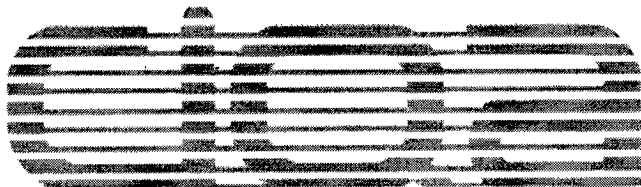


**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA**



**EFECTO DE LA TEMPERATURA GENERADA POR  
CUBIERTAS PLASTICAS EN LA DEMANDA  
NUTRIMENTAL DE ESPECIES CULTIVADAS EN  
AMBIENTES PROTEGIDOS**

**CASO DE ESTUDIO**

**PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA**

**OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA**

**PRESENTA:**

**ING. OLIVIA OLIVAR VILLALDAMA**

**SALTILLO, COAHUILA**

**31 DE AGOSTO DE 2009**

093

77.1.10

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA**



**HACE CONSTAR QUE EL CASO DE ESTUDIO TITULADO:**

**EFFECTO DE LA TEMPERATURA GENERADA POR  
CUBIERTAS PLASTICAS EN LA DEMANDA  
NUTRIMENTAL DE ESPECIES CULTIVADAS EN  
AMBIENTES PROTEGIDOS**

**PRESENTADO POR:**

**ING. OLIVIA OLIVAR VILLALDAMA**

**PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA**

**OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA**

**Ha sido dirigido por:**

**DR. LUIS ALONSO VALDEZ AGUILAR**

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA**



**A TRAVÉS DEL JURADO EXAMINADOR SE HACE CONSTAR  
QUE EL CASO DE ESTUDIO TITULADO:**

**EFFECTO DE LA TEMPERATURA GENERADA POR  
CUBIERTAS PLASTICAS EN LA DEMANDA  
NUTRIMENTAL DE ESPECIES CULTIVADAS EN  
AMBIENTES PROTEGIDOS**


**PRESENTADO POR:**

**ING. OLIVIA OLIVAR VILLALDAMA**

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

**ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA**

**OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA**

  
\_\_\_\_\_  
**DR. MARCO ANTONIO ARELLANO**

**SINODALES**

  
\_\_\_\_\_  
**MC. EDUARDO A. TREVIÑO LOPEZ**

**SALTILLO, COAHUILA**

**31 DE AGOSTO DE 2009**

## AGRADECIMIENTOS

**CONACYT:** Gracias por brindarme el apoyo económico durante mi estancia en la especialización en Química aplicada, pues es un incentivo que nos brinda a que nos formemos profesionalmente.

**CIQA:** Gracias al Centro de Investigación en Química Aplicada por abrirme las puertas para llevar a cabo la especialización en agroplasticultura, gracias a esta oportunidad, puede encontrar una fuente de trabajo, de la cual me es grato haber pertenecido a esta Institución.

**DR. Luis Alonso Valdez:** Por el apoyo durante la realización del caso de estudio, siendo el asesor principal, gracias por sus consejos y aportaciones científicas respecto al trabajo, por la humildad que siempre me transmitió y el gran ser humano que es, por la comprensión que siempre brindo y el gran entusiasmo que trasmite.

**DR. Marco Antonio Arellano:** Gracias Dr. por sus consejos durante mi estancia, y por ser un gran maestro, también por ayudarme en la realización de mi caso de estudio, gracias por brindarme su confianza, por su valiosos consejos y colaboración. Es un gran ser humano y un amigo.

**MC. Eduardo Treviño:** Muchas gracias por aceptar ser parte del jurado calificador, aunque con presiones, siempre estuvo al pendiente del presente caso, por su gran disposición, siempre ha mostrado esa ayuda incondicional, además por ser nuestro profesor del cual hemos aprendido.

A todos los maestros de CIQA, del departamento de agroplasticultura: MC. Juanita Flores, Dr. Luis Ibarra, Dr. Luis Lozano.

**MC. Boanerges:** Que Dios te tenga en su santa gloria y te de el eterno descanso†.

DR. Hugo Lira, Por la confianza que depósito en mí y por su gran apoyo en cualquier momento, por ser un gran amigo y ser un ejemplo en mi vida. Lo quiero mucho

MC Isaura: Gracias maestra por brindarnos siempre su apoyo ante cualquier situación y por mostrarse siempre tan comprensiva es un ejemplo a seguir, pues esta entregada en su trabajo. Que Dios la Bendiga.

A la Lic. Imelda y Nancy, que siempre se encontraban en la mejor disposición para cualquier aclaración, gracias por la amabilidad que siempre me brindaron, son muy eficientes en cada uno de sus trabajos.

## DEDICATORIAS

DIOS: Por darme la vida, cuidarme y bendecir cada uno de mis triunfos y por su inmenso amor, Gracias

A ti mi angelito Juan Santos por ser el impulsor de cada uno de mis éxitos, para poder cumplir sueños, siempre quise ser un ejemplo para ti y poder apoyarte. Ahora todo lo haré por ti, en tu honor, cada felicidad será tuya, porque me dejaste algo especial; tu gran nobleza y ternura, y ese gran corazón lleno de amor incondicional. Que Dios te guarde en su santa Gloria mi niño, Descansa en Paz. Siempre vivirás en nuestros recuerdos y sobre todo en mi corazón y en mi mente. TE AMO SANTITOS †.

A MI TESORO:

**Mi familia;** quienes por ellos aún existo. Gracias por estar presentes. Los amo demasiado. Cada uno es muy especial en mi vida.

Mis jefecitos: Concepción y Tomasa muchas gracias por darme la vida y cuidarme y hacer de mi una persona de bien. Gracias. A ustedes hermanos, espero poder ayudarlos y llenarlos de cariño y amor David, Hilda, Oralia y Omar. Cada uno de ustedes guarda un sentimiento en lo mas profundo de mi ser.

A la abuela Gabriela: Gracias por el apoyo brindado durante nuestra infancia. Te quiero mucho chigüi, la vida sigue y con la ayuda de Dios y nuestros ángeles estaremos presentes.

Amis abuelos que están en el cielo disfrutando de las maravillas de Dios y de lo eterno y contemplando la llegada de mi niño Santintos. Que dios les de el eterno descanso, los extrañamos muchísimo. Siempre vivirán en cada uno de nuestros recuerdos (†).

A Erik Ossiell Torres M. Por estar presente cuando más te necesito, por brindarme todo tu apoyo y amor quien me impulsa a salir adelante a pesar del dolor. Siempre que nos vemos me recibes con una gran sonrisa, un beso y un abrazo, que me hacen ser más fuerte. Te amo chafaldrín. Espero permanecer a tu lado y seguir con nuestra promesa.

A mis sobrinos: Arturo, Tomás Diana y Moisés por ser la alegría de mi familia y que gracias a ellos saldremos adelante. Los quiero peques.

A mis cuñadas Uti y Ciri por cuidar de mis papás, espero poder pagarles algún día en la formación de mis sobrinos. Que dios las bendiga.

A mi gran y única amiga Olga García por quererme y apoyarme incondicionalmente y por demostrarme que la amistad existe. Gracias amiga, te voy a extrañar.

Amis amigos de CIQA: Dinorah, Aricelda, Carlitos, Alberto, Celso y Jaime por brindarme su amistad y por compartir momentos gratos. Suerte en su futuro. A ti Carlitos mucho éxito en tu maestría, eres un gran amigo, te voy a extrañar.

A mis compañeras de casa: Sandra, Viky, Elva y Norma por su compañía y buenos deseos. Gracias por permitirme conocerlas.

A la familia Flores: Doña Luz y Don Refugio, mil respetos para ustedes. Gracias por abrirme sus puertas y ayudarme económicamente, por su apoyo y buenos consejos. Que dios los bendiga y les de más.

## INDICE

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIA.....	iii
I. INTRODUCCION.....	1
II. OBJETIVO.....	2
III. REVISION BIBLIOGRAFICA.....	1
1. La temperatura como un fenómeno físico.....	1
2. Variaciones de la radiación solar sobre un invernadero y su relación con la temperatura.....	1
3. Importancia de la temperatura en los cultivos.....	4
a) Efecto de la temperatura sobre la fisiología de las plantas.....	4
b) Fotosíntesis.....	6
c) Relación entre fotosíntesis y respiración.....	8
d) Relación de la temperatura sobre la transpiración.....	10
e) Humedad Relativa.....	11
4. Efecto de los plásticos sobre la temperatura del suelo fisiología y crecimiento de la planta.....	12
4.1 Propiedades de las cubiertas plásticas sobre la temperatura.....	14
4.2 Efecto del color de la película sobre la temperatura.....	16
4.3 Absorción de macronutrientes.....	17
4.4. Efecto de la temperatura en la absorción de fósforo.....	19
4.5 Absorción de micronutrientes.....	22
4.6 Efecto de la temperatura en la TZR sobre el crecimiento y concentración de Mo y NH <sub>3</sub> .....	31
5. Efecto de la temperatura sobre la asimilación de nutrientes.....	36
a) Absorción nutrimental.....	38
b) Eficiencia en el uso de fertilizantes.....	39
IV. ESTADO DEL ARTE.....	40
V. AREAS DE OPORTUNIDAD.....	42
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	43
VII. NOMENCLATURA.....	45
VIII. BIBLIOGRAFIA.....	46



## INDICE DE CUADROS

CUADRO 1. Ecuaciones y temperaturas óptimas para la absorción de nutrientes.....	18
CUADRO 2. Efecto de la interacción sobre la TZR y solución de fósforo sobre el peso seco de brotes, raíz y longitud de raíz en melocotón.....	19
CUADRO 3. Concentración y absorción de P para las variable longitud de raíz en melocotón, bajo un rango de concentración de P con respecto a la TZR, durante 35 días .....	20
CUADRO 4. Efecto de la interacción de soluciones de P sobre la TZR y concentración de Zn, Mn y Fe en el crecimiento de melocotón, bajo un rango de concentración de P bajo ambiente protegido.....	21
CUADRO 5. Temperatura óptima y uso de agua para el crecimiento de tomate.....	23
CUADRO 6. Análisis de tejidos en la TZR en el cultivo de tomate.....	24
CUADRO 7. Concentración de Fe de hojas jóvenes y secas, tallos y raíz en el contenido total de Fe en proporción de brotes/raíz de <i>Alboglabra</i> .....	30
CUADRO 8. Efecto de los tratamientos con acolchado (Sin cubierta sobre la TZR y peso seco de los órganos de la planta).....	32
CUADRO 9. Efecto de la TZR en la concentración de Mo.....	33
CUADRO 10. Efecto de la TZR sobre la acumulación de Mo.....	34
CUADRO 11 Efecto de la TZR sobre la concentración de NO <sub>3</sub> .....	35

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Espectro electromagnético.....	2
FIGURA 2. Intercambios térmicos entre el invernadero y el exterior.....	3
FIGURA 3. Diagrama de la dependencia térmica de la fotosíntesis y respiración.....	6
FIGURA 4. Influencia de la intensidad de la luz sobre la dependencia térmica de la fotosíntesis neta.....	9
FIGURA 5. Efecto de la fotorespiración y asimilación de CO <sub>2</sub> con respecto al tiempo y la temperatura sobre la luz incidente.....	10
FIGURA 6. Transmitancia de tres tipos de materiales utilizados como acolchados....	15
FIGURA 7. Diagrama esquemático que muestra los componentes de balance de energía de un acolchado plástico, suelo desnudo entre surcos y la superficie de la cima del acolchado.....	17
FIGURA 8. Absorción de macronutrientes en tomate en respuesta a la TZR.....	18
FIGURA 9. Absorción de micronutrientes en tomate en respuesta de la temperatura del suelo.....	23
FIGURA 10 Efecto de la TZR, masa seca de toda la planta en los cultivos de tomate, melón y acacia.....	26
FIGURA 11. Efecto de la TZR en tomate, melón y acacia en el contenido total de P Zn y Mn.....	26
FIGURA 12. Reducción de las concentraciones de nitratos mediante el uso de polietilenos como material de cobertura de invernadero.....	38

# **EFFECTO DE LA TEMPERATURA GENERADA POR CUBIERTAS PLASTICAS EN LA DEMANDA NUTRIMENTAL DE ESPECIES CULTIVADAS EN AMBIENTES PROTEGIDOS**

## **I. INTRODUCCION**

La escasez de nutrientes minerales limita la producción vegetal, por lo que las plantas necesitan reciclar, reducir las pérdidas y maximizar la eficiencia en el uso de los nutrientes para conseguir una máxima producción de biomasa. En los últimos tiempos, las adiciones antropogénicas han aumentado la disponibilidad de algunos elementos químicos en las zonas industrializadas, y esto provoca perturbaciones porque altera los equilibrios entre las concentraciones de los diferentes nutrientes vegetales.

Un factor muy importante es la temperatura, dado que el crecimiento y desarrollo de los cultivos es afectado fuertemente por este factor, su magnitud determinará la rapidez con que se logre establecer un volumen de follaje fotosintético, afectando el rendimiento, al modificar el período durante el cual un cultivo podrá captar la energía solar.

En México las técnicas de producción agrícola han evolucionado mediante el uso de plásticos en forma de películas: acolchado, microtúneles, túneles e invernaderos. No obstante, se sabe que con las técnicas mencionadas también se modifica la temperatura del suelo, observándose efectos aún más positivos al aplicar medidas que incrementen la producción. Entre los medios más utilizados se encuentran las cubiertas plásticas de diverso tipo (mulch), principalmente a base de polietileno (PE). Bajo las técnicas de agroplasticultura es posible manipular las respuestas adaptativa de los vegetales, modificando los factores ambientales a los que son más sensibles, por lo que se ha puesto atención en la temperatura, siendo el factor clave de la intensidad y la calidad de la radiación. Ya que modifica la temperatura interna y las respuestas morfológicas y fisiológicas de las plantas (Benavides, 1998).

Las plantas necesitan alimento para sobrevivir, por lo que es necesario dotarlas de nutrientes, uno de los factores ambientales que puede provocar la deficiencia de nutrientes son

las altas o bajas temperaturas, por lo que es necesario conocer los niveles óptimos de temperatura de cada especie. Tal es el caso de cultivos como pimiento, papa, tomate, melón que requieren de temperaturas óptimas en la zona radicular, para su máximo crecimiento. Puesto que la temperatura afecta directamente la actividad metabólica celular, absorción de nutrientes y el intercambio gaseoso (Tongoni, 2000). Reflejándose en la producción y rendimiento, lo que a su vez provoca una mayor o menor demanda nutrimental.

Hanna (2000) y Engels, (1992) señalan que la temperatura de la zona radical (TZR) influye fuertemente en el crecimiento y absorción de nutrientes en las plantas. Una de las técnicas utilizadas para el control de la temperatura en la zona radicular es la aplicación de cubiertas plásticas con características y propiedades que pueden generar un ambiente más cálido en la zona radicular y se beneficien (Csizinsky *et al.*, 1995). Por tal motivo es importante evaluar el efecto de la temperatura bajo cubiertas plásticas en la demanda nutrimental de los cultivos.

## **II. OBJETIVO**

- Evaluar el efecto que provocan las cubiertas plásticas en la demanda nutrimental de cultivos hortícolas bajo ambientes protegidos.

### III. REVISION BIBLIOGRAFICA

#### 1. La temperatura como un fenómeno físico

La temperatura es una medida del calor o energía térmica de las partículas en una sustancia, cuando dos cuerpos uno frío y otro caliente, se ponen en contacto durante un tiempo prolongado, terminan por alcanzar un estado de equilibrio entre ambos que se denomina *equilibrio térmico*. En ese estado no es posible distinguir cuál de ambos está más frío y cuál más caliente. La propiedad que tienen en común los cuerpos que se encuentran en equilibrio térmico es precisamente la temperatura.

La cantidad de energía térmica que un cuerpo pierde o gana en contacto con otro a diferente temperatura recibe el nombre de calor. El calor constituye, por tanto, una medida de la energía térmica puesta en juego en los fenómenos caloríficos. La temperatura introduce la teoría cinética al definirla como una medida de la energía cinética media de las moléculas, que permite explicar por qué las transferencias de calor se producen siempre en el sentido de mayor a menor temperatura (Thompson, 1814).

#### 2. Variaciones de la radiación solar sobre un invernadero y su relación con la temperatura

El sol, cuya temperatura esta calculada aproximadamente en 6000 °C y emite energía de 7-9 K Wh/m<sup>2</sup> en regiones ecuatoriales, mientras que en las regiones templadas tienen esta misma intensidad, solo en periodos de verano y bajando a un tercio en periodos de invierno. Las radiaciones emitidas por un cuerpo cualquiera están caracterizadas por la capacidad de emisión, que es una característica física determinada por la naturaleza y el estado superficial de los cuerpos sólidos, y por la composición de la mezcla gaseosa en que se encuentran sumergidos. La capacidad máxima de emisión es la del cuerpo negro, un punto de origen emite energía en un determinado campo de longitud de onda. Existe una longitud de onda en la cual se emite la mayor parte de la energía, llamada longitud de onda máxima. La longitud de onda máxima es más corta cuando mas elevada es la temperatura.

Las radiaciones del sol están dentro de 200 y 3.000 mμ (milimicra), comprendiendo la luz visible y el infrarrojo corto (Figura 1). La longitud de onda máxima es de 500 mμ y esta comprendida en la banda color amarillo. La longitud de onda del máximo esta situada hacia las 9.000-10.000 mμ; a esta emisión se le llama radiación terrestre y está formada por infrarrojos largos. La calidad de la radiación solar, no es igual a la radiación terrestre. Todas las radiaciones incidentes, son en parte reflejadas, absorbidas y transformadas en calor. Una sustancia que absorbe energía radiante aumenta su temperatura y emite a su vez energía bajo forma de radiación. El cuerpo negro perfecto absorbe toda la luz incidente y emite la mayor cantidad de energía, mientras que otros materiales pueden reflejar todo el flujo incidente sin emitir energía.

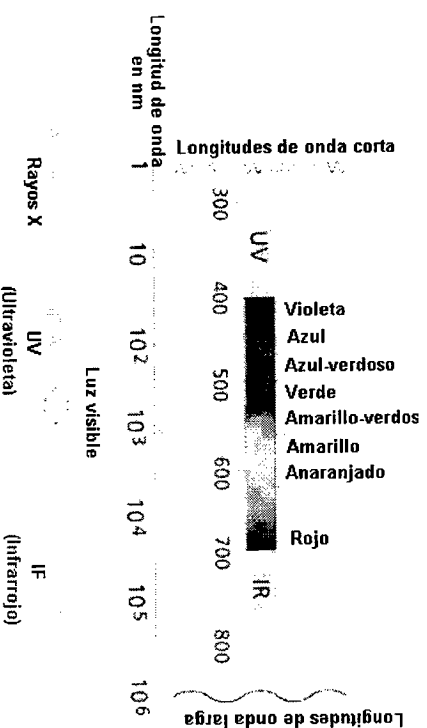


Figura 1. Espectro electromagnético (imagen tomada de Purves, *et al.*, 2003)

La absorción por parte de una sustancia depende de la longitud de onda del flujo incidente. Generalmente los cuerpos, con respecto a la longitud de onda, se comportan de manera intermedia entre los cuerpos negros y los cuerpos reflejantes, en relación con el infrarrojo lejano, se comportan como los cuerpos negros. La transmisión depende de la longitud de onda del flujo incidente. Todos los materiales usados en los invernaderos son transparentes para la luz visible y el infrarrojo corto. La parte reflejada y absorbida representa solo el 10-20% del total.

En cambio, los materiales de recubrimiento para invernadero son más o menos opacos al infrarrojo largo. El infrarrojo largo será reflejado, absorbido o transformado en calor por la paredes del invernadero. La absorción alcanza un 95% y, por lo tanto, la pared de un

invernadero se comporta como un cuerpo negro; la energía de la atmósfera es transformada en calor por la absorción por parte del recubrimiento y es emitida a su vez por irradiación; esta energía irá, la mitad al exterior y la otra al interior. Después de estos fenómenos, se dice que en el invernadero pasa una cantidad muy próxima al 50% de la energía que viene de la atmósfera (Figura 2).

Los revestimientos plásticos, al igual que el cristal, dejan pasar los rayos visibles, pero su transparencia es alta también, en lo que se refiere al infrarrojo de una longitud de onda; esta característica es más acentuada en el polietileno que en el PVC. Existen tres tipos de radiaciones infrarrojas: longitud de onda corta, que van desde 760-1,000  $m\mu$ , las de mediana longitud de onda, entre 1,000 y 2,500  $m\mu$ , y las largas que pasan de 2,500  $m\mu$ . Todas estas actúan sobre las plantas en sentido morfogénico y fisiológico, pero lo más importante de su acción es el efecto térmico, puesto que en cuanto un cuerpo las absorbe, éste se calienta (Alpi *et al.*, 1991)

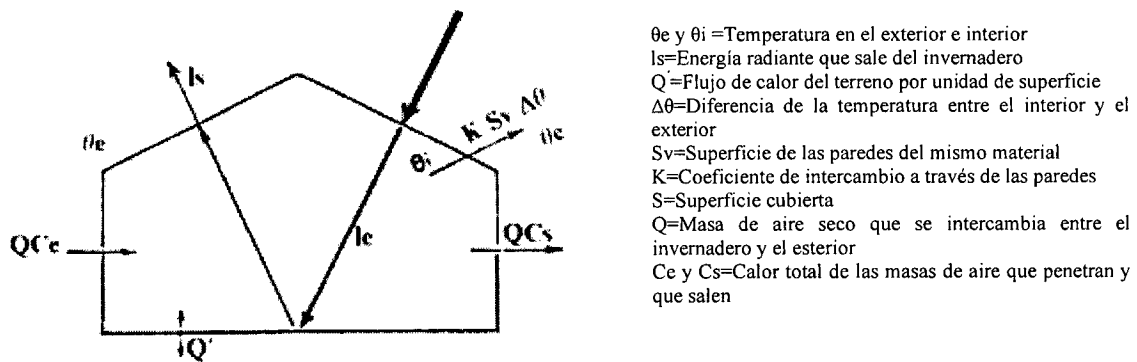


Figura 2. Intercambios térmicos entre el invernadero y el exterior (Lemoyne de Forges, 1967 tomado de Alpi *et al.*, 1991).

En relación con la temperatura de la atmósfera de un invernadero, las radiaciones más importantes son las infrarrojas cortas, que pasan a través de los materiales de recubrimiento, y son absorbidas por las plantas, por el terreno y por otros materiales que se encuentran en el invernadero. Las variaciones caloríficas infrarrojas, como consecuencia de su longitud de onda, pueden encontrar un obstáculo al pasar a través del material de recubrimiento, puesto que contribuye a aumentar la temperatura de la atmósfera del invernadero. Las radiaciones que van hacia el interior son las que calientan la atmósfera del invernadero.

La importancia de la temperatura como un fenómeno físico en los cultivos, radica en las altas y bajas temperaturas ocasionada por la radiación solar. Las plantas son organismos que carecen de movilidad, por lo que desarrolla una serie de adaptaciones en el tamaño, composición y eficiencia de los sistemas de captura de radiación que compensan las variaciones en la disponibilidad de energía solar (Geiger y Servaites, 1994).

### **3. Importancia de la temperatura en los cultivos**

#### **a. Efecto de la temperatura sobre la fisiología de las plantas**

Las temperaturas extremas ocasionan una desorganización fisiológica debido al desajuste entre la fotosíntesis y la respiración, ocasionando aborto y mal formación de frutos (Castaños, 1993). La temperatura afecta las reacciones metabólicas que siguen a las reacciones de la luz y dependiendo de la eficacia con que se realicen, la asimilación de CO<sub>2</sub> será modificada, las altas temperaturas limitan la absorción de CO<sub>2</sub> al actuar sobre los procesos básicos dependientes de la apertura estomatal, 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 sufrirá lesiones (Díaz, 1998).

Se ha encontrado que la velocidad de fotosíntesis aumenta al incrementarse la temperatura pero al pasar de 40 °C la velocidad desciende ocurriendo la desnaturalización de enzimas por efecto del calor, llevando a una disminución de 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.

Las plantas no son capaces de mantener o regular su temperatura constante por lo que los cambios de temperatura ambiental influyen sobre su crecimiento y desarrollo, son poiquilotermas; pero esto no significa que su temperatura sea igual que la del ambiente, puede haber diferencias. La temperatura ambiental origina variaciones en la temperatura de la planta, ya que las variaciones de la temperatura ambiental son periódicas, diarias (día/noche) y estacionales. También se dan variaciones fluctuantes +/- previsibles como la variación de temperatura por nubosidad, variaciones dependientes de la posición de la hoja en la planta, las



hojas tapadas por otras hojas tendrán menor temperatura, también depende de la velocidad del viento, altura de la hoja así como la forma de hoja. Además, la temperatura de la raíz no tiene porque ser igual a la temperatura de la parte aérea ya que las variaciones de temperatura llegan a la raíz con retardo respecto a las de la parte aérea.

El régimen térmico dentro del vegetal es complejo ya que se dan variaciones de temperatura en las diferentes plantas. Los procesos fisiológicos presentan temperaturas diferentes al igual que cada especie definiendo niveles de temperaturas óptimas cardinales y críticas.

La temperatura óptima se da cuando el proceso se realiza con la máxima eficiencia. La temperatura cardinal es la temperatura por encima ó por debajo de la cual un proceso fisiológico se detiene, volviendo a funcionar cuando la temperatura está por encima de la mínima cardinal ó por debajo de la máxima cardinal. La temperatura crítica son las temperaturas por debajo ó por encima de las cuales un proceso fisiológico sufre daños irreversibles y la planta muere. Estas dos temperaturas críticas (mínimas y máximas) no son constantes durante la vida de la planta, sino que pueden variar durante el desarrollo, así, una planta en pleno crecimiento vegetativo tiene una temperatura crítica mas alta que una que esté dormante.

La temperatura juega un papel importante en el desarrollo foliar de los cultivos jóvenes. En follajes cerrados la influencia de la temperatura radica principalmente en la respiración de mantenimiento. Las temperaturas ocasionan una desorganización fisiológica debido básicamente al desajuste entre la fotosíntesis y las respiración, lo que origina aborto en plantas y frutos en formación (Castaños, 1993).

La temperatura afecta la actividad metabólica celular, absorción de agua y nutrientes, el intercambio gaseoso, la producción y gasto de carbohidratos y reguladores de crecimiento, los cuales disminuyen la calidad de hortalizas por efecto de altas temperaturas (Tognoni, 2000).

## b. Fotosíntesis

La distribución geográfica de las plantas esta básicamente influenciada por la temperatura del ambiente además de otros factores como son; la luz, agua y nutrientes. (Lorente, 1998). El desarrollo de la planta es afectado por el correcto balance entre la intensidad de la luz visible y la temperatura. Por tal motivo el uso de los plásticos en la agricultura es una herramienta importante para la reducción de las oscilaciones de la temperatura ambiente diaria y estacional para que las plantas puedan crecer y procesar la fotosíntesis en su nivel térmico óptimo. (Delgado *et al.*, 2004 tomado de Alpi *et al.*, 1991).

La intensidad de la fotosíntesis, expresada como absorción de  $\text{CO}_2$ , es la resultante de la secuencia de casos que constituye, en su conjunto, el proceso fotosintético y que comprende los procesos físicos de difusión, tanto fotoquímicos como enzimáticos (Figura 3). La respuesta de la fotosíntesis a la temperatura es, por lo tanto, la suma del efecto de la temperatura sobre cada secuencia de proceso completo, teniendo una influencia diferente todas ellas.

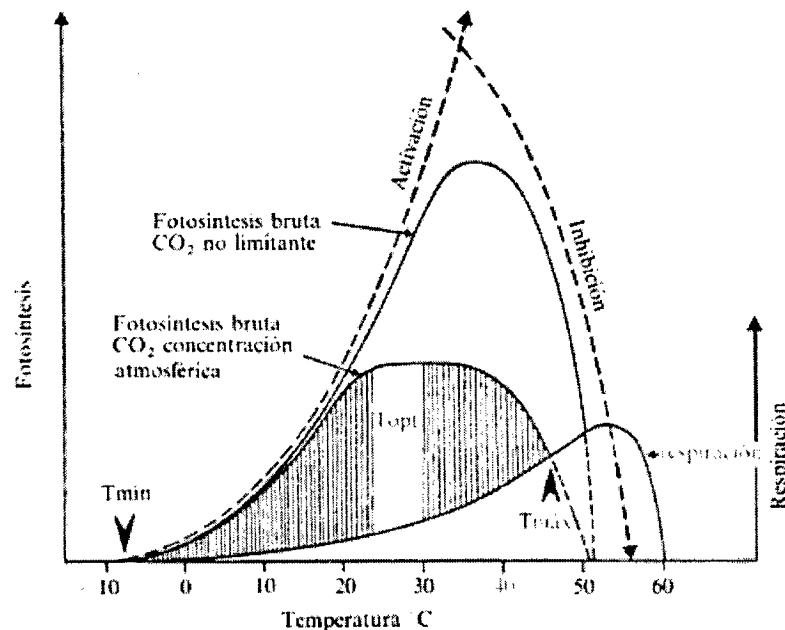


Figura 3. Diagrama de la dependencia térmica de la fotosíntesis y de la respiración. El área sombreada representa la fotosíntesis neta.  $T_{min}$ ,  $T_{opt}$  y  $T_{máx}$ , son respectivamente la temperatura mínima, óptima y máxima de la fotosíntesis neta (Alpi *et al.*, 1991)

La curva de la respuesta fotosintética a la temperatura (Figura 3), se refiere a una única hoja de la planta, de una zona con clima templado y medida en condiciones de luz no limitante. Sin embargo, en condiciones naturales la respuesta de la fotosíntesis a la temperatura esta condicionada por la intensidad de la radiación solar incidente en las hojas. La intensidad fotosintética presenta un máximo (óptimo térmico) a una temperatura entre 25 y 30°C, pero la característica más llamativa es el aspecto plano de la curva con valores iguales o superiores al 90% de la intensidad fotosintética máxima entre un intervalo de 15-20 °C.

Por encima de los 30-35°C la intensidad de la fotosíntesis empieza a declinar hasta anularse. La temperatura máxima está comprendida entre 40 y 50°C según la especie. Las causas de la inhibición son diversas y afectadas en parte a un mayor cierre de los estomas para contener la pérdida de agua por transpiración, y en parte, a un efecto directo de la temperatura sobre la fotosíntesis, bien por la inhibición del transporte fotosintético de electrones a los cloroplastos, bien por el aumento de la fotorrespiración. Además a temperaturas muy elevadas sobreviene una alteración de la integridad estructural y funcional del aparato fotosintético.

Es importante señalar como la exacta configuración de la curva de respuesta de la fotosíntesis a la temperatura es una característica de la especie, para la cual el óptimo térmico y la capacidad de producir una fotosíntesis a altas temperaturas varían incluso de manera considerable. Además las plantas tienen la capacidad de aclimatarse a la temperatura, modificando el óptimo térmico para la fotosíntesis acercándola a la temperatura media del ambiente en que viven, variando esta característica en las diferentes especies.

La respuesta de la fotosíntesis a la temperatura está muy influenciada por otros factores ambientales, como la intensidad luminosa y la concentración de CO<sub>2</sub>. La mayor reacción de la fotosíntesis a la temperatura se llevan a cabo con intensidades luminosas elevadas; a medida que la intensidad lumínica se reduce, la curva de respuesta de la fotosíntesis a la temperatura es siempre más plana. La consecuencia más importante es que una reducción de la intensidad luminosa ejerce un efecto mucho mas modesto sobre la fotosíntesis en relación con las altas temperaturas, al menos hasta que la intensidad luminosa no sea limitante para esa temperatura (Figura 4).

Por ello, es evidente que una correcta valoración de la curva de respuesta de la fotosíntesis a la temperatura necesita del conocimiento de la curva de respuesta a la intensidad luminosa. Tanto la intensidad máxima de la fotosíntesis a una temperatura dada como el óptimo térmico se elevan al aumentar la intensidad luminosa. La respuesta de la fotosíntesis a la temperatura es, además, modificada de manera sustancial por la concentración de  $\text{CO}_2$ , al menos en las plantas con metabolismo fotosintético denominado  $\text{C}_3$ , es decir, la casi totalidad de las plantas cultivadas en invernadero con excepción de plantas carnosas y de algunas flores.

La intensidad de la fotosíntesis resulta sensiblemente más elevada, en toda la gama de temperaturas a las que normalmente se expone la planta, elevando la concentración de  $\text{CO}_2$  tres o cuatro veces con relación a la concentración de la atmósfera (340 ppm). Además de esta concentración de  $\text{CO}_2$ , concentración saturante, la fotosíntesis es mucho más sensible a la temperatura, siendo la curva de respuesta más convexa. Muy diferente es la respuesta a la temperatura de otra función primaria del metabolismo de la planta: la respiración. La intensidad respiratoria es muy baja, por debajo de  $10^\circ\text{C}$ , y aumenta de modo exponencial hasta temperaturas que sobrepasan los  $50^\circ\text{C}$  (Figura 3).

### c. Relación entre fotosíntesis y respiración

Las diferentes respuestas de la fotosíntesis y la respiración a la temperatura tienen importantes consecuencias sobre el intercambio neto de  $\text{CO}_2$  y sobre la utilización de carbohidratos para el crecimiento. El intervalo de temperatura óptima para la asimilación neta de  $\text{CO}_2$ , convenientemente los valores térmicos en los que la actividad fotosintética es mayor o igual a 90% de la intensidad máxima, es inferior al intervalo térmico óptimo para la fijación del  $\text{CO}_2$ . Al ser la fotosíntesis neta ( $F_n$ ) el resultado de la diferencia entre incorporación de  $\text{CO}_2$  por medio de la fotosíntesis y liberación de  $\text{CO}_2$  por medio de la respiración, la diferente curva de respuesta de los dos procesos a la temperatura, hace que la  $F_n$  decline cuando la fijación fotosintéticamente de  $\text{CO}_2$  todavía se realiza con intensidad óptima (Figura 4).

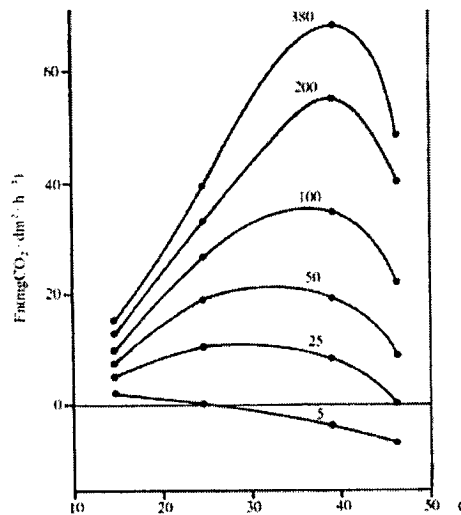


Figura 4. Influencia de la intensidad de la luz sobre la dependencia térmica de la fotosíntesis neta. Los números colocados entre las curvas indican la intensidad luminosa (PAR  $W \cdot m^{-2}$ )

La fotorespiración es un proceso de oxidación de glúcidos en presencia de luz y oxígeno, ocurre cuando la concentración de  $CO_2$  es baja en relación a la concentración de  $O_2$ , y resulta un proceso "empobrecido" para las plantas. En la Figura 5 se muestra que a las doce del día existe una menor tasa de asimilación de  $CO_2$  y aumento en la tasa de fotorespiración, sin embargo sucede lo contrario con la asimilación de  $CO_2$  a la misma hora; en cambio al pasar el tiempo entre las dos de la tarde se presenta un incremento en la asimilación de  $CO_2$ . Mientras que entre siete y diez de la mañana se presenta mayor asimilación de  $CO_2$  y una menor fotorespiración. Entonces se dice que a mayor fotorespiración existe menor asimilación de  $CO_2$  y viceversa.

Esto es debido a las fluctuación de cambios de temperatura principalmente, al presentarse una mayor luz incidente a horas de once y doce de la mañana y esto conlleva a una mayor temperatura, en realidad la intensidad lumínica y la temperatura van relacionadas, solo en horas de la tarde es cuando la temperatura desciende. Cuando la temperatura y la luz son elevadas la transpiración tiende a un máximo. Los estomas se cierran, la actividad oxigenasa se incrementan y por lo tanto la fotorrespiración, lo cual previene la fotoinhibición.

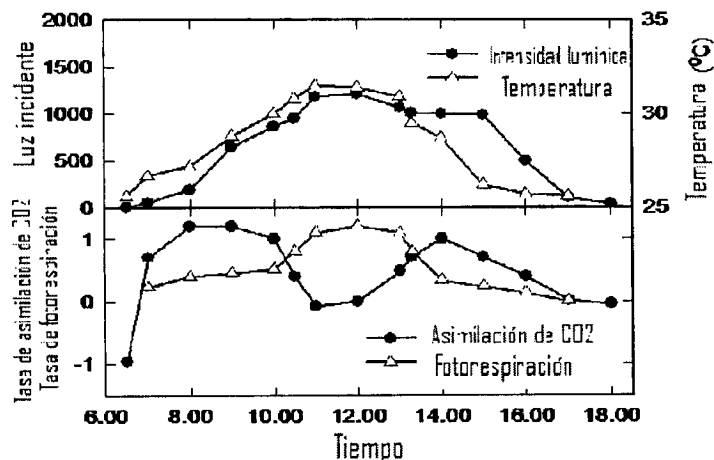


Figura 5. Efecto de la fotorespiración y asimilación de  $\text{CO}_2$  con respecto al tiempo, y la temperatura sobre la luz incidente

#### d. Relación de la temperatura sobre la Transpiración

La temperatura también ejerce un control determinante sobre la transpiración, tanto mediante una acción directa sobre la conductividad estomática (CS), que aumenta de modo casi exponencial con la temperatura, como actuando sobre el grado de presión de vapor entre la atmósfera y las hojas. Las diferentes respuestas de fotosíntesis, transpiración y respiración a la temperatura tienen consecuencias importantes sobre la fotosíntesis neta y sobre la relación T/F (transpiración/fotosíntesis), la cantidad de agua transpirada para la asimilación del  $\text{CO}_2$ .

En el interior de un invernadero la atenuación de la intensidad de radiación solar tiende a determinar una curva de respuesta de la fotosíntesis a la temperatura, mas aplanada respecto al exterior. En estas condiciones un aumento de temperatura en el interior de un invernadero ejerce un efecto modesto sobre la asimilación de  $\text{CO}_2$ , mientras la transpiración y la respiración aumentan sensiblemente haciendo que la fotosíntesis neta se reduzca y la relación T/F aumente.

El balance entre carbono asimilado con la fotosíntesis y liberado después de la respiración tiene claros reflejos sobre la disponibilidad de carbohidratos que habrá que utilizar en el crecimiento.

#### e. Humedad Relativa

Es la masa de aire en unidad de volumen, o bien es la cantidad de agua contenida en el aire, en relación con la máxima que sería capaz de contener a la misma temperatura. Existe una relación inversa entre la temperatura y la humedad por lo que a elevadas temperaturas, aumenta la capacidad de contener vapor de agua y por lo tanto disminuye la HR. Con temperaturas bajas, la HR aumenta. Cada especie requiere una humedad ambiental óptima para estar en perfectas condiciones, por ejemplo, tomate, berenjena, pimiento se desarrollan a una HR de 50 y 60%, calabaza y melón HR de 60 y 70%.

La humedad atmosférica desempeña un papel importante en el proceso de transpiración del agua por las hojas y sobre el potencial hídrico foliar, sobre la regulación de la conductancia estomatal y la temperatura de las hojas, realiza funciones primarias de la planta como fotosíntesis, absorción, transporte de agua y elementos minerales (Tognoni, 2000)

HR es un factor climático que puede modificar el rendimiento final de los cultivos. Cuando es excesiva las plantas reducen la transpiración y disminuye su crecimiento, ocasionando abortos florales por apelmazamiento de polen y un mayor desarrollo de enfermedades bacterianas. Por lo contrario si es baja las plantas transpiran en exceso, y provocar la deshidratación. El exceso puede reducirse mediante el ventilado, aumento de la temperatura y evitando el exceso de humedad en el suelo.

La cantidad de humedad presente en la atmósfera del invernadero está en proporción directa con la humedad del suelo y más ampliamente con el balance hídrico del invernadero y va a depender estrictamente de la temperatura, si la temperatura se eleva, la humedad ambiental disminuye y tendrá que suplirse la humedad por medio de vaporizaciones de agua proporcionada adicionalmente. Dependiendo de la humedad ambiental presente y la del suelo, las plantas van a regular la apertura estomática, modificando así su proceso fotosintético, ya que a través de sus estomas ocurre la asimilación de  $\text{CO}_2$  por la planta, si los estomas se cierran, la fotosíntesis por lo tanto disminuye. Es importante en consecuencia mantener la

humedad ambiental adecuada a cada especie cultivada para que esta efectúe adecuadamente sus procesos (Arellano, 2008).

#### **4. Efecto de los plásticos sobre la temperatura del suelo, fisiología y crecimiento de la planta**

El calentamiento del suelo se explica por el efecto invernadero ejercido por el polietileno en la pequeña capa de aire que se encuentra entre éste y el suelo. La magnitud de dicho efecto varía según la transmisividad del polietileno a la radiación solar, que generalmente es alta y su impermeabilidad a la radiación térmica emitida desde el suelo, que normalmente es baja, pero que puede ser modificada de acuerdo al espesor del polietileno, a la presencia en la cara inferior de una película de pequeñas gotas de agua por efecto de la condensación o al uso en el material del filme de aditivos que le confieran propiedades térmicas.

Existe un efecto regulador de las temperaturas mínimas y máximas del suelo bajo las cubiertas plásticas. Las temperaturas mínimas se mantienen 2-3 °C sobre el suelo sin acolchar cualquiera que sea la época de cultivo; siendo especialmente importante este efecto en los meses de invierno, para favorecer la mineralización del nitrógeno y absorción de nutrientes que se ven afectados por falta de temperatura. Por otra parte, las temperaturas máximas también superan al testigo sin acolchar pero sin llegar a condiciones estresantes para las plantas. Todo esto se traduce en mayores producciones de los tratamientos con acolchado, respecto al testigo sin acolchar (Castillo, 1998).

Con el aumento de la temperatura del suelo hasta un cierto umbral se obtiene un mayor desarrollo radical, que a su vez se expresa en mayor rendimiento y una producción más precoz y de mejor calidad, pero si la temperatura excede dicho umbral los efectos térmicos del acolchado pueden perjudicarlo (Castillo, 1999). El calentamiento del suelo es uno de los beneficios asociados con el uso de acolchado con películas plásticas. Sin embargo, bajo condiciones de alta temperatura durante el verano, especialmente en regiones cálidas, algunos



acolchados calientan el suelo a temperaturas que pueden ser desfavorables para el crecimiento de las plantas (Amer *et al.*, 2002).

Schales, (1994) probó acolchados de polietileno negro, transparente, coextruido blanco/negro, verde de transmisión infrarroja y fotodegradables en un cultivo de melón, encontrando que con polietileno coextruido blanco/negro, con la superficie negra en contacto con el suelo, se obtuvo el mayor rendimiento total. La mayor precocidad se obtuvo también con coextruido blanco/negro y con polietileno verde de transmisión infrarroja, que superaron incluso al transparente.

Eltez y Tüzel, (1994) trabajando en tomate bajo invernadero, encontraron que el acolchado de polietileno blanco produjo mayor rendimiento total y mayor precocidad que el negro en otoño, mientras que el negro produjo mayor rendimiento total y menor precocidad que el blanco en primavera. La ventaja del polietileno blanco en invierno está dada por el beneficio que trae la reflexión de la luz sobre las plantas.

El calentamiento del suelo provocado por cubiertas plásticas mejora el crecimiento de las raíces y la absorción de nutrientes (Wien, *et al.*, 1993). Esto se logra mediante el uso de diferentes colores de películas que difieren en capacidad de calentamiento del suelo, así como la época de siembra de cada cultivo (Díaz *et al.*, 2004).

La alta TZR limita el crecimiento y la función de la planta y puede ser más alta la temperatura del suelo que la temperatura del aire para muchos cultivos (Paulsen, *et al.*, 1994; Ruter, *et al.*, 1993; Ruter, *et al.*, 1992; y Xu, *et al.*, 2000). Cuando la TZR pasa el óptimo, se reduce la actividad enzimática (Nielsen, *et al.*, 1974). Estudios de Cooper (1973) en el cultivo de tomate indican que la tasa de alargamiento de la raíz se reduce cuando TZR es superior a 30 °C. La TZR en las plantas se ve influida por la duración a la exposición a altas TRZ (McMichael, *et al.*, 2002).

Investigaciones por Ruter y Ingram (1992), en plantas de *Ilex crenata*, que fueron cultivadas durante tres semanas bajo diferentes TZR: 30, 34, 38 y 42 °C indican que a

temperaturas de 38 y 42 °C, la fotosíntesis fue mas baja en comparación con las plantas cultivadas con temperaturas de 30 y 40 °C. Mientras que los niveles de proteína soluble, así como la clorofila y carotenoides en la hoja disminuyeron al aumentar la temperatura de la zona radicular. Esto indica que la temperatura influye en el proceso fotosintético de los cultivos. También aclara que las altas temperaturas en la zona radicular son más perjudiciales que la temperatura del aire, por lo que puede provocarle la muerte.

Del mismo modo, las plantas de lechuga cultivadas en un sistema de aeroponía, la tasa fotosintética y la productividad disminuyó en más del 50% cuando las plantas se cultivan en condiciones de alta temperatura ambiente, en comparación con los que tienen brotes mantenidos a temperatura ambiente alta, pero con sus raíces y las zonas expuestas bajo una temperatura de 20 °C (Jie y Kong, 1998).

#### **4.1 Propiedades de las cubiertas plásticas sobre la temperatura**

Los parámetros a tener en cuenta para la elección de un material de invernadero son sus propiedades ópticas, químicas y físicas. En relación con las radiaciones, son tres factores los de importancia, la transmisión, reflexión y absorción que definen como responde cada material a las radiaciones que recibe (Ibarra, 2008). El PVC obstaculiza más que el polietileno la salida de radiación, provocando mayor calentamiento, mayor efecto invernadero en el terreno, lo que adelanta la producción. El plástico transparente permite el paso de radiación luminosa, que aumenta la temperatura del suelo, lo que favorece el desarrollo de malezas, que deben ser controladas por otros medios (Figura 6). El plástico negro absorbe la mayor parte de la radiación, impidiendo desarrollo de malezas pero obstaculizando hasta cierto grado el calentamiento del suelo.

El acolchado negro es el plástico estándar de la industria (Tarara, 2000), pero se han desarrollado otras propiedades ópticas con el acolchados de diversos colores. Esta diferencia en propiedades ópticas modifica el microclima alrededor de la planta (Decoteau *et al.*, 1988; Ham *et al.*, 1993; Kasperbauer y Hunt, 1998; Tarara, 2000). Los productores pueden elegir el

acolchado plástico con diferentes propiedades ópticas para alterar óptimamente el microclima para una cosecha específica.

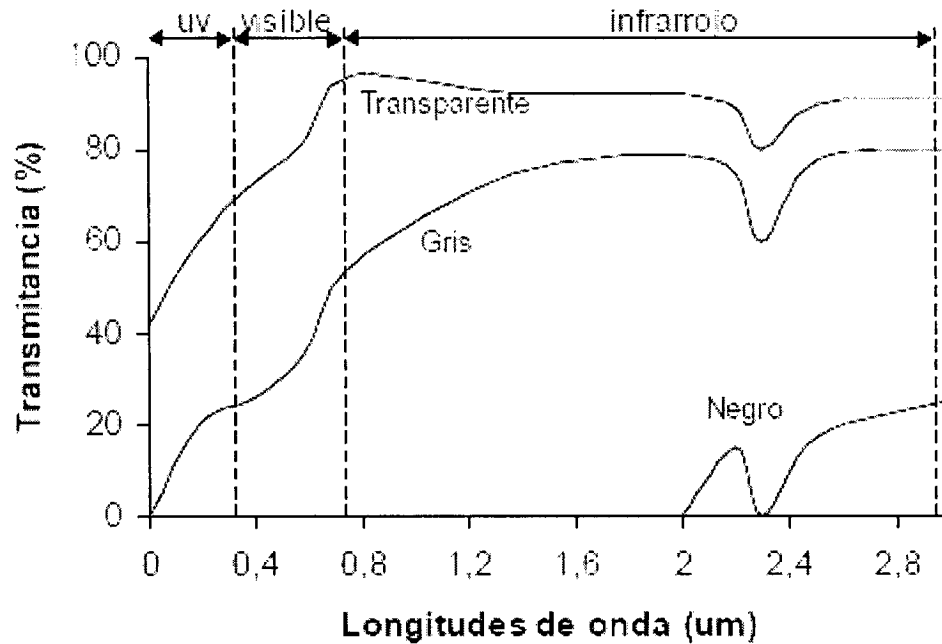


Figura 6. Transmitancia de tres tipos de materiales utilizados como acolchado.

Se presenta una comparación de balance de radiación y energía de tres materiales y de suelo sin cobertura. Los materiales utilizados fueron polietileno negro, gris y transparente. La radiación saliente se incrementó rápidamente en el de aluminio debido a la alta reflectancia. Los tres materiales efectivamente no poseen pérdida de calor latente. La superficie bajo aluminio fue relativamente fría en comparación con el suelo sin acolchado, pero éste fue bastante más caliente con polietileno. El aluminio causó un enfriamiento neto del suelo, mientras que el plástico translúcido un marcado calentamiento. El plástico translúcido aparentemente creó una condición tal como la de un invernadero. La luz visible penetra en el plástico pero la condensación de vapor sobre la cara inferior atrapa bastante radiación infrarroja (Bouzo, 2002).

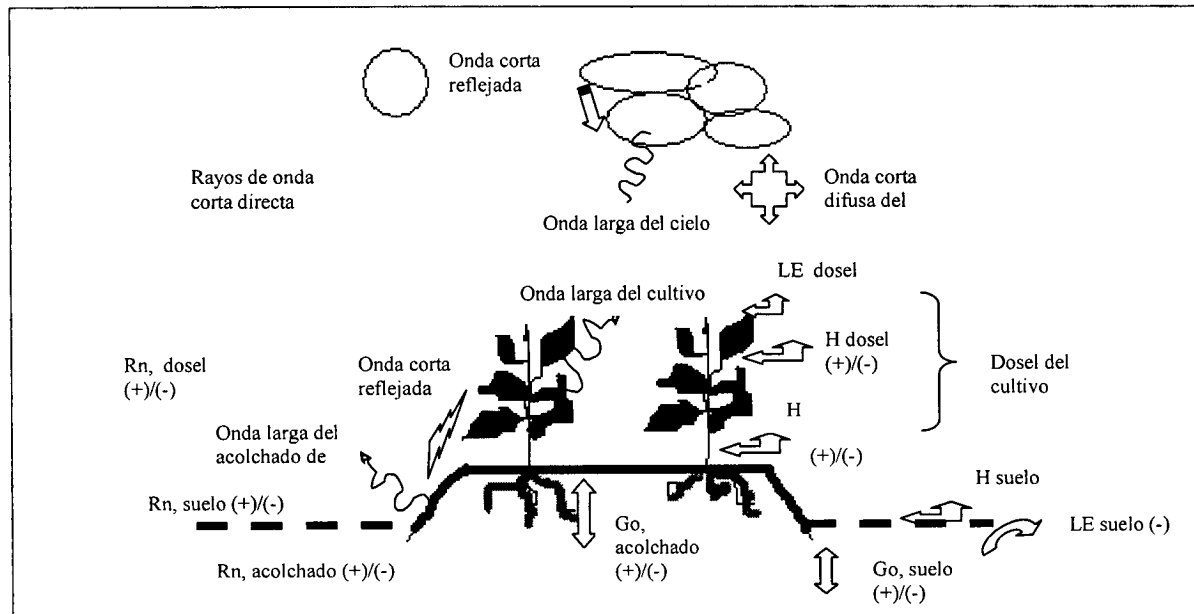
## **4.2 Efecto del color de la película sobre la temperatura**

El efecto de un acolchado plástico en la temperatura del suelo y el balance de la radiación esta determinado primeramente por las propiedades ópticas del material, los acolchados pueden transmitir, absorber o reflejar una porción de radiación incidente de cada longitud de onda. Por ejemplo, un acolchado plástico puede transmitir casi toda la radiación, mientras que también puede estar absorbiendo o reflejando la radiación de otra (Loy *et al.*, 1989).

La influencia del acolchado sobre la temperatura del suelo se realiza por transmisión de calor del acolchado del suelo. El plástico detiene el paso de las radiaciones caloríficas del suelo hacia la atmosfera en cierto grado. Esto depende de las características de la película (color, rugosidad, modo de fabricación).

El balance de energía de un acolchado plástico y su influencia en la superficie por arriba y debajo del mismo es determinado por las propiedades ópticas del plástico y el grado de contacto entre el plástico y la superficie del suelo. Se han registrado altas temperaturas en el suelo bajo acolchado negro que transmite solo 1 % de la radiación del suelo, el plástico transparente transmite más del 84% de la Radiación solar ( $R_s$ ). Al tensar el plástico sobre la superficie, aparentemente resulta ser más efectivo el calentamiento del suelo por conducción que por transmisión de la radiación solar. A la inversa, si existe un vacío entre el suelo y el plástico, provoca la existencia de capa de aire entre el plástico y el suelo, causando mayor temperatura bajo un acolchado transparente que bajo un color negro.

La conducción de un acolchado entre un acolchado plástico opaco y la capa bajo la superficie del suelo (Figura 7) determina el efecto del acolchado en la temperatura del suelo (Ibarra, 2008). Los plásticos de colores (excepto el aluminizado, acolchado reflectivo) absorben casi toda la radiación solar, aumentando la temperatura de la superficie.



(Ibarra, 2008)

Figura 7. Diagrama esquemático que muestra los componentes de balance de energía de acolchado plástico, suelo desnudo entre surcos, y la superficie de la cima del acolchado. El (+) denota transporte de energía hacia la superficie y (-) transporte de energía hacia el suelo.

La temperatura y humedad del suelo se asocian con la naturaleza físico-química específicamente de la humedad afectando la actividad de la flora microbiana y la reacción química y bioquímica del terreno influyendo en el sentido positivo o negativo sobre la nitrificación (Ibarra y Rodríguez, 1991).

### 4.3 Absorción de macronutrientes

Estudios por Tindall *et al.*, (1990) sobre el efecto de la TZR en la absorción de nutrientes en tomate, señala que las cantidades absorbidas, a los diferentes regímenes de temperatura, variaron para cada macronutriente, pero en general, alcanzaron su punto máximo a los 25 °C (Figura 8). Hubo una respuesta cuadrática significativa para  $NO_3^-$ ,  $NH_4^+$ , K, Mg, P, y Ca, para cada tratamiento de temperatura (Cuadro 1). La absorción de N en este experimento coincide con el de Clarkson (1986) usando ray-grass (maleza), mostró una disminución en la absorción de  $NH_4^+$ , como un porcentaje de la absorción total de Nitrógeno por el incremento

en la temperatura. Mientras que MacDuff *et al.* (1987), usando canola, mostraron un incremento por triplicado a 13 °C, pero no incremento más arriba de esa temperatura.

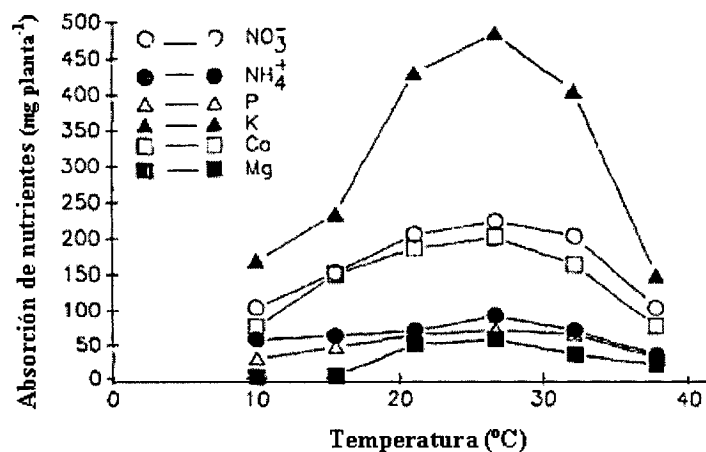


Figura 8. Absorción de macronutrientes en tomate en respuesta a la temperatura de la zona radical (Tindall *et al.*, 1990).

Cuadro 1. Ecuaciones y temperaturas óptimas para la absorción de nutrientes

Elemento mineral	Ecuación	Temperatura óptima
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	$y = -71.3379^{**} + 11.0882(T)^{**} - 0.2249(T)^{2**}$	24.65
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	$y = -11.3561^{**} + 2.6490(T)^{**} - 0.0554(T)^{2**}$	23.91
P	$y = -19.9064^{**} + 2.8402(T)^{**} - 0.0565(T)^{2**}$	25.11
K	$y = -107.1449^{**} + 15.7151(T)^{**} - 0.3286(T)^{2**}$	23.91
Ca	$y = -31.5754^{*} + 4.9857(T)^{**} - 0.0983(T)^{2**}$	25.35
Mg	$y = -8.8004^{*} + 1.4800(T)^{**} - 0.0303(T)^{2**}$	24.42
B	$y = -0.0079 + 0.0098(T) - 0.0001(T)^2$	
Cu	$y = -0.2188^{*} + 0.0289(T)^{**} - 0.0006(T)^{2**}$	24.08
Fe	$y = 0.8131 - 0.0073(T) + 0.0006(T)^2$	
Mn	$y = -0.5958^{**} + 0.0838(T)^{**} - 0.0017(T)^{2**}$	24.64
Mo	$y = -0.0249 + 0.0242(T) - 0.0005(T)^2$	
Zn	$y = -0.2369^{**} + 0.0285(T)^{**} - 0.0005(T)^{2**}$	28.50

\* Significativo en el nivel de 0,05.

\*\* Significativo al nivel de 0,01.

Este estudio demostró que la absorción de  $\text{NH}_4^+$  disminuye en proporción al  $\text{NO}_3^-$  con la temperatura arriba de los 25 °C. El  $\text{NO}_3^-$  es absorbido más fácilmente cuando la temperatura aumenta. La absorción absoluta en  $\text{mg planta}^{-1}$  se incrementó cuando la temperatura se elevó a los 26.7 °C. La diferencia en estos resultados con respecto al N, puede ser que la temperatura máxima para la absorción fue más alta que la mayor temperatura utilizada por MacDuff *et al.*, (1987), o simplemente la diferencia entre las especies manejadas. La temperatura máxima en los experimentos de Clarkson (1986) y MacDuff *et al.*, (1987), fue de aproximadamente 20 °C. En cualquier caso, la absorción de ambas formas de N se incrementó con la temperatura en este experimento, para después disminuir para  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4$ , a los 26.7 y 32.2 °C, respectivamente.

#### 4.4 Efecto de la temperatura en la absorción de P

La temperatura de la zona radicular (TZR) puede influir fuertemente en la raíz y el posterior desarrollo de los brotes, y la acumulación de minerales, incluyendo el fósforo (P) (MacKay, 1984). Se investigaron los efectos de la oferta del fósforo y la TZR inicial en el crecimiento y la nutrición de las plantas de melocotón en soluciones nutritivas (Tagliavini *et al.*, 1991) En este estudio se presentó una interacción significativa en la TZR y en el nivel de P, para peso seco de brote y raíz en el crecimiento del cultivo de melocotón (Cuadro 2).

Cuadro 2. Efecto de la interacción sobre la temperatura de la zona radical y solución de fósforo sobre el peso seco de brotes, peso de raíz, longitud de raíz en semillero de melocotón bajo condiciones controladas, para 35 días (Tagliavini *et al.*, 1991).

	Peso de brotes (g peso seco)			Peso de raíz (g peso seco)			Longitud de raíz (m planta <sup>-1</sup> )		
	8°C	16°C	24°C	8°C	16°C	24°C	8°C	16°C	24°C
Nivel de P (µm)									
0.05	1.52	5.75	6.58	0.29	1.76	2.87	10.5	10.5.1	132.4
0.5	1.18	10.81	17.13	0.21	2.38	4.72	7.8	185.2	250.5
5.0	1.72	7.67	9.59	0.34	2.26	3.25	16.2	133.7	160.1
Interacción SE		0.28			0.16			9.5	

Los valores mas bajos se presentaron en el peso seco de brotes y raíz, mientras que la longitud de raíz más baja se presentó a una TZR de 8°C. El crecimiento del cultivo bajo una TZR de 24°C fue superior a los que se encontraban a una TZR de 16°C. Esto indica que la baja temperatura es una grave limitación para el crecimiento de melocotón. En tanto que bajo TZR de 16 y 24°C, con respecto al peso seco de raíz los valores máximos se producen a niveles de P 0.5  $\mu\text{m}$ . En cambio bajo concentraciones de 5.0  $\mu\text{m}$  de fósforo, en peso de brotes, el crecimiento se redujo en un 71% (16°C) y 56% (24°C). Los resultados indican que el crecimiento del melocotón puede ser afectado mediante niveles altos de fósforo P y que el problema sería más grave con el aumento de la temperatura de la zona radicular. Sin embargo bajo TZR de 8°C se presentó un aumento en la disponibilidad de P. También se produjo la interacción con respecto a la concentración de P y absorción de brotes (Cuadro 6).

Cuadro 3. Concentración y absorción de P para las variables longitud de raíz en el semillero de melocotón, bajo un rango de concentración de P con respecto a la TZR, para 35 días

	Brote P (% peso seco)			absorción de P (mg plantas <sup>-1</sup> )		
	8°C	16°C	24°C	8°C	16°C	24°C
Nivel de P( $\mu\text{m}$ )						
0.05	0.13	0.07	0.06	2.0	4.1	3.8
0.5	0.18	0.24	0.18	2.2	24.5	30.7
5.0	0.35	0.52	0.37	6.3	39.1	35.5
Nivel de P/TZR		***			***	
Interacción SE		0.02			0.96	
Brote P por unidad de longitud de onda ( $\mu\text{g m}^{-1} \text{días}^{-1} \text{planta}^{-1}$ )						
Nivel de P ( $\mu\text{m}$ )	Temperatura de la zona radicular (TZR)					
0.05	3.3	8°C		8.7		
0.05	5.1	16°C		4.3		
5.0	8.2	24°C		3.6		
Significancia	***L,**Q			significancia ***L,**Q		
Interacción	NS					
Nivel P/TZR						

<sup>NS</sup> , \*\*,\*\*\* No significativo o significativo al 1% o 0.1%, respectivamente. (L) lineal o cuadrática (Q) (Tagliavini *et al.*, 1991).



Los resultados sobre la absorción de P en solución de 5.0  $\mu\text{m}$  fue mas alta para la TZR a 24°C. Loneragan, *et al.*, (1982) citado por Klock *et al.*, (1998) reporta que el fósforo puede ser tóxico o severo en otras especies de plantas, cuando las concentraciones excedan un 0.8%.

Por lo tanto, las temperaturas tan bajas como 8 °C puede limitar el crecimiento del melocotón a pesar del aumento de disponibilidad de P, mientras que la alta TZR (24 ° C) pueden predisponer a las plantas de semillero a problemas de clorosis relacionados con Fe o la insuficiencia de Zn.

El aumento de concentración de fósforo redujo las concentraciones de Zn, Mn y Fe en hojas jóvenes de melocotón a una TZR de 16 °C y 24 °C, las concentraciones de Zn, Mn en los brotes presentó una interacción significativa entre la temperatura de la zona radicular y concentración de fósforo (Cuadro 4). Por lo tanto el crecimiento de brotes de melocotón a TZR de 16 y 24°C es pobre.

Cuadro 4. Efectos de la interacción de soluciones de P sobre la TZR y concentración de Zn, Mn y Fe en el crecimiento del melocotón, bajo condiciones protegidas.

Concentración de micronutrientes en brotes (peso seco $\text{Mm}^{-1}$ )									
TZR	Zn			Mn			Fe		
	8°C	16°C	24°C	8°C	16°C	24°C	8°C	16°C	24°C
Nivel de P (Mm)									
0.05	21	25	19	27	63	44	68	110	69
0.5	19	17	17	31	59	63	59	51	44
5.0	21	19	17	33	55	53	54	42	39
Interacción SE	1			3			5		

(Tagliavini *et al.*, 1991).

En este estudio se concluye, que el crecimiento de las plántulas de melocotón aumenta al incrementar la concentración de P de 0.0 a 5.0  $\mu\text{m}$ , y que debido a la TZR se modifica la concentración de P. Por lo tanto a temperaturas bajas de 8°C puede limitar el crecimiento del melocotón, a pesar del aumento de la disponibilidad del fósforo. Mientras que la alta

concentración de P y elevada temperatura de la zona radical (24°C), pueden provocar clorosis o problemas relacionados con el Fe o la deficiencia de Zn (Tagliavine, *et al.*, 1991)

En ambientes protegidos, el crecimiento de las raíces aumenta linealmente al incrementar la temperatura óptima y mínima. Al presentar aumentos de temperatura en la zona radicular por encima de la mínima y óptima conlleva a una disminución del crecimiento de la raíz y retoños. (Díaz y Batal, 2002; Díaz, *et al.*, 2005; Cooper, 1973; McMichel y Burke, 2002).

La temperatura mínima, óptima y máxima de la zona radicular varía entre especies. (Díaz y Batal, 2002; Díaz, *et al.*, 2005). Según Cooper (1973) y Tindall y Radcliffe (1990) la TZR óptima para la absorción de nutrientes es de 25 y 34 °C para el cultivo de tomate. También se encontró que la absorción de nutrientes esenciales alcanzó un máximo a 26.7 °C (Tindall y Radcliffe, 1990), siendo la temperatura óptima de 25 °C para la absorción de la mayoría de los minerales.

En un estudio bajo invernadero en pimiento se observó que al presentar una temperatura constante en la zona radicular de 20 °C, se obtienen una mayor área foliar y peso seco, incrementando una mayor conductividad de agua hacia la raíz, mayor conductancia estomática entre temperaturas de 25 y 40 °C (Dodd, *et al.*, 2000).

#### **4.5 Absorción de micronutrientes**

Los micronutrientes forman parte importante en el desarrollo de los cultivos, y se aplican en pequeñas cantidades, algunos de ellos son: Cu, Mn, y Zn. En la Figura 9, se muestra una respuesta significativa para todos los tratamientos de temperatura (Cuadro 5). La absorción de B, Fe y Mo, no fue afectada significativamente por la temperatura. (Tindall *et al.*, 1990)

Lahav, (1984) señala que el máximo de absorción no se alcanzó a pesar de los aumentos de temperatura. La absorción de Fe sigue el mismo patrón que el resto de

micronutrientes esenciales excepto con Ca que este es un macronutriente. Schwartz (1987), usando cebada, reportó que la absorción de Ca, Mn, Cu, y Zn, fue similar a TZR de 10 a 20 °C.

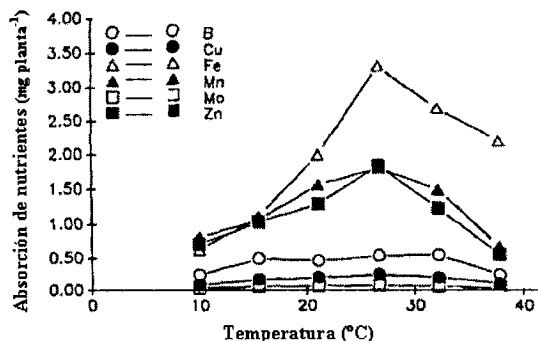


Figura 9. Absorción de micronutrientes en tomate en respuesta a la temperatura del suelo (Tagliavini *et al.*, 1990).

Cuadro 5. Temperatura óptima y uso de agua para el crecimiento de tomate

	Ecuación	Temperatura óptima °C
Altura de planta	$y = -20.00^{**} + 5.2866(T)^{**} - 0.10347(T)^{2**}$	25.55
Uso del agua	$y = -2188.0^{**} + 303.92(T)^{**} - 5.9429(T)^{2**}$	25.57
Peso seco de brote	$y = -6.6151^{**} + 1.6451(T)^{**} - 0.03433(T)^{2**}$	23.96
Peso seco de raíz	$y = -2.8112^{**} + 0.5253(T)^{**} - 0.01014(T)^{2**}$	25.90

\*Significativo al 0.01

La mayoría de los macro y micronutrientes mostraron una tendencia al incremento en la absorción de los 10 a los 26.7 °C, con una disminución para todos los nutrientes a altas temperaturas. Las diferencias entre el estudio de Tagliavini *et al.*, (1990) este experimento, Schwartz *et al.*, (1987) y MacDuff *et al.*, (1987) puede deberse a diferencias de las especies estudiadas, el método inicial y la duración de la aclimatación, la duración del día, la etapa de crecimiento fisiológico de la planta cuando el tratamiento se ha iniciado, o la frecuencia de cambio de la solución nutritiva. Por otra parte, Schwartz (1987) creó un efecto de competencia

entre Zn y P para el aumento de los niveles de Zn en la solución, que puede haber tenido un efecto global sobre la absorción de otros iones.

Se realizaron estudios de análisis de tejido de las plantas (Cuadro 6) muestran altos niveles de P, Ca, B, Cu, Fe, Mn, Mo, y Zn, en todos los tratamientos de temperatura, las plantas de tomate fueron cultivadas en una cámara de crecimiento bajo seis tratamientos de temperatura en la zona radical: 10, 15.6, 21.1, 26.7, 32.2 y 37.8 °C y cuatro repeticiones para cada tratamiento, también se encontraron bajos niveles de N en los tratamientos a 10 y 37.8 °C, mientras que el resto de los tratamientos contaron con los niveles suficientes. El K y Mg tuvieron niveles significativamente mas bajos a 10, 15.5 y 37.8 °C que corresponden a los síntomas visuales de deficiencia. El análisis mostró que el P y K fueron significativamente inferiores a 10, 15,5, y 37,8 °C, aunque para el caso del P, se registraron los niveles suficientes. El análisis de contenido de tejidos no mostró diferencias para Fe, Mn, y Mo, entre tratamientos, mientras que el Zn fue significativamente más bajo a 37.8 °C, pero no deficiente. Aunque no deficientes, el B y Cu fueron significativamente más bajos a 10 °C.

Cuadro 6. Análisis de tejidos de la temperatura de la zona radicular en el cultivo de tomate.

Elemento*	Temperatura °C					
	10.0	15.5	21.1	26.7	32.2	37.8
	%					
N (Total)	2.41b	3.72a	4.01a	4.39a	4.07b	2.05b
P	0.44b	0.44b	0.55a	0.52a	0.58a	0.48b
K	2.51b	2.21b	3.66a	3.55a	3.61a	2.41b
Ca	1.15	1.42	1.58	1.47	1.45	1.26
Mg	0.03c	0.03c	0.43a	0.42a	0.44a	0.31b
	ppm					
B	35.8b	46.6a	39.2a	39.0a	48.8a	40.0a
Cu	12.3b	22.5a	14.0a	14.4a	17.4a	17.5a
Fe	92.0	104.1	186.2	203.2	98.9	123.7
Mn	120.6	100.0	132.5	131.3	132.4	108.5
Mo	5.1	5.2	5.6	5.1	5.2	4.3
Zn	105.6a	97.1a	109.2a	133.8a	108.8a	90.9b

Medias con la misma letra no difieren significativamente (Wolf *et al.*, 1989).

Por lo tanto, la absorción de nutrientes para tomate fue óptima para macro y micro nutrientes cuando la temperatura en la zona de la raíz fue de aproximadamente 25 °C. La absorción de la mayoría de los macro y micronutrientes se redujo a temperaturas mayores o menores de 25 °C. La absorción de B, Fe y Mo no fue afectada por la temperatura. La absorción de los demás elementos fue significativamente diferente para cada temperatura la absorción a su mayor punto en los 25° C. El crecimiento óptimo, tanto radical como aéreo, se situó en los 25 °C.

Este estudio implica que la modificación de las temperaturas del suelo por acolchado, irrigación u otros medios para acercarse a una temperatura óptima de aproximadamente 25 °C, permitiría el máximo de la absorción de nutrientes y mejores resultados en el crecimiento y rendimiento de las plantas de tomate.

El crecimiento de las especies hortícolas varía en respuesta a una TZR que supere los 30 °C, pero se sabe poco acerca de los efectos de TZR en la absorción de nutrientes. En estudios previos con vegetales cultivados en zona tropical sobre el efecto de temperaturas templadas y subtropicales con respecto a la asimilación de nutrientes. Se han reportado síntomas de deficiencia mineral cuando las plantas fueron cultivadas a altas TZR a pesar de haber abastecido de suficientes minerales a estos vegetales cultivados aeropónicamente (Hee y Lee, 2001).

Klock, *et al.*, (1996), determinaron la cantidad de P, Zn, y Mn en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. 'Jet Star'), de Melón (*Cucumis melo* L. 'Gold Star') y Acacia sin espinas (*Gleditsia triacanthos* L. var. *inermis* Willd.), que se mantuvieron a una TZR de 24, 27, 30, 33 y 36 °C. El peso seco y el contenido de P y Mn en tomate, se presentaron a mayor proporción a los 27 °C TZR, para este caso, el contenido Zn no presentó respuesta a la TZR. El peso seco y los contenidos de P, Zn y Mn, para el melón, fueron más altos a 36 °C (Figura 10). El peso seco de la *Gleditsia sp.* y su contenido de P y Zn, no variaron con la TZR, sin embargo, el contenido de Mn decreció linealmente con incremento de la TZR.

El crecimiento y la absorción de P, Zn y Mn, para el melón se incrementaron por la continua exposición a la TZR mayor a los 30 °C. Sin embargo, el crecimiento de *Gleditsia* y la

adquisición de P, Zn y Mn, no presentaron cambios por la exposición a la TZR mayor a los 30 °C. El crecimiento y la absorción de P, Zn y Mn, para el tomate, sin embargo, decrecieron por la continua exposición a la TZR mayor a los 30 °C (Figura 11).

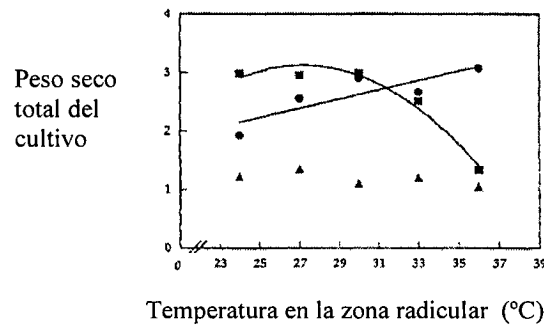


Figura 10. Efectos de la temperatura de la zona radical en tomate (-●-), melón (-■-), acacia (-▲-) en el contenido de masa seca de la planta. Las ecuaciones para masa seca son:  $y = -13,2 + 1,2x - 0,02x^2$ ,  $r^2 = 0,74$  (tomate),  $y = 0,08x + 0,21$ ,  $r = * 0,75$  (melón). Las ecuaciones son significativas con  $P < 0,01$

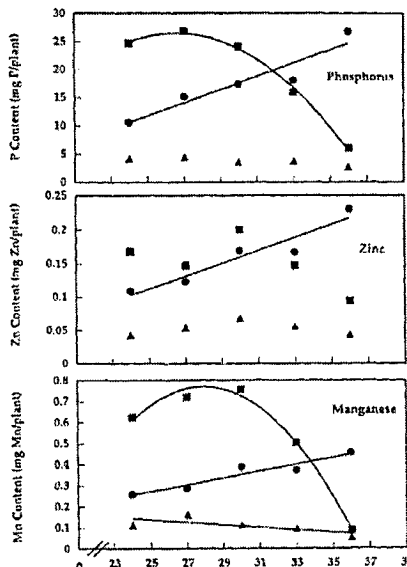


Figura 11. Efectos de la temperatura de la zona radicular (RZT) en tomate (-●-), melón (-■-) y Acacia (-▲-) en el contenido total de fósforo, zinc y manganeso. Las ecuaciones de fósforo en tomate:  $y = -140,8 + 12,5x - 0,24x^2$ ,  $r^2 = 0,83$ ;  $y = -17,8 + 1,2x$ ,  $r^2 = 0,89$ ; Ecuación para el zinc melón es:  $y = -0,13 + 0,01x$ ,  $r^2 = 0,91$ . Ecuaciones para el manganeso son los siguientes:  $y = -7,5 + 0,6x - 0,01x^2$ ,  $r^2 = 0,62$  (tomate),  $y = -0,14 + 0,02x$ ,  $r = 0,91$  (melón);  $y = 0,29 - 0,006x$ ,  $r^2 = 0,56$  (acacia). Todas las ecuaciones que figuran son significativas en la categoría  $P < 0,05$ . (Tagliavini *et al.*, 1991).

Otros estudios también indican que las plantas cultivadas bajo alta temperatura en la zona radical mostraron reducción en la toma de nutrientes. Los síntomas de deficiencia de hierro ocurrieron cuando las plantas fueron cultivadas a alta TZR a pesar de que se abasteció el suficiente Fe a las plantas cultivadas aeropónicamente (Tan, *et al.*, 2002). Otro autor señala que una TZR de 38°C provoca clorosis en hojas jóvenes en el cultivo de papa (Sattlemacher, 1990)

Al igual que las plantas cultivada en el suelo, los sistemas de producción aeropónico dependen de la cantidad de agua y nutrientes disponibles, esta determinado por el volumen de la solución nutritiva con la que sus raíces están en contacto. El volumen de la solución nutritiva absorbida por las raíces depende de la cantidad de ramificaciones y de la distancia a la que las raíces se extiendan tanto horizontal como verticalmente. En recientes estudios, la lechuga, de clima templado y el chile, de clima subtropical, cultivados a su TZR óptima presentaron mayor peso en raíz y brotes que las plantas cultivadas a TZR ambiental. Esto sugiere que la deficiencia de Fe en las plantas cultivadas a alta TZR se debió principalmente a un pobre crecimiento y desarrollo de las raíces.

Aunque el Fe es un micronutriente requerido por las plantas en pequeñas cantidades, cuando no se encuentra disponible puede afectar negativamente la calidad y reducir la producción de frutos (Rashid y Ryan, 2004). El Fe es necesario para el transporte de electrones en la fotosíntesis y un elemento constitutivo de las profirinas y ferredoxinas, que son componentes esenciales en la fase lumínica de la fotosíntesis. Spiller y Terry, 1980 han reportado que la deficiencia de Fe afecta la fotosíntesis ya que el estrés férrico afecta la estructura del cloroplasto. Consecuentemente, se reduce el transporte de electrones en los tilacoides y disminuyen los niveles de ATP en las hojas.

Winder (1995), reportó que la catálisis de la RuBisCO y la fijación de CO<sub>2</sub>, están relacionadas con el metabolismo del N, por lo que las plantas invierten grandes cantidades de nitrógeno en estas funciones. Esto comprende más del 50% de las proteínas de las hojas en las plantas C3. El Fe es también un importante receptor de electrones en las reacciones Redox y activador para diversas enzimas (Marschner, 1995). El Fe también está involucrado con los

nitratos, puesto que tanto la Nitrato reductasa (NR) como Nitrito reductasa (NiR) contienen Fe (Solomonson y Barber, 1990).

Se ha reportado que la actividad de la Nitrato reductasa (NRA) disminuyó a temperaturas de 40/25 °C, día/noche, respectivamente, en un cultivo de garbanzo, sin embargo la NRA de las raíces, fue mínimamente afectada (Laurie, 1993). Li, *et al.*, 2004, investigaron el efecto del estrés férrico y las fuentes de N, en el alga de la marea roja (*Heterosigma akashiwo*), cultivadas a diferentes niveles de Fe. La actividad de NR y NiR disminuyó en las células cultivadas bajo estrés férrico, sugiriendo el papel central del Fe en el metabolismo de *H. akashiwo*. En plantas superiores se reportó que la actividad de NR fue mas baja en la raíz de especies de *Vaccinium sp*, con estrés férrico, comparadas con otras plantas de la misma especie con suficiente Hierro a la quinta semana de tratamiento. Cuando el suministro de Fe fue reabastecido a las plantas con estrés férrico en la sexta semana de tratamiento, el NRA se incremento a tasas similares a las plantas con suficiente suministro de Fe (Poonnachit y Darnell, 2004).

Un estudio reciente por Jie He, *et al.*, (2008) sobre las concentraciones de Fe, en las hojas jóvenes, viejas y raíces (Cuadro 7) en el cultivo de brócoli demuestra que estas son más altas en todos los órganos de las plantas a TZRC (Temperatura de la zona radical constante a 25°C). FFe (Concentración de Fe a 8.5 ppm) con 180.7, 208.3, y 639.0  $\mu\text{g g}^{-1}$  Peso Seco, para hojas jóvenes, hojas viejas y raíces respectivamente, comparados con los otros tratamientos. La más baja concentración de Fe (41  $\mu\text{g g}^{-1}$  peso seco) se observó en las hojas jóvenes del tratamiento altas temperaturas ambientales en la zona radicular (TZRA) 0Fe (sin fierro). Se encontró una diferencia significativa entre las hojas jóvenes y las hojas viejas para todos los tratamientos de Fe a TZRC. Se encontraron bajas concentraciones de Fe en las plantas cultivadas bajo los tratamientos 1/2Fe y 0Fe a TZRAC, tanto en las hojas jóvenes como en las viejas.

También se observó una disminución en la concentración de Fe en las hojas de las plantas con deficiencia de Fe. Es bien sabido que las plantas verdes requieren un constante suministro de Fe a medida que crecen, debido a que el Fe no pasa de las hojas jóvenes a las



hojas viejas. En plantas a TZRA hubo también una mayor concentración de Fe en las hojas viejas, en comparación con las hojas nuevas en las plantas de los tratamientos FFe y 0Fe. Las concentraciones de Fe tanto de hojas viejas, como jóvenes del tratamiento TZRC FFe fueron significativamente más altas que las plantas del tratamiento TZRA FFe ( $P < 0.05$ ). Las concentraciones de Fe de las hojas nuevas y viejas se vieron afectadas por la TZR y la disponibilidad de Fe. Estas concentraciones fueron más bajas en plantas cultivadas bajo estrés férrico, comparadas con las plantas cultivadas bajo el tratamiento TZRC FFe. Existe una correlación entre la cantidad de Fe y clorofila de la hoja mientras la hoja no haya terminado de desarrollarse. Bajo la deficiencia de Fe las plantas son más pequeñas aparentemente. Kosegarten, *et al.*, 1998, reportaron que la represión del crecimiento fue un síntoma del déficit férrico, en girasol, anterior a la clorosis de la hoja.

Es decir, la inhibición del crecimiento mostrada en las hojas con altas concentraciones de Fe y la grave clorosis por la inactivación de Fe, solo ocurren como un evento secundario, conocido como clorosis férrica, como se reportó para el caso de durazno y pera (Morales, *et al.*, 1998b). Sin embargo, en estos estudios se encontró que la clorosis férrica causó una significativa deficiencia en el área, peso seco y peso fresco de las hojas plenamente desarrolladas.

Además los resultados indican que tanto la clorofila total como el tamaño de la hoja fueron afectadas por la disponibilidad del Fe y por la elevada TZRA (Temperatura de la zona radicular con fluctuaciones de 26°-40°C).

La clorosis, como lo menciona Römheld (1987), está estrechamente relacionada con la clorosis en las hojas que contienen la adecuada cantidad de Fe. En otras palabras, los tejidos vegetales son aparentemente suficientes con respecto al contenido de Fe, pero fisiológicamente este insuficientes.

Las hojas cloróticas de los árboles frutales tuvieron más altas concentraciones de Fe en sus tejidos, que las plantas deficientes cultivadas bajo ambientes controlados o que sugerían que el Fe podía ser movilizado en las hojas cloróticas en forma no disponible. La

relativamente alta concentración de Fe en las hojas de frutales con déficit de Fe, sugiere que el Fe puede ser acumulado en forma no disponible en algún lugar de las hojas cloróticas (Marschner, 1995).

Cuadro 7. Concentración de Fe ( $\mu\text{g g}^{-1}\text{DW}$ ) de hojas jóvenes, hoja viejas, tallo y raíz, y el contenido total de Fe (mg) en proporción de brotes/ raíz de *B. Alboglabra*

Material	Tratamientos						
	<sup>1c</sup> TZRCFFe	<sup>2c</sup> TZRC 1/2Fe	<sup>3c</sup> TZRC0Fe	<sup>4f</sup> TZRAFFe	<sup>5f</sup> TZRA1/2Fe	<sup>6f</sup> TZRA0Fe	
Concentración de Fe ( $\mu\text{g g}^{-1}$ peso seco)	Hojas jóvenes	180.7 $\pm$ 8.7	114.7 $\pm$ 3.4	82.3 $\pm$ 2.1	116.0 $\pm$ 3.1	87.5 $\pm$ 5.5	41 $\pm$ 8.3
Total Fe contenido (mg)	Hojas viejas	208.3 $\pm$ 5.8	131.2 $\pm$ 4.2	102.4 $\pm$ 2.1	145.2 $\pm$ 4.4	120.1 $\pm$ 1.3	61.3 $\pm$ 2.7
	Raíz	639.0 $\pm$ 16.3	489.3 $\pm$ 12.8	245.2 $\pm$ 14.9	618.1 $\pm$ 10.4	423.9 $\pm$ 12.5	46.2 $\pm$ 15.7
Total Fe contenido (mg)	Brote	374.3 $\pm$ 50.7	93.5 $\pm$ 12.5	37.5 $\pm$ 17.7	45.9 $\pm$ 9.9	39.9 $\pm$ 4.5	16.0 $\pm$ 7.2
	Raíz	108.1 $\pm$ 24.1	93.9 $\pm$ 4.9	50.9 $\pm$ 6.8	36.3 $\pm$ 10.0	21.2 $\pm$ 14.0	8.1 $\pm$ 2.9
	Raíz/brote	3.7 $\pm$ 0.3	1.0 $\pm$ 0.5	0.7 $\pm$ 0.9	1.3 $\pm$ 0.5	1.9 $\pm$ 0.7	1.9 $\pm$ 0.2

<sup>1c</sup>Temperatura de la zona radicular constante a 25° C, <sup>2c</sup> a una concentración de 8.5 ppm, <sup>3c</sup> 4.25 ppm y <sup>3c</sup> sin Fe ; <sup>f</sup>Temperatura de la zona radicular con fluctuaciones de 26° a 40°C a concentraciones de <sup>4f</sup>8.5 ppm, <sup>5f</sup>4.25 ppm y <sup>6f</sup> sin Fe durante 2 semanas (He *et al.*, 2008).

He *et al.*, (2008) aclara que las concentraciones de Fe en la raíz fueron similares tanto en las plantas a TZRA como a TZRC, aparentemente las altas temperaturas en la zona radical parecen inhibir la absorción y el transporte de Fe a las hojas de plantas a TZRA. Es decir, el contenido de Fe fue más bajo tanto en hojas jóvenes como viejas para plantas a TZRA, en comparación con las plantas a TZRC. Las plantas del tratamiento TZRC, a TZRA tuvieron similares concentraciones de Fe en la raíz, que podría ser debido al pequeño tamaño de estas. Tan *et al.*, 2002 también reportaron que la alta TZRA afecta la absorción y el transporte del Fe.

En el presente estudio, además de la alta temperatura de la zona radical a 26° y 40°C (TZRA), la disponibilidad del Fe puede causar baja absorción en las plantas con deficiencia de Fe debido a la menor disposición de este nutriente en la solución nutritiva.

Aunque la concentración de Fe en la raíz fue similar para las plantas a (temperatura de la zona radicular con fluctuaciones de 26° a 40°C a 85 ppm) TZRA y TZRC (temperatura de la zona radicular bajo una temperatura constante a 25° C y una concentración de 8.5 ppm TZRC-FFE), bajo los completos requerimientos de Fe (FFE), el proceso de obtención y transporte fue mucho mayor y más rápido para el tratamiento TZRC FFe, según se refleja en el contenido de Fe en la proporción raíz-parte aérea. Es muy probable que cuando el Fe fue absorbido en las plantas cultivadas a TZRC, este fue inmediatamente transportado a los brotes causando así una reducción en la concentración de Fe en la raíz, similar a las plantas a TZRA. La alta concentración de Fe a TZRA inhibe el crecimiento y absorción de minerales (Tan, *et al.*, 2002). En resumen, tanto la TZR como la disponibilidad de Fe, afectan el contenido total de Fe en las plantas.

#### **4.6 Efecto de la temperatura en la zona radical sobre el crecimiento y concentración de Mo y NO<sub>3</sub><sup>-</sup>**

Los cambios en la temperatura radical causada por la utilización de películas plásticas, es uno de los aspectos mas importantes en el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos. La temperatura de la zona radicular de las plantas puede ser crítica en la supervivencia y establecimiento, puesto que las raíces tienen una menor temperatura óptima y están menos adaptadas a fluctuaciones extremas de las parte en comparación con las partes aéreas. La temperatura de la zona radicular afecta el crecimiento y la actividades fisiológicas en la planta, tales como la absorción de agua y nutrientes minerales (Alvarado, 1999).

En ambientes protegidos, el crecimiento de las raíces aumenta linealmente al incrementar la temperatura óptima y mínima. Al presentar aumentos de temperatura en la zona radicular por encima de la mínima y óptima conlleva a una disminución del crecimiento de la raíz y retoños. (Díaz y Batal, 2002; Díaz, *et al.*, 2005; Cooper, 1973; McMichel y Burke, 2002; Nielsel y Carson, 1974).

Estudios por Baghourt, *et al.*, (2003) sobre el efecto de la temperatura de la zona radicular (TZR) mediante acolchado en la concentración de Molibdeno (Mo) en los diferentes

órganos de la papa, (*Solanum tuberosum* L. var. *Spunta*), señala que el polietileno negro, absorbe un 96 % de la radiación solar, reflejan muy poco y absorben mucho calor provocando el calentamiento del suelo. El polietileno blanco provoca el enfriamiento, ya que refleja las longitudes de onda. El cuadro 8, muestra los valores medios de la TZR generada por las películas plásticas, los tratamientos significativamente afectados por esta variable fueron T4 (acolchado negro a 30°C) presentando el valor mas alto y T0 el valor más bajo (16 °C) afectados por la TZR.

También se muestra la acumulación de biomasa expresada en peso seco de distintas partes del la planta, manifestando valores significativos con respecto a las diferentes temperaturas en la zona radicular interfiriendo en la raíces y tubérculos, con el T3 (blanco/negro) supero en un 34 y 35%, mientras que el valor más bajo se registro en el T1 (polietileno transparente). El T1 presentó el valor más alto con respecto a tallos, siendo superior al T0 (sin cubierta) en un 20 %, en cambio en T3 mostró los valores mas altos superando en un 15 % al tratamiento sin cubierta.

Cuadro 8. Efecto de los tratamientos con acolchado (sin cubierta (T<sub>0</sub>), polietileno trasparente (T<sub>1</sub>), blanco (T<sub>2</sub>), blanco/negro (T<sub>3</sub>) y negro (T<sub>4</sub>) respectivamente) sobre la temperatura de la zona radicular (TZR) y peso seco de los órganos de la planta.

Tratamientos	TZR (°C)	Raíz (g planta <sup>-1</sup> )	Tubérculos (g planta <sup>-1</sup> )	Tallos (g planta <sup>-1</sup> )	Hojas (g planta <sup>-1</sup> )
T <sub>0</sub>	16 e <sup>a</sup>	1.75 bc	19.94 c	1.82 b	2.48 b
T <sub>1</sub>	20 d	1.04 c	10.89 d	2.19 a	1.93 c
T <sub>2</sub>	23 c	1.97 b	22.42 b	1.85 b	2.59 b
T <sub>3</sub>	27 b	2.34 a	26.93 a	1.70 b	2.84 a
T <sub>4</sub>	30 a	1.63 bc	20.70 c	2.09 b	2.51 b

<sup>a</sup>Valores seguidos por la misma letra dentro de la columna, no son significativos, mediante la prueba de Rango múltiple de Duncan p<0.05 (Baghour, 2003)

Schmidt y Worthington, (1998) demostraron que bajo acolchados de polietileno trasparente no provocan el calentamiento del suelo, al presentar temperaturas de 18-20° C,

durante el ciclo del cultivo. Mientras que el T3 (polietileno blanco/negro) fue el que presentó un mayor peso seco en tubérculos y hojas, a una temperatura de 27 °C en la zona radicular, siendo la óptima para este cultivo. Puesto que al sobre pasar esta temperatura el peso seco decaía (Cuadro 1).

Del mismo modo, Klock *et al.*, (1998) en un estudio sobre el cultivo de tomate mostraron que bajo temperaturas de 24 a 27°C en la zona radicular se presenta un aumento en la biomasa total, mientras que fuera de este rango el peso seco bajó. Los resultados sobre la concentración de Mo en los diferentes órganos de la papa revelan un efecto positivo en los tratamientos (polietileno blanco) T2 y T3 (polietileno blanco y negro) presentando mayores concentraciones de Mo en raíces, tubérculos, tallos y hojas (Cuadro 9), en cambio con T1 (polietileno transparente) fue afectada negativamente, con menores concentraciones.

Cuadro 9. Efecto de la temperatura de la zona radicular en la concentración de Molibdeno (sin cubierta, polietileno transparente, blanco, blanco/negro y negro respectivamente).

Tratamientos	Total Mo (ng g <sup>-1</sup> dw)			
	Raíz	Tubérculos	Tallo	Hojas
T <sub>0</sub>	1.534 b <sup>a</sup>	151 b	853 b	2.338ab
T <sub>1</sub>	1,447 b	147 b	771 b	2.253 b
T <sub>2</sub>	2.318 a	183 a	1.447a	2.446 a
T <sub>3</sub>	2.220 a	202 a	1.338a	2.442 a
T <sub>4</sub>	1.656 b	157 b	712 b	2.277 b

<sup>a</sup>Valores seguidos por la misma letra dentro de la columna, no fueron significativamente diferentes en función de la prueba de Rango múltiple de Duncan p<0.05 (Baghour *et al.*, 2003)

En el Cuadro 10, se muestra la relación entre la TZR y la acumulación de Mo. El polietileno blanco negro fue significativo al presentar una mayor acumulación en raíces, tubérculos y hojas, superando en un 94, 81 y 20% respectivamente. En hojas fue donde se encontró una mayor acumulación de Mo y los valores mas bajos se presentaron en tallos. Lo que indica claramente que la TZR influye fuertemente en la captación y transporte total de Mo, con T2 (23°C) y T3 (27°C).

Follet y Barber, (1967) sostuvieron que al aumentar la temperatura en la raíz induce a una mayor solubilidad de Mo en el suelo, sobre todo a una temperatura superior a 25°C, lo que favoreció a una mayor absorción de la planta. También, se encontró que la concentración de Mo fue mayor en las hojas (cuadro 10), lo que indica que este micronutriente se transporta a través del xilema, dando lugar a altas concentraciones de Mo en la parte aérea de la planta (Welch, 1995). Los diferentes órganos de la papa en los tratamientos polietileno blanco (T2) y blanco/negro (T3) mostraron una mayor eficiencia en la acumulación de Mo (Cuadro 10), lo que sugiere que la acumulación depende de la biomasa de cada órgano de la planta.

Cuadro 10. Efecto de la temperatura de la zona radical sobre la acumulación de Mo (T<sub>0</sub>, T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub>, respectivamente)

Tratamientos	Total Mo (mg g <sup>-1</sup> dw)			
	Raíz	Tubérculos	Tallo	Hojas
T <sub>0</sub>	2.684 c <sup>a</sup>	3.011 c	1.552 c	5.798 c
T <sub>1</sub>	1.505 d	1.601 d	1.668 c	4.348 d
T <sub>2</sub>	4.566 b	4.103 b	2.731 a	6.335 b
T <sub>3</sub>	5.195 a	5.440 a	2.275 b	6.935 a
T <sub>4</sub>	2.699 b	3.251 c	1.448 c	5.715 cd

<sup>a</sup>Valores seguidos por la misma letra dentro de la columna, no fueron significativamente diferentes en función de la prueba de Rango múltiple de Duncan  $p < 0.05$  (Baghour *et al.*, 2003)

Con respecto al NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (nitratos), se ha demostrado que en la raíz existen altas concentraciones en T1 (polietileno transparente), mientras que las temperaturas más altas se registraron en T2, T3 y T4, (transparente, blanco/negro y negro) lo cual disminuyó en la acumulación de NO<sub>3</sub> hojas (Cuadro 11)

Cuadro 11. Efecto de la Temperatura en la zona radical sobre la concentración de  $\text{NO}_3^-$

Tratamientos	Variables evaluadas			
	Raíz ( $\text{mg g}^{-1} \text{dw}$ )	Tubérculos ( $\text{mg g}^{-1} \text{dw}$ )	Tallo ( $\text{mg g}^{-1} \text{dw}$ )	Hojas ( $\text{mg g}^{-1} \text{dw}$ )
T <sub>0</sub>	3.62 b <sup>a</sup>	0.24 c	9.19 a	2.50 ab
T <sub>1</sub>	4.02 a	0.53 a	8.65 a	2.21 b
T <sub>2</sub>	3.69 ab	0.25 c	8.98 a	2.68 a
T <sub>3</sub>	3.95 a	0.33 b	9.21 a	2.79 a
T <sub>4</sub>	3.68 ab	0.39 b	9.37 a	2.87 a

<sup>a</sup>Valores seguidos por la misma letra dentro de la columna, no fueron significativamente diferentes en función de la prueba de Rango múltiple de Duncan  $p < 0.05$  (Baghour *et al.*, 2003)

En las raíces, las concentraciones más elevadas se registraron en T1 y T3, superando a T0 (sin cubierta). En tubérculos, en T1 se obtuvo una mayor concentración de  $\text{NO}_3^-$ . En los tallos no difieren estadísticamente, por último la mayor concentración en hojas se encontraron en T2, T3 y T4, el valor más bajo se encontró en T1.

Wang *et al.* (1992) sugieren que la actividad Nitrógeno reductasa disminuye en las plantas de trigo con un bajo nivel de Mo y que este efecto se intensifica a raíz de las temperaturas bajas. Esta idea podría ser aplicable cuando el suelo está descubierto, con una temperatura de 16°C, o bien cubierto con polietileno transparente y a 20°C a la baja actividad de Nitrógeno reductasa (NR) registrada en las raíces y hojas; en cambio con películas de polietileno blancas y coextruidas (blanco/negro) presentaron temperaturas más altas, y a consecuencia de esto registraron valores más altos de Nitrato reductasa en las raíces.

Por otra parte, las temperaturas más altas se registraron bajo el acolchado negro, afectando negativamente a la actividad nitrógeno reductasa. Du *et al.*, (1994) sugieren que el suministro de nitrógeno a bajas temperaturas aumenta el crecimiento de las plantas y por lo tanto exista una buena absorción de molibdeno. Wang, 1999 dice que la actividad de Nitrato reductasa depende de la concentración de Molibdeno. Sin embargo, según Lavon y Goldschmidt, (1999) la actividad es mejor o más fuerte (NR/Mo) bajo condiciones de deficiencia de Mo.

En resumen, las temperaturas más altas en el tratamiento con polietileno negro afectaron los procesos fisiológicos de las plantas. Las películas de polietileno blanco y coextruido (blanco/negro) intervienen positivamente en una mejor absorción y transporte de Mo, así como promover la actividad Nitrato reductasa y provocando una fuerte reducción y asimilación de  $\text{NO}_3^-$ . Dando lugar a altas concentraciones de aminoácidos, proteínas y nitrógeno orgánico.

## **5. Efecto de la temperatura sobre asimilación de nutrientes**

La escasez de nutrientes minerales limita la producción vegetal en la mayoría de los ambientes. En condiciones naturales la cantidad de nutrientes disponible es siempre limitada y las adiciones externas son escasas, por lo que las plantas necesitan reciclar, reducir las pérdidas y maximizar la eficiencia en el uso de los nutrientes para conseguir una máxima producción de biomasa con una cantidad dada de nutrientes (Escudero y Mediavilla, 2003)

El nitrógeno es una parte importante de un gran número de los constituyentes de las plantas, siendo muchos de ellos proteínas y ácidos nucleicos. Forma también parte de la molécula de clorofila. Las plantas superiores absorben este elemento principalmente como ión nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y en forma limitada como amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) o amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). El nitrato antes de ser usado en la síntesis de aminoácidos, es primeramente reducido a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) y luego a amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). Las plantas cultivadas son capaces de absorber y metabolizar el nitrato y el amonio (Salisbury y Ross, 1994 citado por Jie He *et al.*, 2008).

El efecto de la temperatura sobre la velocidad de mineralización y nitrificación afecta la disponibilidad de nitrato y hace variar la absorción de éste (Maynard y Barker, 1979). La temperatura influye en los procesos de absorción, translocación y asimilación de nitrato; además otros factores como la humedad del suelo, la intensidad lumínica y la disponibilidad de nitrógeno interactúan con ésta. Más aún, la temperatura de raíces y de la parte aérea es distinta durante el día, lo que debe tenerse en cuenta al considerar las fluctuaciones diarias de contenido de nitrato. Considerando que todos los procesos biológicos están regulados por la temperatura, una noche de bajos registros térmicos afectará menos a las raíces, por lo que la



absorción no disminuirá en la misma proporción. Esta caída de temperatura favorece la acumulación, lo que estaría de acuerdo con las variaciones de nitrato que se observan durante el día (Maynard y Barker, 1979).

Los factores ambientales principales de importancia en la asimilación de nutrientes son: la radiación lumínica y la temperatura. El efecto de la intensidad de la radiación ha sido descrito por numerosos autores, como Maynard y Baker (1979), quienes concuerdan a una reducida intensidad lumínica (como la invernal) se encuentra una alta concentración de nitrato en las plantas. En el caso de la temperatura, esta influye en los procesos de absorción, translocación y asimilación de dichos compuestos. Más aún, la temperatura de raíces y parte aérea son distintas durante el día, lo que debe tenerse en cuenta al considerar las fluctuaciones diarias de contenido de nitrato, ya que la caída de temperatura favorece su acumulación (Maynard y Barker, 1979).

Petti (2006), al analizar el efecto del uso de distintos tipos de polietileno sobre la concentración final de nitratos en hortalizas (recula, lechuga y zapallo italiano), llegó a la conclusión de que existe evidencia al emplear películas con propiedades de difusión directa y otra difusa (Figura 12). Debido a los resultados obtenidos, se atribuye esta disminución a la alta difusión del film, que hace más homogénea la distribución de la radiación solar al interior de la estructura, aumentando la superficie iluminada de la planta. En contraste, el uso de un film convencional de luz directa puede provocar la iluminación excesiva de alguna zona del vegetal afectando fisiológicamente e induciendo a estrés térmico. El uso de un film con propiedades térmicas y difusivas de la radiación lumínica derivará en plantas con actividad fotosintética constante.

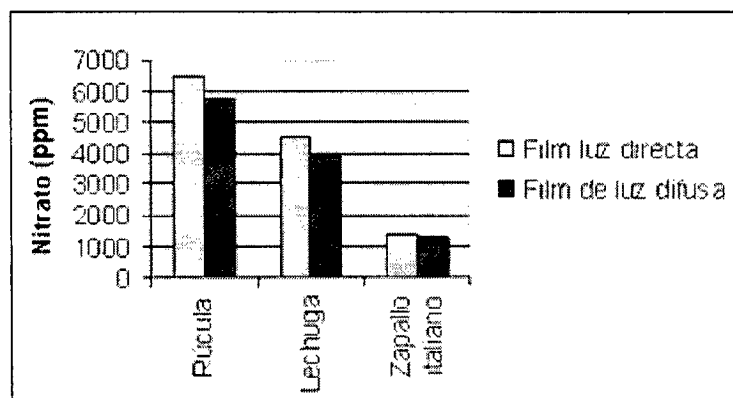


Figura 12. Reducción de concentraciones de nitrato mediante el uso de polietileno como material de cobertura de invernadero Fuente: Petti L., 2006.

#### a. Absorción nutrimental

El manejo eficiente de la nutrición de los cultivos es un desafío planteado para mantener o incrementar su productividad, satisfaciendo la demanda de alimentos e incrementando la calidad de los recursos suelo y agua. Las plantas muestran un ritmo de absorción característico, que conduce a valores totales al término del desarrollo y que muestran proporciones entre los diferentes nutrientes, las cuales pueden ser de utilidad en el manejo de la nutrición de los cultivos (Miller *et al.*, 1979)

La absorción y translocación de nutrientes esenciales, desarrollo y crecimiento de la raíz y la células de diferenciación en la raíz, son directamente influenciados por la temperatura en la zona radical (Cooper, 1973). Así mismo, la temperatura en la zona radical puede ser un importante parámetro, que influencié la absorción de nutrientes para diversas especies de cultivos. Investigaciones de Lahav (1984), revelaron que la temperatura para la máxima absorción de Fe en plátano, no sé alcanzó a pesar de los regímenes de temperatura, incluidas las temperaturas día noche de 17/10, 21/14, 25/18, 29/22, 33/26, y 37/30 °C. El incremento en la temperatura de 17/10 a 37/30 °C, resultó en un incremento de tres veces la absorción de Fe.

## **b. Eficiencia en el uso de fertilizantes**

Los fertilizantes al mezclarse con el agua pueden presentar reacciones térmicas que cambian la temperatura de la solución e influyen en la solubilidad de los fertilizantes a incorporar. La mayoría de los fertilizantes tienen una reacción endotérmica (nitratos, urea, amonios) al solubilizarse en agua, bajan la temperatura de la solución. Es importante considerar este fenómeno en la época invernal o cuando se trabaja con agua fría. Para contrarrestar los daños causados por las bajas temperaturas es necesario el uso de cubiertas plásticas (Rodríguez, 2004).

Las películas plásticas presentan un efecto alentador sobre el uso eficiente de los fertilizantes, tal es el caso del uso de acolchado este puede influir positivamente en la temperatura y humedad del suelo, manteniendo esta última a un nivel óptimo se podrá tener el terreno en mejores condiciones para una buena nutrición, y por lo tanto, favorecer la absorción de N por la planta. Al estar el terreno protegido por láminas plásticas, impermeables al agua, la lluvia y el agua de riego no erosionarán ni "lavarán" los elementos fertilizantes de los diferentes estratos del suelo. La pérdida de nutrientes con el acolchado es casi nula. Por otra parte, la actividad microbiana del terreno está influida por el estado físico, la humedad y la temperatura del suelo, sobre todo durante la descomposición de las sustancias orgánicas, favorece la producción del anhídrido carbónico, que es mucho mayor bajo el acolchado que en el suelo desnudo y en consecuencia es también mejor aprovechado por las plantas, lo que se traduce en un aumento cuantitativo y cualitativo de la producción (Castillo, 1999).

#### IV. ESTADO DEL ARTE

Se han registrado pocos estudios que investiguen el efecto de la temperatura en la zona radical sobre la absorción de elementos esenciales. Uno de los primeros estudios sobre el efecto de la temperatura en la absorción de nutrientes en tomate señala que a temperaturas menores de 20° y mayores de 30°C es más probable que perjudiquen la capacidad de absorción de nutrientes (Tindall, 1990).

Las temperaturas menores de 20 °C y mayores de 30 °C probablemente perjudiquen significativamente la capacidad de las plantas para la absorción de agua y nutrientes, no solo debido a los efectos de la temperatura sobre el crecimiento de la raíz, sino también por el efecto de la temperatura sobre la capacidad de las plantas para la absorción de nutrientes.

Gregory, (1988) menciona que la temperatura afecta a la fisiología de las raíces, y como consecuencia afecta a la absorción de iones, lo que puede resultar en un síntoma de deficiencia visible o tal vez hambre oculta. Esto implica que la modificación de las temperaturas del suelo por acolchado, irrigación u otros medios para acercarse a una temperatura óptima de aproximadamente 25 °C, permitiría el máximo de la absorción de nutrientes y mejores resultados en el crecimiento y rendimiento de las plantas.

También se menciona que un aumento en la temperatura está asociado con un incremento en la tasa respiratoria de las raíces, lo cual a su vez afecta el crecimiento de las mismas y la producción de ATP. Ambos, el crecimiento y la síntesis de moléculas de alta energía, pueden afectar la asimilación y demanda de nutrientes por la raíz. La demanda de nutrientes por una planta está en función de la tasa de crecimiento de la misma, la que a su vez es afectada por las condiciones ambientales y el estatus nutricional de la planta.

Tan *et al.*, (2002) mencionan que la concentración de Nitrógeno y Fósforo en plantas de lechuga expuestas a una temperatura de la solución de 20 °C fue mas alto que en aquellas expuestas a las cálidas temperaturas de un invernadero, pero el contenido total de Nitrato, Potasio, Calcio, Cobre, Fierro, Magnesio, y Zinc también fue mas alto en plantas expuestas a

una temperatura de la solución de 20 °C, se señala que la asimilación de Nitrógeno, y otros nutrientes, en respuesta a la temperatura se encuentra en función de la especie.

Hamlin y Mills (2001) señalaron la importancia de estudiar la influencia de la temperatura en la absorción de Nitrógeno en diferentes estados fenológicos por lo que diseñaron un experimento para determinar el efecto de la forma de Nitrógeno e identificar los periodos de demanda máxima del mismo elemento a temperaturas de 12 °C o 22 °C. Los resultados mostraron que la absorción de nutrientes en esta especie es afectada por el estado fenológico, la temperatura, y la forma en la cual el Nitrógeno fue suministrado.

Estos estudios indican la importancia que tiene el efecto de la temperatura bajo cubiertas plásticas sobre la demanda nutrimental al incrementar o regular la temperatura, dependiendo de los requerimientos de cada especie para una mejor absorción y asimilación de nutrientes. Mediante el uso de películas plásticas en los cultivos se puede modificar la de absorción, reflexión y trasmisión de luz, dependiendo de la época del año, por lo que a través de las característica propias de cada película, podemos regular la temperatura.

## V. ÁREAS DE OPORTUNIDAD

Las técnicas de Agroplasticultura actualmente han tomado auge en la producción intensiva de cultivos, con la finalidad de controlar los factores ambientales que pudieran perjudicar la producción, tal es el caso las altas temperaturas. Mientras que bajo acolchado, invernadero, microtúneles y túneles se tienen un buen control sobre este factor, con ello no solo aumenta la seguridad del agricultor, sino que se incrementa también la calidad y la producción, y con ellos la rentabilidad de este.

La necesidad de intensificación de cultivos y la aparición de nuevas técnicas y la extensa gama de materiales plásticos son algunos de los factores que han provocado un gran desarrollo de la plasticultura. Investigaciones bajo el uso de estas técnicas afirman que han obtenido grandes beneficios en cuanto a producción, además se tienen un mejor manejo sobre la cosecha, producto limpio, libre de enfermedades, y sobre todo un buen manejo de la nutrición al instalar sistemas de riego, ya que de ello dependerá la nutrición del cultivo de acuerdo a los requerimientos que la planta necesite y con ello obtener producto de buena calidad y buen sabor todo esto llevara a un mejor rendimiento para el productor, y mayor demanda en el mercado.

Es necesario determinar los niveles óptimos de nutrición en ambientes protegidos que modifican la temperatura de la zona radical, lo que permitiría un aprovechamiento más integral de la tecnología de la plasticultura, mediante un ahorro de productos, que pudieran causar un desorden en los cultivos.

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los plásticos han evolucionado las técnicas de producción agrícola y es común su uso en forma de películas para acolchados, microtúneles, túneles e invernaderos. En México el uso de invernaderos ha adquirido auge en gran escala en la producción masiva de cultivos hortícolas. La importancia radica en la capacidad que representan las películas plásticas de acuerdo a sus características ópticas, físicas y mecánicas al modificar los factores ambientales, así como las respuestas adaptativas que posee cada cultivo, siendo la temperatura el factor más importante al interferir en los procesos fisiológicos de la planta, además de manifestarse con una mayor área foliar, y mayor número y tamaño de frutos, esto debido principalmente al proceso fotosintético.

Las diferentes técnicas de plasticultura nos brindan mayor precocidad en los cultivos, protección contra plagas y enfermedades, obtención de frutos de mayor calibre, limpios y de buen tamaño comercial, debido al microambiente que se genera dentro del plástico afectando directamente la zona radicular de la planta, lo que conlleva a un mejor desarrollo del mismo. Por lo tanto los cultivos bajo ambientes protegidos favorecen de manera significativa al incremento en la producción, calidad, número de frutos y por ende un incremento en la demanda nutrimental. Esto bajo condiciones óptimas de temperatura, de lo contrario si existen temperaturas altas la producción disminuye, por lo cual es recomendable poner énfasis sobre el desarrollo de plásticos para cubiertas que modifiquen la radiación y disminuyan la temperatura, sin afectar el crecimiento y calidad de las plantas, con la finalidad de que los productores puedan usarlas en sustitución de las prácticas actuales de control de temperatura. Aunque existen otras mediadas para el control de la temperatura como; ventilación natural, Sombreado con mallas fijas o móviles, pantallas de evaporación, sistemas de nebulización y las más común blanqueado de cubiertas, bajo un costo adicional.

Con el aumento de la temperatura del suelo hasta un cierto umbral se obtiene un mayor desarrollo radical, que a su vez se expresa en mayor rendimiento y una producción más precoz y de mejor calidad, pero si la temperatura excede dicho umbral los efectos térmicos pueden

perjudicar a las plantas. Las altas temperaturas que alcanzaría la superficie del suelo bajo cierto acolchado, principalmente el transparente en períodos de alta radiación solar, se pueden traducir en detención del crecimiento de raíces e incluso su muerte. Actualmente existe una diversidad de películas plásticas que benefician en el control de dicho factor.

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 mas adecuados a las diferentes condiciones climáticas y a las necesidades específicas de los cultivos que económicamente son mas rentables bajo las técnicas de producción en invernadero.

La importancia de las cubiertas plásticas ha provocado que exista un mejor aprovechamiento de los recursos agua, luz y alimento, debido a la retención que provocan esta cubiertas, así como también un manejo en la trasmisión de luz que va dirigida a los cultivos y el efecto que provoca al incrementar la temperatura de la zona radicular del cultivo, ayudando a que exista una mayor precocidad sobre los cultivos. Se sugiere una mejor comprensión de las interacciones de los diferentes tipos de plásticos para lograr incrementar el rendimiento y la producción de las hortalizas.



## VII. NOMENCLATURA

PE: Polietileno

PAR: Radiación Fotosintéticamente Activa

IR: Radiación Infrarroja

NIR: Radiación Infrarroja de Onda Corta

UV : Radiación Ultravioleta.

TDPA: Promotor de degradación de plásticos

Rs: Radiación solar

PS: Peso seco

Fn: Fotosíntesis neta

TZR: Temperatura de la Zona Radicular

CO<sub>2</sub>: Bióxido de Carbono

HR: Humedad Relativa

NR: Nitrato reductasa

NiR: Nitrito reductasa

CE: Conductividad estomática

Fe: Hierro

Mn: Manganeseo

Zn: Zinc

Mo: Molibdeno

P: Fósforo

N: Nitrógeno

µm: Milimicra

T/F: Transpiración y Fotosíntesis

ATP: Adenosín trifosfato

## VI. BIBLIOGRAFIA

- Alexander, P. 1992. Biología, Prentice Hall. New Jersey. Printed in USA; 57-67
- Alpi, A., Tognoni, F., Ceriola, E. Domínguez Castillo. 1991. Cultivo en Invernadero. Tercera Edición. Mundi Prensa. Pag. 55-129
- Alvarado, P.V y Castillo, G. 1999. Acolchado de suelo mediante Films de polietileno. Revista el Agroeconómico de la Fundadación de Chile.
- Antonious, G.F., M.J. Kasperbauer, y M.e. Byers. 1996. Luz reflejad de plásticos hacia las hojas crecientes del nabo afecta los contenidos de glucosintatos y azúcares de raíces comestibles. Photobiol. 64:605-610
- Arellano, M., 2008. Apuntes de especialización en agroplasticultura. Producción DE invernaderos. Centro de Investigación en Química Aplicada. Saltillo, Coahuila.
- Atwell, B.J., Steer, B.T. 1990. The effect of oxygen deficiency on uptake and distribution of nutrients in maize plants. Plant Soil, 122, 1-8.
- Baghour, M., Lamia Ragala, Diego A. Moreno, Gemma Villora, Joaquín Hernández, Nicolás Castilla, and Luis Romero. 2003. Effect of Root Zone Temperature on Accumulation of Molybdenum and Nitrogen Metabolism in Potato Plants. Journal of Plant Nutrition. Vol. 26, no. 2, pp. 443-461.
- Baghour, Mourad., Lamia Ragala., Diego A. Moreno., Gemma Villora., Joaquín Hernández, Nicolás Castilla, and Luis Romero. 2003. Effect of Root Zone Temperature on Accumulation of Molybdenum and Nitrogen Metabolism in Potato Plants. Journal of plant nutrition. Vol. 26, No. 2, pp. 443-461, 2003
- Benavides M, A. 1998. Modificación en los ambientes espectrales de crecimiento y su efecto sobre el comportamiento fisiológico y productividad de *Lactusa sativa* L. y *spinacia oleracea* L. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Biológicas, UANL. 217 p.
- Bouzo. A. Carlos. 2005. Modificación de los factores ambientales de los cultivos. Cap. Modificación de la temperatura. Facultad de Ciencia Agrarias.
- Castaños, C.M. 1993. Horticultura: Manejo simplificado. Primera edición. Universia Autónoma Chapingo. Dirección General del Patronato Universitario, Chapingo, México. P. 241-243.
- Castillo, M. 1998. Efecto de diversos tipos de acolchados plásticos sobre la temperatura del suelo y su influencia sobre el desarrollo de malezas, precocidad y rendimiento de un

- cultivo de brócoli. Tesis Ing. Agr. Santiago, Universidad de Chile, Fac. Ciencias Agronómicas.
- CIFA. 2002. Efecto de las variables climáticas sobre los procesos de producción de los cultivos en Invernadero. Almería. FITECH VI.
- Clarkson, D.T., M.J. Hopper, and L.H.P. Jones. 1986. The effect of root temperature on the uptake of nitrogen and the relative size of the root system in *Lolium perenne*. I. Solutions containing both  $\text{NH}_4$  and  $\text{NO}_3$ . *Plant Cell Environ.* 9:535-545.
- Cooper, A.J. 1973. Root temperature and plant growth. Commonwealth Agric. Bureaux, Farnham Royal, England.
- Csizinsky, A.A.; Schuster D.J.; Kring, J.B. Color mulches influence yield and insect pest populations in tomatoes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 1995, 120, 778-784.
- Davis, T.m., and J.C. Lingle. 1961. Basis of shoot response to root temperature in tomato. *Plant Physiology* 36:153-162
- Díaz Serrano, T., Espí Guzmán, E., Fontecha Recio, A., Jiménez García, J.C., López Galvéz, J., & Salieron Cano, A. 2001. Los filmes Plásticos en la producción Agrícolas. Madrid, España: Repsol ypf-Mundi-Prensa.
- Díaz Pérez, J.C., *et al.* 2005. Root zone temperature, plant growth, and fruit yield of tomatillo as affected by plastic film mulch. *Hortscience.* 40 (5): p. 1312-13-19
- Díaz, I.M.G. 1998. Fotosíntesis, conductancia estomático y transpiración del frijol (*Phaseolus vulgaris*) bajo condiciones de campo. Tesis de licenciatura. UAAAN, Saltillo, Coahuila, México.
- Delgado, E., Medina P., J.A. 2004. Estudio comparativo de la incorporación de aditivos nominal apropiados para latitudes tropicales en películas para casas de cultivo. Universidad de los Andes.
- Drew, M.C. 1997. Oxygen deficiency and root metabolism: Injury and acclimation under hypoxia and anoxia. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 78, 223-250.
- Díaz Pérez, J.C. and K.D. Batal. 2002. Colored plastic film mulches affect tomato growth and yield via changes in root-zone temperature. *Journal of the American Society for Horticultural Science.* 127(1): p. 127-135.
- Díaz-Perez, Juan C, Sharad C. Phatak and Jonh Silvoy. 2008. Plastic film mulches as a means to modify root-zone temperature and improve crop performance. *Research Signpost.* 37/661. (2)

- Dodd, I.C., *et al.*, 2000. The influence of supra-optimal root-zone temperatures on growth and stomatal conductance in *Capsicum annuum* L. *Journal of Experimental Botany*. 51 (343): p. 239-248.
- Du, Y.Q.; Wang, Y.H.; 1994. Wang, Z.R.; Wei, W.X. Effects of molybdenum applications on yield, growth and development of wheat. *J. Huazhong Agric. Univ.* 13, 378–385.
- Eltez, R. y Tüzel, Y. 1994. Efecto de diferentes materiales utilizados en acolchado de suelo sobre el rendimiento y la calidad de los cultivos de tomate bajo invernadero. *Plasticulture* N° 103: 23 -25.
- Escudero, A. y Mediavilla, S. 2003. Dinámica interna de los nutrientes. *Ecosistemas* /1 (URL)
- Follett, R.F.; Barber S.A. 1967. Molybdate phase equilibria in soil. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.*, 31, 26–29.
- Flores, J. 2008. Apuntes de especialización en agroplasticultura. Semiforzado de cultivos. Centro de Investigación en Química Aplicada. Saltillo, Coahuila.
- Ghosh, Jay Nicola Lelli. 2008. Ciba Specialty Chemicals Corp., USA. Especialidades Químicas S.A, Colombia.
- George, F. Antonious Y Michael j. Kasperbauer. 2000. El color de la luz reflejado a las hojas modifica el contenido de nutrientes de las raíces de zanahoria. *Crop Science*. 42:1211- 1216.
- Hanna, H.Y. 2000. Black polyethylene mulch does not reduce yield of cucumbers double cropped with tomatoes under heat stress. *HortScience*. 32, 190–191.
- Hell, R., and U.W. Stephan. 2003. Iron Uptake, trafficking and homeostasis in plants. *Planta* 216: 541-551.
- He, J., S.K. Lee, and I.C. Dodd. 2001. Limitations to photosynthesis of lettuce grown under tropical conditions: alleviation by root-zone cooling. *Journal of Experimental Botany*. 52: 1323-1330.
- He, J., S.K. Lee. 2001. Relationship among photosynthesis, Ribulose-1.5-Bisphosphate Carboxylase (Rbubisco) and water relations of subtropical vegetable Chinese broccoli. 52:
- Hun, P.G., M.J. Kasperbauer, and T.A. Matheny. 1989. Respuestas de crecimiento de plantas en semilleros de soya a la luz reflejada de diferentes suelos coloreados. *Crop. Sci.* 29:130-133.
- Ibarra, L. 2008. Apuntes de especialización en agroplasticultura. Películas plásticas para la agricultura. Centro de Investigación en Química Aplicada. Saltillo, Coahuila.

- Jie He, N. Y. Aminda Chua, and Lin Qin. 2008. Interaction Between Iron Stress and Root-Zone Temperature on Physiological Aspects of Aeroponically Grown Chinese Broccoli. *Journal of Plant Nutrition*, 31: 173–192.
- Kasperbauer, M.J. 1971. Distribución espectral de la luz en un pabellón del tabaco y efectos de la calidad de la luz al finalizar el día sobre el crecimiento y desarrollo. *Plant Physiol.* 47:775-778.
- Kasperbauer, M.J. 1987. Luz roja lejana reflejada a las hojas verdes y efectos sobre los fitocromos mediante la asimilación de la partición, bajo condiciones de campo. *Plant Physiol.* 47:775-778.
- Klock, K.A.; Graves, W.R.; Taber, H.G. 1998. Growth and phosphorus, zinc and manganese content of tomato, muskmelon, and honey locust at high rootzone temperatures. *J. Plant Nutrition.*, 19, 795–806.
- Kasperbauer, M.J. 1992. Fitocromo regulación de fotomorfogenesis en plantas verdes: El espectrógrafo de Beltsville para cubiertas coloreadas en campo. *Photochem. Photobiol. Plant Physiol.* 47:775-778.
- Kasperbauer, M.J. 1999. Desarrollo tecnológico: cubiertas coloreadas de cultivos comestibles. *CHEMTECH.* 29(8):45-50.
- Kasperbauer, M.J. 2000. Rendimiento de fresa sobre cubiertas plásticas rojas contra negras. *Crop Sci.* 40:171-174.
- Kasperbauer, M.J., y D.E. Peaslee. 1973. Eficiencia morfológica y fotosintética de hojas de tabaco que reciben luz roja roja y roja lejana al final del día durante su desarrollo. *Plant Physiol.* 52:440-442.
- Kasperbauer, M.J., T.C. Tso, y T.P. Sorokin. 1970. Efectos de la radiación roja y roja lejana al final sobre azúcares libres, ácidos orgánicos y ácidos aminos. *Phytochemistry* 9:2091-2095.
- Laurie, S., and G.R. Stewart. 1993. Effects of nitrogen supply and high temperature on the growth and physiology of the chickpea. *Plant, Cell and Environment.* 16: 609-621
- Li, D., W. Cong, Z. Cai, D. Shi, and F. Ouyang. 2004. Effect of iron stress, light stress, and nitrogen source on physiological aspects of marine red tide alga. *Journal of Plant Nutrition.* 27: 29-42.
- Lahav E. and D.W. Turner. 1984. The effect of temperature on the iron content of banana suckers. *J. Plant Nutr.* 7:725-731.
- Lee, S.K. 1993. Aeroponics system as a possible alternative for crop production in Singapore. *Commonwealth Agricultural Digest.* 3:1-14

- Lavon, R.; Goldschmidt, E.E. 1999. Enzymatic methods for detection of mineral element deficiencies in citrus leaves: A mini-review. *J. Plant Physiol.* 22, 139–150.
- MacDuff, J.H. and M.J. Hopper, and A. Wild. 1987. The effect of root temperature on growth and uptake of ammonium and nitrate by *Brassica napus* L. cv. Bien venu in flowing solution culture. *J. Exp. Bot.* 38:53-66.
- Mac Kay, A.D. and S.A. Barber. 1984. Soil temperature effects on root growth and phosphorus uptake by corn. *Soil Sci. Soc. AM. J.* 48:818-823.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2<sup>nd</sup> ed., Academic Press: London
- Marschner, H. 1991. Symposium summary and future research areas. In *Iron Nutrition and Interactions in Plants*, eds. Y. Chen and Y. Hadatr, 365–372.
- McMichel, B.L. and J.J., Burke. 2002. Temperature effects on root growth, in plant roots, *The Hidden Half*. Marcel Dekker: New York. P: 717-728.
- Miller, D.E. 1986. Root systems in relation to stress tolerance. *HortScience*, 21(4): p. 963-970.
- Morales, F., A. Abadia, and J. Ab'adia. 1998a. Photosynthesis quenching of chlorophyll fluorescence and thermal energy dissipation in iron deficient sugar beet leaves. *Australian Journal of Plant Physiology* 25: 403–412.
- Morales, F., R. Grasa, A. Ab'adia, and J. Ab'adia. 1998b. Iron chlorosis Paradox in Fruit Trees. *Journal of Plant Nutrition* 21: 815–825.
- Nielsen, K.F. and E.W. Carson. 1974. Roots and root temperature, in the plant root and its environments. Univ. Press Virginia: Charlottesville.p. 293-333.
- Neilsen, G.H., E.J. Hogue and J. Yorston. 1990. Response of fruit trees to phosphorus fertilization. *Acta Horticulturae* 274:347-359.
- Paulsen, G.M., et al., 1994. High temperature responses of crops plants, in physiology and determination of crop yield. American Society of Agronomy: Madison, WI. P. 365-389.
- Poonnachit, U., and R. Darnell. 2004. Effect of Ammonium and Nitrate on Ferric Chelate Reductase and Nitrate Reductase in *Vaccinium* Species *Annals of Botany.* 93: 399-405
- Raffo, M.D.1; Iglesias, N.2. 2004. efecto de la intercepción y distribución de la radiación fotosintéticamente activa en manzanos cv. fuji, bajo cuatro sistemas de conducción en alta densidad. *INTA Argentina. RIA*, 33 (2): 29-42.
- Rashid, A., and J. Ryan. 2004. Micronutrient Constraints to crop production in soil with Mediterranean-type characteristics: A review. *Journal of Plant Nutrition.* 27: 959-975.

- Renquist, Breen y Martín. 1982. Effect of polyethylene mulch and summer irrigation regimes on subsequent flowering and fruiting of "Olympus" strawberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 107(2): 373
- Robledo, F. y Martín, L. 1988. Aplicación de los plásticos en la agricultura. Madrid. Ediciones Mundi-Prensa. 573 p.
- Rodríguez D.E., 2004. Problemática en el manejo del fertirriego. Seminario Internacional de Fertirriego. Editores Jonh Fabio Acuña, C. Jorge Alberto Medina. P. Miguel Guzmán P. Víctor Julio Flores R. Colombia pg. 10-39
- Schales, L. 1994. Response of two muskmelon cultivar to six kinds of plastics mulch. *Plasticulture* N° 104:25-28.
- Schwartz, S.M., R.M. Welch, D.L. Grunes, E.E.Cary, W.A. Norvell, M.D. Gilbert, M.P. Meredith, and C.A. Sanchirico. 1987. Effect of zinc, phosphorus, and root-zone temperature on nutrient uptake by barley. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:371-375.
- Rashid, A., and J. Ryan. 2004. Micronutrient Constraints to crop production in soils with Mediterranean- type Characteristics: A review. *Journal of Plant Nutrition.* 27: 959–975.
- Römheld, V. 1987. Different strategies of iron acquisition in higher plants. *Physiologia Plantarum* 70: 230–234.
- Ruter, J.M. and D.L. Ingram. 1992. High root-zone temperatures influence RuBisCO activity and pigment accumulation in leaves of *Rotundifolia holley*. *Journal of the American Society for Horticultural Science.* 117: p. 154-157
- Sattlemacher, B., h. Marschner, and R. Kuhne. 1990. Effects of temperature of the rooting zoon on the growth and development of root of potato (*Solanum tuberosom*). *Annals of Botany.* 65: 27-38
- Schapira, A.; Morard, P.; Maertens, C. Echanges gazeux racinaires du concombre et de la tomate en culture hydroponique. *C. R. Acad. Agric. Fr.* 1990, 76, 59–66.
- Schmidt, J.R.; Worthington, J.W. 1998. Modifying heat unit accumulation with contrasting colors of polyethylene mulch. *HortScience.* 33, 210–214.
- Spiller, S.C., and N. Terry. 1980. Limiting factors in photosynthesis. II. Iron strees diminishes photochemical capacity by reducing the number of photosynthetic units. *Plant physiology.* 65:121-125.
- Solomonson, L. P., and M. J. Barber. 1990. Assimilatory nitrate reductase: functional properties and regulation. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology.* 41: 225-253.

- Tagliavini, M., Hogue, E. J. and Nielsen G. H. 1991. Influence of phosphorus nutrition and root zone temperature on growth and mineral uptake of peach seedlings. *Journal of plant nutrition*. 14(11), 1267-1276.
- Tan, L. P., J. He, and S.K. Lee. 2002. Effects of Root-Zone Temperature on the root development and nutrient uptake of lettuce (*Lactuca sativa* L.) cv Panama grown in an aeroponics system in the Tropics. *Journal of Plant Nutrition* 25: 297-314
- Tarara, J.M., 2000. Microclimate modification with plastic mulch. *HortsScience*. 35(2): p. 169-180.
- Tindall, J.A., R.B. Beverly, and D.E. Radcliffe. 1991. Mulch effect on soil properties and tomato growth using microirrigation. *Agronomiy Journal*. 83: p. 1028-1034.
- Tindall, J.A., H.A. Mills, and D.E. Radcliffe. 1990. the effect of root zone temperature on nutrient uptake of tomato. *J. Plant nutrition*. 13: p. 939-956.
- Throught, M.C.T.; Drew, M.C. 1980. The development of waterlogging damage in wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.). II. Accumulation and redistribution of nutrients by the shoot. *Plant Soil*, 56,187-90.
- Tognoni, J.F. 2000. Temperatura. In. Memoria del Curso Internacional de Ingeniería, Manero y operación de invernaderos para la producción intensiva de hortalizas. Instituto Nacional de Capacitación para la Productividad Agrícola (INCAPA, S.C.). 21-26 de Agosto 2000. Guadalajara, Jal. México. Pp: 12-27
- Wang, Z.Y.; Tang, Y.L; Zhang, F.S. 1992. Effect of molybdenum on growth and nitrate reductase-activity of winter-wheat seedlings as influenced by temperature and nitrogen treatments. *J. Plant Nutr.* 22, 387-395.
- Winder, T.L., J.N. Nishio. 1995. Early iron deficiency stress response in leaves of sugar beet. *Plant Physiology*. 108: 1487-1494.
- Wien, H.C., P.L. Minotti, and V.P. Grubinger. 1993. Polyethylene mulch stimulates early root growth and nutrient uptake of transplanted tomatoes. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 118(2: p. 207-211)
- Waldo M., M.A., 2005. Tecnología en Aditivos para películas Invernadero: De la Estabilización Uv a la Funcionalización de Propiedades Plásticas. Tercer Simposio Internacional de Producción de Cultivos en Invernadero. A. Schulman de México.
- Waters, I.; Morelle, F.; Greenway, H.; Colmer, T.D. 1991. Effects of anoxia on wheat seedlings. *J. Exp. Bot.*, 42, 1437-1447.
- Welch, R.M. 1995. Micronutrient nutrition of plants. *Critical Rev. Plant Sci*. 14, 49-82.



Wien HC, Minotti PL, Grubinger VP. 1993. Polyethylene mulch stimulates early root growth and nutrient uptake of transplanted tomatoes. *J Am Soc Hort Sci* 118:207- 211.

Wolf, Benjamin, J. Benton Jones, Jr., and Harry A. Mills. 1989. Table of interpretative plant analysis data. University of Georgia. Athens, GA.

Xu, Q.Z. and Huang B.R. 2000. Growth and physiological responses of creeping bentgrass to changes in air and soil temperatures. *Crop Science*. 40 (5): p. 1363-1368.

### **PAGINAS WEB**

Purves, W.K., Sadava, D., Orians, G.H., Heller, G.H. 2003. Vida. La Ciencia de la Biología. 6° Ed. Editorial Médica Panamericana, Bs. As. 1133 p. <http://www.forest.v7rubenhg>. 26 de agosto del 2009

Thompson, Benjamín, 1814. Apuntes de termoestática: Temperatura, energía térmica y calor. [http://www.fisicanet.com.ar/fisica/termodinamica/ap01\\_calorimetria.php](http://www.fisicanet.com.ar/fisica/termodinamica/ap01_calorimetria.php). 12 de agosto de 2009.