

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA**  
**“ANTONIO NARRO”**  
**DIVISION DE AGRONOMIA**



**Evaluación de las Propiedades Ópticas y Mecánicas de  
Diferentes Cubiertas Plásticas para Invernadero**

**Por:**

**ALBERTO PALMA PÉREZ**

**Tesis:**

**Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de:**

**INGENIERO AGRONOMO EN HORTICULTURA**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Abril 2009.**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
"ANTONIO NARRO"**

**DIVISION DE AGRONOMIA**

**DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA**

**Evaluación de las Propiedades Ópticas y Mecánicas de  
Diferentes Cubiertas Plásticas para Invernadero**

**Por:**

**ALBERTO PALMA PÉREZ**

**TESIS**

**Que se somete a la consideración del H. jurado examinador como  
requisito parcial para obtener el Título de:**

**INGENIERO AGRONOMO EN HORTICULTURA**

**APROBADA POR:**

**EL PRESIDENTE DEL JURADO**

  
Dr. Juan José Galván Luna

**ASESOR**

  
MC. Boanerges Cedeño Rubalcava

**ASESOR**

  
Dr. Valentín Robledo Torres

**ASESOR**

  
Dr. Luis Alonso Valdéz Aguilar

**Coordinador de la División de Agronomía**

  
Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo  
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México Abril, 2009

  
División de Agronomía  
Coordinación.

## **AGRADECIMIENTOS**

*Le agradezco a Dios infinitamente, por darme salud, por ayudarme en los momentos difíciles de mi formación académica; gracias Señor por ayudarme a llegar a la Meta.*

*A mi “Alma Mater”, la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” por abrirme sus puertas y darme un espacio en sus aulas, para ser un profesionista.*

*Con respeto y cariño al departamento de Horticultura; así como a todos los maestros que participaron en mi formación académica.*

*Al personal que labora ahí, en especial a Manuel Cerda Ramírez, a sí como a la secretaria de horticultura Kenia Zapata Mata.*

*Al Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) por darme la oportunidad de realizar el presente trabajo de investigación.*

*En especial al departamento de Agroplasticultura, por la ayuda y facilidad de los materiales que se me brindaron para la realización del trabajo.*

*A la M.c. Juanita Flores Velázquez. Por su valiosa ayuda en la medición de área foliar.*

*Al M.c. Eduardo Treviño López, Al Ing. Felipe Hernández Castillo, por su apoyo en el establecimiento del experimento, colocación de túneles y manejo del equipo de Fertirriego.*

*A los señores Jacobo Prado Morales, Gregorio Puente Betancur, Arturo Torres Camarillo. Por su apoyo en el armado de túneles, escardas.*

*Al CONACYT, Al Fondo de Innovación Tecnológica y a Industrias de Culiacán S.A de C.V. por la ayuda económica que me brindaron para la realización del presente trabajo de investigación.*

*A mis asesores:*

*Dr. Juan José Galván Luna. Gracias por brindarme su amistad desinteresadamente, por apoyarme en la revisión del presente trabajo.*

*Mc. Boanerges Cedeño Rubalcava. Por su ayuda en la planeación y ejecución del trabajo, así como en la revisión de este mismo.*

*Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar. Por su valiosa ayuda en lo estadístico, revisión del trabajo y comentarios acertados para mejorar el presente.*

*Dr. Valentín Robledo Torres. Por su ayuda en la revisión del trabajo.*

*Al Dr. Víctor Reyes Salas por todo su apoyo.*

*A todos mis compañeros de la generación CVI, en especial a mis Amigos Ing. Erick Cortés Onofre, Rey Pérez Mejía, Tariacurí Ramírez Hernández, Argelia Torres Urbano, José Nicanor Solano Suarez, Pedro Cesar José Barriga, Beyki D. Pérez, Jairo Vázquez Lee, Fernando, Alicia Tolentino.*

*A mi amigo Don Francisco de la biblioteca.*

## **DEDICATORIA**

*Con mucho respeto admiración y cariño a mi tía Rosalina Palma Cortés, no tengo palabras para agradecerte tu apoyo incondicional en mi formación, además de que me has enseñado que trabajando se sale adelante, gracias te quiero mucho.*

*A mi papá Francisco Palma Cortés, de quien he aprendido a trabajar, a ser honesto y responsable.*

*A mi tía Carmen Palma Cortés, por que tú siempre has sido como una mamá para mí, por tus consejos y mucho cariño que me has dado.*

*A mi mamá Galdina Pérez Tovar, gracias por tus consejos por tu apoyo moral, por tus palabras de aliento te quiero mucho.*

*Quiero compartir esta satisfacción tan grande con mis hermanos, a quienes les reitero mi cariño y todo mi apoyo incondicional. Héctor, Silvestre, Hilarío y Alma Rosa.*

*A mi novia Catherine Paz Cortés por tu Amor y Cariño por que siempre hemos luchado juntos por nuestro sueño hoy hecho realidad.*

*Al Arq. José Luis Gómez Hidalgo por sus consejos, amistad y todo su apoyo.*

<b>INDICE DE CONTENIDO</b>	<b>Pag.</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>iii</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>vi</b>
<b>INDICE DE CONTENIDO.....</b>	<b>vii</b>
<b>INDICE DE CUADROS.....</b>	<b>ix</b>
<b>INDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>x</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xi</b>
<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
<b>Objetivo.....</b>	<b>3</b>
<b>Hipótesis.....</b>	<b>3</b>
<b>REVISION DE LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
<b>Aplicación de los Plásticos en la Agricultura.....</b>	<b>5</b>
<b>Características Deseables en un Material de Cubierta.....</b>	<b>8</b>
<b>Propiedades Ópticas de los Plásticos Utilizados en la Agricultura...</b>	<b>9</b>
<b>Transparencia.....</b>	<b>9</b>
<b>Opacidad de las Radiaciones Nocturnas.....</b>	<b>9</b>
<b>Transmisión de la Radiación por Cubiertas Plásticas.....</b>	<b>11</b>
<b>Luminosidad por Cubiertas Plásticas.....</b>	<b>14</b>
<b>Propiedades Físicas de los Plásticos.....</b>	<b>16</b>
<b>Ligereza.....</b>	<b>16</b>
<b>Flexibilidad.....</b>	<b>16</b>
<b>Estanqueidad.....</b>	<b>16</b>
<b>Duración.....</b>	<b>17</b>
<b>Efecto de los Materiales Plásticos sobre la Temperatura.....</b>	<b>18</b>
<b>Efecto sobre la Humedad .....</b>	<b>19</b>
<b>Viento.....</b>	<b>19</b>
<b>Intensidad de la Radiación y Temperatura del Aire.....</b>	<b>20</b>
<b>MATERIALES Y METODOS.....</b>	<b>21</b>
<b>Localización Geográfica.....</b>	<b>21</b>
<b>Clima.....</b>	<b>21</b>
<b>Suelo.....</b>	<b>21</b>

Agua.....	22
<b>Establecimiento del Experimento.....</b>	<b>22</b>
Siembra.....	22
Preparación del Terreno.....	22
Marcado del Terreno.....	23
Acolchado y Colocación de Cintilla.....	23
Material Vegetal.....	23
Preparación de Microtúneles.....	23
Variables a Evaluar.....	26
<b>RESULTADOS Y DISCUSION.....</b>	<b>29</b>
Resistencia a Punción.....	29
Radiación Difusa.....	30
Radiación UV.....	31
Radiación PAR.....	33
Temperatura.....	34
Temperatura, Difusa y NIR.....	36
Temperatura y NIR.....	37
Temperatura y LIR.....	38
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>40</b>
<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>41</b>
<b>APENDICE.....</b>	<b>45</b>

<b>INDICE DE CUADROS</b>	<b>Pag.</b>
<b>Cuadro 4. 1.</b> Análisis de varianza para resistencia a punción.....	29
<b>Cuadro A. 1.</b> Comparación de promedios para las cubiertas de acuerdo a la prueba de Tukey ( $P < .05$ ) en función a la resistencia a punción.....	46
<b>Cuadro A. 2.</b> Comparación entre Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), Difusa (%) y NI R (%)...	47
<b>Cuadro A. 3.</b> Comparación entre Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) y NIR (%).....	48
<b>Cuadro A. 4.</b> Comparación de Temperatura 6:00 am y LIR (%).....	49

<b>INDICE DE FIGURAS</b>	<b>Pag.</b>
<b>Figura 3.1</b> Distribución de Microtúneles.....	28
<b>Figura 4.1</b> Resistencia a punción de las diferentes cubiertas plásticas.....	29
<b>Figura 4.2</b> Porcentajes de la radiación difusa que dejan pasar las 22 cubiertas.....	31
<b>Figura 4.3</b> Paso de la radiación UV para las 22 cubiertas.....	33
<b>Figura 4.4</b> Radiación PAR para las 22 cubiertas.....	34
<b>Figura 4.5</b> Temperatura del para las 22 cubiertas.....	36
<b>Figura 4.6</b> Comparación de Temperatura, Difusa y NIR.....	37
<b>Figura 4.7</b> Comparación entre Temperatura (°C) y NIR (%)......	38
<b>Figura 4.8</b> Comparación entre Temperatura 6:00 am y LIR (%)......	39

## RESUMEN

Los plásticos son los principales protagonistas del nuevo escenario agrícola. Se utilizan como cubiertas para invernaderos y pequeños túneles, películas para acolchado, mallas de sombreo, bolsas para cultivos hidropónicos, tuberías de riego por goteo, laminas de impermeabilización etc. El formular cubiertas que modifiquen variables ha sido uno de los desafíos en el desarrollo de cubiertas para invernadero, la formulación debe ayudar a aprovechar la energía incidente y mantener las propiedades mecánicas de las cubiertas. El presente trabajo se desarrollo en el campo experimental del centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), en Saltillo Coah. Instalando con 22 cubiertas plásticas, todas varían en cuanto a su composición química. Utilizándose sensores como equipo auxiliar para el monitoreo de las temperaturas internas como externas. Como resultados obtenidos se concluye que las cubiertas destacaron en diferentes variables IC 3 destacó en resistencia a punción, la cubierta IC 10 como la mejor en cuanto a el paso de Radiación Difusa, IC 11 la mejor en cuanto al bloqueo de paso de la Radiación UV, IC 8 como la cubierta que deja pasar mayor porcentaje de Radiación PAR, IC 12 esta sobresale al elevar la temperatura, mientras que las cubiertas IC 15 e IC 16 son las que mejor cantidad de radiación LIR dejan pasar durante el día. En cuanto al bloqueo de radiación NIR ninguna de las 22 cubiertas es refrescante al no bloquear dicha radiación por debajo del 70%.

**Palabras clave: Cubiertas, Películas, Resistencia a Punción, Radiación Difusa, UV, PAR, Temperatura, NIR, LIR.**

## **INTRODUCCION**

Los plásticos son los principales protagonistas del nuevo escenario agrícola. Se utilizan como cubiertas para invernaderos y pequeños túneles, películas para acolchado, mallas de sombreo, bolsas para cultivos hidropónicos, tuberías de riego por goteo, laminas de impermeabilización en embalses, etc. En definitiva son los principales responsables de la evolución y la extensión geográfica de la agricultura intensiva (Farías, et. al., 1999).

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), estima que se cultivan anualmente 52 millones de hectáreas de hortalizas, donde se considera que el 22% (12 millones de hectáreas) está relacionado con la agricultura protegida, y de estas el 10% (1.2 millones de hectáreas) lo constituyen estructuras permanentes o invernaderos. Del total de estas casi un millón de hectáreas, corresponde a China, Egipto, India, y otros países de Asia y de Oriente Medio, el resto se encuentran repartidas principalmente en Australia, Canadá, Corea del Sur, España, Estados Unidos, Francia, Israel, Italia, Japón, México, Nueva Zelanda, y los países bajos (De Santiago 2008).

En México existen más de 6,000 hectáreas de invernadero en operación y 1700 has en construcción, además, existen entre 2,000 y 3,000 has de túneles, cubiertas de plástico y casas de malla sombra, donde se produce tomate, pepino, chile, pimiento, plantas ornamentales y flores principalmente.

Los estados con mayor superficie de producción de hortalizas protegidas son Sinaloa, Baja California, Jalisco y Sonora con más del 80% (SAGARPA, 2007).

La tecnología de producción en invernaderos permite una explotación eficiente de los cultivos ya que permite modificar las condiciones del clima, además hace posible utilizar suelos nunca antes aprovechados. Sin embargo, la diversidad de climas y los requerimientos específicos de cada cultivo, hacen necesario que todas las variables sean consideradas para lograr el mejor diseño de un invernadero, sin tener que hacer fuertes inversiones de recursos. Por lo tanto, el mejor invernadero será aquel que proporcione las mejores condiciones para lograr el objetivo para el cual fue diseñado, que puede ser, producción, conservación de recursos genéticos o investigación, entre otros (Robledo, 2003).

El ambiente “espontaneo” creado por los invernaderos raramente está acorde con los requerimientos fisiológicos de las plantas. Así que la intervención del hombre por medio de equipos auxiliares y fuentes de energía artificial es suministrada para crear condiciones ambientales adecuadas, esta intervención es necesaria para suplementar la energía que es usada para compensar un abastecimiento insuficiente de la energía natural en invierno o para remover la energía excesiva que entra al invernadero en verano. Este segundo caso es el peor en términos de eficiencia de energía ya que la energía artificial es utilizada para desechar algo de la energía natural (Baille, 1999).

El uso de energías externas puede verse reducido, si logramos aprovechar las condiciones que genera el uso de cubiertas plásticas con

características especiales, que permitan el paso de rangos de radiación como la radiación fotosintéticamente activa PAR (400-700nm), difusa, infrarroja lejano (LIR), infrarroja cercano (NIR) así como la radiación ultravioleta (UV), cada uno de estos factores bien manejados puede influir directamente en el aprovechamiento de la energía dentro de los invernaderos. El formular cubiertas que modifiquen este tipo de variables, ha sido uno de los desafíos en el desarrollo de cubiertas para invernadero, la formulación debe ayudar a aprovechar la energía incidente y mantener las propiedades mecánicas de las cubiertas. El presente trabajo pretende evaluar algunas propiedades ópticas y mecánicas de veintidós cubiertas con los siguientes objetivos.

## **Objetivo**

- Evaluar la propiedad física de punción, temperatura, y las propiedades ópticas de radiación en 22 cubiertas para invernadero en condiciones de .

## **Hipótesis**

- Al menos una de las cubiertas presentará mejores propiedades respecto a las otras, en resistencia a punción, temperatura y propiedades ópticas.

## REVISION DE LITERATURA

Un invernadero es considerado como un recolector “físico” de la radiación solar, que a su vez tiene colectores “biológicos” pequeños (las hojas de las plantas), el primero debe crear las condiciones más apropiadas para el buen desempeño del segundo (Baille, 1999). Para ello, a fin de aumentar la transmisibilidad de la radiación, se han evaluado diferentes estructuras con el objetivo de aumentar la radiación solar incidente dentro del invernadero en latitudes medias, principalmente en otoño e invierno (cuenca del mediterráneo). De tal manera que el mejor diseño debe guardar un equilibrio entre el objetivo anterior y los costos mínimos de construcción y manejo, que generen el máximo beneficio al horticultor (Castilla, 2003; Castilla et al., 2000).

Aún cuando la producción de hortalizas se realiza bajo condiciones protegidas, esta presenta problemas de diversa índole como plagas y enfermedades, además de desordenes fisiológicos. Además las oscilaciones extremas de frío y calor así como los excesos de humedad son las variables a tener en cuenta (Muñoz y Castellanos, 2003).

## **Aplicación de los Plásticos en la Agricultura**

Robledo y Martin (1981) mencionan que las aplicaciones más importantes que tienen los plásticos en la agricultura son:

- El acolchado del suelo
- Microtúneles
- Invernaderos
- Mallas
- Riego por goteo
- Cubiertas flotantes

En algunas zonas de México como en otros países, el uso de los plásticos en la agricultura aplicados en diversas formas (invernaderos, macro y microtúneles, etc.) proporcionan condiciones más adecuadas para el desarrollo de los cultivos, obteniéndose mayor cantidad y calidad de productos (Ibarra, 1997).

Los microtúneles, junto con el acolchado son las dos técnicas más tradicionales de forzado de cultivos, las láminas de plástico flexible de polietileno o copolimero EVA principalmente, por su ligereza y flexibilidad se adaptan perfectamente a estructuras semicirculares y sencillas, que producen el efecto invernadero deseado en los cultivos de bajo porte. La insolación incrementa la temperatura y la humedad bajo éstas pequeñas estructuras y mejora el microclima (Papaseit, et al. 1997).

La temperatura es la expresión cuantitativa que indica la intensidad o cantidad de calor que tiene un cuerpo, por lo tanto la temperatura es la medida

del calor. El calor es una forma de energía resultado del estado de agitación de las moléculas o partículas de la materia. Como energía, la luz que llega al interior de los invernaderos se transforma en calor aumentando la temperatura por arriba de la que existe en el exterior, con ello se propician condiciones micro climáticas particulares (Bastida y Ramírez, 2002).

La temperatura ejerce una gran influencia sobre el crecimiento y el metabolismo de las plantas, no hay tejido o proceso fisiológico que no este influenciado por ella. La mayoría de las plantas sólo pueden vivir dentro de un rango de temperatura bastante estrecha, que va de 0 a 50 °C. Aunque algunas especies puedan sobrevivir a temperaturas extremas muy bajas o muy altas. Sin embargo, el desarrollo y crecimiento de la mayoría de los cultivos agrícolas ocurre dentro de un rango de temperaturas óptimas, que oscila entre los 10 y los 35°C (Alpi y Tognoni, 1999).

La protección de cultivos con microtúneles de plástico produce efectos ventajosos para los cultivos por la protección que les da durante las horas más frías del día. La eficiencia de esta aplicación radica en el pequeño efecto invernadero que produce el .

Las ventajas que aportan son:

- Permite conseguir frutos fuera de la época normal de producción.
- Protege las cosechas del frío, heladas, etc.
- Permite un aprovechamiento mayor de los abonos.
- Mantiene el terreno con una buena temperatura, lo cual facilita un mayor desarrollo de la parte radicular de la planta.

- Permite obtener cosechas precoces y de gran calidad.
- Aumenta considerablemente los rendimientos de las cosechas.

Todas las ventajas y logros se obtienen debido a las características de los plásticos utilizados, que son:

- Resistencia a los agroquímicos.
- Resistencia a altas temperaturas.
- Facilidad de adaptación y colocación rápida.
- Transparencia y aislamiento térmico.
- Ligereza.

(Robledo y Martín, 1981).

Con el crecimiento de la superficie cubierta por plásticos aumenta el interés por conocer más sobre las interacciones del plástico con las plantas. Se estudia el efecto de la radiación sobre los cultivos y se comienza a investigar con nuevos compuestos que actúan sobre diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético. Se comienza investigando a finales de los sesenta y principios de los setenta con los efectos de las modificaciones en la radiación visible, longitudes responsables de la fotosíntesis y fototropismo de las plantas. Paralelamente surgen estudios fotométricos que trabajan con las radiaciones para controlar el microclima dentro del invernadero. El resultado principal de estos estudios se traduce en la consecución de las películas térmicas que ayudan a mantener la temperatura nocturna dentro del invernadero funcionando como pantallas a las radiaciones infrarrojas emitidas por la suelo (Farías, et. al., 1999).

## **Características Deseables en un Material de Cubierta**

Los materiales fotoselectivos levantaron muy pronto una especie de entusiasmo empezando por la acción de la luz verde a partir de los años 60, por ir hasta el control de ciertos patógenos de los invernaderos en los años 90, en estos últimos años se han desarrollado otras formulas foto cromáticas a fin de intensificar la fotosíntesis (Garnaud, 2000).

Los aspectos a considerar para elegir un material de cubierta para invernadero, son sus propiedades fotométricas, es decir, el modo en que se comportan con las radiaciones, y sus propiedades térmicas, o sea su capacidad de aislamiento. Hay tres factores de importancia, la transmisión, la reflexión y la absorción, que definen como responde cada material a las radiaciones que recibe.

Las radiaciones que inciden sobre la cubierta de un invernadero son de varios tipos: ultravioleta, visible, fotosintética, infrarroja corta, infrarroja larga o calórica. Los cuatro primeros tipos forman parte de la radiación solar, y el último es la radiación térmica que emite un cuerpo caliente, como por ejemplo el suelo del invernadero después de absorber calor durante el día, la propia estructura metálica y las plantas.

Respecto a las propiedades, hay dos factores interesantes que suelen asociarse a los materiales, por un lado el coeficiente global de pérdidas de calor, representado por K, y que expresa las pérdidas debidas a radiación IR larga y también las de conducción y convección. Cuanto menor sea este coeficiente, mayor será el poder de acumulación del calor de material. Según

sean estas propiedades, los materiales plásticos se acercan más o menos a las características óptimas para su empleo en horticultura (Florián, 2002).

## **Propiedades Ópticas de los Plásticos Utilizados en la Agricultura**

### **Transparencia**

Consiste en dejar pasar a través del plástico la mayor cantidad posible de luz. La transparencia está en función de tres factores importantes.

1.- Poder absorbente para la luz.

El material absorbe un porcentaje mayor o menor de radiaciones.

2.- Poder de reflexión.

Rayos que no atraviesan el plástico porque se reflejan hacia el exterior, según el ángulo de incidencia y la propiedad reflejante del material de que se trate.

3. Poder de difusión.

Las radiaciones se difunden al pasar a través del material y como consecuencia, se reparte mejor la luz (Serrano, 1990).

### **Opacidad a las Radiaciones Nocturnas**

Consiste en no dejar pasar hacia el exterior, durante la noche, el calor emitido por las plantas y el suelo (radiaciones de onda larga). La propiedad que tienen algunas láminas de plástico de ser relativamente opacas a las radiaciones infrarrojas de larga longitud de onda, es que disminuyen o eliminan

la inversión térmica y mejoran el efecto de abrigo, conociéndoseles por su efecto termoaislante.

El espesor de las láminas de plástico tiene gran influencia en el efecto térmico de las radiaciones de longitud de onda larga, disminuyendo considerablemente a medida que se reduce el espesor. Una lamina de plástico es térmica cuando deja escapar menos de un 20 % de la radiaciones de longitud de onda larga (Serrano, 1990).

En referencia al espesor de los plásticos, menciona que el mejor efecto de abrigo se obtiene al usar materiales de mayor grosor, ya que estos son más impermeables al paso de las radiaciones (Infrarrojas) emitidas por el suelo. Esto permite que el suelo y el volumen del aire no se enfríen rápidamente, por lo que existe mayor protección contra bajas temperaturas exteriores. La pérdida de energía emitida por el suelo también es atenuada por las condiciones de agua formadas en la cara interna del plástico y por los aditivos que contienen algunas películas (Piña, 1991)

Es bien conocido que la luz interviene en el desarrollo general de las plantas mediante el fenómeno de la fotosíntesis. En el desarrollo de la clorofila son imprescindibles las radiaciones de 600 a 690 nm (rojo-naranja); la radiación de 430 a 500 nm (azul - violeta) actúa como medio activador y las radiaciones infrarrojas (I.R) superiores a 760 nm aportan el calor necesario (Robledo y Martín, 1981).

La luminosidad tiene una importancia decisiva en todos los procesos vitales de los vegetales, algunas de las funciones más importantes en el desarrollo de las plantas se debe a la energía luminosa; así tenemos que la luz,

además de intervenir en la fotosíntesis, interviene en el fotoperiodismo, fototropismo, crecimiento de los tejidos, floración, etc. (Hernández, 1992).

Robledo y Martín (1981) mencionan que el material ideal como cubierta para invernaderos y túneles, debe dejar pasar las radiaciones comprendidas entre 300 a 3000 nm y ser opaco a las radiaciones de mayor longitud de onda, que corresponde a la radiación infrarroja emitida por el suelo y las plantas; sin embargo, en aplicaciones de acolchado es bueno que los filmes tengan una cierta permeabilidad a las radiaciones emitidas por el suelo y plantas, con el objeto de aportar calor a la parte aérea de éstas durante la noche.

### **Transmisión de la Radiación por Cubiertas Plásticas**

La cubierta influye tanto en el balance energético del invernadero como en la actividad fotosintética del cultivo. El material de cobertura provoca una reducción en la intensidad de la radiación y una modificación en la distribución espectral, esta reducción depende principalmente del material utilizado como cobertura y también de los materiales utilizados en la estructura. El material de recubrimiento tiene que favorecer la entrada de la radiación solar incidente y al mismo tiempo limitar, especialmente en horas nocturnas la pérdida de energía acumulada. Por ello es importante establecer para cada material, la transparencia a la radiación fotosintéticamente activa y al infrarrojo, así como poder inferir su comportamiento a lo largo del tiempo, al ser expuesto a las condiciones ambientales características del lugar y del manejo del cultivo (Alpi y Tognoni, 1999).

El material de cubierta del invernadero modifica la cantidad y calidad de la radiación e influye sobre el balance de energía; por lo tanto, influye en el microclima que se genera en el interior y con ello en la respuesta de los cultivos. Los procesos fisiológicos de las plantas son influenciados por la longitud de onda comprendida entre 3000 - 1000 nm, rango que incluye a la radiación ultravioleta (UV), fotosintéticamente activa (PAR), e infrarroja (IR) (Alpi y Tognoni, 1991).

Para garantizar un buen crecimiento de los cultivos se debe dejar pasar la mayor parte de la luz PAR, pero al mismo tiempo deben mantenerse otras condiciones micro climáticas, como una temperatura apropiada (que se obtiene con el llamado “efecto invernadero”) y una concentración relativamente elevada de anhídrido carbónico. El efecto invernadero se consigue bloqueando la salida de la radiación infrarroja media (IRM ó MIR) y lejana (IRL ó FIR) de gran longitud de onda generada en horas nocturnas por la superficie de la tierra (Bernat. *et. al.*, 1987).

Estudios sobre la foto morfogénesis han mostrado la gran influencia que ejerce la calidad espectral de la radiación, sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas. La relación de los flujos de fotones rojo / rojo lejano (610 – 700 / 700 – 800 nm) actúa sobre un alargamiento de los tallos. En el rojo (610 – 700 nm) y azul (410 – 510) es donde se concentra la mayor radiación aprovechada en fotosíntesis o radiación PAR (radiación fotosintéticamente activa) (Cerny *et. al.*, 1999).

En la fertilización lumínica es importante aplicar cantidad y calidad de radiación solar, en especial la radiación del espectro visible de longitud de onda

entre 400 y 700 nanómetros (nm), donde ocurre la mejor respuesta fisiológica de las hojas para la asimilación de CO<sub>2</sub>, por lo que se le conoce como radiación fotosintéticamente activa (PAR por sus siglas en inglés). De la radiación PAR, en un día claro sin nubes, al medio día es posible recibir 2000μ mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> y se ha demostrado que fisiológicamente los cultivos de tomate y pepino se saturan a una radiación PAR por arriba de 1000μ mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, por lo que la radiación solar PAR máxima se aprovecha de 50-60%. Algunos cultivos, como la lechuga, se saturan a más de 350μ mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, por lo que se pueden cultivar con solo aplicar radiación artificial. Lo anterior permite considerar, de manera general, que los materiales empleados para la cubierta de invernaderos no deben ser totalmente transparentes a PAR. Por ello en las películas de polietileno se adicionan aditivos sólidos, de tamaño nanométrico, para generar taino (películas blancas) y minerales especiales de silicio o cuarzo (alta difusión de luz, impermeabilidad térmica) (Quero, 2008).

Las plantas absorben, transmiten y reflejan la radiación en diferentes proporciones para las distintas longitudes de onda. En el caso de la radiación PAR (400 - 700 nm) el espectro de absorción de la hoja es del 90 % de la radiación incidente, en tanto para el infrarrojo cercano (700 – 300 nm) transmite casi la totalidad de la radiación, para reducir el calor almacenado producido por las longitudes de onda que no se utilizan en la fotosíntesis. No obstante, en el infrarrojo lejano las hojas tienen la habilidad para absorber importantes cantidades y por lo tanto para eliminarlas facilitando la eliminación del exceso de calor.

La producción de materia seca de los cultivos esta directamente relacionada con la cantidad de la radiación interceptada por estos. De ahí, que la transmisibilidad del material de cubierta es una propiedad importante (Alpi y Tognoni, 1991).

La radiación ultra violeta (UV) es la principal responsable de la degradación de los filmes agrícolas durante su exposición a la intemperie, resultando la degradación del mismo y la pérdida de sus propiedades físicas y mecánicas (Bastida y Ramírez, 2002).

### **Luminosidad por Cubiertas Plásticas**

La luz es fundamental para la fotosíntesis, por lo tanto, cumple un papel determinante en el crecimiento y desarrollo vegetativo de las plántulas. Las plantas dependen de la energía solar para su proceso fotosintético y los plásticos deben tener las propiedades para permitir que les llegue la cantidad y calidad de luz que favorece la fotosíntesis. En consecuencia, los plásticos para invernaderos deben tener buena transmisión global de la luz visible, poder de difusión de la luz, para eliminar o reducir la proyección de sombras y antiadherencia al polvo. La administración de la luz mediante la tecnología del plástico contribuye de manera muy positiva en la sanidad vegetal, ya que con la aplicación de filtros fotoselectivos puede modificarse tanto la cantidad, como el rango de la luz solar, la calidad o la duración de la misma, provocando ambientes en los que se reduce de modo sustantivo la presencia de insectos y por ende la incidencia de virosis (Domínguez, 2005).

Al combinar diferentes ondas de transmisión se altera de manera importante el comportamiento de los insectos, cambiando la visión, la navegación, el aterrizaje o los patrones de alimentación de la mosquita blanca, los trips, algunos áfidos, ácaros y arañas (weiss, 1995; Armengol y Badiola, 1996; Espi *et al.*, 1997; Fueyo, 1997; De Santiago, 1998). En el mismo sentido, con películas absorbentes UV, reportan fuerte reducción en la población de plagas de insectos en invernadero (minadores, trips, mosca blanca) y por ende, la incidencia de enfermedades virales transmitidas por éstos; en comparación con películas plásticas, PVC y diferentes marcas de polietileno. (Antignus *et al.* 1996, Cerne *et al.* 1994), en papa evaluaron dos cubiertas de plástico: Tufbe11 S3000 y Agril P-17 y encontraron que se redujo la ocurrencia de virosis en 50%.

La fotoselectividad es empleada también en el control de patógenos bloqueando las longitudes de onda de radiaciones que favorecen la germinación de esporas. La cubierta ideal debe bloquear la radiación UV pero ser permeable a la radiación solar del resto de la banda hasta 3 000 nm, retener la energía calorífica generada por las radiaciones IR que emanan del suelo y de las plantas, eliminar los problemas que se derivan de la condensación; tener alta resistencia al rasgado y al envejecimiento, brindar buena transmisión global de la luz visible, permitir buena difusión para homogenizar la distribución de la luz, contar con propiedades fotoselectivas para bloquear la incidencia de algunos hongos, disponer de una capa de antiadherencia al polvo y que sea de larga duración entre otras características (Domínguez, 2005).

Entre las propiedades que destacan está, la ATD (Antitérmica Difusa) la permeabilidad selectiva de radiación del infrarrojo cercano de 1 500 a 2 500 nm;

esto permite que el calor del suelo, planta y materiales se libere al exterior, para que la temperatura del invernadero no se incremente. Por otro lado, ya que en el clima cálido se tiene alta radiación solar de longitud onda de 400 nm, del color azul se transforma en radiación 630 - 700 nm, activando el fitocromo (Pfr), e induciendo la productividad de los cultivos. Dada la mayor concentración de cuarzo nanométrico (activado) en la formulación de la película, tiene alta difusión de luz y una sombra PAR de 24% con respecto a una película de polietileno-natural sin aditivos (Quero, 2008).

### **Propiedades Físicas de los Plásticos**

#### **Ligereza**

Las aplicaciones del material plástico como cobertura son muy aceptados por su poco peso, por su sencillez de montaje y por sus buenos resultados.

#### **Flexibilidad**

El material plástico de cobertura es de importancia por su adaptación a cualquier forma, logrando así un fácil montaje de .

#### **Estanqueidad**

Las laminas de plástico utilizado como cubiertas tienen buena aceptación a cualquier forma, logrando así un fácil montaje del .

## **Duración**

La duración de las láminas plásticas como cubiertas depende de los siguientes factores:

- Radiaciones ultravioleta. (a mayor luz, más degradación por los rayos ultravioleta)
- Temperatura a la que está sometido el plástico.
- Tratamiento del plástico con inhibidores (si el material está tratado con productos antioxidantes e inhibidores a la acción de los rayos UV, la duración es mayor)
- Colocación de la película sobre la estructura. (plásticos excesivamente tensados pueden desgarrarse por rozamiento con los bordes de los soportes)
- Tipo y estado de la estructura. (el tubo expuesto al sol eleva la temperatura, acelerando reacciones químicas de la película, reduciendo su vida útil hasta en 40%)
- Espesor de la película. (la duración es mayor cuanto más grueso es el plástico)
- Tipo de estructura y sujeción del plástico (es mayor la degradación de un plástico que se apoya en una estructura de hierro, que sobre una de madera).
- Régimen de vientos (la fuerza y aumento de la velocidad del viento aumenta la degradación), (Serrano, 1990).

Las películas de copolímero EVA y polímeros fabricados con materias primas vírgenes, sin que estén modificadas con otros productos, tienen una corta duración en climas soleados. (Quezada 1997).

### **Efecto de los Materiales Plásticos Sobre la Temperatura**

Se han desarrollado películas con permeabilidad selectiva a la radiación infrarroja caliente y fotocromáticas. Tal es el caso de la película térmica difusa (TD) diseñada para climas fríos, ya que cuenta con alta impermeabilidad térmica, reduce la entrada y salida de radiación infrarroja caliente y la antitérmica difusa (ATD) para climas cálidos, donde ocurre una alta densidad de radiación solar y alta temperatura (Quero, 2008).

La temperatura tiene una influencia muy importante sobre algunas funciones esenciales de la planta, como:

- Cada cultivo tiene requerimientos térmicos específicos, por lo que al presentarse temperatura fuera de sus límites se restringe o cesa totalmente su desarrollo, si la temperatura es más baja de la que necesitan las plantas, se ve afectada la formación de carbohidratos iniciales o la de protoplasma de la misma, y si es más alta se provoca una transpiración y/o respiración elevada. En ambos casos las plantas mueren o se reproducen en muy bajas proporciones.
- En la zona de las raíces, la absorción de agua y de nutrientes aumenta hasta cierto límite de temperatura; si rebasa ésta; dicha absorción cesa.

- Cuando la temperatura es muy alta, las plantas pueden transpirar más agua de la que son capaces de absorber, lo que puede originarles signos de marchitez. Si la temperatura del suelo es baja, por efecto del viento tiene lugar una excesiva transpiración, los tejidos vegetales pueden sufrir deshidratación.
- Entre la estructura del suelo y la actividad de los microorganismos heterótrofos existe una estrecha relación: la liberación de nitrógeno y fosfato de la materia orgánica de los residuos de las plantas es mayor a altas temperaturas (Ibarra, 1997).

Los plásticos tienen una influencia directa sobre la temperatura del suelo y el volumen de aire comprimido dentro del área protegida por la estructura. Para estas aplicaciones generalmente se utiliza plástico transparente, porque permite el paso de un gran porcentaje de la radiación solar recibida durante el periodo de insolación con lo que se calienta el suelo y el volumen de aire que contiene la estructura. La temperatura interna de la estructura generalmente es más alta que la del exterior, salvo algunas excepciones que ocurre el fenómeno llamado "inversión térmica" (Ibarra, 1997).

### **Efecto sobre la Humedad.**

La pérdida de agua en un cultivo bajo condiciones normales, se debe sobre todo a la evaporación de la humedad del suelo y la transpiración de las plantas por efecto de la intensidad de la radiación solar, la temperatura del aire y la acción de los vientos.

La protección de los cultivos bajo invernadero y túneles reduce la pérdida de humedad, atenuando los efectos de algunos factores, tales como:

### **Viento**

Cuando el movimiento del aire es rápido, las moléculas de vapor de agua que se encuentra encima de una superficie libre de este líquido son arrastradas velozmente aumentando la intensidad de la evapotranspiración. Al tener un suelo protegido por invernadero o túneles, la pérdida de agua causada por el viento cesa totalmente, conservándose por más tiempo la humedad del terreno

### **Intensidad de la Radiación y Temperatura del Aire**

La relación entre estos dos factores es muy estrecha; generalmente la aereación de la temperatura ambiental se asocia con la radiación recibida. La magnitud de estos factores influye enormemente en la proporción en que la evaporación y la transpiración se llevan a cabo.

Como ya se mencionó, la temperatura del volumen de aire contenido dentro de los invernaderos y túneles casi siempre es mayor que la del exterior, originando una alta y constante evapotranspiración dentro de la estructura. Sin embargo, esta humedad no se pierde porque el vapor de agua emitido por las plantas y el suelo se adhiere a la capa interior del material plástico, donde posteriormente se condensa y cae nuevamente sobre el suelo y las plantas, formándose así un pequeño ciclo hidrológico (Ibarra, 1997).

## **MATERIALES Y METODOS**

### **Localización Geográfica**

El presente trabajo de investigación se realizó en los terrenos agrícolas experimentales del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), localizado en la ciudad de Saltillo, Coahuila.

### **Clima**

El clima en la región esta clasificado como: BsoK(X') (e), que se define como seco Estepario. La temperatura media anual es de 18°C y la precipitación pluvial media anual es de 368 mm siendo los meses de julio a septiembre los más lluviosos (García, 1987).

### **Suelo**

El suelo del lote experimental del CIQA es de origen aluvial, textura arcillo-limosa en el estrato 0-30 cm y arcillosa en la capa 30-60 cm. Gómez (1994) reporta que el pH es de 8.1 clasificándose como suelo medianamente alcalino, y ligeramente salino (3.7 molimos/cm), con un contenido de materia orgánica de 2.38%, lo que lo hace medianamente rico.

Aviña (1995), reportó que la capacidad de campo es de 28% para los estratos de 0-40 cm. El punto de marchitez permanente es de 15.22%, mientras que la densidad aparente es de 1.26 g/cm<sup>3</sup>.

## **Agua**

El agua utilizada para riego pertenece a la clase C381, lo que significa que es de calidad media, apta para suelos bien drenados en donde se puede establecer cultivos con tolerancia a sales (Narro, 1985).

## **Establecimiento del Experimento**

### **Siembra**

El 10 de Marzo del 2008 se sembró la semilla de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L), en charolas de unicel de 200 cavidades, y se mantuvo en el invernadero, cuidandose hasta su germinación.

### **Preparación del Terreno**

El acondicionamiento del terreno donde se instaló el experimento requirió de las siguientes prácticas agrícolas: rastreo, barbecho, y nuevamente un rastreo para eliminar los terrones que reducen una buena formación de camas de cultivo, además para que dichos terrones no rompan la película para acolchado.

## **Marcado del Terreno**

El marcado del terreno se realizó con una rafia en la cual se seccionó el terreno para marcar los límites de cada tratamiento.

## **Acolchado y Colocación de Cintilla**

Se colocaron las cintillas, y posteriormente el acolchado blanco/negro calibre 120, además se perforó la cubierta del acolchado a 30 cm de distancia entre planta y planta por 70 cm de ancho. Para estas actividades se utilizó el tractor con su acolchadora.

## **Material Vegetal**

Para este trabajo se utilizó Pimiento morrón (*Capsicum annuum* L) del cultivar Capistrano. Antes del trasplante se estuvieron tomando lecturas en los microtúneles con la finalidad de observar el funcionamiento de los sensores.

## **Preparación de Microtúneles**

Se utilizó alambión en forma de arco para sostener la cubierta, de 3.5 mts además de que se colocaron sensores dentro de los microtúneles como son (Temperatura, Termopares, Sensor Quantum, UV, Sensor Radiación PAR, Difusa BF2, Data logger, DL2e, Delta Device).

Las evaluaciones se realizaron hasta el 25 de Junio 2008, fecha en que se realizó el trasplante, las variables como son cosecha, fertilización, prácticas culturales entre otras, no se reportan ya que no le conciernen al presente trabajo evaluarlas.

Se hicieron las camas utilizando un tractor, con una orientación de Este a Oeste para aprovechar mejor la luz solar y sus dimensiones fueron de 85 cm ancho por 20 m de largo, con una distancia entre cama y cama de 3.30 m (Fig. 3.1). Una vez realizada esta actividad, se prosiguió a tender manualmente las cintillas de riego, para luego extender el acolchado blanco / negro, calibre 120. En el extremo inicial de la cama se cavó a una profundidad de 20 cm para enterrar la película, se llevó el rollo hasta el extremo final de la cama y se cortó a la medida y se cubrió con suelo. Con azadones se agregó suelo a los costados de la cama para sujetar el acolchado, evitando que el viento lo levantara.

Una vez hecha esta actividad, se cortaron tramos de 3.5 m. de alambón de  $\frac{1}{4}$  de pulgada, y se les dio forma de arco ya que sirvieron de soporte para las cubiertas. Los arcos se enterraron a 25 cm de profundidad y a una distancia de 2m entre uno y otro. Se utilizó una estaca de madera enterrada a 40 cm de profundidad, de allí se sujetó alambre galvanizado pasando por la parte media del arco, dándole un amarre en cada soporte hasta el último de ellos. Al final del túnel se enterró otra estaca de madera a 40 cm para terminar de amarrar el

alambre, con la finalidad de que la estructura resistiera más al viento. El túnel tuvo una altura final de 1.20 m.

Enseguida se colocaron las cubiertas, la cuales se extendieron y se colocaron sobre los arcos, en un extremo se excavó y se enterró la cubierta, en la parte media de la cama con dos personas, una de cada lado de la estructura, se estiró la cubierta de tal manera que no colgara hasta terminar el . En el otro extremo del túnel, se enterró la película plástica y se sujetó con rafia en forma zig-zag, pasando la rafia por unos aros que se les hizo a los arcos.

Los tratamientos evaluados fueron:

a).- Películas comerciales: C1, C 2, C3, C4, C5.

b).- Películas diseñadas por la empresa Industrias de Culiacán (IC): IC1, IC2, IC3, IC4, IC5, IC6, IC7, IC8, IC9, IC10, IC11, IC12, IC13, IC14, IC15, IC16, IC17.

Los tratamientos C1 a C5 fueron cubiertas plásticas que se venden comercialmente en el mercado para uso de cubiertas de invernadero, sus características no son conocidas.

Los tratamientos IC1 a IC17 tienen características especiales, con aditivos para proporcionar efectos térmicos, antiviral, antipolvo, antigoteo, refrescantes, antiniebla, para paso de luz directa, difusa y fotolumincente. Las claves fueron proporcionadas por la empresa para mantener su confidencialidad.

## **Variables a Evaluar**

### **Resistencia a Punción**

Se tomó una muestra de un metro cuadrado de las 22 cubiertas establecidas en campo. Posteriormente se llevaron a laboratorio para realizar la prueba de resistencia a punción ya que es importante en materiales flexibles ya que, bordes afilados puede destruir la integridad de la cubierta.

Este tipo de prueba permite evaluar la resistencia y considerarla para efectos de manejo de herramientas, que pueden ocasionar daños en las cubiertas de invernadero. Tales deterioros podrían permitir el paso de insectos y la falta de hermeticidad dentro de la estructura, demandando un mayor uso de energía dentro del invernadero, además del acelerado deterioro de la cubierta y la reducción de su vida útil. El equipo utilizado para esta evaluación fue una máquina universal de pruebas, marca Instron, modelo 4301.

### **Radiación Difusa**

Se midió con un sensor BF2 de Delta Device el cual se colocó dentro del y estaba programado para tomar lecturas cada minuto, almacenándolas en un Data Logger DL2e de Delta Device y almacenaba el promedio de cada hora durante todo el día. Las lecturas que se consideraron fueron las que se tomaron en el periodo de incidencia de radiación solar, aproximadamente de 8:00 am a 8:00 pm.

## **Radiación UV**

Se midió con un sensor Apogee el cual también se colocó dentro del y tomaba lecturas cada minuto almacenándolas en un Data Logger DL2e de Delta Device, almacenaba el promedio de cada hora durante todo el día. Las lecturas que se consideraron fueron las que se tomaron en el periodo de incidencia de radiación solar, aproximadamente de 8:00 am a 8:00 pm.

## **Radiación PAR**

Se midió con un sensor BF2, dichos datos se transmitían a una computadora para trabajar con ellos en una hoja de cálculo.

## **Temperatura**

Se midió con un sensor termopar, este se instaló en una caseta de madera para evitar la incidencia de radiación directa sobre el sensor para que no se modificaran los datos. Esto se realizó durante las 24 hrs del día. Además se instaló un sensor de cada uno de ellos fuera de la cubierta a manera de referencia. Se colocaron bases para los sensores. Una vez colocados los sensores, se nivelaron y se realizaron limpiezas al contorno de los mismos para evitar que la maleza les hiciera sombra. Como no se tenían los 22 sensores se movían cada semana para así evaluar las 22 cubiertas.

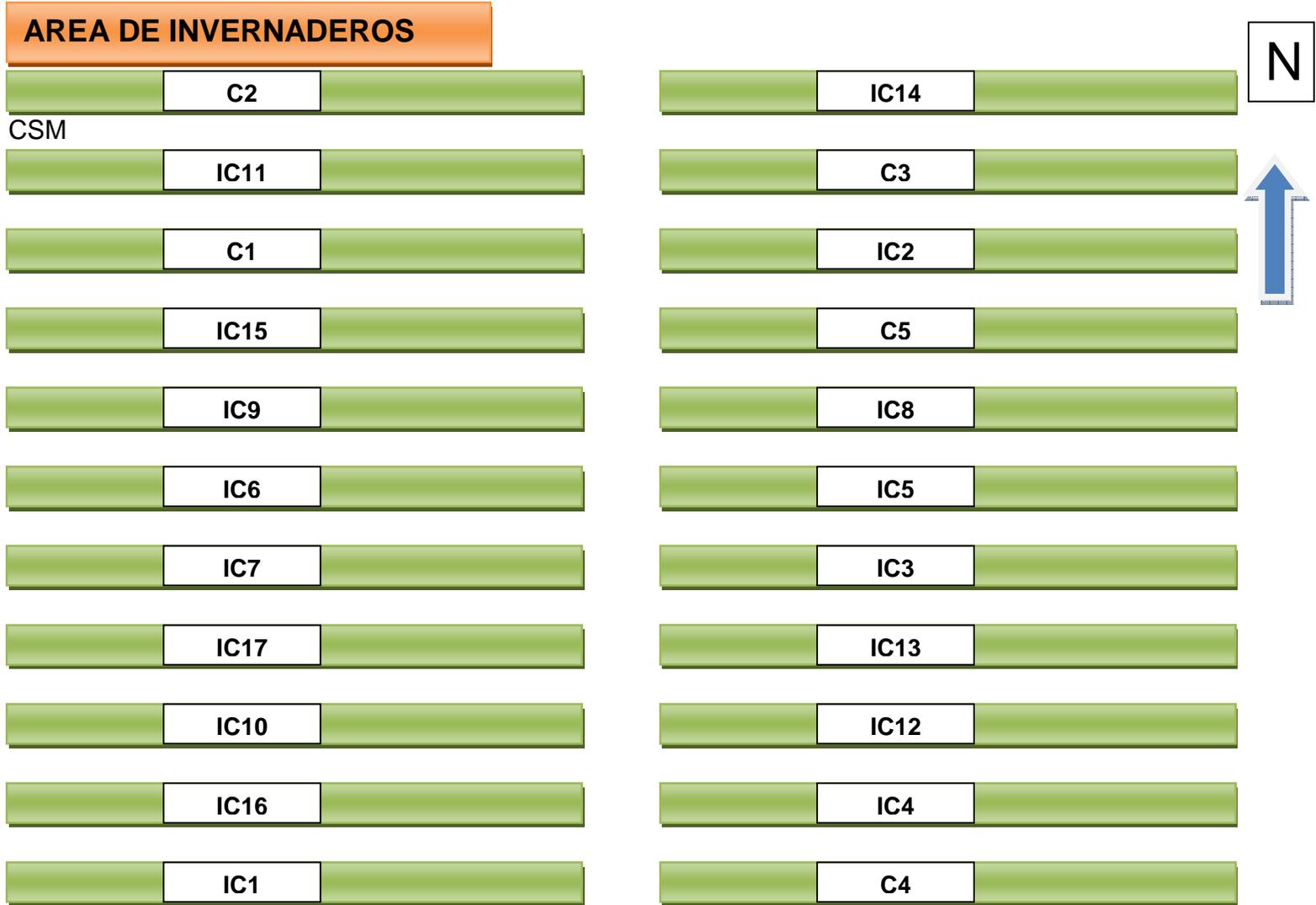


Fig. 3.1. Distribución de microtúneles, CSM= cama sin

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Resistencia a Punción

El análisis de varianza para resistencia a la punción arrojó diferencia estadística significativa entre las cubiertas (Cuadro A1), en la Figura 4.1 se puede ver el comportamiento de cada una de las cubiertas.

Cuadro 4.1. Análisis de Varianza para Resistencia a Punción

FV	G.L	SC	CM	F	Pr > F
Plástico	21	4.347	0.207	64.72	< .001
Error	66	0.211	0.003		
Error Total	87	4.558			

R<sup>2</sup>=0.953 C.V=2.543%

C.V= Coeficiente de Variación

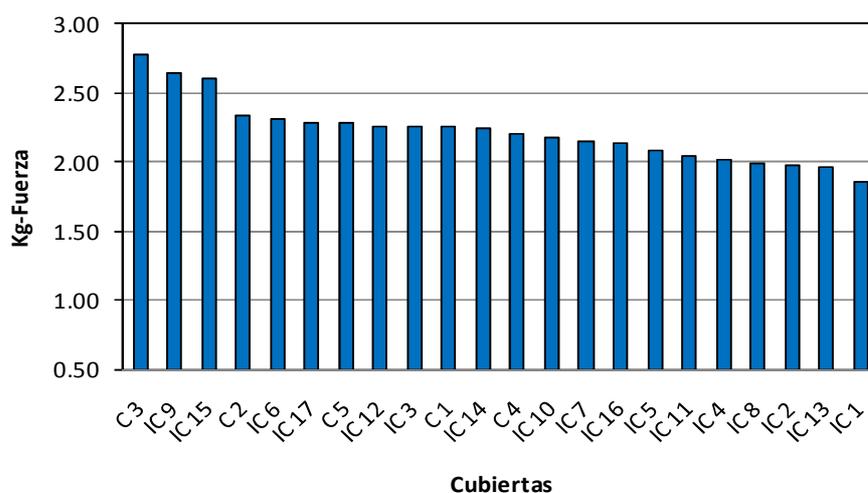


Fig. 4.1 Resistencia a punción de las diferentes cubiertas plásticas.

Las películas C3, IC9 e IC15 destacaron como las más resistentes a la ruptura por punción de las 22 en evaluación, ya que se necesitan un mínimo de 2.6 kg-fuerza para romperse. Por otro lado, las cubiertas C2, IC6, IC17, C5, IC12, IC3, C1, IC14, C4, IC10, IC7, IC16, IC5, IC11, IC4, IC8, IC2, IC13, se encuentran en el rango que necesitan al menos 2 kg-fuerza pero menos de 2.6 kg-fuerza, para romperse mientras que la cubierta IC1, en comparación con el resto es la que resultó menos resistente (Cuadro A. 5).

No existe en México o al menos no está reportada una norma para este tipo de prueba, existe la norma Europea UNE-EN 13206:2001 para cubiertas plásticas utilizadas en agricultura y horticultura que establece una resistencia  $\geq$  a 650 cN, esto equivale a 0.062 kg-fuerza.

En la Figura 4.1 se aprecia la resistencia de las cubiertas a la prueba de punción, que de acuerdo a la norma Europea aquí citada, todas se encuentran por encima del valor de dicha norma.

### **Radiación Difusa**

Se comparó el comportamiento al paso de radiación difusa en cada cubierta. La Figura 4.2 muestra que las cubiertas IC9, IC10, IC11, IC17, C5, son las más sobresalientes y por lo tanto las mejores porque permiten mayor porcentaje de paso de radiación Difusa, la cual necesitamos para un mejor desarrollo del cultivo. La diferencia entre cada cubierta, se debe a que cada una de ellas cuenta con diferente formulación en cuanto a su composición química.

Estos resultados nos permiten suponer que los cultivos podran aprovechar la energía más eficientemente bajo estas cubiertas principalmente por el efecto del paso de radiacion difusa que permite que esta entre en contacto con todas las partes de la planta ya que permiten el paso de más del 70% de este tipo de radiacion. El resto de las cubiertas, con excepción de la IC7, permiten no más de 50% del paso de radiación difusa, lo que limitara el aprovechamiento y la eficiencia en el paso de esta radiación. Cabe mencionar que de las cubiertas con clave "C" (competencia comercial) solo C5 permite el paso de más del 70% de este tipo de radiación.

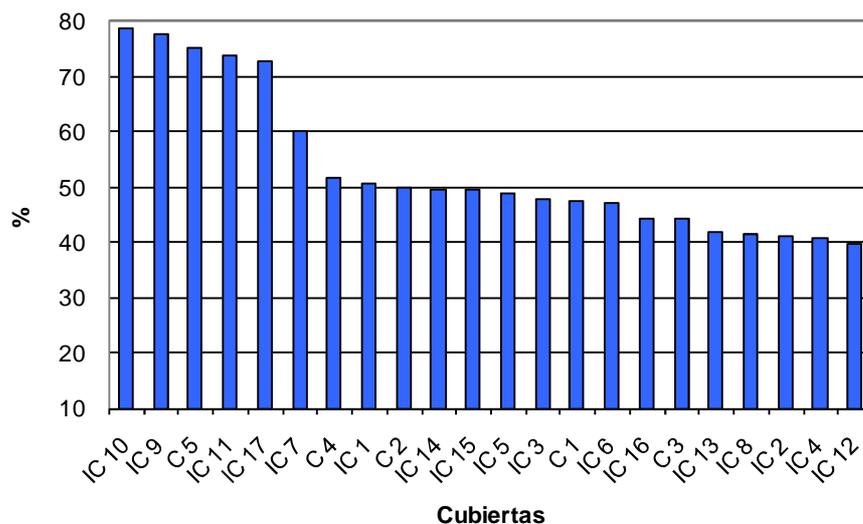


Fig.4.2. Porcentajes de la radiación difusa que dejan pasar las 22 cubiertas.

### Radiación UV

Para la variable relacionada con el paso de radiacion ultravioleta (UV) en cada cubierta, la Figura 4.3, muestra los resultados obtenidos. La luz UV limita la incidencia de vectores dentro del invernadero y como consecuencia reduce la

presencia de plagas y enfermedades, pero principalmente las manifestaciones de virosis, entre menor sea el paso de radiación UV se podrá incidir en este aspecto. Las películas con menor paso de radiación UV fueron IC 6, IC 7, IC 8, IC 9, IC 11, IC 13, IC 15, IC 17.

La administración de la luz mediante la tecnología del plástico contribuye de manera positiva en la sanidad vegetal, con la aplicación de filtros fotoselectivos puede modificarse la cantidad así como el rango de la luz solar, provocando ambientes en los que se reduce la presencia de insectos y por ende la insidencia de virosis. Dominguez (2005), Weiss, (1995), Armengol y Badiola (1996), Espi (1997), Fueyo (1997), De Santiago (1998), Antignus (1996) y Cerne (1994).

La presente Figura 4.3 nos manifiesta que las cubiertas IC 11, IC 9, IC 17, IC 8, IC 15, IC 13, IC 6, IC 7, IC 4, IC 2, muestran un paso de radiación UV en el rango de 5 - 23  $\mu\text{mol}$  lo que indica que estas cubiertas son las mejores en cuanto al bloqueo de la radiación UV. Mientras que las cubiertas C 3, C4. dejan pasar entre 80 - 83  $\mu\text{mol}$  de radiación UV, siendo las menos indicadas para bloquear el paso de dicha radiación. Este estudio coincide con Antignus *et al.* (1996) Quienes afirman que la administración de la luz mediante la tecnología del plástico contribuye a la sanidad vegetal, provocando la reducción de insectos (minadores, trips, mosca blanca) y por ende la insidencia de enfermedades virales transmitidas por estos.

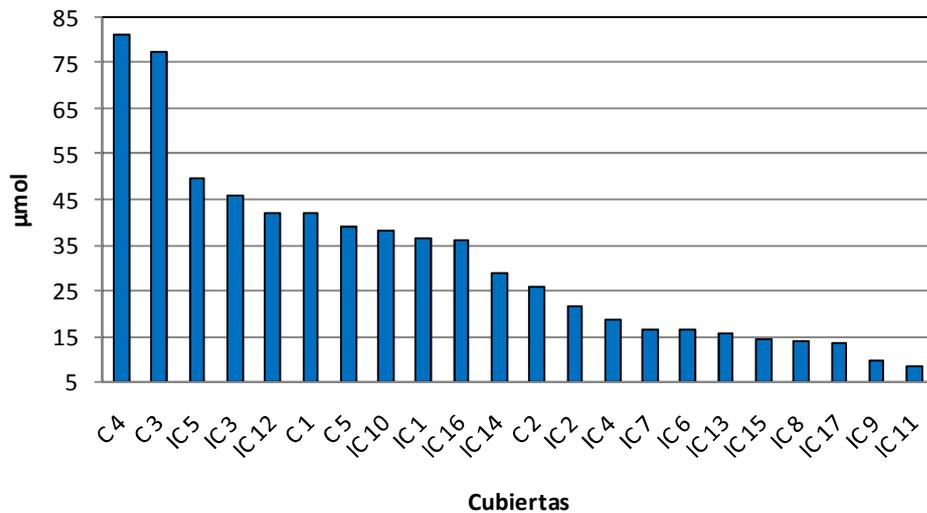


Fig. 4.3. Paso de la radiación UV para las 22 cubiertas.

### Radiación PAR

Estudios sobre la fotomorfogenesis han mostrado la gran influencia que ejerce la calidad espectral de la radiación sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas. La relación de los flujos de fotones rojo / rojo lejano (610 -700 / 700 – 800 nm) actúa sobre un alargamiento de los tallos (610 – 700 nm) y azul (410 – 510 nm) es donde se concentra la mayor radiación aprovechada en fotosíntesis o radiación PAR (radiación fotosintéticamente activa) que se encuentra en el rango de los 300 – 700 nm ( Cerny *et. al.*,1999). La radiación PAR (radiación fotosintéticamente activa) es fundamental para el crecimiento de las plantas. La Figura 4.4 nos muestra las cubiertas que dejan pasar mayor cantidad de radiación fotosintéticamente activa (PAR), la cubierta IC 8, pasa los 1800 μmol, esta prácticamente se incrementa, lo cual nos indica que no todos los cultivos necesitan porcentajes altos para cubrir sus necesidades fisiológicas,

esto dependera de los requerimientos del cultivo que se va a establecer, por otro lado las cubiertas que se encuentran en el rango deseado de 1600  $\mu\text{mol}$ , son IC 2, IC 4, IC 5, IC 6, mientras que las que tienen menor paso de radiación PAR son IC 9, IC 7. Este estudio concuerda con el que realizó Alpi y Tognoni, (1991) y Bernat. *et al.* (1987), en donde destacan que para garantizar un buen crecimiento de los cultivos se debe dejar pasar la mayor parte de la luz PAR ya que los procesos fisiológicos de las plantas son influenciados por la longitud de onda comprendida entre 3000 – 1000 nm, rango que incluye a la radiación UV radiación PAR e infrarroja IR.

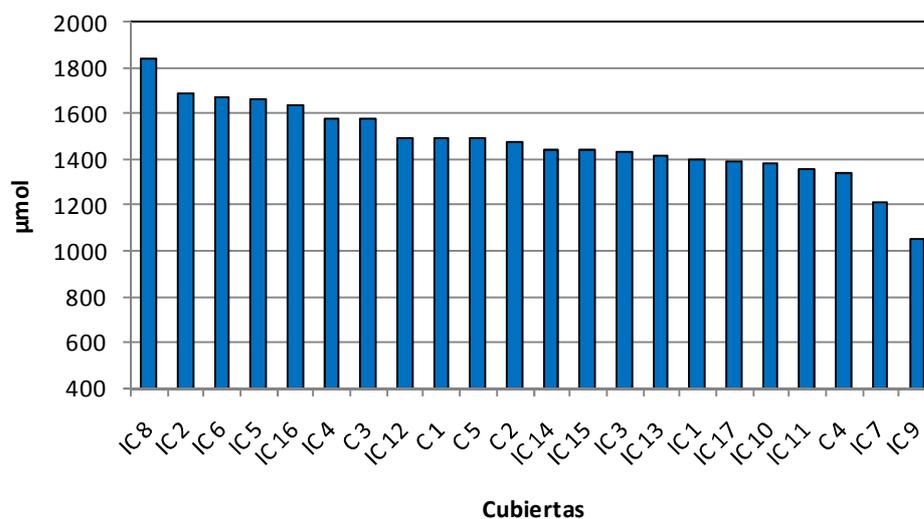


Fig.4.4 Radiación PAR para las 22 cubiertas.

### Temperatura

Los resultados que presentaron las evaluaciones de temperatura se muestran en la Figura 4.5 en donde se puede apreciar que ninguna cubierta tiene la capacidad de disminuir la temperatura significativamente ya que la mayoría

muestra un comportamiento similar, a excepción de IC 1 e IC 10 que son las que alcanzan una temperatura menor a los 50°C. Las lecturas de las temperaturas fueron tomadas a las 14:00 hrs del día, ya que era el momento de mayor intensidad, momento en el cual la temperatura exterior oscilaba entre los 32 y 33 °C .

Aquí podemos destacar que a pesar de que las 22 cubiertas mantienen temperaturas muy altas, la IC 1 y IC 10, con 48 y 46 °C respectivamente, tienen diferencias desde 2 hasta 16 °C con respecto a las otras 20 cubiertas. Probablemente si la evaluación se hubiera realizado en el invernadero se podrían reflejar otro tipo de diferencias por el volumen de aire que se mueve comparado con los microtúneles, que por su tamaño no permiten la circulación de aire. Una diferencia de más de 2 °C podría llegar a ser significativa para algunas circunstancias. En promedio las películas comerciales mantuvieron una temperatura de 53.4 °C dentro de los microtúneles. Si se considera que las películas refrescantes tienen la propiedad de mantener una temperatura más baja, las IC 1 y IC 10 reúnen tales características.

Lo anterior coincide con los resultados obtenidos por Ibarra (1997), ya cada cultivo tiene requerimientos térmicos específicos, por lo que al presentarse una temperatura fuera de sus límites se restringe o cesa totalmente su desarrollo. Si la temperatura es más baja de la que necesitan las plantas, afecta la formación de carbohidratos iniciales y si es más alta se provoca una transpiración y/o

respiración elevada. En ambos casos las plantas mueren o se reproducen en bajas proporciones.

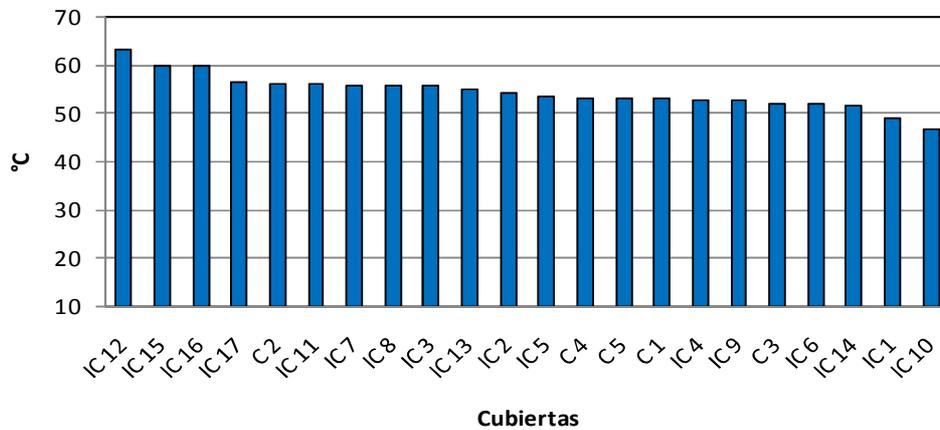


Fig.4.5. Temperatura dentro del microtúnel para las 22 cubiertas.

### Temperatura, Difusa y NIR

En la Figura 4.6 se observa que todas de las cubiertas superan el 70% del paso de radiación NIR, lo cual nos indica que todas las cubiertas mantienen una temperatura mayor a 50 °C (Cuadro A 2). Además de que las cubiertas IC9, IC10, IC11, IC17 y C5 dejan pasar un porcentaje de radiación difusa mayor al 70 %, lo que nos permite bajar la temperatura dentro del invernadero durante el día.

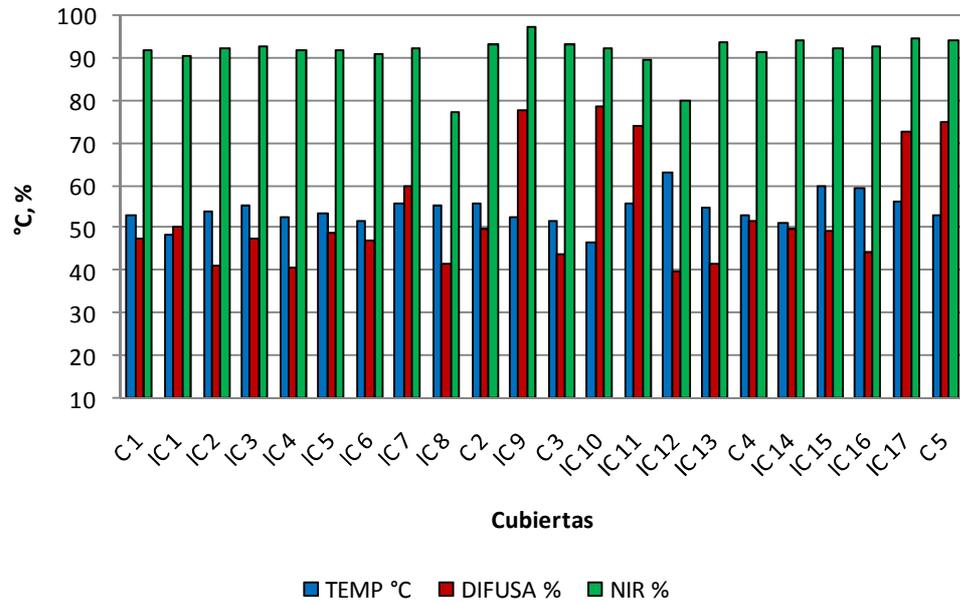


Fig. 4.6. Comparación de Temperatura, Difusa y NIR

Mediante un análisis de regresión múltiple sobre la radiación difusa y el LIR y su efecto sobre la temperatura se estimó el siguiente modelo:

$$T_{em} = 72.86 - 0.199LIR - 0.127DIFUSA \quad P = 0.0109 \quad R^2 = 0.395$$

El modelo sugiere que la película con una mayor radiación difusa y una mayor LIR están relacionados con una menor temperatura lo cual indica que si disminuimos el porcentaje de NIR por debajo de 70% y se aumenta la luz difusa por arriba del 70% se podría disminuir la temperatura dentro del día.

### Temperatura y NIR

En la Figura 4.7 se demuestra el comportamiento de las 22 cubiertas en evaluación en relación al paso de la radiación NIR. Dichas cubiertas se mantienen por arriba del 70% de radiación NIR (Cuadro A.3) lo cual indica que todas las cubiertas se encuentran fuera de dicho porcentaje. Las cubiertas que

menor radiación NIR dejaron pasar son IC 8, IC 12 con un 77.25 y 79.89 % de radiación NIR respectivamente, mientras que la mayoría de las cubiertas se encuentran por arriba del 80 % siendo las cubiertas menos refrescantes en evaluación, en el caso de la cubierta IC 10 que mostró la menor temperatura. Sin embargo esta no se debió al paso de la radiación NIR, es más probable que haya sido por el efecto del paso de radiación difusa.

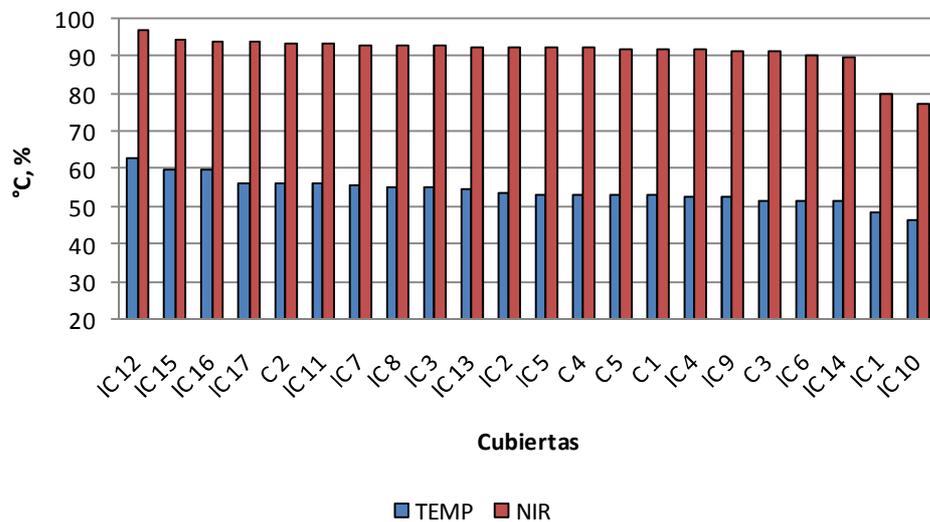


Fig.4.7. Comparación entre Temperatura (°C) y NIR (%)

### Temperatura y LIR

En la radiación infrarroja comprendida entre 760 y 2500 nm se encuentra la energía térmica, la cual en agricultura intensiva sirve para aumentar la temperatura bajo las cubiertas plásticas. Las cubiertas que se mantengan por debajo del 30% perderán calor más lentamente durante la noche lo que se busca encontrar con estas cubiertas es que durante el día deje pasar la mayor

cantidad de radiación LIR pero que durante la noche la mantenga dentro de la estructura, ocasionando que se mantenga una diferencia de temperatura de 3-5 °C con la del exterior.

En este estudio se encontró que las cubiertas IC 15 e IC 16 son las que permiten el menor paso de radiación LIR (Cuadro A. 4) durante el día al ser comparada con las demás cubiertas (Fig.4. 8). Además de que IC15 es la que mayor temperatura guardó en su interior durante la noche.

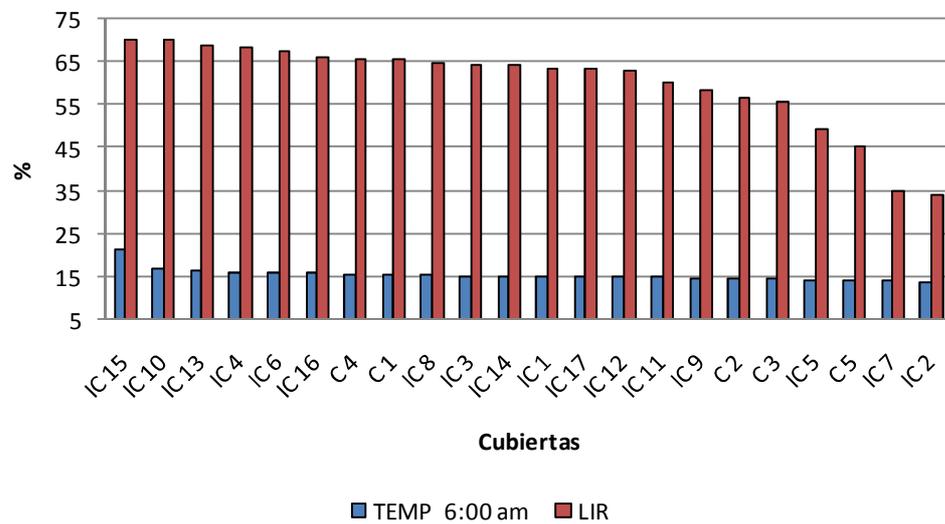


Fig. 4.8. Comparación entre Temperatura 6:00 am y LIR %.

## CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos en el presente trabajo se concluye que:

- La cubierta C 3 destacó como la más resistente a ruptura por punción.
- La cubierta IC 10, es la mejor ya que permite el paso de 70% de radiación difusa. Mientras que el resto de las cubiertas a excepción de IC 9, C 5, IC 11, IC 17, permiten no más de 50% del paso de radiación difusa.
- La cubierta IC 11, es la que mejor bloquea el paso de la radiación UV, pero las cubiertas IC 9, IC 17, IC 8, también pueden funcionar de acuerdo al lugar donde se establezcan.
- La cubierta IC 8 es la que deja pasar 1800  $\mu\text{mol}$  de radiación PAR, mientras que las cubiertas IC 2, IC 6, IC 5, IC 16, se encuentran dentro del rango esperado con 1600  $\mu\text{mol}$ , siendo éstas las mejores.
- La cubierta IC 12, es la que sobresalió al elevar la temperatura en el interior de la estructura.
- En cuanto al bloqueo de radiación NIR ninguna de las 22 cubiertas logró bloquear la radiación NIR por debajo del 70% que es lo que se esperaba, al contrario la mayoría se mantiene entre el 90 y 98 %, lo cual indica que ninguna de las 22 cubiertas es refrescante.

- Las cubiertas IC 15 e IC 16 son las que menor cantidad de radiación LIR dejan pasar durante el día, lo cual indica que son las que conservan mejor la temperatura durante la noche.

## LITERATURA CITADA

Alpí, A. y F. Tognoni. 1991. Actual orientación científica y técnica. 3<sup>ra</sup> Ed. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa. 343 pp.

Alpí, A. y F. Tognoni. 1999. Cultivo en invernadero. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 347 pp.

Antignus, S. Cohen, N. Mor, Masika y M. Lapidot. 1996. The effects of uvblocking greenhouse covers on insects and insect-borne virus diseases. *Piast.*112: 15-20.

Armengol, E. y J. Badiola. 1996. Novedades en los plásticos para invernaderos. *Horticultura. Revista de hortalizas, flores, plantas ornamentales y viveros.* XV (5): 13-19.

Aviña, G. M. E. 1995. Fenología, Fonometría y Rendimiento en Calabacita con Acolchado Plástico, Cubiertas Flotantes y Ethrel. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Buenavista Saltillo. Pág. 265.

Baille, A., 1999. Energie Cycle. In: *Ecosystems of the world 20. Greenhouse Ecosystems.* G. Stanhill and H. Zvi Enoch (Eds.) Elsevier. Chapter 20: 265-286.

Bastida, T, A. y A, J. A. Ramírez. 2002. Invernaderos en México Diseño, Construcción y Manejo. Serie de publicaciones Agribot Chapingo, México pp 163.

Bernat, C. J. J. Andrés, J. Martínez. 2004. Invernaderos: construcción, manejo, rentabilidad. Editorial Aedos. Barcelona. 1987.

Castilla N., 2003. Estructuras y equipamiento de invernaderos. p. 1-11. En: J.Z. castellanos y J.J Muños (Eds.) Memoria del curso internacional sobre la producción de hortalizas en invernadero. INIFAP, Celaya, Gto. Del 19-21 de Febrero del 2003.

Castilla, N. J. Hernández. F.M. Quezad. M.I. Morales. A. Guillén. M.T.Soriano. I. Escobar. A. Antón. y J.I. Montero. 2000. Comparison of asymmetrical greenhouse types in the Mediterranean area of Spain. ISHS international Symposium on Protected Cultivation in mild winter climates. *Acta Horticulturae.*

Cerne, M., T. Sluga y J Kozelj. 1994. Different Kinds of plastics used for protection against insects and cold. In: 13<sup>th</sup> International Congress on Plastics in Agriculture "Congresso Internazionale del C.I.P.A." Proceedings of a conference held in Verona, Italy. 8-11 March, 1994. Volumen 1.

Cerny, A.T., N.C Rajapkse y O.Y. Ryu. 1999. Recent development in fotoselective greenhouse covers. Proc. Nat. Agric. Plastics Congress. American Society for Plasticulture. May 19-22, 1999. Tallahassee, Florida. pp. 24-26.

De Santiago, J. 2008. Inventario de invernaderos. Productores de hortalizas. Mayo 2008. Pág. 1-3.

De Santiago, J. 1998. Futuro de los plásticos de cubierta. Rev. Productores de Hortalizas. Publicación periódica. Agosto. pp. 38-42.

Domínguez, A. 2005. Uso de cubiertas fotoselectivas para la producción de plántulas de hortalizas. Tesis de Maestría. UAAAN. Buenavista Saltillo Coahuila.

Espí, E., A. Salmerón, E. Tamayo, L.M. Ortiz, y F. Laborda. 1997. Filmes Fotoselectivos Anti plagas para cubierta de invernadero. Repsol, S.A.. Dirección General de Tecnología. Embajadores 193. Madrid, España. s/p.

Farias, J. M. Orozco, J. Pérez. 1999. *Plasticulture*, 118. Pág. 1-5.

Florián, P. M, B. Bimbo. 2002. Invernadero. AgroRed Noviembre 2002, año III N° (30) p. 22-26.

Fueyo, M.A. 1997. Producción de lechuga en invernadero. Rev. Productores de Hortalizas. Publicación periódica. Octubre. pp. 52- 53

García, M. E. 1987. Modificaciones al sistema de Clasificación Climática de Coopen (adaptada a las condiciones de la república Mexicana). 4<sup>a</sup> Ed. País México.-Pág.-456

Garnaud J. C. 2000. Etapas para la historia de los avances en plasticultura. Ingénieur Horticole. *Plasticulture* N° 119. Pág. 30 -43.

Gómez, L. R. F. 1994. Efecto de las películas plásticas fotoselectivas para acolchado de suelos en calabacita (*Cucurbita pepo L. cv zucchini Gray*). Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Buenavista Saltillo, Coahuila. Pág.-556

Hernández, D. J. 1992. Curso de fisiología de Hortalizas UAAAN. Departamento de Horticultura, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Ibarra, J.L. 1997. Acolchado de suelos. Curso nacional de plásticos en la agricultura. UAAAN (CIQA) 3-7 de Noviembre de 1997.

Muñoz R., J.J. y R.J.Z. Castellanos. 2003. INIFAP-CEBAJ. Horticultura Protegida: antecedentes Perspectivas de desarrollo en México y el Sistema Agrícola Almeriense. Primer Simposio Regional de producción de cultivos en invernaderos. Universidad Autónoma de Nuevo León, Abril 2003.

Narro, C. A. 1985. El acolchado de Suelos, Metodología y Riego en el cultivo del chicharo. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Buenavista Saltillo, Coahuila. Pág-98

Papaseit, P., J. Badiola y E. Armaguel 1997. Los plásticos y la agricultura 1ª Edición. Editorial SPE.3.Reus, Barcelona, España.

Piña, R. A. 1991. Semiforzado de cultivos mediante el uso de plásticos, Ed. Limusa 1ª edición, México.

Quero G. E. 2008. Fertilización Lumínica y Carbónica en invernaderos. Revista 2000 Agro. Vol. (Nº50) 80-p.

Quezada, P.H. 1997. Plastiponia. Aplicación de los plásticos a la agricultura. Editorial Blume.

Robledo de P., F. y V.L. Martín. 1981. Aplicación de los plásticos en la Agricultura 2ª Edición, Ed. Mundi-Prensa Madrid, España.

Robledo T. V. 2003. Diseño y construcción de invernaderos. Primer Simposio Regional de Producción de Cultivos en Invernaderos. Universidad Autónoma de Nuevo León. Abril 2003.

SAGARPA, 2007. Retos y perspectivas para los pequeños productores mexicanos ante la apertura comercial. Secretaria de Agricultura, Ganaderia, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

Serrano C. Z. 1990. Técnicas de invernadero editorial P.A.C. Suministros gráficos S.A. Sevilla, España.

Weiss, D. 1995. Cubiertas de plástico para invernadero para filtro lumínico para controlar el desarrollo vegetativo. In: Memoria del Simposium Internacional de Tecnologías Agrícolas con plásticos. 5-7 de Octubre, 1995. León, Gto.. México. pp. 102-104.

# APENDICE

Cuadro A 1. Comparación de promedios para las cubiertas de acuerdo a la prueba de Tukey ( $P < .05$ ) en función a la resistencia a punción.

Cubierta	Media
C3	2.79a
IC12	2.64ab
C5	2.60b
IC16	2.33c
IC17	2.31c
IC8	2.28cd
C1	2.28cde
IC9	2.26cde
IC7	2.25cde
IC5	2.25cde
IC14	2.24cde
IC2	2.20cdef
IC15	2.18cdefg
IC11	2.15defgh
IC1	2.13efghi
IC13	2.08fghij
IC3	2.04ghij
IC10	2.02hij
C2	1.99ijk
C4	1.98jk
IC6	1.96jk
IC4	1.86k

Cuadro A 2. Comparación entre Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), Di fusa (%) y NIR (%).

PELICULA	TEMP	DIFUSA	NIR
	°C	%	%
C 1	53.04	47.67	91.93
IC 1	48.72	50.57	90.49
IC 2	53.92	41.14	92.54
IC 3	55.44	47.73	92.92
IC 4	52.56	40.65	91.75
IC 5	53.36	49.04	92.05
IC 6	51.76	47.16	91.18
IC 7	55.68	59.98	92.25
IC 8	55.52	41.60	77.25
C 2	56.08	49.80	93.24
IC 9	52.56	77.55	97.32
C 3	51.84	44.19	93.09
IC 10	46.64	78.66	92.27
IC 11	56.08	73.90	89.77
IC 12	62.96	39.85	79.89
IC 13	54.74	41.85	93.68
C 4	53.12	51.86	91.44
IC 14	51.52	49.71	94.22
IC 15	59.76	49.53	92.60
IC 16	59.70	44.35	92.75
IC 17	56.49	72.62	94.48
C 5	53.12	75.15	94.00

Cuadro A 3. Comparación entre Temperatura (°C) y NIR (%).

<b>PELICULA</b>	<b>TEMP</b>	<b>NIR</b>
	°C	%
C 1	53.04	91.93
IC 1	48.72	90.49
IC 2	53.92	92.54
IC 3	55.44	92.92
IC 4	52.56	91.75
IC 5	53.36	92.05
IC 6	51.76	91.18
IC 7	55.68	92.25
IC 8	55.52	77.25
C 2	56.08	93.24
IC 9	52.56	97.32
C 3	51.84	93.09
IC 10	46.64	92.27
IC 11	56.08	89.77
IC 12	62.96	79.89
IC 13	54.74	93.68
C 4	53.12	91.44
IC 14	51.52	94.22
IC 15	59.76	92.60
IC 16	59.70	92.75
IC 17	56.49	94.48
C 5	53.12	94.00

Cuadro A 4. Comportamiento de Temperatura a las 6:00 am y LIR (%).

PELICULA	TEMP 6:00 am	LIR
	°C	%
C 1	15.52	63.31
IC 1	15.19	68.86
IC 2	13.7	66.11
IC 3	15.32	62.74
IC 4	16.24	65.45
IC 5	14.29	63.26
IC 6	16.2	64.40
IC 7	14.11	64.12
IC 8	15.47	67.55
C 2	14.51	60.07
IC 9	14.73	49.63
C 3	14.47	64.59
IC 10	17	68.19
IC 11	14.93	56.61
IC 12	15.02	70.07
IC 13	16.29	70.16
C 4	15.8	65.50
IC 14	15.2	58.45
IC 15	21.55	34.96
IC 16	15.98	33.98
IC 17	15.12	45.33
C 5	14.23	55.89