Tabla. 3	Pequeños túneles en el Mundo.	42
Tabla. 4	Situación de las estructuras para proteger cultivos en México.	43

SEMIFORZADO DE CULTIVOS MEDIANTE EL USO DE TUNELES

I. INTRODUCCIÓN

La producción agrícola en México se encuentra estancada, pues desde hace varios años no aumenta ni en cantidad ni en calidad a pesar de que casi toda la superficie agrícola económicamente cultivable esta en uso. Problemas como topografía accidentada, precipitación errática e insuficiente, heladas, minifundio y subocupación o desocupación de la gente del campo, hacen difícil su crecimiento desde una perspectiva de agricultura extensiva. En cambio, la población, sobre todo en el centro y sur del País ha mantenido una alta tasa de crecimiento, lo que está ocasionando un aumento en el número de productores y en el número de predios o parcelas, pero cada vez con una menor superficie por productor.

La productividad no sólo se ha visto afectada por la falta de espacio sino también en el clima, pues aunque en la mayor parte del territorio nacional las temperaturas medias mensuales parecen apropiadas para el desarrollo de muchas especies vegetales durante casi todo el año, existe un régimen muy extendido de lluvias tardías combinado con heladas que, en general, empiezan a aparecer temprano (octubre) y a desaparecer muy tarde (abril), afectando seriamente a los agricultores ya que se restringen los calendarios de siembra y las cosechas se concentran en una pequeña parte del año creando generalmente sobre-ofertas, lo que ocasiona una baja de precios de los productos haciendo poco rentable su inversión.

Existe un intervalo de tiempo donde la oferta está por debajo de la demanda y la ganancia para el agricultor que se arriesga a producir fuera de época para cosechar en ese intervalo es alta, pero el riesgo de fracaso es muy alto, debido a la mayor probabilidad de ocurrencia de los fenómenos meteorológicos ya señalados. Aunado a esto, la globalización de la economía, los tratados de libre comercio, y las demandas de calidad fitosanitaria y de inocuidad alimentaría que están imponiendo los consumidores de hortalizas están limitando la producción tradicional de estos cultivos y forzando la búsqueda de nuevas formas de producción mediante la protección de cultivos. La agricultura protegida se define como una serie de técnicas o

sistemas de producción que permiten modificar el ambiente natural en el que se desarrollan los cultivos, con el propósito de alcanzar un crecimiento vegetal óptimo y con ello, un alto rendimiento, o bien obtener cosechas en fechas en las que con los cultivos conducidos tradicionalmente no pueden obtenerse si no es con un alto riesgo.

Considerando la problemática particular de nuestro País, queda claro que el futuro del desarrollo en el campo no será a base de una agricultura extensiva, sino más bien descansará en la producción de especies de alto valor económico, usando técnicas intensivas, apropiadas para predios pequeños, que disminuyan riesgos por deficiencias en la fertilidad de suelos o por fenómenos climatológicos que en vez de desplazar, ocupen de manera productiva a la gente del campo.

La mayor parte de la tecnología se ha generado en países desarrollados de altas latitudes geográficas donde las difíciles condiciones climatológicas del invierno (nieve, bajas temperaturas y poca luminosidad) y alto costo de mano de obra, han conducido a la sofisticación de estructuras y equipos que como consecuencia elevan los costos de instalación y operación. En países como Holanda, España, Israel, China y Japón que cuentan con poca tierra cultivable por habitante han encontrado en sistemas de producción como es el uso de túneles, la hidroponía, invernaderos y acolchados, alternativas tecnológicas altamente rentables y más seguras para hacer frente a estas adversidades y producir cultivos saludables y de alto valor económico.

En México, a pesar de las ventajas climatológicas y de mano de obra que poseemos, estas tecnologías no se han desarrollado ampliamente debido principalmente al desconocimiento de las propiedades de los plásticos y sus efectos al colocarse como cubiertas de túneles, acolchados o invernaderos, a la inexperiencia en el manejo de estos sistemas en general, el como usarlos en función del cultivo y las condiciones climatológicas y socioeconómicas de cada región para la producción de cultivos de alto valor. Y la desventaja principal que son los incrementos en los costos de implementación y operación que conlleva el uso de nuevas tecnologías. Existen tecnologías menos costosas y sofisticadas como los acolchados combinados con túneles, que permiten también un cierto grado de control de las condiciones

climáticas y edáficas en que se desarrollan los cultivos, por lo que, utilizadas adecuadamente y con conocimiento de causa, permiten obtener beneficios económicos importantes sin una erogación muy fuerte de capital.

Los túneles bajos es la técnica que mas se aplica en nuestro país, vinculándose el incremento de esta superficie a la globalización de la economía, los tratados de libre comercio, la entrada de capitales extranjeros y empresas transnacionales o nacionales que ven en las condiciones ecológicas y geográficas de nuestro país ventajas económicas para el uso de técnicas de Horticultura Protegida (Muñoz y Castellanos, 2005). Razón por la cual debe reforzarse la preparación de profesionales técnicos calificados, por ello, la recopilación de esta información acerca de el uso de los túneles bajos y altos sirva para proporcionar a las personas interesadas las bases teóricas necesarias para que puedan tener una idea mas clara del manejo y aplicación de estas técnicas, considerando las adecuaciones que implican las diferentes condiciones ecológicas, climatológicas y socioeconómicas de las distintas regiones del País y está orientado particularmente hacia Ingenieros Agrónomos que desean capacitación en el área de la horticultura protegida o profesionistas de otras áreas interesados en desarrollar empresas de este tipo, por lo que los objetivos de este caso de estudio son lo siguientes:

- I. Recabar información técnico-científica, acerca del material usado para la construcción, así como el manejo de túneles bajos y altos que este disponible para los productores de hortalizas y gente involucrada en el área agrícola.
- II. Conocer las ventajas que pueden conseguirse al usar técnicas de semiforzado de cultivos haciendo uso de túneles.

Problemática y Justificación del Caso de Estudio

Los productores agrícolas en México han reducido sus ingresos en los últimos años debido a la baja de precios de sus productos y a los altos costos de producción. Esta situación se ha agravado de tal modo que pequeños productores tengan que emigrar hacia las ciudades en busca de mejores condiciones de vida y aún así los productores con mayores posibilidades

económicas, de superficie e infraestructura, han visto disminuidos considerablemente sus ingresos al grado de hacer cambios importantes en los sistemas de producción.

Con el tratado de libre comercio, los productores de hortalizas, flores y frutas, se vieron beneficiados debido a las ventajas competitivas en la producción, principalmente por la mano de obra más barata en México. Sin embargo, la exportación de hortalizas requiere alta calidad e inocuidad de los productos, por lo que es necesario desarrollar y transferir sistemas de producción que aseguren estas características. La agricultura protegida con técnicas de semiforzado de cultivos (caso particular de túneles bajos y altos) asegura productos de mejor calidad y con un menor uso de agroquímicos, por lo que se tienen productos con mejores características para la exportación. Además, este caso de estudio se justifica debido a que:

- a) Con el uso de túneles bajos y altos se puede incrementar la producción, se obtienen productos más sanos y de mejor calidad además de la alta precocidad en los cultivos, que les permite competir adecuadamente en el mercado nacional como internacional.
- b) Es una oportunidad de negocio para los productores de hortalizas en general y para los pequeños productores es una manera de capitalizar su mano de obra durante todo el año.
- c) Se generarán experiencias en diferentes cultivos, información que puede ser documentada por escrito y ser de gran utilidad para los productores en un futuro, proporcionándoseles información técnica sobre las características del uso de los diferentes túneles, así como la construcción y el manejo de esas estructuras de manera que vean a la agricultura protegida como una alternativa de desarrollo para nuestro país.

II. REVISION BIBLIOGRAFICA

Semiforzado de Hortalizas

El éxito de toda empresa agrícola esta sujeto a una series de factores que interactuando, forman un medio que no siempre es favorable para los cultivos, por ello, el agricultor debe tomar precauciones interviniendo oportunamente con técnicas que le permitan anular o mitigar los perjuicios que las adversidades climáticas pudieran producir. Actualmente, el uso de los plásticos para tales efectos está muy difundido en la mayoría de los países y su empleo ya constituye una práctica común y necesaria. Utilizando películas plásticas, el horticultor puede recurrir a técnicas especiales que le permitan producciones adelantadas o tardías (fuera del ciclo normal), que son más remunerables, tales técnicas deben proporcionar a las plantas las debidas condiciones ambientales de manera que su desarrollo y producción sean buenos. A esta práctica de adelantar o retrasar el ciclo de una plantación se le nombra *forzado de cultivos*. Cuando se realiza el forzado de cultivos se utilizan protecciones (películas plásticas) contra las inclemencias del medio, éste puede ser total o parcial; es total cuando la protección es necesaria durante todo el ciclo vegetativo, y parcial cuando el cultivo requiere de protección solo en partes de su ciclo y se le conoce también como semiforzado (Ibarra, *et al.* 1984).

Estas técnicas se utilizan cuando existen limitantes para el desarrollo de los sistemas de cultivo, en los 80's en la región Almería, España se utilizaron para combatir el escaso suelo existente que normalmente es rocoso y extremadamente pobre para la producción de hortalizas, el escaso recurso hídrico ya que el antiguo sistema de riego por gravedad hacia imposible incrementar la superficie de siembra, los vientos fuertes que constituían una gran limitante para una buena producción de hortalizas, debido a que maltrata mucho el cultivo repercutiendo fuertemente en la calidad del fruto cosechado, el control de temperatura debido a que en campo abierto la posibilidad de producción de hortalizas se limitaba a tres o cuatro meses del año y concordaba con la producción en otros países europeos lo que traía como consecuencia precios bajos a los productores (Martínez, 2004).

Semiforzado Mediante Túneles

Flores (2005) menciona que el semiforzado mediante túneles es un término medio entre el cultivo al aire libre y el cultivo protegido en invernadero y consiste en cubrir al cultivo durante las primeras fases de su desarrollo con una construcción sencilla de pequeños arcos y una cubierta de plástico para proteger a las plantas contra el frío, el viento y las heladas, y cuyo objetivo principal es aumentar la precocidad de los cultivos.

Efectos de los Materiales Plásticos Aplicados en los Túneles

Comparados con los invernaderos los túneles de bajo volumen mantienen menor cantidad de aire, lo cual crea diferencias en temperaturas y humedad, Baudoin (2002). De esta manera las películas de cubierta modifican el medio ambiente en el interior de los túneles, incidiendo aun mas sobre algunos factores que intervienen directa e indirectamente en funciones esenciales de las plantas. Estos factores se describen a continuación (Rodríguez e Ibarra, 1991).

Temperatura. Se ha comprobado, que la temperatura dentro de los túneles con cubiertas plásticas, aumenta durante las horas más calidas y disminuye durante las horas más frías. El aumento de la temperatura interna dependerá del tipo de cubierta a utilizar así como la intensidad de la radiación solar. En ocasiones se ha observado que cuando la temperatura ambiente es de 15° C., la temperatura dentro del túnel con cubierta de polietileno puede alcanzar hasta 30 °C. Y durante las noches cubiertas o nubladas la temperatura del aire en el interior del túnel, generalmente es de 1 a 3 °C. Pero en noches despejadas es de 1 a 2,5 °C inferior, pudiéndose provocar el fenómeno conocido como - *inversión térmica* -, que es cuando la temperatura dentro del túnel es menor a la del exterior (Baudoin, 2002).

Como cada cultivo tiene requerimientos térmicos específicos, al presentarse temperaturas fuera de sus límites se restringe o cesa totalmente su desarrollo. Si la temperatura es mas baja de la que necesitan las plantas, se ve afectada la formación de carbohidratos iniciales o la de los protoplasmas de la misma, y si es mas alta se favorece una transpiración y/o respiración elevadas. En ambos casos, las plantas mueren o se producen en muy bajas proporciones. En la

zona de las raíces la absorción de agua y nutrimentos aumenta hasta ciertos límites de temperatura; si se rebasa este, dicha absorción cesa. Cuando la temperatura es muy alta las plantas pueden transpirar más agua de la que son capaces de absorber, originando signos de marchites. Si la temperatura del suelo es baja, y por efecto del viento tiene lugar una excesiva transpiración, los tejidos vegetales pueden sufrir una deshidratación. Cuando la temperatura es alta se hace necesaria la ventilación, para poder regular la temperatura, evitando de esta manera daños al cultivo. Los túneles solamente se abren, cuando la radiación es suficiente y el grado de apertura va ligado al grado de variación a conseguir. Mediante el uso de túneles cubiertos con plástico se obtiene una mayor respuesta en las temperaturas máximas que en las mínimas. La magnitud del efecto sobre este factor depende principalmente de las dimensiones de la estructura (a mayor tamaño de estas, mayor volumen de aire calentado) y del espesor de la película empleada. Debido a esto los invernaderos proporcionan un mejor efecto de “abrigo” que los túneles (Rodríguez e Ibarra, 1991).

Luz. Los túneles de bajo volumen debido a su forma transmiten generalmente muy bien la luz, pero la condensación de humedad y el polvo reducen a veces la luz transmitida. Como es obvio, las condiciones de luminosidad de los túneles, se mejoran al utilizar películas de plástico de la mayor transparencia, al ventilar para reducir la humedad y la condensación, si es posible al lavar la acumulación de polvo y al instalar los túneles en las regiones más iluminadas, lejos de los árboles y en las pendientes. En algunos casos, se pueden usar películas de dos años de duración, si el cultivo no es especialmente exigente en luz, como por ejemplo las calabazas (Baudoin, 2002)

Humedad. Si la ventilación no es la correcta, la humedad relativa aumentara por encima del nivel deseado y se condensara en la película plástica. El aumento de la humedad no suele ser un problema al final de la primavera y en el verano, pero si puede afectar a los cultivos de otoño e invierno. Si la cubierta es de plástico perforado, no se le presentaran problemas de enfermedades e infecciones a los cultivos (Baudoin, 2002).

Rodríguez e Ibarra (1991) mencionan que la pérdida de agua en un cultivo, bajo condiciones normales se debe sobre todo a la evaporación de la humedad del suelo y a la transpiración de

las plantas por efecto de la intensa radiación solar, de la temperatura del aire y de la acción de los vientos, por lo que la conservación de la humedad del suelo, así como el mantenimiento de una alta humedad relativa, tiene gran importancia para algunas funciones de las plantas como por ejemplo durante la fotosíntesis el agua se combina con el CO₂ para la formación de carbohidratos, así como también el agua mantiene la turgencia de las células vivas, sirve de transporte a las sustancias minerales, hormonas, vitaminas, alimentos esenciales, etc. En cierta forma la humedad interna de las plantas regula la división y el crecimiento de sus células; en consecuencia, influye sobre el desarrollo vegetal. Los microorganismos del suelo trabajan más activamente bajo ciertos límites de humedad y la absorción de nitrógeno y fósforo y otros elementos se lleva a cabo bajo ciertos niveles de humedad del suelo. La protección de cultivos bajo túneles reduce la pérdida de humedad, atenuando los efectos de algunos factores ambientales, cuando el movimiento del aire es rápido, las moléculas de vapor de agua que se encuentran encima de una superficie libre son arrastradas velozmente aumentando la intensidad de la evaporación y al tener un suelo protegido por túneles la pérdida de agua causada por el viento cesa casi totalmente, conservándose por más tiempo la humedad del terreno.

Estructura del Suelo. Este factor no influye directamente sobre las plantas, pero si sobre otras variables que si lo hacen, como la aireación del suelo, la compactación, la humedad, la temperatura, el avenamiento interno y la interacción entre estos haciendo que las raíces penetran más fácilmente y con mayor rapidez en los suelos, además se evita la formación de una capa delgada y compacta en la superficie del terreno reduce rápidamente el grado de penetración de la humedad. Esta capa se forma generalmente por el impacto de las gotas de lluvia o por la acción del agua en la superficie del terreno, provocando que las partículas finas del suelo se unan a otras mayores al secarse este, quedando una capa compacta relativamente impenetrable. El uso de las películas como cubierta de túneles permite mantener el suelo húmedo por más tiempo al sucederse una evaporación y condensación constantes (Rodríguez e Ibarra, 1991).

Fertilidad del Suelo. Con las condiciones favorables proporcionadas por los túneles con respecto a la humedad, temperatura, aireación, compactación, etc., permite que la acción de

algunos microorganismos que intervienen en la transformación de nutrientes a formas asimilables se realice en forma más eficiente, ayudando a incrementar la cantidad de elementos aprovechables en el suelo para que las plantas absorban nutrientes en mayor proporción. Además, la cobertura de túneles con plástico impide que los fertilizantes sean arrastrados por las lluvias, manteniéndose la mayor disponibilidad de los mismos en el suelo (Rodríguez e Ibarra, 1991).

Protección Contra Factores Adversos. El uso de túneles protege a los cultivos de la acción negativa de factores tales como el exceso de humedad por lluvias abundantes, de algunas otras formas de precipitación como nieve o granizo, también brinda protección contra los vientos fuertes, las bajas temperaturas y los daños causados por roedores y aves, en general fauna nociva (Flores, 2005).

Materiales Plásticos Utilizados en la Construcción de Túneles

Película Plástica

A principios de los años cincuenta, en Inglaterra se empezó a usar el polietileno (PE), para el recubrimiento interno de los invernaderos de vidrio; debido a que la capa de PE, colocada a cinco cm. del vidrio externo, evitaba las corrientes de aire por consecuencia de una deficiente colocación de los vidrios y, además, la película de aire intermedia actuaba como un aislante que evitaba eficientemente la dispersión de calor. El polietileno tiene una serie de ventajas como ser más económico, fácil de utilizar, adaptable a las restricciones de terreno y estructura, las estructuras usadas para soporte también son ligeras y económicas y por su flexibilidad se adapta a cualquier forma de la misma. Desde 1954 o 1955, empezaron a publicarse estudios sobre invernaderos cubiertos con plástico, mismos que empezaron a desarrollarse en otros países como en los Estado Unidos, Hungría, Francia, Holanda y Japón entre otros. El desarrollo experimental y uso de túneles bajos (estructuras más simples y más económicas) se dio casi al mismo tiempo que el de los invernaderos en Inglaterra, Japón y Estados Unidos. Habiendo aceptado el concepto de sustitución del vidrio para recubrir invernaderos. Los túneles bajos, que en principio son lo mismo que un invernadero pero de

mucho menor proporción, ya se utilizaban, pero su cubierta era de vidrio para fines de propagación de plántulas y como enraizadores (Fernández, 1984).

Hasta la fecha el material más utilizado en la plasticultura en general es el polietileno normal, ya que es más barato que el PVC y que el polietileno térmico. Sin embargo estos últimos materiales duran más y producen mejor efecto de abrigo por las sustancias que contienen. Los materiales utilizados deben ser transparentes, para permitir el paso de gran cantidad de radiación solar, con los que se obtendrá un mejor efecto. La duración de las películas dependerá principalmente del grosor del plástico, la latitud de la zona y la estación del año, que influyen en la cantidad e intensidad de radiación solar, de las condiciones climáticas predominantes, del manejo de los túneles y en la proporción en que los plásticos estén protegidos contra la radiación ultravioleta, que es el principal factor causante de la degradación de los mismos (Fernández, 1984).

Los materiales plásticos para elaborar películas de cubierta también han sufrido cambios a fin de posibilitar su uso más eficiente. Daza, *et al.* (2001), mencionan que el uso de los materiales plásticos está contribuyendo a la solución de algunos problemas que se le han presentado a la agricultura entre los que se encuentran el incremento en la precocidad y el rendimiento de las cosechas, la protección de condiciones adversas, el uso más eficiente del agua de riego, entre otros.

Otro material mayormente usado es el PE cristal, que puede ser perforado o no. Películas de polietileno con 500 o 1.000 perforaciones por metro cuadrado (del 4 al 8 % de ventilación - 46 g/m²). Las películas perforadas permiten un poco la ventilación en forma natural. Esto ayuda a regular la temperatura y humedad en los días soleados cuando el calor dentro del túnel bajo es demasiado alto y puede ocasionar daños detrimentales a los cultivos, se recomienda que si no se usa plástico perforado, las cubiertas se deben quitar o bien cortarse para proporcionar la ventilación adecuada que permita reducir las altas temperaturas y la humedad. Aunque las películas reducen en 1 o 2 °C las temperaturas mínimas, estas siempre son mayores que las registradas en el exterior, también reducen el riesgo de quemado del cultivo por no retirarse la cubierta en los días de altas temperaturas, disminuyen los costos de mano de obra al no tener

que ventilarlo, mantiene la humedad relativa de manera satisfactoria permitiendo la renovación del aire en el interior del túnel, bajando la humedad relativa y manteniendo en niveles normales el dióxido de carbono. Estos son materiales incoloros, transparentes por lo que se recomiendan para climas nublados y de templados a fríos. Para atender las necesidades de precocidad y alta producción de los cultivos bajo túnel, las características de las películas se orientan en el sentido de alta termicidad y un buen efecto antigoteo (cuando este efecto es necesario), estos plásticos ofrecen protección térmica a los cultivos, reduciendo la baja temperatura nocturna debido a su opacidad a la radiación infrarroja lejana. Su coloración es amarillo verdosa y se logran diferencias de temperaturas mínimas nocturnas de entre 3 a 4 grados centígrados. (Flores, 2005 y Butler, *et al.* 2004).

Túneles Bajos Cubiertos con Láminas Perforadas

Es una forma diferente de cultivar en túneles ya que al presentar orificios, el sistema de fijación al terreno se simplifica y no precisara la aireación del mismo durante todo el cultivo, por lo que no será necesario realizar esta operación con el consiguiente beneficio económico para el propio agricultor que esto presenta. Las

TUNEL CON FILME PERFORADO

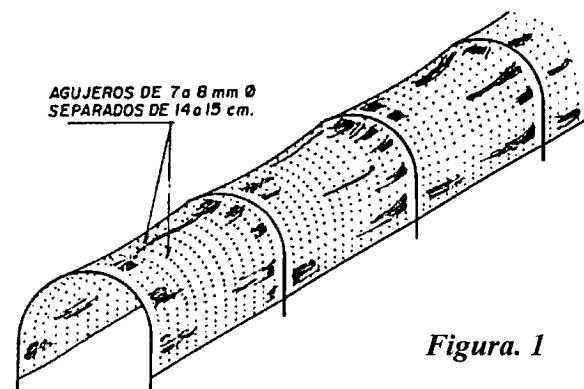


Figura. 1

películas perforadas (Fig. 1) se utilizan para la protección del cultivo en lugares sin riesgos de heladas y sin alta incidencia de insectos. El número, tamaño y localización de las perforaciones condicionan el grado de eficacia de la ventilación. Estas cubiertas proporcionan temperaturas máxima ambiental, evitando la condensación de la humedad, disminuyendo la mano de obra para ventilar, ofreciendo alta resistencia al viento, No existen problemas durante la fecundación, acogollado formación de los frutos y raíces, sin embargo entre sus desventajas se encuentra la pérdida de la precocidad.

Los orificios se encuentran uniformemente repartidos por toda la lamina, de 12 - 14 mm que distan entre si 7 - 8 cm. aunque estas medidas dependerán en gran medida del clima en el que se cultive. (Flores, 2005).

Otros Tipos de Cubierta

Malla Sombra

La influencia de la temperatura en el desarrollo fenológico de los cultivos es preponderante tanto en la velocidad de crecimiento de las plantas como en la intensidad de la floración y la rapidez de la maduración de la fruta, por lo que marca las épocas de siembra. Ante ello, es necesario establecer la estrategia adecuada que permita contrarrestar el efecto adverso de

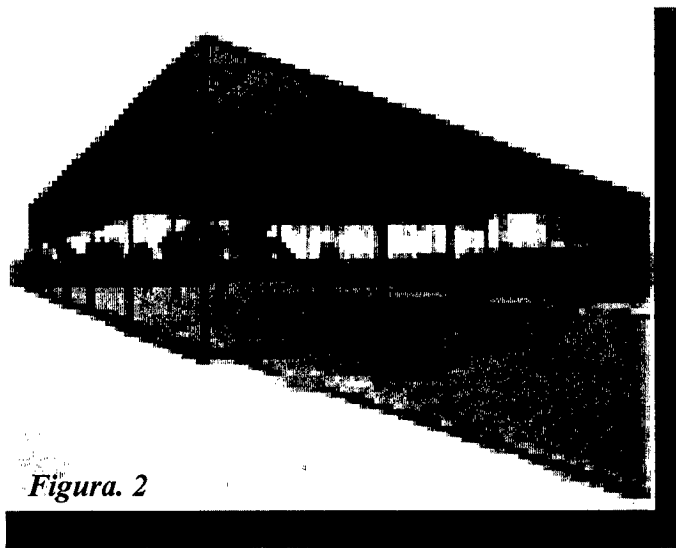


Figura. 2

este factor climático. El empleo de cubiertas de diversos tipos (plásticos, sombras, pantallas térmicas, etc.) es una forma de reducir el efecto negativo de las condiciones climáticas sobre los cultivos, pero implica la adaptación de la tecnología, toda vez que el sistema de cultivo debe ser más intensivo para poder obtener mayor rendimiento por unidad de superficie, de tal manera que sea superior al obtenido al aire libre y compensar el incremento de los costos de producción. Se considera que en la mayoría de los casos, el costo puede compensarse con el precio de venta del producto. El objetivo del uso de sombreo (Fig. 2) no es reducir la luz, sino el exceso de temperatura que se presenta en cierta época del año. Considerando que ésta es producida por la radiación infrarroja, el material de sombreo debe ser un filtro selectivo que detenga gradualmente dicha radiación sin afectar la parte útil para la fotosíntesis. Además, la radiación IR detenida debe ser reflejada en su mayor parte, para que no sea emitida hacia el interior del invernadero en forma de calor (De la Cruz, 2004).

Cubiertas Flotantes

Se trata de una técnica con un total mundial de 105,000 ha cubiertas. Y su aplicación parece ir en aumento principalmente en Europa, con una evolución positiva del 20% en total. Alemania 30% e Italia 20%. Es necesario reconocer que esta aplicación comienza a extenderse muy rápido en algunas regiones de África, como por ejemplo en Camerún, que



con 8,000 ha. protegidas ha progresado en un (75%). Técnica aplicada también en Venezuela y Argentina, Jouet (2004). De tal forma que ya en varios países está desplazando al pequeño túnel por su menor exigencia en mano de obra. La superficie ocupada en México es de unas 4,974 has. aproximadamente según Sandoval (2005), mas sin embargo Ibarra *et al.* (2000) menciona que el mercado de las cubiertas flotantes (fig. 3) en nuestro país se encuentra contraído; y que además se conoce poco acerca de los efectos de estas sobre el rendimiento.

Ibarra y flores (2001), definen a las cubiertas flotantes como una instalación transparente hasta cierto grado, debido a que su flexibilidad permite que sean usadas con facilidad sobre los surcos de cultivo con el propósito de acelerar el crecimiento y rendimiento de los cultivos.

Autores como Splittstoesser y Brown (1991), mencionan que las llamadas cubiertas flotantes son mini-invernaderos y su principal función es modificar el medio ambiente en la etapa de crecimiento de las plantas y los parámetros del medio ambiente a modificar son la luz, temperatura y la humedad tanto del suelo como la del aire.

Las cubiertas flotantes son láminas de material plástico que se colocan en el cultivo tras la siembra o plantación. Pueden estar directamente sobre las plantas, elevándose con su crecimiento, o bien, estar soportadas por arcos para proteger al cultivo del golpeteo del viento.

Los materiales usados como cubiertas son papel, polietileno, polipropileno, poliéster y poliamidas (Flores, 2005).

En México muchos productores las han evaluado, en combinación con acolchado plástico, pero han encontrado que la producción se reduce en vez de aumentar, por lo que su uso no es muy común en el país (Ibarra y Flores, 1997). Esto podría comprobar lo dicho por Vargas (1999) donde menciona que las cubiertas flotantes (colocadas directamente) pueden dañar los puntos de crecimiento tiernos de las plantas bajo condiciones extremadamente ventosas. Esto podría en cierta forma reducir la producción de cualquier cultivo bajo cubierta directa.

Mas sin embargo autores como Natwick, *et al.*, (1988) publicaron, que las cubiertas flotantes pueden utilizarse satisfactoriamente para el control de plagas.

Es claro, entonces, que se requiere de un mayor conocimiento acerca de los efectos de las cubiertas flotantes, antes de recomendar su uso como una alternativa tecnológica rentable.

Estructura de Soporte

Túneles Bajos. Como estructura de soporte para los túneles bajos se puede utilizar mimbre, bambú, caña, madera de cualquier tipo como materiales existentes en la región, sin olvidar, que debido a sus características generalmente estos se utilizan por 1 ó 2 ciclos agrícolas, por lo que continuamente se tiene que invertir por este concepto. Otro material que puede ser utilizado son los arcos hechos de alambón o cable de acero cuya duración es de varios años y resulta fácilmente amortizable. Japón es un país que utiliza el bambú para formar las estructuras debido a la abundancia de este material, en cambio en Estados Unidos e Inglaterra, siempre ha sido el alambón ya que puede ser doblado como el bambú, aunque tiene la desventaja de un mayor costo pero tiene mucha más duración (Fernández, 1984).

Cuando los túneles son semicirculares se utilizan arcos para formar la estructura, éstos son de 2 m de longitud. Al enterrar los extremos 20 -25 cm., queda un altura de 45–50 cm. Si los arcos son de alambón de 6.3 mm de espesor, cada arco pesa 525 g, aproximadamente. En

túneles triangulares se utilizan estacas de madera y alambre calibre 14 para formar la estructura triangular. Las estacas son de 80 a 100 cm de longitud y se hacen de fajillas de madera de 1 y 2 pulgadas, que al enterrarse de 20 a 30 cm. las estacas, queda un túnel de una altura de 50 a 70 cm. El alambre calibre 14 tiene un peso aproximado de 25 g por metro lineal (Rodríguez e Ibarra, 1991).

Túneles Altos. Al igual que los invernaderos cubiertos de plástico, los túneles altos generalmente son de forma semicircular, contruidos con arcos metálicos que se enganchan a postes de metal que han sido colocados en el suelo a una profundidad aproximada de dos pies. La estructura de un túnel alto es similar a la de un invernadero y puede ser muy funcional a lo largo de la estación., teniendo como finalidad fijar la cubierta y soportar el peso de los cultivos, como tomate, pimiento, pepino, melón, que necesitan ser conducidos. Los materiales utilizados para su construcción son principalmente tubo galvanizado, madera y alambre clavos, tornillos, grapas, además de la película plástica (Butler, 2004).

Tamaño de la Estructura

Este tipo de estructuras se caracterizan por ser de arcos de metal arqueados de bajo perfil, que tienen la capacidad de calentarse rápidamente en climas soleados, por lo que fueron primeramente utilizados en climas fríos. 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, 1.8-2.0 m³/m² ó 2.75-3.00 m³/m². Los túneles altos son de mayor dimensión que los túneles bajos, pero sin alcanzar el volumen interior de un invernadero. El macrotúnel llega a cubrir de 5 a 9 camas, la estructura está también formada por arcos pero de mayores dimensiones (de 6 a 7 m de longitud), la altura es de 1.5 a 2 m (Butler, 2004).

En la medida en que aumente el tamaño de los túneles mayor será su efecto de abrigo. Esto se debe a que al ser mayor el volumen de aire contenido dentro del área protegida, el calentamiento se lleva a cabo en mayor proporción. En consecuencia, la protección contra las bajas temperaturas exteriores se efectúa aun con mayor medida. De igual manera, al aumentar

el tamaño del túnel se requiere de plástico más ancho, por lo que es mayor el área expuesta al efecto del viento y otros factores. Estos provocan que sea mayor la tensión a que están sometidas las películas, por lo que se recomienda utilizar películas de un espesor tal que resistan el manejo de su instalación, y el tiempo que permanezcan instalados los túneles., por lo que para elegir más adecuadamente el tamaño del túnel y el espesor del plástico se deben de considerar las condiciones climáticas del lugar (vientos, precipitación, radiación y temperatura), el tiempo de protección: por corto tiempo (1 a 2 mese) se utilizarán túneles pequeños y películas de bajos calibres y si son periodos largos, se necesitan estructuras más grandes y plásticos de mayor espesor. También debe tomarse en cuenta el tipo de cultivo (Lamont 2000a).

¿Que Son Los Túneles Bajos?

Razo (1992) define a los túneles bajos o microtúneles como una estructura que tiene los mismos principios de un invernadero pero de menores proporciones, donde se pueden cultivar plantas en condiciones ambientales (humedad, temperatura, luz, aire) mas adecuadas que a cielo abierto, en cambio Martínez y Villa, (1982) lo describen como un abrigo en forma cilíndrica o próxima a ella y recubierto de una lamina de polietileno o de policloruro de vinilo.

Daza, *et al.* (2001) señala que los túneles de semiforzado, son una protección para el cultivo, desde la siembra o transplante hasta la cosecha, en ciertos cultivos, la eficiencia de éstos radica en el *efecto de invernadero* que produce el túnel y será mayor cuando mas grande sea la dimensión del mismo.

Usos de los Túneles Bajos

El primer uso de los túneles bajos cubiertos con plástico se dio posiblemente en el Japón, donde la abundancia del bambú permitió emplear sus varas para erigir estructuras simples y económicas sobre las cuales se coloca el plástico. La flexibilidad del bambú y del plástico hizo posible la construcción de pequeñas estructuras semicirculares que se adaptaban a cualquier terreno, con la ventaja de ser comparativamente económicas y de ofrecer una protección mas o

menos eficiente para controlar los cambios de temperatura; aunque su eficacia es menor que la proporcionada por los invernaderos cuando el descenso de temperatura sea muy pronunciada o la helada sea prolongada. Actualmente los túneles bajos se emplean en diversos lugares del mundo para "adelantar" los cultivos; esto es, sembrar un poco mas temprano y poder obtener condiciones de temperatura mas controladas, y una vez cumplido el propósito inicial de proteger contra las heladas tardías, estos pueden ser retirados del campo (Fernández, 1984).

Rodríguez e Ibarra (1991). Mencionan que los túneles cubiertos con plástico pueden ser usados principalmente como semilleros en la producción de hortalizas y para la producción semiforzada de las mismas. Cuando son utilizados como almácigo se asegura una mayor densidad de población, evitando problemas de emergencia a causa de lluvias, riesgos, profundidad de siembra, asegurando en el transplante una mayor cantidad de plantas por unidad de superficie, con un determinado tamaño y desarrollo al momento de la plantación. También se utilizan en la producción semiforzada de hortalizas. Estas aplicaciones de los materiales también son útiles en la producción de plantas ornamentales, frutales y forestales.

Beneficios Obtenidos al Utilizar Túneles Bajos

Desde el invierno hasta el otoño es posible usar los plásticos bajo sus diversas formas (conocidas desde tiempos remotos) proporcionando efectos positivos sobre algunos factores del suelo y el ambiente, lo que permite que el desarrollo de las plantas sea mayor y más acelerado que en el suelo descubierto, por lo que al aplicar esta técnica generalmente se obtienen beneficios como: obtención de frutos fuera de las épocas normales de producción, protección al cultivo de fríos y heladas, mantenimiento de la humedad en el suelo y facilita un mayor desarrollo de las parte radicales de la planta, incremento de los rendimientos de la cosecha, y diversificación de cultivos, precocidad ya que la siembra en almácigos protegidos puede efectuarse cuando las condiciones climáticas predominantes no permiten hacerlo directamente en el campo y cuando las condiciones son favorables se pueden trasplantar las plantas con un determinado grado de desarrollo vegetativo en lugar de sembrar semillas con la particularidad de que al momento del trasplante se escogen las plantas más sanas y vigorosas; lo anterior permite la obtención de cierto adelanto al inicio de la cosecha; en consecuencia, se

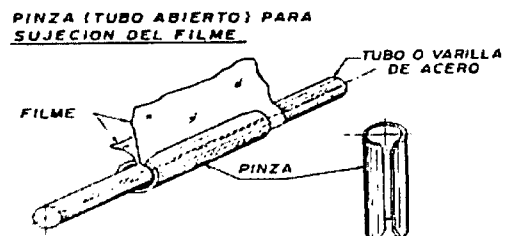
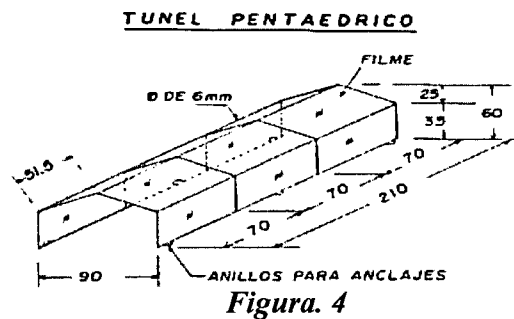
puede lograr un periodo de recolección mas largo o un ciclo vegetativo mas corto, es mayor la cantidad de plantas por unidad de superficie, se ahorra agua debido a que el volumen necesario para regar un semillero es mucho menor que el que se aplica en el campo para la germinación y emergencia de los cultivos. Se utiliza menor cantidad de semilla y de agroquímicos. También se hace más eficiente el uso de fertilizantes, ya que las plantas protegidas aprovechan en mayor proporción los elementos nutritivos, al tener mejores condiciones de humedad y temperatura, etc. En fin, los resultados agronómicos demuestran que tales cobertizos, simples de construir y poco costosos, permiten obtener excelentes rendimientos en invierno especialmente utilizando cultivares seleccionados (El-Aidy, 1982, Quero y Hernández, 1984)

Tipos de Túneles Bajos

Aunque existen túneles de varias formas usados por los agricultores, todos tienen los mismos componentes que son el material de soporte, de cubierta (película plástica) y el material de sujeción de tal forma que su diversidad está dada por el sistema de anclaje de la película y la forma final que adopta el túnel, por lo que basándose en esto los túneles pueden ser pentaédricos, triangulares y semicirculares, de los cuales estos últimos son los más utilizados.

Túnel Pentaédrico.

Es un túnel en forma de de “caseta” formado por diversas armazones independientes unas de otras, que al unir las entre sí dan lugar a un túnel de longitud variable. La armadura es de varillas galvanizadas y soldadas entre sí, se utiliza principalmente para semilleros o semiforzado de cultivos de porte bajo como: rábano, zanahoria, fresa, lechuga, etc. ya que su altura no rebasa los 30 o 40 cm,



aunque pueden utilizarse también para otros tipos de cultivos dándoles las medidas adecuadas. La longitud de estas estructuras oscila entre el 1.20 y 3.00 m. siendo variables el ancho y el alto. El anclaje del túnel al suelo se logra mediante ganchos que pasan a través de unas anillas soldadas lateralmente a la armazón y de la cubierta de plástico a la armazón es mediante perfiles tubulares de PE abiertos lateralmente que aprisionan la película al introducir la varilla en su interior, provocando el efecto de una pinza o abrazadera. Las ventajas que ofrece este tipo de túnel son: su solidez y gran resistencia al viento, la simplicidad del montaje y colocación de la película, su ligereza de peso y facilidad de manejo y almacenaje, ya que en reducido espacio se pueden apilar gran número de armazones. Las desventajas son: el alto costo de las estructuras (Rodríguez e Ibarra, 1991).

Túnel Triangular

Está formado por dos láminas plásticas desenrolladas a cada lado de la hilera del cultivo, de manera que las partes inferiores está enterradas y las partes superiores quedan sujetas a una serie de alambres tensados ayudados por pinzas a través de estacas. Este tipo de túnel se recomienda principalmente para cultivos de hábito rastrero (cucurbitáceas) como sandía, melón y pepino o cuando el tiempo

de protección para el cultivo sea cortó 1 a 2 meses, ya que el sistema de sujeción dificulta efectuar una constante ventilación. Los materiales utilizados para sostén del plástico son estacas de madera, alambre galvanizado calibre 14, película plástica y pinzas (Fig.5). Antes de



ser instalado el túnel, se debe preparar el suelo, realizarse una fertilización inicial, colocarse el sistema de riego y procederse a realizar la siembra. Después se clavan las estacas sobre la cama o surco a una profundidad de 20-30 cm. y a lo largo de la línea que se cubrirá a una distancia de 1 a 2 m entre cada una.

Al estar las estacas clavadas en el suelo, se tiende el alambre a lo largo del surco y se fija con grapas, arpones o clavos; y se debe tener cuidado de que el alambre quede bien tenso en los extremos superiores de cada una de las estaca, para mejores resultados, se recomienda poner un trozo de cartón o plástico esto para evitar que la película quede en contacto con los bordes de las estacas y se desgarré en estos puntos. En los extremos del surco, la primera estaca se inclina hacia la parte de afuera y el alambre se fija a una estaca clavada al nivel del suelo, para dar mayor solidez a la estructura. Se abre un pequeño surco de unos 10 cm., de profundidad en ambos lados de la línea de estacado, para enterrar el plástico, se extiende la película y se fija con tierra en un extremo de la línea que se va a cubrir. Posteriormente se coloca el plástico sobre la estructura; dos personas tensan cada borde lateral de la película mientras otras personas aplican tierra de tramo en tramo. Al llegar al otro extremo del surco se fija también el plástico con tierra, después se cubren totalmente con tierra los bordes de la película. En ocasiones es necesario abrir los túneles para efectuar labores tales como aclareo, deshierbe, aplicación de productos químicos, riegos, etc., o para ventilarlo de acuerdo con las condiciones climáticas predominantes en la región, se recomienda que se efectúe por tramos, para que las plantas no sufran daños al ser expuestas bruscamente a un nuevo ambiente. El sistema de sujeción con tierra dificulta un poco la tarea de ventilación, se levanta el plástico aproximadamente unos 10 a 15 cm. cada cinco estacas (6 m.) los primeros días, posteriormente se levanta el plástico hasta la altura del alambre donde se sujeta con pinzas. Cuando se va a retirar el plástico definitivamente, se dejan pasar otros días antes de proceder a levantar el otro lado del plástico. Si el plástico no va a ser usado nuevamente, la ventilación puede realizarse haciendo pequeñas perforaciones en la película, mismas que irán aumentando gradualmente en tamaño y cantidad hasta que se aclimate la planta. Este método es considerado el más práctico, por el área que queda disponible para el buen desarrollo del cultivo. (Schrader, *et al.* 2002).

Túneles Semicircular

Este sistema de abrigo presenta la forma de túnel continuo (fig. 6), formado por arcos de alambón, independientes entre sí sobre los cuales descansa la cubierta, alcanzando la longitud que se desee. Este tipo de túnel es el de uso más generalizado que los anteriores y se utiliza

para el semiforzado de cultivos hortícolas de hábito rastrero y arbustivo, así como para proteger las plantas por tiempo más prolongado. Existen varios tipos de túneles semicirculares, que difieren unos de otros por el sistema de anclaje y sujeción de la película al suelo y a los arcos, que son las características primordiales para su diferenciación y adaptación a las zonas de cultivo. Entre éstos se encuentran los siguientes, de los cuáles solo se describirán los dos primeros (a y b) por ser los más utilizados:



- a) *Túnel con sujeción del plástico utilizando tierra.*
- b) *Túnel con cuerda de tensión para la cubierta.*
- c) Túnel con listones laterales de madera.
- d) Túnel anclado con estacas de madera y alambre central de tensión.
- e) Túnel anclado con piquetes de hierro
- f) Túnel con doble arco de tensión.
- g) Túnel de doble película con soldaduras guías para los arcos.
- h) Túnel armado con dispositivo de levantamiento lateral.

a). Túnel con Sujeción del Plástico Utilizando Tierra. Este es el más sencillo de montar de los semicirculares y consiste en clavar (aproximadamente 20 cm.) perpendicularmente a los surcos que se desea cubrir, arcos de alambre, con una separación entre ellos de 1 m. con la precaución de clavarlos todos a la misma altura para evitar arrugas posteriores o bolsas en la superficie de la cubierta de plástico. Los extremos deben tener una inclinación hacia afuera para ofrecer cierta resistencia al tensar el plástico y que no se venzan con el peso del mismo. Para colocar la película, se entierra en un extremo del túnel, se extiende por encima de la estructura y se termina anclando con tierra en el otro extremo del mismo, los bordes también van anclados con tierra. Este tipo de túnel es sencillo y económico, empleándose en tierras de textura media a arcillosa, no se recomienda para suelos demasiados sueltos (fig. 7).

TUNEL CON SUJECION DEL FILME UTILIZANDO TIERRA

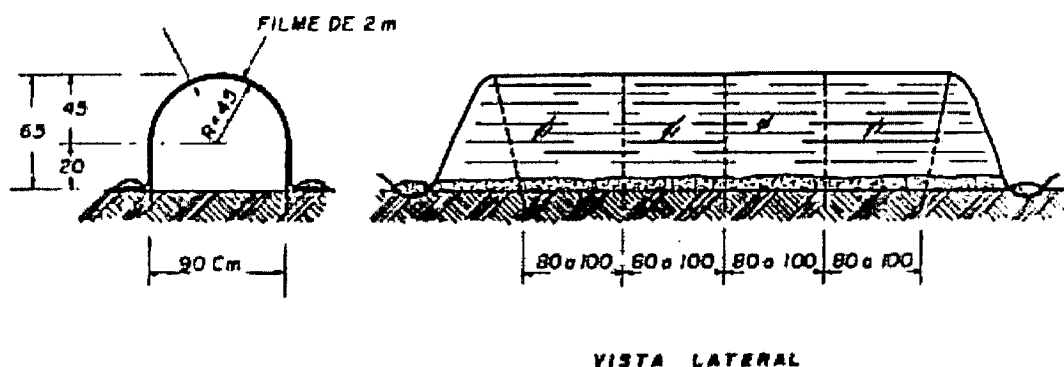
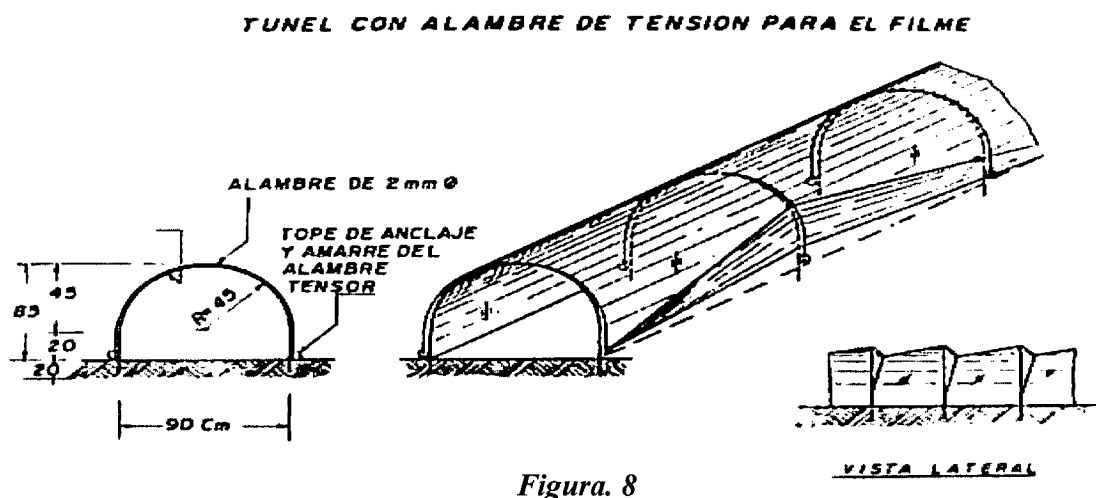


Figura 7

b). Túnel con Alambre o Cuerda de Tensión Para la Película. Este sistema se utiliza cuando el periodo de semiforzado es largo y/o se requiere ventilación constante. La colocación de los arcos es la misma, pero para sujetar la película se utiliza un alambre o cuerda que va sujeta por unas anillas hechas en el arco a 20 cm de su extremo, que puede estar soldada o hacerse mediante una torsión del propio alambón. En este tipo de túnel, los bordes de la película de cubierta no van enterrados lateralmente. La colocación de la cuerda de tensión da lugar a dos modalidades distintas para sujetar el plástico: tensión semicircular (con alambre sencillo) y tensión cruzada (con doble alambre). Ambos sistemas son adecuados para comarcas de fuertes vientos y para todo tipo de terrenos, en especial para los de textura arenosa, ya que la torsión que se le hace al alambón y que va enterrada sirve como tope en el suelo impidiendo que los arcos con el peso de la cubierta se entierren demasiado y también de esta forma se consigue mantener la superficie del plástico lo suficientemente tensa para que no forme arrugas ni bolsas de agua cuando llueve. Con el sistema de alambre sencillo hay un ahorro considerable de alambre o cuerda cuando se cubren grandes extensiones, sin embargo la cuerda (nylon, rafia de polipropileno) está desplazando al alambre en ambos casos ya que facilita su manipulación y es más fácil de recoger y almacenar, además de que es más

económica, no oxida el plástico ni le produce rozaduras (fig.8). La ventilación se efectúa con sencillez y gran rapidez, levantando la película por el lado contrario a los vientos dominantes (Flores, 2005).



Instalación de Túneles Semicirculares

La cantidad de material requerido para cada cultivo cambia de acuerdo con los marcos de plantación de cada especie. Es difícil definir concretamente los requerimientos para cada una, puesto que dependiendo de cada región varía su manejo. Sin embargo, para tener una idea de los materiales que se necesitan en algunos cultivos, se proporcionan algunos datos en la siguiente tabla.

Tabla 1. Materiales requeridos para cubrir una hectárea de túneles.

Cultivo	Distancia entre camas (m)	Arcos o estacas cada 1.5 m	Alambre cal. 14 (kg)	Plástico cal. 200	
				Ancho	(kg)
Calabacita	1.4	4,761	185	1.5	535
Sandía	3.0	2,222	85	1.5	335
Melón	2.0	3,333	130	2.0	500
Pepino	2.0	3,333	130	2.0	500
Tomate	1.8	3,703	145	2.0	555
Chile	1.4	4,761	185	1.5	535

Fuente: (Rodríguez e Ibarra, 1991).

Antes de la instalación se prepara el material a utilizar, para los arcos se cortan de un mismo tamaño los tramos de alambón y se procede a darles la forma de arcos, posteriormente a 20 o 30 cm de cada extremo se solda una pequeña oreja del mismo material, o bien se efectúa una torsión en el material para que quede formado una pequeña oreja que es la que servirá para sujetar el hilo posteriormente. Esta actividad debe efectuarse con anticipación, para que al momento de instalar los túneles se tengan listos los arcos.

La secuencia de actividades para implantar este tipo de túneles es la misma que para túneles triangulares desde la preparación del suelo hasta la siembra o plantación. La fijación de arcos es a lo largo de la línea que se desea cubrir, clavándose 20-30 cm, dependiendo del tipo de suelo. La distancia entre los arcos es de 1 a 2 m. En los extremos de cada surco que se va a cubrir se ponen los arcos inclinados hacia fuera, o bien se colocan dos arcos cruzados, para que quede bien sólida la estructura. El tendido y colocación del plástico se efectúa de igual manera que en el caso de túneles triangulares. En seguida se procede a la sujeción del plástico por medio del alambre delgado o cuerda que se puede realizar por diferentes métodos: Amarre Individual de cada arco: este método consiste en fijar el hilo a la oreja del arco; luego se pasa el hilo al otro extremo, por un lado del arco, en seguida se pasa por la otra oreja y se regresa por el otro lado del arco, amarrándola en el arco inicial. Luego se pasa a sujetar a otro arco. Este método es muy laborioso porque se tienen que ir cortando tramos de hilo para sujetar cada arco individualmente. Sin embargo, al efectuar este sistema de amarre se utiliza menor cantidad de hilo o alambre que cuando se efectúa el amarre cruzado. Amarre Cruzado: consiste en amarrar el hilo en uno de las orejas de un extremo del arco, luego se cruza al otro extremo y se pasa por el aro del arco siguiente; esta actividad se realiza hasta el otro extremo, regresando por la misma hilera y sujetando el hilo de los aros que quedaron libres anteriormente. Este sistema de sujeción con cuerda es el más adecuado cuando se tienen que efectuar la ventilación constantemente, puesto que al levantar el plástico, éste queda sujeto por la cuerda con que se realizó el amarre. La ventilación debe realizarse por tramos, y lentamente, para aclimatar a las plantas. Cuando la probabilidad de que se presenten heladas es baja, y en algunos días se tengan altas temperaturas e intensidad de radiación, se puede dejar levantado el plástico unos 10-15 cm. durante todo el tiempo de protección, y bajarse en aquellas ocasiones en que pueden presentarse bajas temperaturas (Rodríguez e Ibarra, 1991).

¿Que Son Los Túneles Altos ó Macrotúneles?

Son túneles grandes en forma de medio cilindro, fácil de construir y resistentes a condiciones climáticas extremas como: nieve, viento y granizo entre otras. Son sencillos en cuanto al manejo de la ventilación. Este sistema de protección puede usarse durante una parte o todo el ciclo del cultivo. Además pueden ser trasladados fácilmente en caso de presentarse problemas como la alta incidencia de agentes patógenos como: *hongos* y *larvas de insectos* (Butler, 2004)

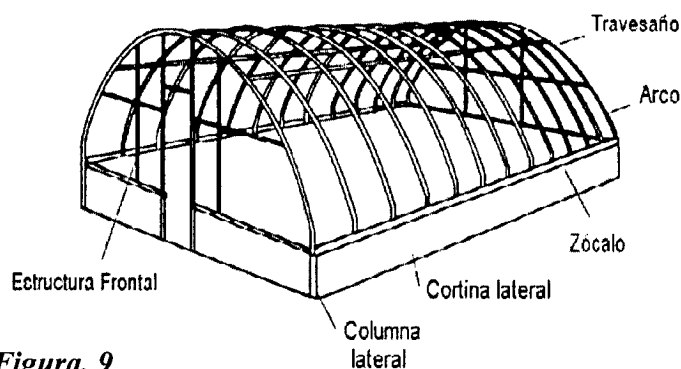


Figura. 9

La estructura de soporte puede ser de tubo galvanizado (fig. 9) al que se le da una forma semicircular cubierta con una película de PE, y se ventila enrollando manualmente los laterales cada mañana hacia arriba y desenrollándolos hacia abajo por la tarde. No cuentan con algún sistema

calorífico permanente pero es aconsejable tener una unidad portátil de gas propano como reserva para proteger contra las temperaturas bajas ocasionadas por las heladas inesperadas. No hay ninguna conexión eléctrica. La única conexión es un suministro externo de agua para el riego por goteo (Lamont, 2000a).

Usos de Túneles Altos

Se recomiendan este tipo de estructuras a quienes deseen iniciar en el uso de los invernaderos, por lo fácil que resulta su instalación, y por su forma que presenta bastante resistencia a los vientos así como una mayor captación de radiación solar. La inversión es mayor comparada con la que se realiza con túneles bajo, aunque económicamente se amortice en los años de vida útil de cada uno de los materiales. Los túneles altos se utilizan como semilleros en la producción de plantas hortícolas y ornamentales, para obtener cosechas de cultivos hortícolas fuera de épocas convencionales, con el adecuado manejo de poda y entutorado. En algunos países como Italia y España se utilizan frecuentemente para la protección de viñedos, para

adelantar o retrasar cosechas. Este sistema de protección puede usarse durante una parte o todo el ciclo del cultivo. (Rodríguez e Ibarra, 1991).

Algunos viveros han sido de grandes estructuras ‘‘túneles altos’’ para la propagación, iniciando la producción en un invernadero de planta en contenedor y, posteriormente, transfiriendo dicha producción para su crecimiento final y durante la temporada invernal (*Manual de Viveros para la Producción de Especies Forestales en Contenedor*).

Beneficios Obtenidos al Usar Túneles Altos

Aunque requieren de atención manual comparándolos con los invernaderos, los beneficios que brindan estas estructuras, están en función con los diversos cultivos que se manejan bajo esta técnica y que han demostrado ser un valioso recurso para la agricultura protegida. El beneficio primario de los túneles altos es la precocidad, mejora en la calidad comercial ya que los productos cosechados son más uniformes y de mejor presentación, teniendo así mejor oportunidad de venta en el mercado. En el caso particular del cultivo de tomate, estos maduran aproximadamente un mes antes que los producidos a campo abierto. Se puede realizar la plantación aproximadamente dos semanas más temprano que en campo abierto. Por otra parte, el costo del túnel puede ser recupera al primer año al vender los productos. Otra ventaja benéfica de los túneles altos es el buen control de enfermedades (particularmente si la tubería del riego se usa por debajo del acolchado con plástico negro). Además, de que la cubierta plástica resguarda de las lluvias, granizo, heladas, quemaduras por el sol, etc. logrando con ello además la primicia y prolongar el período de cosecha de los cultivos. Disminuyen los efectos y los problemas por inversión térmica al aumentar el volumen de superficie cubierta y la relación volumen/superficie. Debido a la menor estructura de soporte, en comparación con un invernadero, el sombreado sobre el cultivo es mínimo por lo que se tiene mayor luminosidad y operatividad interna, facilidad de construcción y expansión. Ofrece muy baja resistencia al viento y facilita la captación solar por su forma semicircular, incrementando la reflexión de los rayos solares y de la emisión infrarroja, que es la que proviene del suelo y permite un equilibrio térmico (Lamont, 2000a y Butler, 2005).

Dimensiones de la Estructura

Un sistema de túnel alto debe ser lo suficiente grande, para que permitir la plantación de cultivos, así como la supervisión de estos dentro de la estructura. Un túnel normal es de 4.25 metros de ancho, 30 metros de largo, y 2.30 metros de alto al centro (Butler, 2005).

Autores como Rodríguez e Ibarra (1991) mencionan que generalmente estas estructuras tienen un ancho de 4.0-4.5 m y 1.70-2.0 m de altura o más en la parte más elevada. Su longitud puede ser tan larga como el usuario lo desee; sin embargo, se recomiendan longitudes de 45-60 m para facilitar su manejo y el de los cultivos. La distancia entre los túneles debe ser de 1.5 m para efectuar la ventilación y facilitar el cubrimiento de los mismos. De acuerdo con estas medidas, en una hectárea de terreno se protege un área de 6,000 m², aproximadamente.

Nota aclaratoria: como podemos darnos cuenta, las medidas para la construcción de un túnel alto varían según el autor, pero si es de nuestro interés construir uno es recomendable respetar las medidas mencionadas y no salirnos del rango ya que si eso sucede podríamos caer en un error a la hora de hacer el manejo.

Materiales Requeridos para la Construcción de un Macrotúnel.

- 16 piezas de tubo de acero (6.4 m) de 1/2'' de diámetro.
- 2 piezas de tubo de acero (6.4 m) de 1'' de diámetro
- 16 m de alambre calibre 12
- 80 m de fajas de madera de 2'' x 1''
- 13 m de madera de 3'' x 2''
- Clavos de 2 1/2 ''
- 5 m de poliducto de 3/4 '' de diámetro
- Alambre calibre 14
- 2 coples y 2 codos para unir tubular de 1/2 ''
- 20 kg. de plástico de 5.0 m de ancho calibre 600
- 10 kg. de plástico de 3.0 m de ancho calibre 600 (Rodríguez e Ibarra, 1991).

Para el caso particular de este caso de estudio nos enfocaremos en el diseño y construcción de un *Túnel'' Guaico''*.

Instalación del Macrotúnel

Cuando pensemos en establecer un cultivo bajo plástico, existen alternativas como es el caso de un macrotúnel que se aproxima al tipo invernadero semicircular pero no alcanza un volumen interior suficiente grande como para permitir un control del ambiente con el que pueda otorgársele con propiedad el nombre de invernadero. De todos modos, para niveles de control con estándares de menor exigencia, puede ser utilizado como una alternativa practicable, que presenta la enorme ventaja de no tener que clavar el plástico, permitiendo la utilización de cubiertas de mayor vida útil que pueden conservarse en buen estado varias temporadas.

Para construir este tipo de estructuras suele recurrirse a materiales metálicos que obligan a elevar los costos de inversión. Alternativamente aquí, se presenta un diseño mejorado del concepto del macrotúnel construido en tubos de cloruro de polivinilo (PVC). Esta estructura ha probado ser bastante flexible y al mismo tiempo suficientemente resistente como para tolerar lluvias y viento sin deterioro. Además, ha soportado el cultivo de hortalizas en espaldera. Se ha utilizado satisfactoriamente en el cultivo de melón así como para la producción en hortalizas. La estructura es de bajo costo, pero eleva el comportamiento del túnel, que resulta bastante estable y extraordinariamente elástico a las deformaciones. Vale la pena decir, que el macrotúnel puede tener una vida útil muy superior y con mejor comportamiento que aquéllos utilizados hasta ahora. Su concepción, es con el propósito de reducir la dependencia de paquetes tecnológicos que son ofrecidos comercialmente con costos elevados, destruyendo la idea que una estructura mejorada es más costosa y que no puede ser construida por el agricultor (Misle, 1999).

Diseño del Macrotúnel

El mismo autor señala, que para su diseño los arcos de PVC deben ser montados sobre un palo a 0,7 m. sobre el nivel del suelo, tomando como referencia el eje del túnel (Fig. 10).

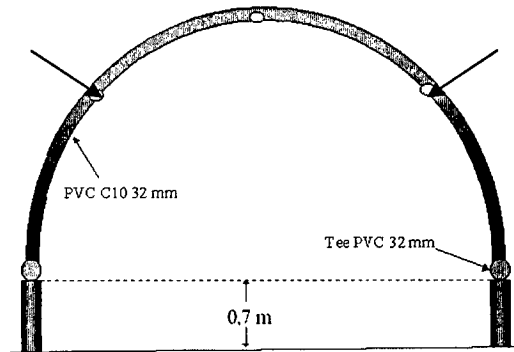


Figura 10. Montaje de un arco.

Para lograr esto, se deben enterrar los palos a una distancia de 1,5 m. con un trazado previo de lienzas a nivel. El ancho máximo del túnel es de 4,1 m. y está dado por la longitud de los tubos de PVC (6 m.) La profundidad de los palos tiene relación con el tipo de suelo sobre el que se emplaza el macrotúnel, pero 60 a 80 cm. es suficiente. Si los palos son impregnados (con aceite usado de motor) presentan la ventaja de una mayor duración y uniformidad del material, pero pueden utilizarse perfectamente palos de madera durable como los de acacia (*Robinia pseudoacacia*). Cada tubo de PVC hidráulico C10 en 32 mm. debe conectarse en ambos extremos con una "Tee" del mismo diámetro; ambas deben quedar paralelas. Sobre el palo, el arco se fija gracias a la "Tee" a la cual se ancla con un alambre galvanizado calibre 10 y se fija con grapas de 1,25 pulgadas al palo. Es conveniente pintar los tubos de color blanco para retardar su deterioro por efecto de la radiación solar, así como utilizar un soporte para disminuir las deformaciones del arco (fig. 11).



Figura 11. Detalle de ubicación de soportes en los arcos.

Una vez establecidos los arcos a 1,5 m de distancia entre ellos, se deben colocar los refuerzos correspondientes a los frentes del macrotúnel (Fig. 12).

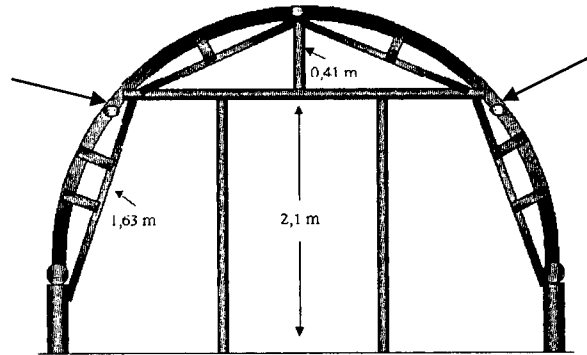


Figura 12. Soportes en las cabezas del túnel. Vista interior. Los soportes cortos deben ubicarse por la cara interior para retener el tubo al ser tirado por las cuerdas.

En cada arco es necesario hacer las perforaciones de 3 mm. de diámetro que se indican con las flechas (figuras 10 y 12). Cada tres arcos, se debe reforzar la estructura con un soporte transversal sostenido por dos pilares en forma similar al modo en que se construyen los extremos (fig. 12) y tal como se indica en la (fig. 13).

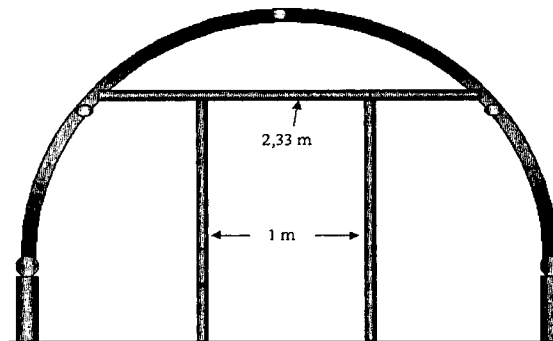


Figura 13. Detalle y medidas de los soportes interiores.

En el soporte transversal de 2,33 m por su cara inferior, se debe realizar un corte en cada extremo para permitir la inclinación dada por el arco (fig. 14). La estructura comienza a integrarse al unir los arcos con tubos de fierro de 3/8 pulgada. Para ello se debe poner un soporte a través de la perforación realizada en los arcos en las posiciones indicadas. Puede servir adecuadamente un clavo de 3 o 4 pulg. Los tubos se cortan a 146.8 cm. en promedio, ajustando esta medida según las variaciones reales en el espaciamiento de los arcos. Deben protegerse contra la oxidación con alguna pintura anticorrosiva más una terminación blanca. El conjunto quedará retenido con las cuerdas, las cuales deben ponerse a 20 cm. para evitar la

formación de “bolsas” con la lluvia. La tensión de ellas no debe ser excesiva puesto que los arcos son plásticos. En la porción lateral del arco pueden colocarse cuerdas a mayor distancia si se quiere ahorrar material. La línea de cuerdas siempre debe quedar sobre la cara exterior de cada arco (fig. 14).

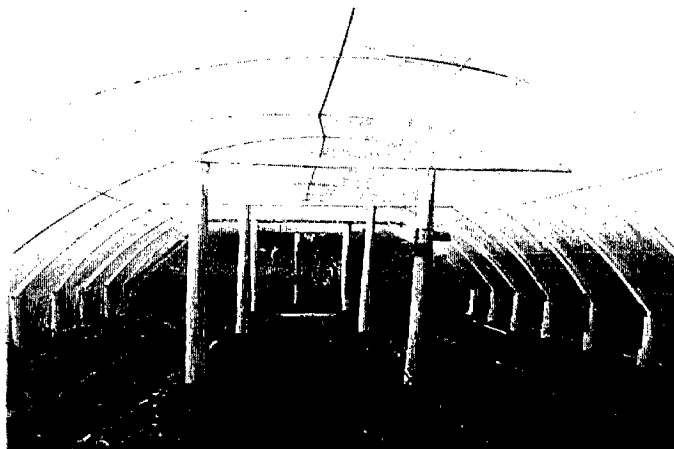


Figura 14. Vista interior del macrotúnel “Guaico” donde puede apreciarse la disposición de los soportes interiores, los tubos y las cuerdas.

Postura del Plástico

El material de cubierta es de libre elección, pero se recomiendan aquéllos que contienen filtro UV y que aseguran un par de años de vida útil. Existen muchos materiales más avanzados como los que contienen factor antigoteo o microburbujas de aire, pero debe elegirse de acuerdo con la inversión que se hace. En particular, en este caso se opta por bajos costos, siendo aún menor la inversión en caso de escoger un polietileno corriente. En cualquiera de estos dos casos, basta con un espesor de 150 – 200 μ . El plástico del frente y fondo del túnel debe ponerse comenzando desde abajo. Luego, se tira fuertemente sobre el arco, hacia el centro imaginario de él. Las fijaciones se realizan con listones delgados de madera, de 5 cm. de ancho y de unos 4 - 6 mm. de espesor. Este material suele obtenerse a bajo precio. Puede solicitarse que se parta longitudinalmente el material para obtener el listón deseado. El clavo recomendado es de 1,25 “o 1,5 “. Si el ancho del plástico es de 4 m, se logra un buen cubrimiento de tres arcos más un traslape de 20 a 25 cm. entre cada corte, logrando cubrir con

4 piezas un largo de 13,5 m por cada unidad o módulo de 10 arcos (fig. 15). En los extremos de estas piezas de polietileno se debe hacer una fijación con un listón de 2" x 1" en bruto, retenido en forma similar a los frentes. Para mantener la cubierta sobre la estructura sin que el viento la mueva, basta atar cada pieza desde la fijación a la base de los palos mediante un cáncamo grande y cuerda del mismo tipo de la estructura (4 mm.). Como medida precautoria para épocas ventosas, se debe atar cuerdas sobre el plástico en los extremos de cada pieza de polietileno. En general no se recomiendan unidades de más de 40 m porque se dificulta la ventilación, aún cuando si se opta por una orientación norte - sur, se facilita la circulación de aire (Misle, 1999).

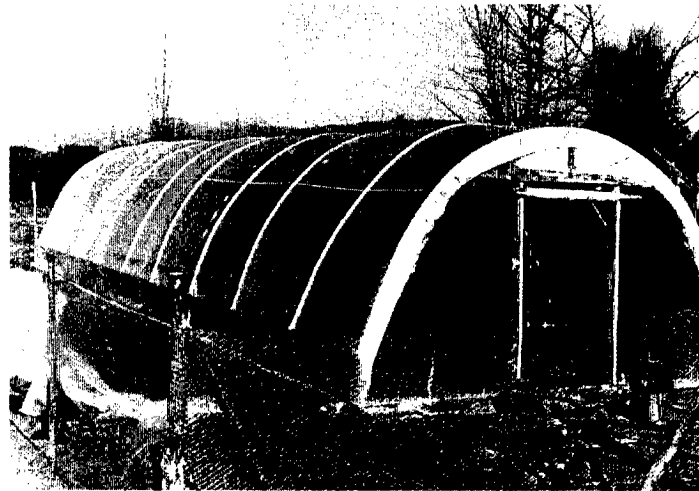


Figura 6. Macrotúnel terminado. Módulo de 10 arcos con un largo de 13,5 m.

Trabajos Realizados con Técnicas de Semiforzado

Experiencias con Túneles Altos

Se evaluaron en túneles altos, algunos cultivos vegetales, durante la estación de invierno y primavera. Los cultivares fueron: Brócoli, Repollo, Nabo, Collards y Cebollas. Los resultados dieron a conocer que la temperatura del aire en el interior del túnel fue de 30 y 15 °F más alta que la temperatura externa (diurna y nocturna) respectivamente, durante los meses invernales. Este diferencial de temperatura fue suficiente para proteger a los cultivos de los daños por heladas sin necesidad de suplementar calor. La mayoría de los cultivos se cosecharon a los 72 días de la siembra, excepto el repollo que se cosecho a los 104 días. La producción de Brócoli, Repollo, Nabo, Cebolla tuvo alta producción significativamente comercial. Los ingresos brutos generados fueron mayores en repollo y collards que en brócoli, cebolla y nabo. Pero el cultivo de cebolla fue mejor a principios de primavera. Los túneles altos demuestran ser un sistema de producción posible y eficaz para la producción de vegetales en los meses de Diciembre a Abril sin necesidad de algún sistema de calefacción extra (Khan, et al 1994).

Con el objeto de estudiar la respuesta del cultivo de lechuga bajo condiciones de macrotúnel usando acolchado de papel, suelo desnudo y cajas con tierra, se instaló el cultivo el día 14 de febrero, observándose durante las primeras semanas, temperaturas superiores de 4-50 °F bajo el acolchado con papel comparado con suelo desnudo. La temperatura fue ligeramente más alta (1-20 °F) en la caja con tierra dentro del macrotúnel comparada con el tratamiento acolchado de papel. Las plantas del tratamiento con acolchado de papel y suelo desnudo se regaron más veces que las de cajas con tierra. Se observó un crecimiento mayor en las plantas orilleras a diferencia de las cosechadas en los dos surcos internos. Esta diferencia podría atribuirse a la humedad adicional que proporcionaba la nieve que se condensó en los lados del túnel y a la menor competencia entre las plantas. Las plantas de lechugas crecidas en cajas con tierra maduraron más rápido que las de los otros dos tratamientos, cosechándose el 17 de abril, registrando mayor peso que los demás tratamientos, mientras que en los tratamientos de acolchado de papel y suelo desnudo se realizo el 12 de mayo del 2000. Los resultados

organolépticos demostraron que las lechugas crecidas en cajas con tierra eran más dulces que las de las crecidas bajo condiciones de acolchado con papel y suelo desnudo (Lamont, 2000b).

Fueron sembradas algunas variedades del cultivo de tomate con la finalidad de estudiar la respuesta bajo condiciones de túnel alto el día 29 de marzo del 2000, haciéndose el trasplante el 5 de abril del mismo año. Durante el ciclo de crecimiento, todas las variedades tuvieron buen desarrollo logrando rendimientos relativamente buenos. La cosecha comenzó el 20 de julio ya que algunas variedades fueron más rápidas en florecer y dar frutos, realizándose un total de 15 cosechas, dos veces por semana. Haciéndose la última el 10 de octubre del 2000. El rendimiento comercial fue alto para algunas variedades (hasta del 90 %) mientras que para otras fue bajo (65%). Otras presentaron un alto contenido de desecho que fue como resultado de frutas deformadas, cara de gato, quemaduras de sol, y mancha del fruto. Se observaron también otros defectos incluso el, daño por ratón, putrefacción suave, agrietamiento y putrefacción, daño por pájaros (Lamont, 2000c).

Se llevo a cabo un estudio para documentar los efectos de reacción del cultivo de pepino bajo condiciones de túnel alto. La variedad a evaluar fue Seedway, la siembra fue directa el 2 de junio de 2000. El crecimiento del cultivo fue sumamente vigoroso a lo largo de su ciclo. Las plagas y enfermedades no fueron un problema serio. Se realizaron tres aplicaciones preventivas de un fungicida, como medida preventiva contra el mildew polvoriento. Se realizo un total de 9 cosechas a través del ciclo de cultivo. Dando inicio el 31 de julio del 2000. Y finalizando el 21 de agosto del mismo año. Los datos obtenidos por cada cosecha muestran poca diferencia en cuanto a rendimiento entre los surcos barlovento y sotavento esto, debido al crecimiento prolífico de la planta. fue difícil poder buscar diferencias entre los surcos. Todos los frutos se clasificaron según las normas de calidad USDA. El 81% del rendimiento fue comercial. La fruta clasificada como desecho, fue el resultado del daño por ratones, tamaño extra grande y fruta deformada (Lamont, 2000d).

En otro trabajo de investigación donde se evaluó el efecto de túnel alto en algunas variedades de ajo, las cuales fueron sembradas el 25 de octubre del 2000 (excepto para Mchadidzhauri y Xian que se sembraron el 31 de octubre 2000). Evaluando crecimiento, germinación y vigor de

la planta. Se encontró que todas las variedades de ajo se pudieron cosechar a fines de junio, excepto Xian que maduró 2½ semanas antes. Los resultados muestran que el porcentaje de germinación fue sumamente alto entre 85 a 100 para todas las variedades excepto para " Tony Felice's " y Gambinao Italian Purple, que tuvieron un porcentaje de germinación de 70 y 65 % respectivamente. Las variedades, German White, Romanian Red y Mchadizhuri, mostraron el vigor más alto, mientras que Mediterranean, Inchelium Red, Gambinao Italian Purple, and Xian, presentaron el vigor más bajo. Solo las variedades, Romanian Red, German White, e Inchelium, presentaron uniformidad de crecimiento y Xian fue más temprana en madurar, cosechándose 8 días antes que las otras variedades las cuales difirieron ligeramente en las fechas de madurez. Hubo diferencias en cuanto a tamaño de los bulbos entre las variedades, fue claro que el tamaño de los bulbos así como la producción bajo condiciones de túnel fue mayor que la obtenida en el campo. Se puede concluir que los cultivos de ajo en un ambiente de túnel tienen buena respuesta. Uno de los beneficios de crecer bajo el ambiente de túnel, sería la reducida fluctuación en temperaturas que llevan a disminuir la helada sobre el suelo. Promoviendo un ambiente favorable para el crecimiento de los bulbos (Lamont, 2000d)

En un estudio realizado donde el objetivo fue adelantar el inicio de la cosecha en el cultivo de calabacita mediante el uso de plástico aplicado en acolchado de suelo y macrotúnel, usando como material genético el cultivar tala (híbrido de Asgrow) y efectuando siembra directa en suelo húmedo. Los resultados obtenidos demostraron que el acolchar el suelo bajo un ambiente, proporcionado por un macrotúnel se logró lo siguiente: Aumento de producción en 14.5 y 17.5%, adelanto en el inicio de cosecha en 5 días. Registrándose 49 días para el acolchado y 54 días para el testigo, se colectaron seis frutos más por planta que en el lote sin acolchar, traduciéndose esto en un aumento del rendimiento, se tuvo un ahorro de tres riegos (15 cm. de lamina) y se incrementó la eficiencia en el uso del agua en 2.79 y 3.02 Kg. de fruto por m³ de agua aplicada. Atendiendo a estos datos, se obtuvo que la producción fue mayor en los túneles que al aire libre en 121, 142 y 177%. Por otra parte, el ciclo vegetativo fue mayor en los túneles que en intemperie; sin embargo, el inicio de recolección fue casi un mes antes de que se efectuara la siembra convencional al aire libre. Lo anterior tiene gran importancia, ya que una mayor producción y un adelanto considerable a cosecha permite lograr muy buenos precios del producto en el mercado (Rodríguez, 1991).

Al evaluar el comportamiento de seis cultivares de tomate bajo acolchado de suelos en macrotúneles cubiertos con dos tipos de plástico, usando como material genético los híbridos President 012-382 y 012-127, Duke, Emperador y Count II, materiales no utilizados en la región, y el cultivar Ace 55 Vf, que es de uso común en la zona, y realizándose el transplante con cepellón a doble hilera, se encontró que: que se efectuaron 10 corte durante la recolección. Al analizar los resultados obtenidos se observo lo siguiente: al utilizar el policloruro de vinilo se obtuvo mayor producción que al cubrir el túnel con polietileno PF-602; esto se debió a que se pudo aprovechar mejor la radiación incidente, ya que el PVC deja pasar un mayor porcentaje de los rayos solares recibidos e impide el paso de gran cantidad de radiación infrarroja (irradiación nocturna del suelo), por lo que proporciona un mejor ‘efecto de abrigo’, propiciando que las plantas se desarrollen mejor y la producción sea mayor que la lograda al utilizar polietileno. La observación de una mejor producción en el túnel cubierto con PVC se debió principalmente a que el tamaño y peso de los frutos fue mayor que los cosechados en el túnel cubierto con el polietileno. Al analizar los datos sobre el cultivar ACE 55 Vf se observó que por efecto de acolchado la producción se incremento en 52 % y 71%; además, se logró un adelanto al inicio de cosecha de 17 y 14 días respecto al testigo, cuyo intervalo de tiempo al inicio de la recolección fue de 121 días. En los demás materiales el inicio a cosecha varió de 100 – 104 días. Se observó que los materiales probados mostraron una magnífica adaptación a las condiciones climáticas predominantes en la región, superando la mayoría de estos materiales en rendimiento a la variedad ACE 55 Vf, utilizada comúnmente. Es importante aclarar que la alta producción de estos materiales respecto a las variedad ACE 55 Vf se debió a que las plantas de estos híbridos producen mayor numero de frutos; sin embargo, el tamaño y peso de estos es menor. Lo anterior tiene gran importancia, ya que al utilizar los túneles es necesario optimizar el uso de los recursos; por ello, cuando se use esta técnica se sugiere utilizar los materiales genéticos más rendidores, para aprovechar en mejor forma el área protegida. Se observo que el uso de túneles altos cubiertos con plástico proporcionan magníficos resultados, obteniendo producción en épocas fuera de las tradicionales, como se mostró en este trabajo; durante las fechas de inicio de cosecha bajo plástico era la temporada de trasplante en la región, además de que la producción supero a la obtenida al aire libre (Rodríguez e Ibarra, 1991).

Experiencias con Túneles Bajos

Se llevo a cabo una investigación para determinar el tiempo óptimo del uso de túneles con cubiertas de polipropileno y poder lograr un incremento en rendimiento temprano y total. Como material genético, se usaron cultivares de Yolo Wonder L. de pimiento y Cruiser de melón. La fecha de transplante y siembra fue el 3 de mayo de 1996 y el 23 de mayo de 1997, respectivamente. Considerándose como parcela útil el surco central sin sus plantas orilleras para fines de rendimiento. El melón se cosecho tres veces por semana y el pimiento cada semana. Los resultados obtenidos demostraron que el melón que creció bajo cubierta mostró un incremento significativo en el rendimiento temprano y total comparado con el testigo. El rendimiento de los dos cultivos difirió enormemente en respuesta al uso de acolchado y túneles (Ibarra, *et al.* 2000).

El objetivo en este estudio fue analizar la respuesta del acolchado solo y en comparación con microtúneles con cubierta de polietileno perforado transparente calibre 130 y polipropileno Agribón 17 y Kimberly Farm, usando como material de acolchado plástico negro calibre 125, sobre el rendimiento temprano y total de pepino y pimiento, a través de la respuesta a la temperatura del suelo, los cultivares fueron: pepino cv, Sprint 400 y pimiento cv. Júpiter. El cultivar de pepino Sprint 440, se sembró el mismo día en que se transplantaron las plantas de pimiento. En ambos tratamientos hubo un comportamiento diferente en rendimiento temprano y rendimiento total. En pepino la mayor ganancia en rendimiento temprano se obtuvo con acolchado mas una cubierta de polietileno blanca perforada (ACMB) y acolchado mas una cubierta de polipropileno Kimberly Farm (ACK) con una ganancia sobre el testigo de 13.5 t.ha⁻¹(135 %), el testigo registro un rendimiento temprano de 9.99 t.ha⁻¹. los tratamientos ACMB y ACK en pepino aumentaron el rendimiento total en 10 t.ha⁻¹ con relación al acolchado plástico solo, que registro un rendimiento de 114 t.ha⁻¹. En pimiento todos los tratamientos superaron al testigo en rendimiento temprano y total. Sin embargo, el acolchado plástico sin cubierta, fue el que registro el mayor rendimiento temprano y rendimiento total. Las temperatura del suelo en túneles cubiertos con películas de polipropileno y polietileno perforado fueron casi iguales (Ibarra y de la Rosa, 2004).

Se evaluaron con túneles bajos, cubiertas directas, acolchado de suelo y cubiertas tejidas para la exclusión de insectos. Los materiales que se utilizaron fueron, de PE de baja densidad, acetato de etileno vinilo y redes de polipropileno. Los cultivos evaluados fueron: lechuga, algunos cultivares de col china, zanahoria y puerro. En primavera, los cultivos se protegieron usando un acolchado de suelo debajo de un túnel, esto aumentó el rendimiento de la cosecha, controló las malezas y previno el lavado de nitrato fuera del suelo. En cubiertas se redujeron las necesidades de insecticidas, pero materiales con alta trasmisión de luz fueron necesarios para un buen rendimiento y cosechas (Benoit y Ceustermans, 1993)

En otro estudio realizado por Vargas (1999), el uso de cubiertas no tejidas incrementó el crecimiento de pepino al reducir la velocidad del viento bajo las cubiertas. Cuando en los cultivos las cubiertas se soportan con la ayuda de aros, las plantas se protegen del golpeo del viento, problemas ocasionados por partículas de suelo y de la desecación provocada por el excesivo calor. Sin embargo, las cubiertas flotantes (colocadas directamente) pueden dañar los puntos de crecimiento tiernos de las plantas bajo condiciones extremadamente ventosas.

En un trabajo realizado por Daza (2001), en el cual se tuvo como finalidad hacer una evaluación de la utilización del microtúnel y acolchado en el cultivo de melón al sembrar en distintas fechas; y cuantificar alguno de sus efectos tanto biológicos como económicos y las posibles perspectivas de la siembra del melón bajo este sistema. El material vegetal utilizado fue el híbrido laguna. Las variables analizadas fueron: fenología, fruto, rendimiento, y análisis económico. Respecto al fruto la diferencia fue altamente significativa, debido a la posible influencia de las temperaturas mínimas sobre la fase de desarrollo. Los rendimientos total y comercial fueron altamente significativos. Se presentó una diferencia altamente significativa en el precio respecto a la producción total y comercial. Esta diferencia es determinada por el periodo en el cual se cosecha, ya que los precios del mercado son muy elevados en el mes de marzo y principalmente al inicio que es cuando se empezaron a cosechar los primeros tratamientos. Con base en los resultados obtenidos es recomendable sembrar bajo este sistema en fechas tempranas ya que se tiene un mayor precio de venta en el mercado al cosechar temprano, y porque la incidencia de plagas y enfermedades es menor.

Hernández, *et al* (2002), establecieron un trabajo donde se evaluaron diversas películas foto-selectiva, usada como cubierta de microtúnel, por su efecto en la producción de trasplantes de brócoli. Midiéndose las siguientes variables: días a emergencia, altura de la planta, diámetro de tallo, número de hojas por planta, peso seco del vástago y peso seco radical. Según resultados arrojados, los trasplantes de mejor calidad, en cuanto a su crecimiento horizontal, fueron obtenidos al cubrir el microtúnel con policloruro de vinilo (PVC) de color blanco y violeta, seguido por los trasplantes producidos en microtúnel cubierto con polietileno (PE) de color amarillo y naranja.

III. ESTADO DEL ARTE O ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

Situación Actual de la Plasticultura en el Mundo

El consumo de plástico en el periodo de 1991 a 1999 a nivel mundial se incrementó aproximadamente un 62%, y más de 150 % en relación a 1985, para alcanzar un volumen estimado en 2'850,000 toneladas. (Jouet, 2004).

Durante el 16th congreso mundial de plásticos en la agricultura que tuvo lugar en la India en el 2002, se reportó que el total de área cubierta por invernaderos y túneles altos a nivel mundial ocupaba un total de 723,000 hectáreas. Estimándose, que en la India el número total de invernaderos y túneles altos era de aproximadamente 30,000 y España con 77,400. Mientras que el área ocupada por túneles bajos en el mundo sumaban un total de 900,000 hectáreas. Ocupando China el primer lugar en cuanto al uso de estas estructuras con una cantidad de 600,000 has. (Plastiscope, 2003).

Túneles Altos

El estancamiento o retroceso de la superficie de grandes túneles en España y en otros países europeos puede ser el resultado de un proceso de introducción de nuevas tecnologías más avanzadas en la producción hortícola. En el marco de mayores exigencias de calidad en lo que respecta al producto, se pasa del abrigo plástico de baja tecnología –túnel parral- a estructuras más elaboradas, como los multicapillas, que admiten la introducción de automatismos y otros avances tecnológicos. Estos invernaderos implican mayor inversión y mayor rendimiento por unidad de superficie, obteniéndose producciones cuantitativamente similares o mayores y con una calidad superior sobre superficies cubiertas menores.

En cuanto a la superficie de invernaderos y túneles en Extremo Oriente, particularmente en China, parece estar en un proceso de incremento explosivo desde hace algunos años, estimándose una superficie de 1.5 millones de hectáreas. Esta cifra mencionada por *Chronica Horticulturae* debería agregarse a la siguiente tabla.

Tabla 2: Invernaderos y grandes túneles plásticos en el mundo.

Lugar	Superf./Has.	Evolución desde 1999	Lugar	Superf./Has.	Evolución desde 1999
Mundo	723,000	+6%			
África					
Algeria	6,000	+20%	Túnez	1,307	
Egipto	2,430	+85%	Morocco	10,000	
South África	2,500		Kenya	150	
Camerún	21				
Medio Oeste					
Israel	6,500	+25%	Turquía	14,000	
Jordania	2,000		Arabia Saudita	1,550	
Líbano	1,250		Siria	2,000	
Chipre	235		Bahrain	60	
Kuwait	350		Quatar	65	
Emiratos Árabes Unidos	120		Yemen	100	
Norteamérica					
Estados Unidos	9,250		Canadá	600	
Centro y Sudamérica					
México	1,200		Guatemala	310	
Argentina	600		Chile	300	
Colombia	4,500		Ecuador	2,700	
Brasil	700		Venezuela	400	
Unión Europea					
España	49,380	-3%	Gran Bretaña	2,500	
Italia	77,000	+11%	Alemania	950	+18%
Bélgica	350		Francia	9,200	
Grecia	3,000		Portugal	2,700	
Países Bajos	400		Austria	450	
Finlandia	200		Suecia	60	
Dinamarca	20				
Otros Países Europeos					
Suiza	600		Malta	100	
Rusia	3,250		Rumania	900	
República Checa y Slovakia	4,900		Polonia	2,000	
Croacia	1,200		Serbia	5,040	
Hungría	6,500		Uzbekistán	5	
Albania	354				

Fuente: Jouet, 2004. Diversificación en las aplicaciones de los plásticos en agricultura.

Túneles Bajos

Los comunicados muestran un estancamiento en África y Medio Oriente, con una evolución del 3%, salvo en Francia, donde se están dando leves retrocesos. Sorprende en cierto modo este estancamiento, ya que los túneles bajos son una forma de abrigo relativamente económica. Pero observando las evoluciones de invernaderos, pequeños túneles y cubiertas flotantes en su conjunto, éstas últimas en franco crecimiento, se puede aventurar la interpretación de un crecimiento dual. Por una parte, la concentración en superficie de invernaderos tecnificados, para cubrir segmentos de mercados exigentes con productos de calidad controlada, y por otra, una tendencia a controlar costos utilizando abrigos baratos como los acolchados.

El pequeño túnel, de costo intermedio, pierde terreno, frente a los invernaderos y las cubiertas flotantes, salvo tal vez para cultivos muy específicos en que les requiere muy especialmente, como el de la fresa. Llama la atención el enorme incremento de la superficie de acolchado en países como Egipto, Argelia o Camerún, donde la escasez de capital obliga a recurrir a soluciones de bajo costo para apoyar a la producción (Jouet., 2004).

Tabla 3: Pequeños túneles en el mundo.

Lugar	Superf./Has.	Evolución desde 1999	Lugar	Superf./Has.	Evolución desde 1999
Mundo	900,000	+2%			
África					
Argelia	200	-75%	Túnez	11,000	
Egipto	23,000	+15%			
América					
Estados Unidos	15,000		México	3,400	
Medio Oeste					
Israel	15,000		Turquía	1,500	
Asia					
China	600,000		Japón	47,000	
Europa					
España	13,055		Gran Bretaña	1,400	
Italia	25,000		Alemania	1,500	
Francia	15,000		Grecia	4,500	
Hungría	2,500		Polonia	800	
Bulgaria	2,500				

Fuente: Jouet, 2004. Diversificación en las aplicaciones de los plásticos en agricultura.

La Producción de Hortalizas en México

Jouet (2004) menciona que la superficie ocupada a nivel mundial con invernaderos y grandes túneles plásticos en el 2002 fue de 723,000 hectáreas, teniendo una evolución positiva del 6% en relación de 1999 de las cuales México contaba con una superficie de 1200 hectáreas protegidas con estas estructuras. Respecto al uso de pequeños túneles en el mismo año se reporto una superficie ocupada a nivel mundial de 900,000 hectáreas de las cuales se reportaban para México 3,400 el autor no menciona si se presento alguna evolución ya sea positiva o negativa sobre la aplicación de estas pequeñas estructuras en relación a 1999.

Sánchez, *et al.* (2005) menciona que actualmente en nuestro país la técnica de microtúneles se practica en alrededor de 5000 hectáreas.

En la tabla 4. Se pueden observar la superficie por hectárea ocupada por microtúneles y macrotúneles técnicas usadas para la protección de cultivos en México (Sandoval, 2005).

Tabla 4. Situación de las estructuras para proteger cultivos en México.

Tipo de estructura o uso	Superficie (ha)
Microtúneles	7,964
Macrotúneles	3,970

Fuente: Sandoval, 2005.

IV. ÁREAS DE OPORTUNIDAD

Como podemos ver en las tablas 2,3 y 4, las cifras mencionadas por cada autor respecto al uso de los túneles bajos y altos a nivel nacional difieren un poco, mas sin embargo estas cifras nos pueden dar una clara visión acerca de la importancia que están adquiriendo estas técnicas a favor de la agricultura mexicana, y según algunas publicaciones recientes se espera que el uso de esta tecnología en años próximos valla en aumento, ya que es una buena forma de explotar al máximo nuestros cultivos y así obtener altos bajo una forma intensiva.

Una solución para mejorar parcialmente la precaria economía del campo es la producción de hortalizas con técnicas de semiforzado, siguiendo un modelo para pequeños productores en donde éstos capitalicen su mano de obra y la de sus familias poniendo en práctica estas técnicas.

Los túneles deben ser considerados como una técnica moderna en la agricultura mexicana y se espera que para los años venideros tengan más popularidad. Tanto las empresas productoras como distribuidoras de productos plásticos han demostrado mucha atención en este mercado, dado que los resultados obtenidos a la fecha han sido más que satisfactorios

Es conveniente aclarar que los túneles altos no ofrecen la precisión de los invernaderos convencionales para el control total del medioambiente, pero lo modifican de manera suficiente para mejorar el crecimiento de los cultivos, así como su rendimiento y calidad. Aunque proporcionan protección contra las heladas, su función principal es elevar la temperatura unos cuantos grados diariamente durante el periodo de protección.

Además de controlar la temperatura, presentan también beneficios como el proteger a los cultivos del viento, lluvia, de las altas temperaturas del suelo, y en algunos casos controlan el ataque de insectos y algunos otros animales como pájaros y roedores. En conjunto, el creciente desarrollo de estos sistemas debe ser considerado como un sistema que provoque precocidad, altos rendimientos, mejore la calidad, y reduzca el uso de agroquímicos en algunos los casos.

Los túneles altos tienen la versatilidad suficiente para ser útiles en una amplia diversidad de cultivos con los diferentes sistemas de cosecha como son: hortalizas, frutas pequeñas, flores e incluso algunos árboles pueden tener un buen desarrollo bajo este sistema logrando mejores oportunidades de comercialización y/o mercadeo.

Por otro lado los túneles bajos son una técnica bastante prometedora en nuestro país, ya que su costo se puede amortizar en el primer año de producción, por ser bastante económico, además de que son fáciles de instalar por su estructura tan sencilla, pero que lo hace muy efectivo, ya que le brinda a nuestros cultivos ventajas como ser mas precoces, control de plagas y

enfermedades, productos de mejor calidad, etc., mas sin embargo no hay que olvidar que cada especie y cultivo tiene sus propios requerimientos, climáticos, por lo tanto es necesario que al hacer usos de estas técnicas de semiforzado, es necesario realizar algunos ensayos para darnos cuenta de las necesidades que puedan presentar algunos cultivos y de esta manera obtener buenos resultados

En fin el empleo de estas técnicas consideradas de bajo costo ofrecen ventajas a nuestro cultivo, al bríndales protección contra diversos factores adversos, pero no hay que olvidar que a nosotros como personas también nos beneficia al tener mayores ingresos y sin olvidar que al momento de la cosecha esta se puede realizar aun cuando en el exterior se encuentre lloviendo o las temperaturas sean demasiado bajas.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se puede concluir que al usar técnicas de semiforzado de cultivos (macro y microtúnel) para la protección de los cultivos como melón, sandía, calabacita, tomate, pepino, pimiento, berenjena, fresa, entre otros, se pueden obtener grandes beneficios a favor de cualquier productor ya sea pequeño o grande, además de que la adquisición e implementación de estas tecnologías son de bajo costo, pudiendo recuperarse la inversión de la(s) estructura(s), en el primer año de producción, no obstante, es necesario tener un cierto grado de conocimiento acerca del empleo de estas técnicas, o bien si se cuenta con suficiente capital sería apropiado contratar alguna persona experta en el área, ya que lo que siempre se busca en cualquier empresa es el éxito, el cual dependerá de la capacidad de la persona responsable.

Se recomiendan estas técnicas a las personas interesadas que pretendan iniciarse como productores de hortalizas, frutas, y flores, y que no cuentan con los recursos económicos necesarios para adquirir tecnologías mas avanzadas. Además de que estas técnicas son un buen comienzo sobre todo para aquellas personas inexpertas en el área, ya que esto les permitiría entrenarse y adquirir los conocimientos necesarios que les serian de gran utilidad si es que

después de esto, piensan adquirir tecnologías más modernas o sistemas más completos de producción.

También para todos aquellos estudiantes del área de agronomía les es de gran ayuda en su formación, como profesionistas, ya que en la actualidad las producciones extensivas se han vuelto en la mayoría obsoletas y la horticultura protegida de cultivos hortícolas en la actualidad ha ido ganando terreno en nuestro país.

El costo que puede implicar el utilizar acolchado mas túneles ya sea macro o micro, tiene que ser puesto a prueba por los productores hortícolas y es recomendable hacerlo, antes de iniciar un proceso de comercialización con dichos materiales.

VI. NOMENCLATURA

Símbolo	Unidad	Valor
°C	Grados centígrados	Unidad de temperatura
°F	Grados Fahrenheit	Unidad de temperatura
m	metros	Unidad de longitud
m²	Metros cuadrados	Unidad de longitud
cm.	Centímetros	Unidad de longitud
mm.	Milímetros	Unidad de longitud
μ	Micras	Unidad de longitud
g	Gramos	Unidad de longitud
" ó Pulg.	Pulgadas	Unidad de longitud

Abreviaturas Utilizadas

PE	Polietileno	Material plástico
PVC	Policloruro de vinilo	Material plástico
IR	Radiación infrarroja	Medida de longitud

VII. REFERENCIAS

- Butler, R. B. and Roos, S. D. (2004). Extending the Production Season for Vegetables and Small Fruit. Maryland Cooperative Extension. University of Maryland College Park Eastern Shore.
- Benoit, F., y Ceustermans, N. 1993. Cultivo Ecológico de Vegetales Utilizando Materiales Plásticos. Hort. Abs. Vol. 6. (1865).
- Baudoin, O. W. 2002. El Cultivo Protegido en Clima Mediterráneo. Manual preparado por el Grupo de Cultivos Hortícolas. Dirección de Producción y Protección Vegetal.
- Butler, R. B. and Roos, S. D. (2004). Extending the Production Season for Vegetables and Small Fruit. Maryland Cooperative Extension. University of Maryland College Park Eastern Shore.
- Daza H., G., R. Trejo C. y J. Martínez S. 2001. Producción de melón (*Cucumis melo* L.) Bajo Acolchado y Microtúneles en la Comarca Lagunera. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas 2(1): 43-47.
- De la Cruz Tun D., Santamaría B. F. y Avilés B. W. 2004. Efecto del Sombreo Sobre el Comportamiento de Chile (*capsicum annum* l.) en Suelos Pedregosos de Yucatán.
- El-Aidy, F. 1982. First Steps on the Utilisation of Plastics Tunnels for Vegetable Crops Production in Northern Delta. Plasticulture, nº 53.
- Flores V. J. 2005. Apuntes del Curso: "Semiforzado de Cultivos". De la Especialidad de Agroplasticultura del Centro de Investigación en Química Aplicada. Trimestre Abril-Junio, 2005. Saltillo, Coah.
- Fernández T. S. 1984. Petroquímica y Agricultura: Situación actual en el CIQA y perspectivas en el país. Revista Desierto y Ciencia. Publicación del Centro de Investigación en Química Aplicada. Año VI, Número 5. pp. 6-7. Saltillo, Coahuila, México.
- Hernández D. J., Robledo T. V., Benavides M. A y Flores V. J. 2002. Producción de Trasplantes de Brócoli (*Brassica oleracea* var. Itallica L.) con Cubiertas Foto Selectivas. Rev Agrofaz. Vol. 2 No. 1
- Ibarra J. L., G. Rodríguez, J. Hernández, J. Flores, A. González, A. Rodríguez, J. Munguía y V. Castellano. 1984. Plasticultura: Situación actual en el CIQA y perspectivas en el país. Revista Desierto y Ciencia. Publicación del Centro de Investigación en

- Química Aplicada. Año VI, Número 5/Diciembre, pp 15-22. Saltillo, Coahuila, México.
- Ibarra, J. L., Fernandez, B. M. F., Rodriguez, H. S. A., Reyes, L. A., Díaz, P. J. C., Hernández, M. J. L. y Farias, L. J. 2000. Influence of Soil Mulch and Row Covers in the Microclimate and Yield of Bell Pepper and Muskmelon. *Rev. Fitotec. Méx.* Vol. 1-15.
- Ibarra, J. L. y Flores, V. J. 1997. Acolchado Plástico, Cubiertas Flotantes y Desarrollo y Rendimiento de Sandía y Calabacita Agrociencia. Colegio de Posgraduados. Volumen 31. Numero 1.
- Ibarra J. L y de la Rosa Ibarra 2004. Comparación Entre Microtúneles con Cubiertas de Polietileno y Polipropileno en Pepino y Pimiento con Acolchado Plástico. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 10 (2): 133-139.
- Ibarra J. L y Flores V., J. 2001. Determinación del Periodo Optimo de Cubierta flotante de Zanahoria. Centro de Investigación en Química Aplicada. Pp. 1-8.
- Ibarra, J. L., Fernández B. J. M., Rodríguez H. S. A., Reyes L. A., Días P. J. C., Hernández M. J. L., Farias L. J. 2000. Influencia del Acolchado y Microtúnel en el Microclima y Rendimiento de Pimiento Morrón y Melón. *Rev. Fitotec. Méx.* 1-15.
- Jouet, J. P. 2004. Diversificación en las aplicaciones de los plásticos en agricultura. CEPLA (Comité internacional y español de plásticos en agricultura). *Plasticulture –Nº. 123.*
- Khan, C. A., Stevens, A. Wilson, E. Brown, J. Collins, Y. Lu and G. Rhoden. 1994. Walk-in-Tunnels as an Alternative Method of Extending the Growing Season for Small Scale Vegetable Producers in Alabama. 25th National Agricultural Plastics Congress. American Society for Plasticulture. pp 117-121.
- Lamont Jr., W.J. 2000a. Latest Techniques with High Tunnels. Department of Horticulture. The Pennsylvania State University.
- Lamont Jr., W.J. 2000b. High Tunnel Production of Lettuce Using Paper Mulch, Bare Ground and Earth Boxes. Department of Horticulture. The Pennsylvania State University.
- Lamont Jr., W.J. 2000c. High Tunnel Tomato Variety. Department of Horticulture. The Pennsylvania State University. University.
- Lamont Jr., W.J. 2000d. High Tunnel Production of Cucumber on Raised Beds. Department of Horticulture. The Pennsylvania State University.

- Lamont Jr., W.J. 2000e. High Tunnel Garlic Variety Study. Department of Horticulture. The Pennsylvania State University.
- Martínez C., J. 2004. Producción de Hortalizas en Almería. II Simposio Internacional de Invernaderos Fundación UANL y Facultad De Agronomía, UANL. 20 y 21 de Mayo.
- Martínez Saldaña, J. y C. Ma. M. Villa.1982. Plásticos en la Agricultura, Acolchados y Túneles PRONAPA, Gómez Palacio Durango, México.
- Muñoz R., J.J., Castellanos R., J.Z. 2005. Horticultura Protegida, Antecedentes y Perspectivas de Desarrollo en México y el Sistema Agrícola Almeriense.
- Manual de Viveros para la Producción de Especies Forestales en Contenedor. Vol. I. Planeación, Establecimiento y Manejo del Vivero. Capítulo III. Diseño del Vivero e Instalaciones para el Cultivo.
- Misle A. E. 1999. Horticultura: Macrotúnel Guaico, Guía Para su Construcción
- Natwick, E. T., A. Durazo and F. F. Laemmlen. 1988. Row Cover for Insect and Virus Diseases Protection in Desert Agriculture. Proc. 20th National Agricultural Plastic Congreso. Pórtland, Oregon. pp: 159-169.
- Plastiscope. The Official Journal of the Organization of Plastics Processors of India. November-December 2003. The 16th World Congress on Plastics in Agriculture.
- Quero, E y J. Hernández Dávila. 1984. Manual de Agroplásticos. Vol. II. Uso y Construcción de Túneles para la Agricultura. Centro de Investigación en Química Aplicada. Saltillo, Coahuila. 5 p.
- Razo R. A. 1992. Comportamiento de Dos Variedades de Chile (*Capsicum annum* L.) Bajo Microtúneles en Abasolo, Guanajuato México. Tesis Profesional. Dpto. de Fitotecnia. UACH. Chapingo México.
- Rodríguez, A. e Ibarra, J. 1991. Semiforzado de Cultivos Mediante el Uso de Plásticos. Editorial Limusa.
- Splittstoesser, W. F. and Brown, J. E. 1991. Current Changes in Plasticulture for Crop Production. 23rd National Agricultural plastics Congress. Mobile, Alabama, pp 241-251.
- Sánchez, C. F., Contreras, M. E., Peña L, A., Moreno, P. E., Pineda, P. J., Miranda V. I., Bastida, T. A., Salazar, R., López, C. I., Rojano A. A., Montalvo, H. D., y Magaña

- L. N. 2005. Diplomado Internacional en Horticultura Protegida. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Fitotecnia.
- Sandoval V., M. 2005. Producción de Tomate y Pimiento en Invernadero. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, México.
- Schrader L. W., Aguiar L. J. and Mayberry S. K. 2002. Cucumber Production in California. ANR Publication 8050. Agricultura and Natural Resources.
- Terrones de la Torre, M. I. 1985. Uso de los Túneles con y sin Acolchado Plástico en la Producción de Melón, Calabacita, Tomate y Chile. Tesis Profesional. ITA No. 10. Torreón, Coahuila. México. 120 p.
- Vargas G., O. 1999. El acolchado Y las Cubiertas Flotantes en la Fisiología y Rendimiento del Pepino (Cucumis sativus L.). Tesis de Licenciatura. UAAAN. pp 41.

Copérnico en *De revolutionibus* y Aristóteles en *De animalibus* recogían la misma idea:

“LA TIERRA CONCIBE POR EL SOL Y DE ÉL QUEDA PREÑADA, DANDO A LUZ TODOS LOS AÑOS”

Esta visión organicista del mundo la describe Platón en su *Timeo*.