CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

EFECTO DEL PASO DE LA RADIACIÓN A TRAVÉS DE LAS CUBIERTAS PLÁSTICAS DE INVERNADERO EN LA PRODUCCIÓN DE LOS CULTIVOS

CASO DE ESTUDIO

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA

PRESENTA:

NEFTALÍ CUERVO PIÑA

CENTRO DE INFORMACIÓN
03 OCT 2008
RECIBIDO

SALTILLO, COAHUILA **AGOSTO 2008**

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

HACE CONSTAR QUE EL CASO DE ESTUDIO TITULADO:

EFECTO DEL PASO DE LA RADIACIÓN A TRAVÉS DE LAS CUBIERTAS PLÁSTICAS DE INVERNADERO EN LA PRODUCCIÓN DE LOS CULTIVOS

PRESENTADO POR:

NEFTALÍ CUERVO PIÑA

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN: AGROPLÁSTICULTURA

HA SIDO DIRIGIDO POR:

MC BOANERGES CEDEÑO RUBALCAVA

SALTILLO, COAHUILA AGOSTO 2008

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

A TRAVÉS DEL JURADO EXAMINADOR HACE CONSTAR

QUE EL CASO DE ESTUDIO:

EFECTO DEL PASO DE LA RADIACIÓN A TRAVÉS DE LAS CUBIERTAS PLÁSTICAS DE INVERNADERO EN LA PRODUCCIÓN DE LOS CULTIVOS

QUE PRESENTA:

NEFTALÍ CUERVO PIÑA

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

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN: AGROPLÁSTICULTURA

EVALUADOR

M. C. MA. ROSARIO QUEZADA MARTÍN

EVALUADOR

M. C. SANTIAGO SÁNCHEZ LÓPEZ

SALTILLO, COAHUILA

AGOSTO 2008

Este caso de estudio fue apoyado por el proyecto ECO 2007 CO1 7334 del fondo de economía y el consejo de ciencia y tecnologia (CONACYT)

Índice de contenido

Introducción **1**

Revisión bibliográfica **2**

Efecto de la luz en los cultivos 2

Procesos Energéticos *2*

Procesos Morfogénicos *3*

Fotosíntesis 6

Leyes Ópticas 7

Reflexión. *7*

Absorción. *8*

Refracción. *8*

Tipos de Radiación 8

Radiación directa *8*

Radiación reflejada. *8*

Radiación global *9*

UV *9*

PAR *9*

Difusa *9*

Infrarroja *10*

Efectos de la radiación 10

Efecto invernadero *10*

Inversión térmica *11*

Efectos de la radiación UV *11*

Temperatura *11*

Invernaderos y túneles 12

Cubiertas de invernadero y sus propiedades 18

Materiales Rígidos *18*

Polipropileno 18

Policarbonato 18

Poliéster con fibra de vidrio. 19

Policloruro de Vinilo (PVC) 20

Materiales Flexibles *20*

Policloruro de Vinilo (PVC) 20

Polietileno (PE) 20

a) Polietileno Normal. *21*
b) Polietileno Normal De Larga Duración *21*
c) Polietileno Térmico De Larga Duración *21*

Copolímero Etil-Acetato de Vinilo (EVA). 22

Materiales de cobertura frente a radiaciones de onda corta *23*

Materiales de cobertura frente a radiaciones de onda larga *23*

Estado del arte o estado actual del conocimiento 24

Áreas de oportunidad 26

Agricultura *26*

Industria *26*

Investigación *26*

Conclusiones y Recomendaciones 28

Nomenclatura 29

Bibliografía 30

Índice de Figuras

Figura 1. Respuesta Fotosintética 1

Índice de Tablas

Tabla 1. Efecto de la luz en el crecimiento de las plantas en rangos de longitud de onda. 6

Tabla 2. Influencia de factores climáticos sobre la calidad (López, 2003) 16

Tabla 3. Valoración de las principales propiedades de cuatro de los materiales de cubierta plásticos más utilizados 22

EFECTO DEL PASO DE LA RADIACIÓN A TRAVÉS DE LAS CUBIERTAS PLÁSTICAS DE INVERNADERO EN LA PRODUCCIÓN DE LOS CULTIVOS

INTRODUCCIÓN

La luz es la fuente de energía más importante usada por las plantas en la fotosíntesis. Pero la luz no es solo una entidad bien definida y simple. La respuesta de la planta es influenciada por la calidad, intensidad y duración de la luz. La energía proveniente del sol en forma de radiación sufre transformaciones en su intensidad durante su recorrido por el espacio y hasta llegar a las plantas las cuales aprovechan ciertas propiedades de esta radiación para elaborar sus alimentos mediante el proceso llamado fotosíntesis.

El uso de películas plásticas en la agricultura incluye tres aplicaciones principales: cubierta de invernaderos y macrotúneles, microtúneles y acolchado o cubierta directa del suelo. Hemos centrado este estudio en películas para cobertura de invernadero porque es la aplicación más importante en cuanto a volumen, el periodo de vida esperado de la película es el mayor y por esta razón la predicción del periodo de duración de las propiedades ópticas de las películas de protección es más importante.

El invernadero modifica el clima para proteger a los cultivos contra sus efectos adversos con el fin de mejorar su productividad. Los hay que mejoran las condiciones ambientales utilizando aportes energéticos externos, otros son pasivos y su función consiste en modificar determinadas variables climáticas como: radiación solar, lluvia, viento, y otros (Díaz *et al.,* 2001). El material de la cubierta del invernadero modifica la cantidad y calidad de la radiación e influye sobre el balance de energía.

El presente trabajo busca proporcionar información sobre el comportamiento de la radiación solar al pasar a través de las películas plásticas de invernadero y el efecto que tiene en la producción de las plantas.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Efecto de la Luz en los Cultivos

Desde el punto de vista de la influencia de la radiación solar sobre las plantas, los aspectos más importantes que deben destacarse son: la intensidad, duración y calidad de luz, mereciendo una atención especial la fotosíntesis, proceso principal en el crecimiento de las plantas, ligado íntimamente a la intensidad de la luz.

La radiación solar produce dos tipos de procesos principales: los procesos energéticos (fotosíntesis); y los procesos morfogénicos (Villalobos *et al.,* 1996).

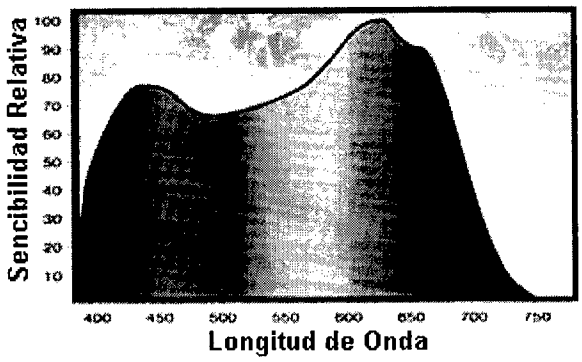

Figura 1. Respuesta Fotosintética

Procesos Energéticos

La energía contenida en la luz es absorbida en la clorofila de las plantas. No todas las longitudes de onda son utilizadas con la misma eficiencia. Observando la curva de absorción de luz de la clorofila, se puede deducir que la luz roja y la azul son más efectivas que la verde. Esto es lógico. Las plantas no usan la luz verde en su totalidad, la reflejan. Esto es por lo cual las plantas son verdes.

La luz solar al incidir sobre las hojas y activar las funciones de los cloroplastos, desencadenan una serie de reacciones de gran complejidad, en las cuales a partir de bióxido de carbono y el agua, se forman diversos tipos de azucares que son el resultante de este proceso y componente de las partes comestibles de las especies vegetales (Castaños, 1993)

Chermnykh y Kosobrukhov (1988), estudiaron el efecto de varias intensidades de luz, CO_2 y temperatura sobre la actividad fotosintética de las plantas de pepino bajo condiciones de invernadero y observaron un aumento en la fotosíntesis cuando se incrementaba la intensidad lumínica y la temperatura; incrementando simultáneamente los niveles de radiación y temperatura se incrementó el efecto de CO_2 en forma positiva en la fotosíntesis.

Procesos Morfogénicos

Todas las plantas captan la energía del sol y la transforman en substancias que directa o indirectamente alimentan a la mayoría de las otras formas de vida en la tierra. Debido a esto, el destino de una semilla germinada o de una futura planta depende no solamente de la intensidad de la luz, sino también de la calidad de la luz que recibe la plántula, y de esta calidad depende el tamaño de la planta adulta, la cantidad de hojas, el principio de la floración, de la fructificación y de la senescencia, siendo de esta manera la luz la que determina todos los aspectos de la vida vegetal, según el proceso de fotomorfogénesis (Zarca, 1992).

Algunas funciones más importantes en el desarrollo de las plantas son debidas a la energía luminosa (Serrano, 1990 citado por Moreno 2000). Es importante además de la calidad (longitud de onda), la cantidad (intensidad) del flujo de radiación, ya que la transferencia de vapor de agua en la transpiración, el consumo de CO_2 y el transporte de nutrimentos están directamente correlacionados con la cantidad de radiación neta (Torres, 1995).

Independientemente, existen también diversos efectos lumínicos que controlan la estructura y desarrollo de la planta. Al evaluar y modificar la cantidad, calidad, dirección y duración de la luz se pueden optimizar y controlar los complejos procesos del desarrollo.

La tasa de crecimiento del follaje está estrechamente relacionada con la fotosíntesis, la cual a su vez está relacionada con la cantidad de luz interceptada. El calentamiento del invernadero es un requerimiento esencial para el crecimiento y desarrollo apropiado de cultivos creciendo en invierno.

La luz influye en la longitud y diámetro de los internodos, la forma y tamaño de las hojas, raíces y flores. Las plantas que reciben niveles de luz insuficientes producen hojas pequeñas y menos anchas y tienen un menor peso total. Las plantas que reciben excesivas

cantidades de luz se pueden deshidratar, desarrollar puntos de crecimiento extra, hacerse blancas por la destrucción de la clorofila, y mostrar otros síntomas de estrés excesivo. Las plantas también son dañadas por la radiación calorífica en exceso (infrarroja) o radiación ultravioleta extrema (UV).

Dentro del rango aceptable, sin embargo, las plantas responden muy bien a la luz con su tasa de crecimiento siendo proporcional a los niveles de radiación. La eficiencia relativa es una medida de que tan probable cada fotón esta por estimular una reacción química fotosintética (Los plásticos en la agricultura s.f.).

La luz actúa no sólo como un factor fotosintético sino también como un agente decisivo en la morfogénesis de las plantas. La composición espectral de la luz es, al menos tan importante como su intensidad. Se sabe que la radiación comprendida entre 700 y 800 nm, región que se denomina rojo lejano, estimula intensamente el crecimiento del tallo pero inhibe el del follaje al reducir la concentración de clorofila (Díaz *et al.,* 2001). Por otra parte, la radiación existente entre 600 y 700 nm, que es la zona del rojo, tiene justo en efecto contrario, es decir inhibe el crecimiento del tallo y estimula el del follaje al aumentar el nivel de clorofila presente. Por tanto la relación de rojo/rojo lejano, para la que se suele usar habitualmente la abreviatura R/FR, es un factor de extremada importancia en la fotomorfogénesis de los cultivos. Estos fenómenos se deben a la existencia en las plantas de un fotorreceptor llamado fitocromo, un pigmento biliproteínico que se puede interconvertir reversiblemente por efecto de la luz entre una forma inactiva y otra forma fisiológicamente activa, las cuales tienen picos de absorción en las regiones espectrales del rojo y rojo lejano, respectivamente (Catalina, 2000).

Los procesos fisiológicos de las plantas son influenciados por la longitud de onda comprendida entre 300 nm – 100 μm, rango que incluye a la radiación ultravioleta (UV), fotosintéticamente activa (PAR) e infrarroja (IR). 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 – 3000 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 emitirlas facilitando la eliminación del exceso de calor. La producción de materia seca de los cultivos está directamente relacionada con la cantidad de radiación interceptada por estos. De ahí, que la transmisibilidad del material de cubierta es una propiedad importante (Muñoz – Ramos, 2004).

Las radiaciones por debajo de 0.28 micras son letales para las plantas, radiaciones entre 0.28 – 0.35 micras (UV) son cáusticas para algunas plantas, las de 0.35 a 0.4 tienen muy poca influencia sobre el crecimiento vegetal. Las radiaciones de 0.4 a 0.5 micras (azul) proporcionan una actividad fotosintética muy dinámica, crecimiento vegetativo de hojas y de tallos, en cambio las radiaciones de 0.5 a 0.6 micras (verde – amarillo – anaranjado) tienen poca respuesta biológica, en comparación con las radiaciones entre 0.6 y 0.7 micras (rojo corto) en las cuales tiene lugar la máxima respuesta fotosintética y síntesis de clorofila, desarrollo de flores y frutos, mientras que las radiaciones de 0.7 a 1.0 micras influyen y condicionan el crecimiento vegetativo, son caloríficas y las radiaciones por encima de 1 micra son caloríficas (Bretones, 1991).

Ha sido reportado que el crecimiento vegetativo inicial y el rendimiento de pepino es mejorado debido al bajo déficit de presión del día o noche (VPD), y el rendimiento total fue relacionado negativamente al déficit de presión de vapor durante el día (Bakker *et al*, 1987). La temperatura alta estimula el crecimiento de la planta e incrementa la cosecha temprana de varios frutos y vegetales de invernadero. Se ha puesto escasa atención a la interacción de factores ambientales. La temperatura del aire del invernadero, humedad y la temperatura del follaje son a su vez afectadas por la transmisibilidad de luz del material de cobertura (Papadopoulos, Hao, 1997). Por lo tanto, siempre es imposible predecir las repuestas del cultivo a cada factor ambiental individual (Cemek, Demir, 2006).

Tabla 1. Efecto de la luz en el crecimiento de las plantas en rangos de longitud de onda.

Longitud de onda (nm)		Efecto en plantas
Infrarroja	> 1000	No tiene efecto en las plantas. Normalmente es transformada en calor
	1000 – 700	Tiene influencia en el crecimiento de las plantas
Luz Visible	700-610	Efectiva en la fotosíntesis, también en germinación
	610-510	Efecto bajo en fotosíntesis y crecimiento
	510-400	Efectivo en fotosíntesis, también en germinación
Ultravioleta	400-315	Formación de células, nodos
	315-280	Perjudicial para las plantas
	< 280	Fatal para las plantas

Fuente: Wan y Keun, 2004

Fotosíntesis

La fotosíntesis es el proceso mediante el cual las plantas, utilizando energía solar, sintetizan compuestos orgánicos a partir de sustancias inorgánicas. Todas las formas de vida existentes necesitan energía para su crecimiento y conservación. La fuente primaria de toda energía metabólica empleada en nuestro planeta es el sol y la fotosíntesis es primordial para conservar las formas de vida.

Una ecuación generalizada y no equilibrada de la fotosíntesis en presencia de luz sería:

$$CO_2 + 2H_2O \rightarrow (CH_2) + H_2O + O_2$$

La luz hace que los estomas se abran en presencia de ésta, un estoma abierto permite la entrada de CO_2 y capacita la hoja para la fotosíntesis (Castaños, 1993).

La velocidad a la que ocurre la fotosíntesis no siempre es la misma, a medida que aumenta la intensidad de luz, ocurre un aumento en la velocidad de la fotosíntesis. Al aumentar la luz solar se aumenta la cantidad de energía lumínica disponible para la fotosíntesis hasta cierto punto, ya que al llegar a cierta intensidad la velocidad ya no aumenta (Alexander, 1992).

Durante este proceso se libera oxígeno. Por lo tanto, casi todos los organismos dependen en última estancia de este proceso para proveerse de energía, nutrimento y oxígeno. Sin la fotosíntesis, casi toda la vida de nuestro planeta se acabaría. Las células vegetales en las que se lleva a cabo la fotosíntesis tienen organelos especializados llamados cloroplastos, los cuales contienen clorofila y otros pigmentos, que absorben la luz de ciertas longitudes de onda. Los cloroplastos de una planta suelen estar concentrados en las células de las hojas que reciben la máxima cantidad de luz.

Los factores externos que afectan la extensión en que se realiza la fotosíntesis en una planta son la calidad y la cantidad de luz incidente en las hojas, la temperatura ambiente y la concentración de dióxido de carbono y oxígeno en la atmósfera envolvente. (Enciclopedia metódica, citado por Moreno 2000).

Solamente el 3% de la energía solar que absorben las hojas se utilizan en la fotosíntesis, el resto se convierte en calor, si no se eliminara ese exceso de temperatura se morirían las células de la planta (Alexander, 1992).

Leyes Ópticas.

La luz no es más que una radiación electromagnética. En el vacio las radiaciones electromagnéticas viajan en línea recta y así pueden ser descritas como rayos de luz. En nuestro medio, los rayos de luz viajan también en línea recta hasta que interaccionan con los átomos o moléculas de la atmosfera y otros objetos. Estas interacciones dan lugar a los fenómenos de reflexión, absorción y refracción (Propiedades de la luz s.f.).

Reflexión.

Cuando los rayos de luz llegan a un cuerpo en el cual no pueden continuar propagándose, salen desviados en otra dirección, es decir, se reflejan. La forma en que esto ocurre depende del tipo de superficie sobre la que inciden y del ángulo que forman sobre la misma.

Así las superficies pulidas reflejan de una forma regular la mayor parte de las radiaciones luminosas que les llegan mientras que las superficies rugosas actúan como si estuvieran formadas por infinidad de pequeñas superficies dispuestas irregularmente y con

distinta orientación, por lo que las direcciones de los rayos reflejados son distintas. La mayor parte de lo que nosotros vemos es luz que ha sido reflejada por los objetos situados en nuestro entorno. Por tanto los objetos reciben directamente la luz del Sol, reflejándola o difundiéndola hacia otros objetos que se encuentran en la sombra (Propiedades de la luz s.f.).

Absorción.

Existen superficies y objetos que absorben la mayor parte de las radiaciones luminosas que les llegan. Estos objetos se ven de color negro. Otros tipos de superficies y objetos, absorben sólo una determinada gama de longitudes de onda, reflejando el resto.

Esto sucede por ejemplo con los pigmentos que se utilizan en las técnicas de pintura. Por ejemplo un pigmento rojo absorbe longitudes de onda cortas pero refleja un determinado rango de longitudes de onda larga, cuyo pico se centra alrededor de los 680 nm, por lo que se percibe como rojo (Propiedades de la luz s.f.).

Refracción.

El cambio de dirección que sufren los rayos luminosos al pasar de un medio a otro, donde su velocidad es distinta, da lugar a los fenómenos de refracción. Así si un haz de rayos luminosos incide sobre la superficie de un cuerpo transparente, parte de ellos se reflejan mientras que otra parte se refracta, es decir penetran en el cuerpo transparente experimentando un cambio en su dirección de movimiento (Propiedades de la luz s.f.).

Tipos de Radiación

Radiación Directa.

Es aquella que llega directamente del Sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección. Este tipo de radiación se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan.

Radiación Reflejada.

La radiación reflejada es, como su nombre indica, aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie,

también llamado albedo. Las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no ven ninguna superficie terrestre y las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben (Radiación solar s.f.).

Radiación Global.

Es la radiación total. Es la suma de la radiación directa y la radiación reflejada (Radiación solar s.f.).

UV

Las radiaciones ultravioleta son parte del espectro electromagnético. Éstas se manifiestan en tres bandas o frecuencias: UVA (400-320 nm), UVB (320-290 nm) y UVC (290-200 nm) (Radiación solar s.f.).

PAR

La radiación fotosintéticamente activa (PAR) es la radiación en longitud de onda útiles para la fotosíntesis de las plantas. Se acepta que PAR abarca desde 400 a 700 nm, aunque algunos autores incluyen en PAR desde 350 hasta 850 nm. (Radiación solar s.f.)

Difusa

Es la componente de la radiación solar que al encontrar pequeñas partículas en suspensión en la atmósfera en su camino hacia la tierra e interactuar con las nubes, es difundida en todas las direcciones; el flujo con el cual esta energía incide sobre una superficie horizontal por segundo es lo que llamamos radiación solar difusa. También es definida como la cantidad de energía solar que incide sobre una superficie horizontal desde todos los lugares de la atmósfera diferente de la radiación solar directa. Cuando no hay nubes en el cielo, la radiación difusa se produce por medio del proceso de difusión a través de partículas atmosféricas.

La radiación solar difusa diaria es la cantidad de radiación difusa entre las seis de la mañana y las seis de la tarde y sus valores oscilan entre 300 y 5.500 $W*h/m^2$ al día.

Este tipo de radiación se caracteriza por no producir sombra alguna respecto a los objetos opacos interpuestos. Las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, ya que ven toda la bóveda celeste, mientras que las verticales reciben menos porque sólo ven la mitad (Radiación solar s.f.).

Infrarroja

Se encuentra comprendida entre 760 y 2500 nm. En ella se localiza la energía térmica no luminosa de la radiación solar que sirve, fundamentalmente y desde el punto de vista de la agricultura intensiva, para aumentar la temperatura debajo de las cubiertas plásticas (Díaz *et al.*, 2001).

Efectos de la Radiación

Efecto Invernadero

La absorción de radiación infrarroja procedente de la Tierra es importante en el balance energético de la atmósfera. Esta absorción por los gases traza, calienta la atmósfera, estimulándolos a emitir radiación de onda más larga. Parte de esta radiación es liberada al espacio, en niveles muy altos y otra parte es irradiada nuevamente a la Tierra. El efecto neto de este fenómeno permite que la Tierra almacene más energía cerca de su superficie que la cantidad que podría almacenar si la Tierra no tuviera atmósfera, consecuentemente, la temperatura es más alta, del orden de 33°C más. Este proceso es conocido como el efecto de invernadero natural. Sin el efecto invernadero la temperatura promedio en la superficie seria aproximadamente de 18°C bajo cero y la vida en el planeta no sería posible.

Consecuentemente, los gases en la atmósfera que absorben la radiación infrarroja procedente de la Tierra o radiación saliente son conocidos como gases de efecto invernadero, entre ellos se encuentran el dióxido de carbono, vapor de agua, óxido nitroso, metano y ozono. Todos los gases tienen moléculas cuya frecuencia vibracional se localiza en la parte infrarroja del espectro (Enciclopedia metódica, citado por Moreno 2000).

Inversión Térmica

En Tunisia, Túnez se evaluaron algunos túneles con una cubierta plástica con un 83% de transmisión de radiación y encontraron que por no ser totalmente opaca a la radiación infrarroja, se presentaba el fenómeno conocido como inversión térmica que provoca que la temperatura durante la noche sea menor dentro del túnel comparada con la temperatura exterior este efecto puede tener problemas en regiones templadas y podría ocasionar perdidas en los cultivos por las diferencias de temperatura o por otro lado se requeriría de mucha energía para mantener las temperaturas adecuadas para los cultivos dentro de los túneles (Farhat *et al.,* 2006)

Efectos de la Radiación UV

Las plantas manifiestan respuestas bioquímicas, fisiológicas, morfológicas y anatómicas a la exposición a radiaciones. Las UV producen efectos en el crecimiento lo que conlleva la disminución en la superficie foliar y la disminución en la capacidad para utilizar la radiación solar en la fotosíntesis

Los efectos de las UV aunados a otros factores de estrés como la falta de agua, la deficiencia mineral y el incremento del CO_2 en el ambiente producen cuadros importantes de deterioro en los vegetales (Las UV y los seres vivos s.f.).

Temperatura

La temperatura, juega un papel importante en el desarrollo foliar de cultivos jóvenes. En follajes cerrados la influencia de la temperatura radica principalmente en la respiración de mantenimiento. El sombreado es usado para disminuir la temperatura durante el verano, pero esta práctica intercepta luz. En cultivos como rosas y jitomate esto inmediatamente reduce la producción. El sombreado en invernaderos es esencial en plantas de sombra tales como plantas de macetas que de otra manera pueden crecer más lentamente o aún llegar a presentar ciertas necrosis. Una temperatura elevada produce generalmente internodos más largos y menos ramificaciones.

Las temperaturas ocasionan una desorganización fisiológica debido básicamente al desajuste entre la fotosíntesis y la respiración, lo que origina aborto en plantas y frutos en formación (Castaños, 1993).

La temperatura afecta directamente las reacciones metabólicas que siguen a las reacciones de luz y dependiendo de la eficacia y la velocidad con que se realicen, la asimilación de CO_2 será modificada. Las altas temperaturas limitan la absorción neta de CO_2 al actuar sobre los procesos básicos dependientes de la apertura. La temperatura está relacionada con la transpiración ya que provoca el calentamiento de las hojas por lo que la planta tiene que transpirar o de lo contrario sufriría lesiones (Díaz, 1988).

Se ha demostrado que la velocidad de fotosíntesis aumenta al incrementarse la temperatura, pero al pasar los 40°C la velocidad desciende rápidamente, y ocurre la desnaturalización de las enzimas, por efectos del calor que lleva a una disminución en la fotosíntesis. La velocidad de transpiración es más baja durante la noche ya que los estomas suelen estar cerrados y la temperatura más baja reduce la velocidad de evaporación de agua de las células del mesófilo (Alexander, 1992).

Invernaderos y Túneles

Los invernaderos en México, no son una novedad hace tres décadas iniciaron con la producción de trasplantes en Sinaloa con el modelo "Speedling", para luego extenderse al resto del país (Urrutia, 2002).

El homopolímero de polietileno de baja densidad (LDPE) y los copolímeros de acetato de etileno-vinil (EVAs) son los materiales plásticos más comunes usados para películas de cobertura de invernadero (Espí, *et al.* 2007)

El inventario de superficie bajo invernadero es difícil de precisar como también lo es la superficie por cultivo. De las 1205 hectáreas con invernadero corresponden a tomate bola un 27%, tomate cherry 30%, tomate en cluster y en ramo con un 9%, otros tomates un 6%, pepino y pimiento con 11% cada uno y el resto de cultivos 6% (Urrutia, 2002)

El uso de aquellos compuestos poliméricos como materiales de cobertura para invernaderos o películas para agricultura está en incremento probablemente debido a que

pueden proveer calidad de producto y producción al proteger las plantas de los cambios climáticos extremos, optimizando las condiciones de crecimiento, extendiendo las temporadas de cosecha y reduciendo las enfermedades de las plantas. En un invernadero, la exposición solar que permite a la radiación visible, ultravioleta e infrarroja cercana, pasar a través de la cobertura del invernadero, podría provocar un incremento de la temperatura al interior del invernadero. La energía térmica podría ser acumulada dentro del invernadero durante el día y ser re-emitida a los alrededores en la noche, permitiendo una condición térmica estable lo que podría proveer un crecimiento estable para las plantas dentro del invernadero. (Charinpanitkul 2007).

Un invernadero es considerado como un colector "físico" de la radiación solar, el 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 (Gary y Baille 1999; Baille, 1999). Para ello, a fin de aumentar la transmisibilidad de la radiación se han evaluado diferentes estructuras (Castilla *et al.,* 2000) con el fin 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) A pesar de dichos estudios la industria de las estructuras de los invernaderos se ha ido imponiendo en el sentido de que ofrece diseños de estructuras tubulares y modulares con relativa facilidad en el montaje, cimentación sin grandes complicaciones pero con gran estanqueidad. En México se ve un gran potencial, siempre y cuando sea debidamente planeada y organizada la industria de los invernaderos.

De la superficie con invernaderos en México, predominan las cubiertas de plástico con un 59%, enseguida la malla-sombra o bioespacios con un 34%, el vidrio solo representa un 3% y el resto un 4% corresponde a otros materiales. Los bioespacios a diferencia de los invernaderos, el principio básicos de estos es reducir los problemas de alta temperatura, por ello estos principalmente se han establecido en el noroeste del país. El bioespacio ha sido definido por Bustamante (1997 y 2003) y es un concepto que conjunta prácticas agronómicas y la modificación microambiental, en zonas con alta irradianza y temperatura, y baja humedad

relativa, para favorecer el crecimiento y desarrollo de las plantas (particularmente hortalizas de frutos).

La agricultura es la actividad del hombre desarrollada para convertir la energía solar natural en energía química útil por medio de las plantas y animales. La energía fósil también está siendo utilizada en los sistemas de calefacción, particularmente en la horticultura protegida intensiva y sin duda en la producción de plántulas en los semilleros. Esta es una manera indirecta de convertir la energía fósil en energía química por medio de las plantas y animales (Dekkers *et al.,* 1974; Baille, 1999)

Aún cuando la producción de cultivos se realiza bajo condiciones protegidas, esta presenta problemas de diversa índole como plagas y enfermedades como mosca blanca, minadores de hojas, picudos, chicharrita, trips, ácaros, *Botrytis*, *Phytophtora*, desordenes fisiológicos como podredumbre apical, etc. Por sus daños indirectos al actuar como vectores de virus mosca blanca y trips destacan en mayor medida. Respecto al clima las oscilaciones extremas de frío y calor así como los excesos de humedad son las variables a tener en cuenta.

Las metas más importantes del control del clima del invernadero son:

- Obtener una producción alta.
- Lograr una planeación óptima de la cosecha.
- Obtener una calidad óptima del producto.
- Manejar en forma apropiada de los riesgos (prevención de calamidades)
- Lograr metas ambientales (uso de pesticidas y energía)
- Lograr condiciones óptimas del cultivo
- Tener una adecuada administración de costos (energía, CO_2, mano de obra)

El control del clima del invernadero no puede ser considerado en forma separada del cultivo para el cual uno desea crear las condiciones óptimas. El cultivo juega un papel doble: cambia su ambiente y reacciona a él. La fotosíntesis y respiración del cultivo afecta el balance

de masas de CO_2 y presión de vapor de agua del aire, así como el balance de energía del invernadero (López 2003).

Es conocido que los factores climáticos del invernadero deben de permanecer dentro de ciertos límites para prevenir problemas con la calidad del producto. Estos son mostrados en forma genérica en la Tabla 2. Cabe notar que no son límites absolutos sino que dependen del tiempo y grado de exposición y son afectados por otros factores climáticos.

Tabla 2. Influencia de factores climáticos sobre la calidad

Factor climático	Límite inferior	Límite superior
Luz	Pobre desarrollo del producto Susceptibilidad Muerte	Daño (quemaduras, especialmente plantas en maceta)
CO_2	Pérdida de producción debido a un incremento en la foto-respiración	Daño (combustión de productos)
Temperatura	Daño por frío Deformaciones	Daño por calor
Humedad del aire	Ocurrencia de enfermedades e infestaciones de plagas Deshidratación	Síntomas de aparición de enfermedades Síntomas de deficiencias (Ca)

Fuente: López, 2003

El clima del invernadero afecta el *crecimiento y desarrollo del cultivo*. El crecimiento de un cultivo es definido aquí como un incremento en la biomasa o tamaño de la planta . Los factores que afectan más el crecimiento son: luz, temperatura, CO_2 y humedad del aire. Sin importar las condiciones de luz, el enriquecimiento con CO_2 durante el día tiene un efecto positivo sobre la tasa de crecimiento. Este efecto positivo se debe a un incremento en la fotosíntesis generado por un incremento en la tasa de fijación de CO_2 por la enzima Rubisco y la supresión de foto respiración . El daño observado a concentraciones superiores a 1000 μ mol mol^{-1} se debe más bien a la influencia de contaminantes en la combustión de gases tales como oxido o dióxido de nitrógeno, etileno o propileno. En condiciones de invernaderos mexicanos se ha encontrado daño por el uso de gas para el calentamiento del invernadero lo cual pareciera confirmar esta hipótesis, que sin embargo requiere de mayor investigación. Aunque es difícil definir una humedad del aire óptima para el crecimiento, se ha observado que valores extremos no son recomendables. Una humedad relativa alta debe ser evitada por su relación con enfermedades fungosas. En jitomate la humedad relativa afecta de manera importante la polinización. El desarrollo es definido como un cambio ordenado o progreso frecuentemente hacia un estado más alto, más ordenado y más complejo (López 2003). La tasa de desarrollo es el tiempo requerido para un cambio en una fase de desarrollo (Goudriaan and van Laar, 1994). La temperatura es el factor climático más importante que afecta la tasa de

desarrollo. La tasa de desarrollo se incrementa con un incremento en la temperatura. Los factores climáticos juegan un papel muy importante en el control de las transiciones de fase de los cultivos i.e. germinación de semillas, brotado de bulbos y tubérculos, floración y la formación de órganos de almacenamiento. La temperatura óptima para germinación es generalmente alta. La temperatura del suelo es generalmente alta comparada con la del aire para el brotado de bulbos. La floración, en muchos cultivos, es dependiente de factores exógenos: longitud del día, temperatura + longitud del día, luz + longitud del día. Existen plantas de día largo y días cortos y plantas neutrales. En el invernadero esto puede ser influenciado mediante pantallas y luz artificial. La formación de flores puede ser influenciada mediante factores ambientales. El control del tamaño, forma de un cultivo y producto es una cuestión importante. La estructura del cultivo es importante en muchos cultivos para permitir una interceptación óptima de luz y la formación de suficientemente grandes o tempranos demandantes para la producción de productos cosechables. El crecimiento del cultivo favorece un cultivo uniforme, mayor eficiencia, manejo optimo del cultivo, etc. El logro de la calidad deseada de un producto, tal como tamaño óptimo, forma y apariencia, uniformidad, etc. Los factores que más afectan el tamaño y forma son luz, temperatura y enriquecimiento con CO_2. El CO_2 influye el tamaño y forma principalmente a través de la fotosíntesis pero también tiene algunos efectos morfológicos tales como un mayor cociente raíz / tallo y hojas delgadas (López 2003).

La transmisión de la radiación solar a través de la cubierta influye tanto en el balance energético de 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 (Goldberg *et al.,* 1996). 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 la energía térmica 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 al manejo del cultivo (Alpi y Togniioni, 1991).

Cubiertas de Invernadero y sus Propiedades

El material de la 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 (Muñoz-Ramos, 2004).

El material que se emplea en la cobertura del invernadero es otro modificador de la radiación incidente por ello se procurará que la distorsión que surge no sea lo mismo en detrimento de las necesidades de los cultivos, estando en primer lugar la calidad de la radiación transmitida especialmente en cuanto a radiación fotosintéticamente activa (PAR) y a la calorífica en sus dos aspectos de permeabilidad a los rayos infrarrojos cortos (IRC) e impermeabilidad a los infrarrojos largos (IRL) especialmente entre los 7 y 14 micras de longitud de onda. Por eso es importante que los materiales de cobertura deben tener unas buenas propiedades ópticas, en las que tienen especial interés la transmisión o transparencia a la luz visible, así como una buena difusión o dispersión de la luz (Bretones, 1991)

Materiales Rígidos

Polipropileno

Son una mezcla compleja de polímeros heterofásicos o bloques constituida por una base de polipropileno homopolímero y una "goma" copolímero etileno-polipropileno dispersada en la matriz. Los copolímeros heterofásicos conjugan propiedades de rigidez y alta resistencia al impacto y rasgado, especialmente a baja temperatura. Las variables del proceso de producción son la clave para la obtención de materiales con un balance adecuado de estas propiedades. (Muñoz 2004)

Policarbonato

Esta placa está protegida, por la parte que se expone al exterior, por una película que protege de los rayos UV al resto del material para evitar su degradación. También se fabrica sin esta protección a las radiaciones UV, pero no es conveniente utilizarla en la cubierta de invernadero.

La transformación a la luz de la gama de radiaciones visibles e infrarrojos cortos es del 76-83%, según el grosor de la placa y cantidad de paredes (2 ó 3), en las placas que no llevan protector a las radiaciones UV.

En los productos que lleven la protección en la parte exterior, para no dejar pasar a las radiaciones UV, éstas no pasan al exterior; esta propiedad, que presenta una ventaja para los cultivos que se hacen en invernaderos, resulta inconveniente cuando el invernadero está dedicado a producción de plantas hortícolas, que luego van a plantarse al aire libre, por efecto de choque que se produce, al recibir la luz directa del sol con todas las radiaciones UV.

El policarbonato celular tiene una opacidad total a las radiaciones de longitud de onda larga (Muñoz-Ramos, 2004).

Poliéster con Fibra de Vidrio.

La propiedad principal del poliéster es la de tener un gran poder de difusión de la luz, creando en el interior del invernadero una iluminación uniforme. Con toda materia orgánica las placas de poliéster se ven afectadas por la radiación UV que produce en ellas cambios de color. El amarillo primitivo adquiere tonos más fuertes según va pasando el tiempo, que se transformas en tonos tostados, para terminar adquiriendo tonalidad marrón. El viento, arena, lluvia, nieve y granizo, e incluso desgastar las placas y erosionarlas, dando lugar al florecimiento de las fibras y a su oscurecimiento. Ello da lugar a una pérdida de transparencia y a una reducción del poder de difusión de la luz (Muñoz-Ramos, 2004).

Las láminas de poliéster reforzado tiene una transparencia a las radiaciones solares comprendidas entre el 80-90%. El poder de reflexión está entre 5 y 8%; su poder absorbente es del 15-20%.

El poliéster reforzado con fibra de vidrio tiene un gran poder absorbente para las radiaciones UV de la luz; la lámina de polifluoruro de vinilo es aún más absorbente en esas radiaciones. Tiene un gran poder de difusión a la luz.

Este material plástico es muy opaco a las radiaciones de larga longitud de onda, o radiaciones nocturnas. Se asemeja al vidrio. El coeficiente de dilatación térmica es muy bajo.

En los invernaderos de poliéster, reforzado con fibra de vidrio, la falta de radiaciones UV puede originar problemas en los invernaderos dedicados a la producción de plantas, que luego va a ser plantada al cultivo en aire libre (Los plásticos en la agricultura s.f.).

Policloruro de Vinilo (PVC)

Su principal ventaja es una opacidad a la radiación térmica menor del 40%, y una alta transmitancia a la radiación visible, aproximadamente del 90%.

Los filmes de PVC se presentan en su versión de PVC armados que consisten en una red interior que mejora las cualidades físicas de la lámina, por contra se reduce la transmitancia.

Para mejorar su comportamiento se añaden antioxidantes, estabilizantes y absorbentes UV. Así, el PVC fotoselectivo-fluorescente es aquel en que se han añadido aditivos que mejoran la captación de longitud de onda entre los 0,5 y 0,6 mm.

Los materiales de PVC tienen el inconveniente de fijar bastante el polvo en su superficie (Wang, 2004).

Materiales Flexibles

Policloruro de Vinilo (PVC)

Es un material rígido que mediante plastificantes se consigue transformar en flexible. Transmite la luz visible en porcentajes elevados, pero con baja dispersión. Su elevada electricidad estática hace que el polvo se adhiera fácilmente, restándole transmisividad. Su elevado contenido en cloro le proporciona un buen efecto barrera al IR (Muñoz-Ramos, 2004).

Polietileno (PE)

El PE transparente tiene un poder absorbente de 5 al 30% en los espesores utilizados en agricultura; el poder de reflexión es de 10 al 14%; el poder de difusión es bajo. Según esto, la transparencia del PE está comprendida entre el 70-85%, es decir, dentro del recinto cubierto por el material plástico se percibe un 15-30% menos de luz aproximadamente que en el exterior.

El PE no se oscurece como ocurre con el PVC y el poliéster. Debido a su gran transparencia, el PE transparente da lugar durante el día a un elevado calentamiento del aire y suelo del interior del invernadero.

En el mercado existen tres tipos de polietileno:

a) Polietileno Normal.

Presenta muy poca opacidad a las radiaciones nocturnas del suelo; es permeable en un 70% a las radiaciones de longitud de onda larga que emiten el suelo y las plantas.

En el PE transparente normal se forma una lámina de agua, que aunque tiene inconvenientes para los cultivos, retiene un poco el calor que emiten las plantas y el suelo durante la noche.

Las láminas de PE normal, cuando se utilizan como cubierta de invernadero, si no lleva en su composición antioxidantes e inhibidores de rayos UV, la duración de éstos tipos de plásticos no excede de un año, reduciéndose a 10 meses cuando la luminosidad es muy fuerte y prolongada y las oscilaciones térmicas son considerables.

b) Polietileno Normal de Larga Duración

Este tipo de PE tiene unas características idénticas al PE normal, a excepción de su duración, que es bastante mayor, debido a los antioxidantes e inhibidores que lleva en su composición puede durar de 2 a 3 años, según la luminosidad y el régimen de viento al que se éste expuesta la lámina.

c) Polietileno Térmico de Larga Duración

El PE transparente térmico es un plástico que tiene la propiedad de dificultar mucho el paso de las radiaciones nocturnas (tiene una permeabilidad del 18% a las radiaciones longitud de onda larga en grosores de 200 micras). Esto permite a los invernaderos cubiertos con este material que se anule casi en su totalidad la inversión térmica y que las temperaturas mínimas absolutas sean de unos 2 ó 3 °C más elevadas a las registradas en cubiertas de PE normal.

El PE transparente térmico, por los aditivos que se emplean en su fabricación, tienen un gran poder de difusión de la luz, que en algunas marcas comerciales puede llegar al 75 u

80% de la radiación luminosa que atraviesa la lámina de plástico; también, por la misma razón de los aditivos añadidos, tienen un buen efecto antigoteo (Los plásticos en la agricultura)

Copolímero Etil-Acetato de Vinilo (EVA).

Su transparencia a la luz visible cuando el material es nuevo es más alta que la del polietileno térmico, la opacidad a las radiaciones térmicas depende del contenido de acetato de vinilo, siendo necesario del 15 al 18% de VA para conseguir un buen nivel térmico para un espesor de 150 a 200 micras. Desafortunadamente el EVA presenta excesiva plasticidad (cuando se estira no se recupera), elevadas cargas electrostáticas, lo que conlleva a que el polvo se adhiera fácilmente, el cual reduce hasta en un 15% la transmisibilidad de la radiación. Además, dicha característica hace más difícil las labores de limpieza del mismo polvo y del material de blanqueo que se utiliza para reflejar la radiación durante el verano y reducir la temperaturas en el interior del invernadero. Por lo anterior el uso del EVA ha sido limitado, no obstante la industria correspondiente se ha empeñado en ofrecer productos con tres capas (tricapa) incorporando la lámina de EVA en la parte interna para reducir los inconvenientes mencionados. De esta manera, estos materiales llegan a superar en transmisibilidad de la radiación a los materiales elaborados exclusivamente con PEbd.

Tabla 3. Valoración de las principales propiedades de cuatro de los materiales de cubierta plásticos más utilizados

PROPIEDAD	PE	PVC	EVA	PC
Resistencia a UVU	+/-	-/+	+	+
Transparencia a rad. Visibles	-/+	+	+	-
Propiedades térmicas	-/+	+	+/-	+
Antigoteo	-	-	-	+
Propiedades mecánicas	-/+	+/-	+	+
Compatibilidad con aditivos	-	+	+	+
Resistencia al rasgado	+	+	-	+
Resistencia a las bajas temperaturas	-	-	+	+
Resistencia a las altas temperaturas	+	-/+	-	+
Precio	+	-	+	-
Anchuras grandes	+	-	+	-

+ Óptimo, +/- Bueno, -/+ Mediano, - Insuficiente

Fuente: servicios.ideal.es, Los plásticos en la agricultura

Materiales de Cobertura Frente a Radiaciones de Onda Corta

La radiación solar de onda corta al incidir sobre una superficie se descompone en radiación reflejada, transmitida y absorbida. La proporción de estas depende del ángulo de incidencia y de las propiedades del material (espesor, superficie, aditivos, etc.). En la radiación de onda corta se encuentra la radiación PAR, de ahí que los materiales de cubierta deben propiciar la transmisividad de la misma. El material también influye en la proporción de radiación transmitida la cual se descompone en difusa y directa. Una forma sencilla de evaluar la proporción de radiación difusa es observando la proyección de las sombras dentro del invernadero (Muñoz-Ramos, 2004).

La radiación difusa al incidir sobre un objeto lo hace en todas direcciones como si se tratara de una bóveda, por lo que casi no se proyectan sombras. Las casas comerciales refieren la transmisividad de la cubierta cuando la luz incide perpendicularmente sobre esta, alcanzando valores superiores al 90%. Pero en la realidad esto no ocurre, así lo demuestran estudios donde la radiación PAR en el interior del invernadero en promedio apenas si alcanza el 60%.

Materiales de Cobertura Frente a Radiaciones de Onda Larga

La radiación recibida sobre la superficie de la tierra depende de la masa de aire, turbidez de la atmósfera y contenido de agua en el aire. De la radiación recibida el 80% es en forma de calor el cual es absorbido por las plantas y el suelo, de ahí el calentamiento del invernadero. Este efecto térmico difiere en varios grados centígrados dependiendo de las condiciones atmosféricas y de las características del film. El PE por su baja opacidad al infrarrojo (>70%) tiene un escaso efecto invernadero. Para que el PE absorba dicha radiación y no la deje escapar se consigue con aditivos dando lugar al PE térmico y se alcanza este grado cuando el PE trasmite menos del 20% de la radiación de onda larga (Muñoz-Ramos, 2004)

ESTADO DEL ARTE O ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

El uso de invernaderos en la producción agrícola se ha incrementado en las últimas dos décadas. EL objetivo principal de un invernadero es producir altos rendimientos fuera de las temporadas de cultivo, lo que es posible al mantener la temperatura óptima en cada etapa del cultivo. Esto, como resultado, tiene un impacto significante en el periodo de cultivo, calidad y cantidad de los productos (Sethi, *et al.* 2008).

Castilla 2005. Menciona que la radiación solar es el primer parámetro climático para evaluar la aptitud climática de una región para el cultivo protegido. Las fases del desarrollo más importantes en cultivos de invernadero son la germinación y brotación (de bulbos y cormos), la floración y la formación de órganos de reserva.

Los nuevos desarrollos se encaminan a mejorar las propiedades ópticas como: fotoselectividad, fluorescencia, transmisividad y difusión, y materiales multicapa que combinan estas propiedades ópticas.

Niveles altos de humedad traen consigo un incremento en la tasa fotosintética, peso fresco y seco, longitud del tallo y área de cobertura foliar.

La transmisión de radiación fotosintéticamente activa del invernadero y los requerimientos de calefacción no son únicamente afectados por el material de cobertura, sino que también por muchos otros factores como la estructura del invernadero, tamaño, orientación y pantallas térmicas (Cemek 2006).

Plásticos Fotoselectivos.

Los plásticos fotoselectivos modifican la cantidad y calidad de la radiación. En la zona del infrarrojo cercano (700 – 1000 nm) se induce un alargamiento en la planta. Estudios sobre la fotomorfogénesis 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 nm) es donde se concentra la mayor radiación aprovechada en fotosíntesis o radiación PAR.

Así se han formulado plásticos que permiten seleccionar estas longitudes de onda del infrarrojo y por tanto adaptarlas a las necesidades lumínicas de la planta durante su desarrollo fenológico, fomentando así los niveles de producción.

La radiación UV disminuye la tasa metabólica en la fotosíntesis, provocando deterioro en su crecimiento.

La radiación UV-b incide sobre la esporulación de *Botrytis cinerea* y otros hongos

Los materiales de cubierta son el principal factor influyente en el aprovechamiento de la radiación ya que además de determinar la eficiencia fisiológica del cultivo, proporcionan un ambiente térmico adecuado en el día y la noche para el buen desarrollo del mismo.

La tendencia en todos los cultivos es buscar por medio de los plásticos el mayor porcentaje de transmisión de luz, tanto visible como difusa, ya que si dentro del invernadero se logran condiciones óptimas, las plantas podrán capturar todo el potencial lumínico del sol y convertirlo en mejores desarrollos fisiológicos (Díaz et al., 2001).

Los cultivos protegidos en forma de túneles o invernaderos con filmes plásticos opacos a la radiación IR media, especialmente entre 7 y 14 μm, tienen un mayor desarrollo vegetativo y dan cosechas más tempranas, de mayor calidad y más abundantes. Estas ventajas son mayores cuanto más opaco es el filme a ese intervalo de longitudes de onda y, al mismo tiempo, más transparente a la luz visible, necesaria para el proceso fotosintético. Estos filmes, conocidos internacionalmente como térmicos o termoaislantes, reducen el riesgo de heladas en los cultivos bajo cubierta plástica puesto que disminuyen las pérdidas de calor por radiación y mantienen un nivel térmico más alto dentro del invernadero que los filmes normales. El polietileno de baja densidad, que es el polímero más usado en filmes agrícolas, es muy transparente a esas longitudes de onda.

ÁREAS DE OPORTUNIDAD

Agricultura

La selección de la cubierta es una de las decisiones más importantes en la producción agrícola bajo protección, por lo que el conocimiento de la interacción entre el material plástico y la radiación que posteriormente va a ser aprovechada por la planta es fundamental para la obtención de altos rendimientos y es muy importante que los agricultores o usuarios de estas tecnologías tengan el conocimiento necesario para que puedan seleccionar los plásticos que más se necesiten de acuerdo a sus condiciones ambientales y cultivos que van a producir, para asegurar un buen resultado.

Industria

La comprensión de los efectos que tiene el paso de la radiación a través de los materiales es de gran importancia para las compañías que se dedican a la fabricación de las coberturas por ser quienes presentan sus productos con características específicas que son tomadas en cuenta para la producción en invernaderos; la diversidad de climas en México representa un reto para los fabricantes de coberturas para invernadero por que es necesario adecuar las propiedades que éstas puedan ofrecer a los diversos ambientes del país, por lo que es necesario que inviertan más en investigación y desarrollo de tecnología para el desarrollo de materiales más adecuados a las regiones del país.

Investigación

La radiación representa una variable de estudio en el crecimiento vegetal la cual está siendo dirigida de forma general, sin embargo todas las plantas presentan variación en sus requerimientos a la luz ya sea en su longitud de onda, periodo de exposición o cantidad por lo que es necesario estudiar las necesidades lumínicas para cada cultivo y la forma en que afectan a otros factores de vital importancia para el desarrollo de las plantas y aplicar estos conocimientos para el desarrollo de nuevos materiales plásticos para invernadero que proporcionen las características ópticas y térmicas más adecuadas a cada cultivo y a cada

región del país para potenciar las respuestas de los cultivos en mayores rendimientos y calidad de la producción

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los efectos que trae consigo el paso de la radiación a través de la película de cobertura del invernadero tienen influencia al interior del invernadero sobre la temperatura, la humedad relativa, la concentración de CO_2; estos aspectos a su vez interactúan con los procesos fisiológicos de la planta como en la fotosíntesis, respiración, transpiración, reproducción lo que determina en forma directa la producción o rendimiento del cultivo.

Es conveniente que los materiales de cobertura brinden una alta proporción de radiación difusa para evitar posibles quemaduras y en cultivos de porte alto permite que las hojas de estratos inferiores reciban más radiación.

El plástico es la clave para el desarrollo de la tecnología de protección idónea para climas cálidos y es lo suficientemente versátil como para usarse también en zonas frías con las adaptaciones necesarias de ahí la importancia de seguir con las investigaciones de las respuestas de las cultivos a las condiciones ambientales, principalmente radiación solar y poder desarrollar materiales plásticos más adecuados a las diferentes condiciones climáticas y a las necesidades específicas de los cultivos que económicamente son más rentables bajo las técnicas de producción en invernadero.

NOMENCLATURA

°C	Grados Centígrados
EVA	Copolímero Etil-Acetato De Vinilo
h	hora
IR	Infrarrojo
mm	milímetro
μm	micrómetro
m	metro
nm	nanómetro
PAR	Radiación Fotosintéticamente Activa
PE	Polietileno
PEbd	Polietileno de baja densidad
UV	Ultravioleta
UVA	Ultravioleta tipo A
UVB	Ultravioleta tipo B
VPD	Déficit de Presión de Vapor
W	Watt

BIBLIOGRAFÍA

Alexander, P. 1992. Biología, Prentice Hall. New Jersey. Printed in USA; 57-67

Alpi, A. y Tognioni, F. 1991. Cultivo en invernadero. Actual orientación científica y técnica. 3era ed. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa. 343 p.

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.

Bakker JC, Welles GWH, Van Ufflen JAM. 1987. The effects of day and night humidity on yield and quality of greenhouse cucumbers. J Hortic Sci; 62:363–70.

Bretones, F. 1991. Producción de hortalizas en invernadero. Conferencia Internacional sobre plásticos en Agricultura; Proyección y usos en las zonas áridas. Saltillo, Coahuila..

Castaños, C. M. 1993. Horticultura: Manejo simplificado. Primera edición. Universidad Autónoma Chapingo. Dirección General del Patronato Universitario, Chapingo, México. P. 241-243.

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

Castilla, N. 2005. Invernaderos de plástico tecnología y manejo. Mundi Prensa

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

Catalina, F,; Santamaría, R.; Salmerón, A,; Espi, E. 2000. Revista de plásticos modernos, 80, 290 – 297.

Cemek, B., Demir Y. 2006. The effects of different greenhouse covering materials on energy requirement, growth and yield of aubergine. Energy 31 (2006) 1780–1788

Charinpanitkul, T. (2007). Optical Transmission of Greenhouse Film Prepared from Composite of Polyethylene and Microsilica. J. Ind. Eng. Chem. , 13 (6), 992-996.

Chermnykh, L. and Kosobrukhov, A. 1998. Effect of environmental factors of optimum temperatura on photosynthetic intensity of plant adapted to various conditions. Hort. Abst 58 (11): 942.

Dekkers, W. A., Lange, J. M. y de Wit, C. T. 1974. Energy production and use en Dutch agriculture. Neth. J. Agric. Sci., 22: 107-118.

Díaz Serrano, T., Espí Guzman, E., Fontecha Recio, A., Jiménez García, J. C., López Gálvez, J., & Salmerón Cano, A. (2001). Los Filmes Plásticos en la Producción Agrícola. Madrid, España: Repsol YPF - Mundi-Prensa.

Díaz, I.M.G.1988. Fotosíntesis, conductancia estomática y transpiración de frijol (Phaseolus vulgaris) bajo condiciones de campo. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Espí E., Salmerón A., Fontecha A., García Y., Real A.I. 2007. The effect of different variables on the accelerated and natural weathering of agricultural films. Polymer Degradation and Stability 92 (2007) 2150 – 2154.

Farhat, A., Kooli, S., Kerkeni, C., Maalej, M., Fadhel, A., & Ali, B. (2006). Validation of a pepper drying model in a polyethylene tunnel greenhouse. International Journal of Thermal Sciences (43), 53–58

Gary, C. y Baille, A., 1999. The greenhouse carbon cycle. Ecosystems of the world 20. Greenhouse Ecosystems. G. Stanhill and H. Zvi Enoch (Eds.) Elsevier. Chapter 12: 287-301.

Goldberg, M.; Orden S.; Mascarini, L. y Sierra, E. 1996. Transmisión Espectral en la Banda del PAR de las Cubiertas Plásticas para Invernaderos. Revista de la Asociación Argentina de Horticultura 15 (38): 51 – 54.

Goudriaan J. and van Laar H.H., 1994, Modelling Potential Crop Growth Processes. Texbook with exercises, Kuwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.

López, I. L. (2003). Control Computarizado del Ambiente en Invernaderos. Primer Simposio Regional de Producción de Cultivos en Invernaderos, 3 y 4 de abril del 2003. UANL

M. Lazaar et al, Use of solar energy for the agricultural greenhouses autonomous conditioning, Desalination 168 (2004) 169 – 175.

Moreno C., C. 2000. Distribución de la Radiación Solar en el Cultivo de Maíz (Zea mays L.) Bajo diferentes Densidades de Población. Tesis M.C. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México.

Muñoz-Ramos, J.J. 2004. Estructuras de Invernaderos y Cubiertas de Protección. p. 18-34. En: J.Z. Castellanos (Ed). Manual de Producción Hortícola en Invernadero. 2ª Ed. INTAGRI. México.

Muñoz-Ramos, J.J., Castellanos R. J.Z. 2003. Horticultura Protegida, Antecedentes y Perspectivas de Desarrollo en México y el Sistema Agrícola Almeriense. Primer Simposio Internacional de Producción de Cultivos en Invernaderos, 3 y 4 de abril del 2003. UANL

Papadopoulos AP, Hao X. 1997. Effects of greenhouse covers on seedless cucumber growth, productivity, and energy use. Sci Hortic ; 68:113–23.

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

Sethi, V.P., Sharma, S.K. 2008. Survey and evaluation of heating technologies for worldwide agricultural greenhouse applications, Sol. Energy.

Torres, R. E. 1995. Agrometeorología Editorial Trillas. México.

Urrutia, A. 2002. Perspectivas de la industria en México. 3° Congreso Internacional de Producción de Hortalizas en Invernadero. AMPHI – México, Diciembre 5 del 2002.

Villalobos, F.J., Hall, A.J., Ritchie, J.T., and F. Orgaz. 1996. OILCROP-SUN: A development, growth and yield model of the sunflower crop. Agronomy Journal 88:3, 403-415.

Wan S., Keun S. 2004. Materials and Designs of Greenhouses. Segundo Simposio Internacional de Producción de Cultivos en Invernaderos, 20 y 21 de mayo del 2004. UANL.

Zarca, Y. 1992. Películas Fotoselectivas y Fluorescentes en Plasticultura. CEPLA

Páginas de internet

Las UV y los seres vivos. (s.f.). Recuperado el 20 de Febrero de 2008, de http://www.sagan-gea.org/hojared_radiacion/paginas/Las_UV_y_los_seres_vivos.html

Los plásticos en la agricultura. (s.f.). Recuperado el 25 de Octubre de 2007, de http://servicios.ideal.es/canalagro/datos/industria_auxiliar/plasticos.htm

Mayorga, R. (15 de Enero de 2007). Radiación Solar, 11.6408. (IDEAM) Recuperado el 23 de Junio de 2008, de http://www.ideam.gov.co/radiacion.htm

Propiedades de la luz. (s.f.). Recuperado el 23 de Junio de 2008, de http://webvision.med.utah.edu/spanish/fisicaluz.html

Radiación solar. (s.f.). Recuperado el 8 de Junio de 2008, de Espectro: http://www.ideam.gov.co/radiacion.htm

Sun Master. (2004). (Venture Lighting) Recuperado el 05 de Marzo de 2008, de Light and Plants: http://www.sunmastergrowlamps.com/SunmLightandPlants.html