

CENTRO DE INVESTIGACION EN QUÍMICA APLICADA

ORGANISMO PÚBLICO DESCENTRALIZADO

DIRECCION DE POSGRADO

Saltillo, Coahuila a 15 de octubre de 2013

Coordinación de Posgrado Presente

Por este conducto nos permitimos informar a esta coordinación que, el documento de tesis preparado por <u>CLAUDIO EZEQUIEL CANUL TUN</u> titulado "<u>Pimiento (Capsicum annuum L.)</u> <u>Cultivado Sobre Películas de Acolchado Plástico de Colores en Condiciones de Casa Sombra: Efectos sobre el Crecimiento, Absorción de Nutrientes y Rendimiento de Frutos" el cual fue presentado el día 7 de octubre de 2013, ha sido modificado de acuerdo a las observaciones, comentarios y sugerencias, realizadas por el Comité Evaluador asignado. Por tal motivo, avalamos que el documento adjunto corresponde a la versión final del documento de tesis.</u>

Atentamente,

SINODALES

Dr. Ricardo Hugo Lira Salatívar

Presidente

Dra. Hortens a Ortega Ortiz

Secretario

M.C. Ma. Del Rosario Quezada Martin

Vocal

Vo. Bo. del ASESOR

15 NOV 2013

CENTRO DE INFORMACIÓI,

Dr. Luis Ibarra Jiménez

RECIBINO

TESIS CON CARACTER ABIERTO

PROGRAMA: MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROPLASTICULTURA

AUTOR: <u>CLAUDIO EZ</u>	ZEQUIEL CANUL TUN FIRMA
Acolchado Plástico de C	Solores en Condiciones de Casa Sombra: Efectos esorción de Nutrientes y Rendimiento de Frutos.
ASESOR: <u>Dr. Luis Ib</u>	parra Jiménez FIRMA:
El Centro de Investigad documento de tesis como	ción en Química Aplicada clasifica el presente ABIERTO.
Centro de Información p copiado en ninguna mod	do como Abierto se expone en los estantes del para su consulta. Dicho documento no puede ser alidad sin autorización por escrito del Titular del o del Director General del CIQA.
, ,	7 de Octubre de 2013 CENTRO DE INFORMACIÓN
AND DE INVESTIGATION OF THE STATE OF THE STA	RECIBID C
Sello de la Institución	Dr. Oliverio Santiago Rodríguez Fernández

Director General del CIQA

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



PROGRAMA DE POSGRADO EN AGROPLASTICULTURA

Pimiento (Capsicum annuum L.) Cultivado Sobre Películas de Acolchado Plástico de Colores en Condiciones de Casa Sombra: Efectos sobre el Crecimiento, Absorción de Nutrientes y Rendimiento de Frutos

TESIS

Presentada por:

CLAUDIO EZEQUIEL CANUL TUN

Para obtener el grado de:



15 NOV 2013



MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROPLASTICULTURA

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA Programa de Maestría en Ciencias en Agroplasticultura

TESIS

Pimiento (Capsicum annuum L.) Cultivado Sobre Películas de Acolchado Plástico de Colores en Condiciones de Casa Sombra: Efectos sobre el Crecimiento, Absorción de Nutrientes y Rendimiento de Frutos.

Presentada por:

CLAUDIO EZEQUIEL CANUL TUN

Para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Agroplasticultura

Asesorado por:

Dr. Luis Ibarra Jiménez

SINODALES

Dr. Ricardo Hugo Lira Saldivar

Presidente

Dra. Hortensia Ortega Ortiz

Secretario

M.C. Ma. Del Rosario Quezada Martin

Vocal

Saltillo, Coahuila

Octubre, 2013

DECLARACIÓN

Declaro que la información contenida en la Parte Experimental así como en la Parte de Resultados y Discusiones de este documento y que forman parte de las actividades de investigación y desarrollo realizadas durante el período que se me asignó para llevar a cabo mi trabajo de tesis, será propiedad del Centro de Investigación en Química Aplicada.

Saltillo, Coahuila a 7 de octubre de 2013

CLAUDIO EZEQUIEL CANUL TUN

- Cole

Nombre y Firma

DEDICATORIAS

A Jehová mi Dios

Jehová de los ejércitos, Dios de los cielos, Fuerte, Grande y Temible. Tus manos me hicieron y me formaron. En ti he sido sustentado desde el vientre, de las entrañas de mi madre tú fuiste el que me sacó. Gracias Dios por permitirme llegar a este momento tan especial de mi vida, por todos los triunfos que con tu ayuda he podido alcanzar y por todos los momentos dificiles, los cuales me enseñaron a depender y a estar más cerca de ti. Gracias mi Dios porque sin ti nada de lo que tengo y lo que soy hubieran sido posibles de alcanzar.

A mis grandiosos padres Ramón Cruz y Ma. Lucila

Doy gracias a Dios por el privilegio de tener a unos padres tan maravillosos, de los cuales estoy siempre muy orgulloso y agradecido con Dios. Padres, gracias por darme un nombre, por enseñarme los valores y principios de una vida honrada, fundamentada en el conocimiento de Dios, el trabajo, la honestidad y el respeto, gracias por brindarme una educación y una carrera profesional, lo cual me ha permitido obtener una Maestría en Ciencias, gracias por esta enorme herencia tan valiosa que su precio no se compara al del oro y la plata. Padre, recuerdo que cuando era muy pequeño, tu sueño fue que yo sea Ing. Civil o Agrónomo, con tu ayuda, con el apoyo de mi madre y con la dirección de Dios, ha sido posible llegar más allá de lo que ustedes pudieron soñar.

A mis suegros Jesús Fernando y María Guadalupe.

Por el gran apoyo incondicional que siempre me han brindado en todo momento, por sus consejos que me han ayudado a salir adelante y a ser mejor como persona. De igual manera mis más sinceros agradecimientos a **Fernando y Cristina**, por el apoyo que siempre me han brindado.

A mi amada esposa Ana Michel

Quien ha sido el impulso durante la realización de este posgrado y el pilar para la culminación del mismo que con su apoyo constante y amor incondicional ha sido una amiga y compañera inseparable, fuente de sabiduría, calma y consejo en todo momento.

A mi preciosa hija Dámaris Amisadai

Por ser la fuente de motivación en mi vida y para quien ningún sacrificio es suficiente, que con su luz, ha iluminado mi vida y hace mi camino más claro, con todo mi amor y cariño dedico esta tesis.

A mis hermanos, Esther, Sergio, Adriana y Raúl

Quienes me han apoyado de manera incondicional en el desarrollo de mi vida profesional y por estar siempre con migo, los amo, los aprecio en gran manera, es una bendición tenerlos siempre.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por otorgarme el apoyo económico con lo cual me permitió realizar este proyecto.

Al Centro de Investigación en Química Aplicada, por darme la oportunidad de continuar con mi formación académica.

A Enza-Zaden México S.A. de C.V. Por la donación de los materiales genéticos evaluados en la presente investigación.

Al **Dr. Luis Ibarra Jiménez** por compartir sus conocimientos y por el apoyo brindado en la realización del presente trabajo de investigación.

Al **Dr. Ricardo Hugo Lira Saldivar** por sus aportaciones y su colaboración en la revisión del trabajo final.

A la **Dra. Dra. Hortensia Ortega Ortíz** por su participación y colaboración en algunas actividades durante la realización del trabajo y por su colaboración en la revisión final del mismo.

A la M.C. Ma. Rosario Quezada Martín por su apoyo incondicional y por sus aportaciones en la revisión y culminación de este trabajo.

Al M.C. Federico Cerda Ramírez, al MC. Eduardo Alfonso Treviño López y al Ing. Felipe Hernández Castillo, y a la M.C. Dalia López López. Mis sinceros agradecimientos por haber colaborado en todo el proceso y desarrollo de esta investigación en las actividades de campo.

A cada uno de los maestros del departamento de Agroplásticos y Polímeros por brindarme sus conocimientos y experiencias profesionales que ayudaron a mi aprendizaje.

Al Ing. Salvador Reyez Carrillo y al Ing. Marco Antonio Vega Vázquez. Por su empeño y dedicación en el desarrollo de esta investigación en las actividades de campo y laboratorio.

A mis grandes amigos: Gleb, Jaime y Eddy, gracias por contar con su apoyo incondicional, por su amistad y por contar siempre con ustedes.

Mí embrión vieron tus ojos, Y en tu líbro estaban escritas todas aquellas cosas, Que fueron luego formadas, Sin faltar una de ellas.

Salmos 136:16.

ÍNDICE DE CONTENIDO

		Pág.
AGRA]	DECIMIENTOS	i
DEDIC	ATORIA	ii
ÍNDIC	E DE CONTENIDO	iii
ÍNDIC	E DE CUADROS	iv
ÍNDIC	E DE FIGURAS	v
RESUN	MEN	vi
I. INTR	ODUCCIÓN	1
1.1	Importancia de la Agricultura Protegida	1
1.2	Casa Sombra	2
1.3	Propiedades de los Plásticos de Colores	3
	1.3.1 Acolchado Plástico Blanco/Negro	3
	1.3.2 Acolchado Plástico Negro	4
	1.3.3 Acolchado Plástico Plata	4
	1.3.4 Acolchado Plástico Aluminio	5
1.4	Descripción del Cultivo de Pimiento Morrón	5
	1.4.1 Origen y Distribución	5
	1.4.2 Clasificación Taxonómica	6
	1.4.3 Valor Nutricional y Medicinal	6
	1.4.4 Morfología de la Planta	7
	1.4.5 Tipos de Pimientos	8
	1.4.6 Fenología del Cultivo	8
1.5	Requerimientos de Agua y Suelo	9
	1.5.1 Requerimientos de Agua del Cultivo	9
	1.5.2 Manejo del Agua de Riego	9
	1.5.3 Calidad del Agua e Influencia en el Fertirriego	10
	1.5.4 Suelo	11
1.6	Influencia de Algunos Factores Físicos en la Fotosíntesis de las Plantas	11
	1.6.1 Fotosíntesis	11
	1.6.2 Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA)	12
	1.6.3 CO ₂	13
	1.6.4 Temperatura Ambiental	14
	1.6.5 Humedad Relativa (HR)	15
	1.6.6 Agua Disponible	16
	1.6.7 Transpiración	16
	1.6.8 Conductancia Estomática	17

1.7	Impactos Microambientales y Fisiológicos del Acolchado Plástico sobre el Cultivo de Pimiento Morrón	17
	1.7.1 Estado Hídrico del Suelo	17
	1.7.2 Temperatura de la Zona Radical (TZR)	18
	1.7.3 Microorganismos del Suelo	18
	1.7.4 Comportamiento de la Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA) en Presencia de Acolchado Plástico	19
	1.7.5 Incidencia de Trips y Virus del Bronceado del Tomate	19
	1.7.6 Crecimiento de las Plantas	20
	1.7.7 Acumulación de Nutrientes Minerales en Hojas y Frutos	20
	1.7.8 Rendimiento del Cultivo	20
1.8	Importancia de los Macronutrientes en la Producción de Pimiento	21
	1.8.1 Nitrógeno	21
	1.8.2 Fósforo	21
	1.8.3 Potasio	22
	1.8.4 Calcio	23
	1.8.5 Magnesio	24
	1.8.6 Azufre	24
1.9	Importancia de los Micronutrientes en la Producción de Pimiento	25
	1.9.1 Hierro	25
	1.9.2 Manganeso	25
	1.9.3 Zinc	25
	1.9.4 Cobre	26
	Resultados de Investigación con Acolchado del Suelo Bajo Casa Sombra	27
1.11	Resultados de la Investigación con Acolchado Plástico en Campo Abierto	28
	IPÓTESIS Y OBJETIVOS	30 30
	2.1 Hipótesis	30
2	2.2 Objetivo general	30
	2.2.1 Objetivos particulares	30
	ATERIALES Y MÉTODOS	31
3	Materiales y Reactivos	31
	3.1.1 Material Genético	31
	3.1.2 Materiales de Producción de Plántula	31
	3.1.3 Materiales de Fertirriego y Casa Sombra	31
	3.1.4 Agroquímicos y Reactivos	32
_	3.1.5 Materiales y Equipos de Laboratorio	32
3	3.2 Metodología	33
	3.2.1 Localización Geográfica del Sitio Experimental	33

	3.2.2 Preparación del Terreno	33
	3.2.3 Instalación de Cubiertas Para Acolchado	34
	3.2.4 Producción de Plántula	34
	3.2.5 Trasplante	35
	3.2.6 Tutorado	35
	3.2.7 Deshierbes	35
	3.2.8 Control de Plagas y Enfermedades	35
	3.2.9 Riego y Fertilización	-36
	3.2.10 Cosecha	36
	3.2.11 Análisis de Nutrimentos	37
	3.2.12 Variables Evaluadas	38
	3.2.13 Diseño Experimental	39
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
	4.1 Temperatura de la Zona Radical	41
	4.4.1 Temperatura Mínima	41
	4.4.2 Temperatura Máxima	44
	4.4.3 Temperatura Media	45
	4.2 Unidades de Calor	47
	4.3 Área Foliar	48
	4.4 Biomasa	51
	4.5 Altura de Planta	53
	4.6 Variables Fisiológicas	54
	4.7 Análisis de Nutrimentos en Hoja	56
	4.8 Rendimiento	58
V.	CONCLUSIONES	63
VI.	SUGERENCIAS	64
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción de los Tratamientos con Acolchado Plástico de Diferentes Colores y dos Variedades de Pimiento Morrón bajo Condiciones de Malla Sombra.	34
Cuadro 2. Aplicación de Nutrientes (kg/ha) por Etapa Fenológica en Pimiento Morrón, Cultivado en Acolchado de Diferentes Colores bajo Condiciones de Malla Sombra.	36
Cuadro 3. Temperatura Mínima de Zona Radical en el Cultivo de Pimiento Morrón con Acolchado de Diversos Colores, Ciclo Primavera-Verano-Otoño de 2012.	41
Cuadro 4. Temperatura Máxima de Zona Radical en el Cultivo de Pimiento Morrón con Acolchado de Diversos Colores, Ciclo Primavera-Verano-Otoño de 2012.	43
Cuadro 5. Temperatura Media de Zona Radical del Cultivo de Pimiento Morrón con Acolchado de Diversos Colores. Ciclo Primavera-Verano-Otoño de 2012.	45
Cuadro 6. Acumulación de Unidades Calor en el Cultivo de Pimiento Morrón con Acolchado Plástico de Diversos Colores, Ciclo Primavera-Verano-Otoño de 2012.	46
Cuadro 7. Área Foliar del Cultivo de Pimiento Morrón con Acolchado de Diversos Colores, Ciclo Primavera-Verano-Otoño de 2012.	48
Cuadro 8. Biomasa de Plantas de Pimiento Morrón con Acolchado Plástico de Diversos Colores, Ciclo Primavera-Verano-Otoño de 2012.	50
Cuadro 9. Altura de Plantas en Dos Cultivares de Pimiento Morrón en Acolchado Plástico de Diversos Colores, Ciclo Primavera-Verano-Otoño de 2012.	52
Cuadro 10. Fotosíntesis, Conductancia Estomática y Transpiración a los 40 ddt en Cultivo de Pimiento Morrón con Acolchado Plástico de Diversos Colores, Ciclo Primavera-Verano-Otoño de 2012.	54
Cuadro 11. Fotosíntesis, Conductancia Estomática y Transpiración a los 55 ddt en Cultivo de Pimiento Morrón con Acolchado Plástico de Diversos Colores, Ciclo Primavera-Verano-Otoño de 2012.	55
Cuadro 12. Fotosíntesis, Conductancia Estomática y Transpiración a los 40 ddt en Cultivo de Pimiento Morrón con Acolchado Plástico de Diversos Colores, Ciclo Primavera-Verano-Otoño de 2012.	55
Cuadro 13. Análisis Nutrimental en Hojas de Pimiento Morrón con Acolchado de Diversos Colores, Ciclo Primavera-Verano-Otoño de 2012.	56
Cuadro 14. Rendimiento Precoz y Total Obtenido en el Cultivo de Pimiento Morrón con Acolchado de Diversos Colores, Ciclo Primavera-Verano-Otoño de 2012.	58
Cuadro 15. Comparación de Medias para la Interacción Rendimiento Precoz y Total Obtenido en el Cultivo de Pimiento Morrón con Acolchado de Diversos Colores, Ciclo Primavera-Verano-Otoño de 2012.	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comportamiento de la temperatura mínima de zona radical (TZR) durante los	42
primeros 70 días después del trasplante del cultivo de pimiento morrón.	74
Figura 2. Comportamiento de la temperatura máxima de zona radical (TZR) durante los	44
primeros 70 días después del trasplante del cultivo de pimiento morrón.	
Figura 3. Comportamiento de la temperatura media de la zona radical (TZR) durante los	45
primeros 70 días después del trasplante del cultivo de pimiento morrón.	7.
Figura 4. Unidades calor acumuladas durante los primeros 70 días después del trasplante	47
del cultivo de pimiento morrón.	7/
Figura 5. Comportamiento del área foliar (AF) a los 40 ddt del cultivo de pimiento	
morrón en función de la temperatura media de la zona radical (TZR). Cada símbolo	49
representa el promedio de tres repeticiones en cada tratamiento de acolchado.	
Figura 6. Comportamiento del área foliar (AF) a los 55 ddt del cultivo de pimiento	
morrón en función de la temperatura media de la zona radical (TZR). Cada símbolo	49
representa el promedio de tres repeticiones en cada tratamiento de acolchado.	
Figura 7. Relación entre biomasa de planta y temperatura media de la zona radical	
(TZR). A los 40 ddt. Cada símbolo representa el promedio de tres repeticiones en cada	51
tratamiento de acolchado.	
Figura 8. Relación entre biomasa de planta y temperatura media de la zona radical	
(TZR). A los 55 ddt. Cada símbolo representa el promedio de tres repeticiones en cada	52
tratamiento de acolchado.	
Figura 9. Relación entre el rendimiento precoz y la temperatura media de la zona radical	
(TZR). Cada símbolo representa el promedio de tres repeticiones en cada tratamiento de	61
acolchado.	
Figura 10. Relación entre el rendimiento total y la temperatura media de la zona radical	
(TZR). Cada símbolo representa el promedio de tres repeticiones en cada tratamiento de	61
acolchado.	

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue determinar los efectos de las películas de acolchado plástico sobre temperatura de la zona radical, crecimiento de la planta, variables fisiológicas, absorción de nutrimentos, rendimiento precoz y total de fruto, en dos cultivares de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) bajo condiciones de casa sombra. El estudio se realizó en el periodo de primavera-verano-otoño de 2012. El diseño utilizado fue de bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas, donde las películas de acolchado plástico (negro, aluminio, plata, blanco y suelo desnudo, fueron el factor "A") y los cultivares (SWG-42 y SWG-46) fueron el factor "B", se utilizaron tres repeticiones. La temperatura media de la zona radical (TZR) fue estadísticamente superior en el acolchado plástico negro, seguido de los acolchados blanco y plata con un comportamiento similar, y después por el color aluminio y el valor más bajo se registró en el testigo. Se determinaron unidades calor para relacionarlas con biomasa de planta, área foliar y rendimiento, sin embrago, la mejor relación entre dichas variables se encontró con la TZR media.

El área foliar promedio de tres muestreos, registró un comportamiento estadísticamente similar en los tratamientos acolchados con un valor promedio de 5298.2 cm²·planta⁻¹, el testigo registró el menor valor con 3540.5 cm²·planta⁻¹. El cultivar SWG-46 tuvo un producción de área foliar estadísticamente superior que el cultivar SWG-42 con una ganancia de 850.8 cm²·planta⁻¹. En masa seca de planta solo se encontró diferencia entre los tratamientos acolchados con respecto al testigo con valores promedio de 39.1 g·planta⁻¹ vs 27.28 g·planta⁻¹, respectivamente. La altura de planta registró significancia marginal entre los tratamientos de acolchado plástico con respecto al suelo desnudo, pero el cultivar SWG-46 superó estadísticamente en altura de planta al cultivar SWG-42. Las variables fotosíntesis, conductancia estomática y transpiración fueron similares en los tratamientos acolchados y suelo desnudo, sin embargo, el cultivar SWG-46 superó en fotosíntesis al cultivar SWG-42 en un solo muestreo de los tres efectuados. En el análisis de nutrimentos de la hoja, los elementos N, P, K, S, Mg, Cu, Fe, Zn y Mn registraron un comportamiento similar en los tratamientos acolchados y el testigo, solamente el Zn mostró un comportamiento diferente entre cultivares.

El rendimiento precoz y total fue estadísticamente superior en los tratamientos de acolchado plástico con un rendimiento medio de 1.5 kg·m-² y 10.11 kg·m-² respectivamente, el suelo desnudo registró menores valores con 0.69 kg·m-² y 8.70 kg·m-², respectivamente. La

TZR media se relacionó en parte con área foliar, masa seca de planta y rendimiento precoz y total. El cultivar SWG-46 registró un rendimiento total estadísticamente superior al cultivar SWG-42 con una ganancia de 1.04 kg·m-² (10.35 kg·m-² vs 9.31·kg m-²). Hubo indicación de interacción entre los colores de acolchado con los cultivares en rendimiento precoz y total, lo que significa que los cultivares respondieron de manera diferente a los tratamientos de acolchado plástico, en el cultivar SWG-46 el mayor rendimiento total se obtuvo en el acolchado negro con 11.97 kg·m-², el testigo registró el menor con un valor 8.30 kg·m-² y en el cultivar SWG-42 el mayor rendimiento se registró en los tratamientos de acolchado plástico aluminio, blanco y negro los cuales fueron estadísticamente similares con un valor promedio de rendimiento total de 9.61 kg·m-², el menor valor lo registró el acolchado plata con 8.63 kg·m-², sin embargo, el testigo registró un rendimiento estadísticamente superior al acolchado plata con un rendimiento de 9.11 kg·m-².

Palabras Clave: Plasticultura, Fotosíntesis, Biomasa de Planta, Área Foliar, Temperatura de la Zona Radical, Rendimiento de Fruto.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Importancia de la Agricultura Protegida

En los últimos 50 años la actividad humana ha modificado los ecosistemas con mayor rapidez y amplitud que en cualquier otro período equivalente en la historia, en gran medida para satisfacer la demanda de alimentos, agua dulce, madera, fibras y combustibles. Hoy en día, cerca del 60% de los "servicios del ecosistema del Milenio", de las Naciones Unidas, se están degradando o utilizando en forma insostenible, y la degradación podría agravarse en la primera mitad de este siglo. Es evidente, dice un informe de la FAO a la Coordinadora de Organizaciones de Agricultores y Ganaderos (COAG) que no hay otra opción que producir más con menos. "La sustentabilidad ambiental en la agricultura ya no es una opción sino un imperativo" (FAO, 2002).

La agricultura desempeña una función central en el manejo del medioambiente: "las políticas agrícolas deben considerar nuevos parámetros, como la reasignación masiva de la utilización de la tierra agrícola y las posibles contribuciones de la agricultura al desarrollo económico global; porque es en la agricultura donde residen muchos de los problemas y muchas de las soluciones" (FAO, 2002).

El calentamiento global, como resultado del impacto ambiental derivado del crecimiento poblacional e industrial del planeta está ocasionando grandes estragos en todos los ecosistemas y sistemas de producción agrícola en todo el mundo, la producción agrícola ha experimentado una tendencia cada vez más marcada hacia la obtención de una producción anticipada o fuera de estación, en ocasiones diferentes a aquellas en las que tradicionalmente dichos productos se cultivan a campo abierto. Esta tendencia ha creado la necesidad de usar diversos elementos, herramientas, materiales y estructuras en la producción de los cultivos con la finalidad de obtener altos rendimientos y una producción de mejor calidad. Por lo tanto para satisfacer las demandas de una población en aumento y para evitar las pérdidas atribuidas a los factores ambientales adversos al desarrollo de los cultivos, surge la Agricultura Protegida en diferentes tipos de estructuras para la protección de los cultivos, los cuales plantean diferentes alternativas para recrear condiciones ambientales óptimas para el desarrollo de los cultivos, de acuerdo a los requerimientos climáticos de cada especie y en concordancia con los factores climáticos de cada región que han afectado gravemente el desarrollo de la agricultura.

La agricultura protegida se define como el sistema de producción que permite modificar el ambiente natural en el que se desarrollan los cultivos hortícolas, con el propósito de alcanzar un desarrollo óptimo y con ello, un alto rendimiento. Este sistema permite ofrecer productos de alta calidad, con mejores precios de venta y con mayores niveles de inocuidad. La agricultura protegida contribuye a sustentar y fomentar el desarrollo agroindustrial, a generar divisas y empleo para el país y una vida más digna entre la gente del medio rural (Sánchez, 2008).

La casa sombra o malla sombra posee múltiples aplicaciones, actualmente la aplicación más importante es en las regiones calientes y soleadas para dar sombra a los cultivos expuestos a altos niveles de radiación solar con la finalidad de crear condiciones microclimáticas favorables. El uso de malla sombra representa una alternativa más económica frente al uso de invernaderos, ya que protege a las plantas de altos niveles de radiación solar directa, reduciendo con ello la temperatura y evitando o disminuyendo el golpe de sol en los frutos, mejorando así la calidad de la producción, además de obtener una planta más vigorosa y mayor rendimiento que en campo abierto; las mallas reducen la transmisión de radiación fotosintéticamente del 30 al 90% dependiendo del tipo y necesidades del cultivo. Los materiales empleados para la elaboración de una malla sombra son materiales tejidos con monofilamentos o filamentos planos de PEAD, PP o poliéster los cuales poseen una alta resistencia física y mecánica. El uso de casa sombra en la producción de cultivos genera condiciones micro climáticas más favorables para el desarrollo de los cultivos, cuando se combina el uso de acolchado plástico bajo condiciones de casa sombra se obtienen mayores beneficios económicos en rendimiento y calidad de producción, ya que el uso de acolchado permite obtener condiciones micro climáticas más favorables en la zona radical del cultivo, ya que regulan la temperatura del suelo en función del color de la película plástica y ésta determina la cantidad de energía que llega al suelo. El uso de acolchado permite hacer un uso más eficiente del agua de riego y nutrientes con el objetivo de maximizar la producción, calidad de fruto y precocidad de cosecha (Tarara, 2000).

1.2 Casa Sombra

El uso de las mallas de sombreo en lugar de películas plásticas para la protección de los cultivos es una técnica interesante que se ha expandido constantemente en muchas

aplicaciones agrícolas en la última década, ya que ofrece múltiples ventajas. Un gran número de mallas para la agricultura de diversos tejidos, tamaños de mallas, tipos de hilado, y colores con una amplia gama de propiedades físicas y mecánicas se encuentran actualmente disponibles en el mercado (Castellano y colaboradores, 2008).

En años recientes, el uso de casa sombra se ha hecho más popular en regiones cálidas y soleadas, como Arabia Saudita para proteger los cultivos de los altos niveles de radiación solar en verano. Estas estructuras deben su popularidad principalmente a la demanda de la producción de cultivos en costos significativamente más bajos en comparación al crecimiento de los cultivos bajo invernadero convencional. La casa sombra ofrece muchas ventajas y beneficios ambientales (Castellano y colaboradores, 2008; Briassoulis y colaboradores, 2007).

En arboles de cítricos bajo condiciones extremas de temperatura se puede presentar una tasa de transpiración que exceda la capacidad de absorción de agua, lo cual resulta en un alto déficit agua – planta (Allen, 1975). Para evitar tales situaciones, las mallas sombra se han utilizado para reducir y redistribuir la carga de radiación sobre el cultivo, de manera más eficiente (Allen y Lemon, 1974).

Con el uso de malla sombra en arboles de limones se reduce el flujo de sabia de las raíces a las hojas, y se obtienen los valores más bajos de contracciones máximas diarias y se obtienen altos valores de conductancia estomática y fotosíntesis, también se obtiene un mejor balance de fotosíntesis/transpiración, lo cual permite obtener una mejor eficiencia en el uso y manejo del agua (Alarcón y colaboradores, 2006).

1.3 Propiedades de los Plásticos de Colores

1.3.1 Acolchado Plástico Blanco/Negro

El uso de acolchado plástico blanco en el cultivo de tomate, produce un mayor rendimiento total y mayor precocidad que el acolchado de color negro en el otoño, mientras que el acolchado negro produce mayor rendimiento total y menor precocidad que el blanco en primavera. La ventaja del polietileno blanco en invernadero está dada por el beneficio que trae la reflexión de la luz sobre las plantas (Eltez y Tüzel, 1994).

Los acolchados de colores como el blanco y plata afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas de tomate, ya que tienen la capacidad de reflejar la mayor cantidad de radiación total, y una baja relación de radiación rojo-lejana relativa a la luz roja, comparado con los

acolchados negro y rojo. Las plantas cultivadas en acolchados blanco y plata tienen una baja producción temprana y comercial, además de producir mayor cantidad de follaje (Decoteau y colaboradores, 1989).

El acolchado blanco tiene una mayor reflexión de radiación y menor calentamiento del suelo, ocasionando que las plantas tengan una mayor producción neta en materia seca en comparación a los acolchados trasparente y rojo donde se alcanza la mayor temperatura del suelo (Ouezada y colaboradores, 2011).

1.3.2 Acolchado Plástico Negro

El acolchado plástico negro es un cuerpo negro opaco absorbente e irradiador de energía de onda larga, gran parte de la energía solar absorbida por el acolchado plástico negro se pierde hacia la atmósfera por radiación o convección forzada. Debido a que la conductividad térmica del suelo es alta en relación a la del aire, una gran porción de energía absorbida por el plástico negro puede ser transferida al suelo por conducción si hay buen contacto entre la cubierta del plástico y la superficie del suelo (James, 1993).

Los acolchados rojo y negro reportan la mayor temperatura del suelo, las plantas de tomate cultivadas en acolchado rojo y negro generalmente tienen una producción más temprana y de mayor calidad y producen un menor número de ramas, menor follaje y desarrollan mayor altura comparado con plantas cultivadas en acolchados blanco y plata (Decoteau y colaboradores, 1989).

El acolchado plástico negro absorbe hasta el 96% de la radiación de onda corta recibida, mientras que muy poca se trasmite y refleja, la radiación absorbida por la película de plástico es conducida a la capa del suelo y por consiguiente existe un incremento en la temperatura del suelo (Ham y colaboradores, 1993).

1.3.3 Acolchado Plástico Plata

En el cultivo de pimiento morrón en la temporada de otoño – invierno, bajo condiciones de acolchado plástico, se registró que en el acolchado plata se retiene más calor durante la noche, resultando en valores altos de la TZR nocturna, y menores fluctuaciones diurnas en TZR comparado con otras películas de acolchado plástico. En el otoño, cuando los suelos son más cálidos, sobre todo al principio de la temporada, el rendimiento comercial y total fueron

mayores en el acolchado plata y menores en el acolchado negro, a consecuencia de que en los acolchados negros se registró mayor TZR y en los acolchados plata y blanco se obtuvo menor TZR. Al inicio de la primavera cuando los suelos son más frescos se han registrado pocas diferencias de rendimiento entre los tratamientos de acolchado (Díaz-Pérez, 2010).

1.3.4 Acolchado Plástico Aluminio

El acolchado plástico aluminizado o reflectante, posee una alta transmitancia de onda corta junto con una transmitancia relativamente baja de onda larga, por lo cual esta película plástica tiene la capacidad de calentar el suelo, registrando altas temperaturas pero menores en comparación a las registradas bajo el acolchado negro. El acolchado plástico aluminio puede calentar el suelo, inicialmente por transmisión y/o absorción de onda corta, mientras que previene la pérdida de radiación de onda larga, por lo cual puede mantener una temperatura inferior a pesar de las altas temperaturas subyacentes del suelo, posiblemente debido a la baja absorbancia de la radiación de onda corta y onda larga (Ham y colaboradores, 1993).

Los acolchados plásticos reflectivos como el aluminizado, tienen la capacidad de reflejar la radiación ultravioleta, permitiendo que las plantas de tomate en las primeras etapas de desarrollo tengan la menor población de trips y mosca blanca y que sean más numerosos en los acolchados azul, negro y plata. Después cuando las plantas desarrollaron más follaje y cubrieron las camas de acolchado, el número de insectos capturados fue similar en todos los colores de acolchado. (Csizinszky y colaboradores, 1995). Este estudio contrasta con los resultados obtenidos en el cultivo de pimiento morrón bajo diferentes colores de acolchado plástico incluyendo acolchado plástico aluminizado, donde se encontró que el número de trips y el virus del bronceado del tomate (TSWV) no se vieron afectados por color del acolchado y no se relacionó con la cantidad de radiación reflejada de los acolchados (Díaz-Pérez, 2010).

1.4 Descripción del Cultivo de Pimiento Morrón

1.4.1 Origen y Distribución

El pimiento (*Capsicum annuum* L.) es un cultivo solanáceo originario de Mesoamérica (México y América Central), América del sur y actualmente se cultiva en todo el mundo con muchas variedades diferentes, formas y usos (Bosland, 1992).

El género Capsicum pertenece a la familia de las solanáceas que se cultiva en varias partes del mundo y se cree que es nativo de América del Sur Tropical (Shoemaker y Teskey, 1995). Todas las especies del género, a excepción de C. *anomalum*, son originarias de América. El grupo *Capsicum annuum*: Pimiento dulce (California o Bell Pepper), de flores blancas, asociado con hábitats más húmedos, es originario de las tierras bajas tropicales de América del Sur y Centro (Nuez, 1996).

1.4.2 Clasificación Taxonómica

• Reino: Vegetal

• Subreino: Fanerógama

• Clase: Monocotiledóneo

Familia: Solanáceas

• Nombre científico: Capsicum annum L.

• Género: Capsicum sp.

• Especie: annum L.

• Nombre Común: Pimiento

1.4.3 Valor nutricional y medicinal

El pimiento contiene una elevada cantidad de vitamina C, aunque hay diferencias entre variedades (los de color verde suelen presentar mayor contenido). Así mismo, contiene cantidades importantes de caroteno, en forma de provitamina A (alfa y beta-caroteno, y criptoxantina). La vitamina C y los carotenos, junto con el selenio presente en el pimiento, hacen de esta hortaliza una buena fuente de antioxidantes, con efecto protector frente a los radicales libres que se generan en nuestro organismo, y que son los responsables del envejecimiento y del desarrollo de diversas enfermedades crónico-degenerativas (cáncer, cardiovasculares, osteoporosis, etc.) (Bortolotti y colaboradores, 2002).

En el pimiento, además de los carotenos con actividad provitamínica A, existen otros carotenos sin este carácter como la capsantina, a la que algunos autores han atribuido actividad anticancerígena. Algunas variedades de pimiento picantes contienen capsaicina, un compuesto picante e irritante al que se le han atribuido múltiples funciones. Así, se ha sugerido que puede actuar como quimioprotector, reduciendo el efecto de algunos compuestos químicos

cancerígenos y agentes mutagénicos; también se ha visto que puede ser un agente efectivo en el tratamiento de la dispepsia funcional. Además, algunos estudios han encontrado que la capsaicina reduce la inflamación y el dolor (Maoka y colaboradores, 2001).

1.4.4 Morfología de la Planta

<u>Planta.</u> Herbácea perenne, con ciclo de cultivo anual de porte variable entre los 0.5 metros (en determinadas variedades de cultivo al aire libre) y más de 2 metros (gran parte de los híbridos cultivados en invernadero) (Villalobos, 1993).

<u>Sistema radicular.</u> Pivotante y profundo (dependiendo de la profundidad y textura del suelo), con numerosas raíces adventicias que horizontalmente pueden alcanzar una longitud comprendida entre 0.5 y 1 m.

<u>Tallo principal.</u> De crecimiento limitado y erecto. A partir de cierta altura ("cruz") emite 2 o 3 ramificaciones (dependiendo de la variedad) y continúa ramificándose de forma dicotómica hasta el final de su ciclo (los tallos secundarios se bifurcan después de brotar varias hojas, y así sucesivamente).

Hoja. Entera, lampiña y lanceolada, con un ápice muy pronunciado (acuminado) y un pecíolo largo y poco aparente. El haz es glabro (liso y suave al tacto) y de color verde más o menos intenso (dependiendo de la variedad) y brillante. El nervio principal parte de la base de la hoja, como una prolongación del pecíolo, del mismo modo que las nerviaciones secundarias que son pronunciadas y llegan casi al borde de la hoja. La inserción de las hojas en el tallo tiene lugar de forma alterna y su tamaño es variable en función de la variedad, existiendo cierta correlación entre el tamaño de la hoja adulta y el peso medio del fruto.

<u>Flor.</u> Las flores aparecen solitarias en cada nudo del tallo, con inserción en las axilas de las hojas. Son pequeñas y constan de una corola blanca. La polinización es autógama, aunque puede presentarse un porcentaje de alogamia que no supera el 10%.

<u>Fruto.</u> Baya hueca, semicartilaginosa y deprimida, de color variable (verde, rojo, amarillo, naranja, violeta o blanco); algunas variedades van pasando del verde al anaranjado y al rojo a medida que van madurando. Su tamaño es variable, pudiendo pesar desde escasos gramos hasta más de 500 gramos. Las semillas se encuentran insertas en una placenta cónica de disposición central. Son redondeadas, ligeramente reniformes, de color amarillo pálido y longitud variable entre 3 y 5 mm.

1.4.5 Tipos de Pimientos

- Capsicum annuum: Pimiento dulce (California o Bell Pepper), Chile serrano, Chile jalapeño, Chile ancho.
- Capsicum chinense: Habanero, Dátil.
- Capsicum frutescens: Tabasco, Malagueta.
- Capsicum baccatum: Christmás Bells, Ajíes y Piquis.
- Capsicum pubescens: Rocoto.

1.4.6 Fenología del cultivo

La fenología del cultivo de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) comprende el estudio de los fenómenos biológicos vinculados a ciertos ritmos periódicos o fases y la relación con el ambiente donde ocurren. En su ciclo ontogénico, los vegetales experimentan cambios visibles o no visibles, los cuales están directamente relacionados con el genotipo, medioambiente en el cual se desarrollan y la interacción entre estos factores, el resultado del complejo de interacciones, ocasiona amplias respuestas de los diferentes cultivos y variedades (Mundarain y colaboradores, 2005).

Diversos estudios han demostrado diferencias significativas en el comportamiento fenológico de los diferentes materiales genéticos de mayor importancia económica en diferentes partes del mundo. La emergencia inicia a los 6 dds en los materiales genéticos que producen frutos de color amarillo y naranja, y se prolonga hasta los 21 dds para aquellos con frutos de color rojo; estos resultados se aproximan al periodo de 9 a 13 días que requiere la especie para germinar (Inoue y Colaboradores, 1989). La temperatura influye directamente sobre la etapa de germinación, la temperatura de geminación más baja para el pimiento es de 12 a 13°C dando como resultado una germinación lenta (20 – 25 días), mientras que de 20 – 25°C la germinación comienza a los 7 u 8 días. La tasa de desarrollo de la planta depende de la temperatura ambiental, cantidad de reservas del embrión, capacidad fotosintética y características genéticas del material utilizado (Mundarain y colaboradores, 2005).

En híbridos de pimiento morrón cultivados en México se ha observado que el periodo de germinación promedio es de 10 días después de la siembra (dds), la primera, segunda, tercera y cuarta ramificaciones ocurrieron a los 10, 17, 25 y 30 ddt; mientras que la floración, fructificación, cambio de color (envero) y cosecha iniciaron a los 33, 44, 93 y 102 ddt, en cada

caso. Los híbridos con frutos de color rojo han sido los más tardíos, ya que completaron su ciclo de trasplante – cosecha entre 99 y 118 días, mientras que las variedades que tienen frutos de color amarillo o naranja fueron de 91 a 102 días (Moreno y colaboradores, 2007).

1.5 Requerimientos de Agua y Suelo

1.5.1 Requerimientos de Agua del Cultivo

El pimiento morrón es un cultivo sensible al estrés hídrico debido a su sistema de raíces poco profundas (Hulugalle y Willatt, 1987; González-Dugo y colaboradores, 2007; Ityel y colaboradores, 2012). La programación adecuada del riego es fundamental para mantener una densidad de follaje necesario para la obtención de altos rendimientos, (Pereira y colaboradores, 2007, González-Dugo y colaboradores, 2007). En un estudio de investigación realizado por Wang (2009), encontró que manteniendo el contenido de agua del suelo de 60 a 80% de capacidad de campo resulta favorable para el crecimiento de plantas de chile. Por otro lado, el mantenimiento del contenido de agua del suelo a un nivel inferior al 60% de capacidad de campo ha causado una disminución en los rendimiento y en la eficiencia del uso del agua (Huo y colaboradores, 2008; Yang y colaboradores, 2008).

1.5.2 Manejo del Agua de Riego

El cultivo de pimiento morrón ha sido clasificado como uno de los cultivos más susceptibles al estrés hídrico en la horticultura (Doorenbos y Kassam, 1986), sin embrago, la etapa de floración resulta ser el periodo más susceptible (Bruce y colaboradores, 1980). Para obtener altos rendimientos, se requiere de un suministro de agua y suelos relativamente húmedos durante el periodo de crecimiento total. La reducción del suministro de agua durante el periodo de crecimiento en general tiene un efecto adverso sobre el rendimiento, la mayor reducción en el rendimiento ocurre cuando hay una escasez de agua continua hasta el momento de la primera cosecha. La etapa vegetativa, al inicio de la floración es más sensible a la escasez de agua, el agotamiento del agua del suelo en la zona radical durante este periodo no debe superar el 25%. La escasez de agua justo antes y durante la floración temprana reduce el número de frutos. El efecto del déficit de agua sobre el rendimiento durante este periodo es mayor en condiciones de alta temperatura y baja humedad relativa. El riego controlado es

esencial para obtener altos rendimientos debido a que el cultivo es sensible tanto a los excesos de riego, como a las aplicaciones reducidas (Doorenbos y Kassam, 1986).

El manejo del agua en el pimiento es muy importante durante todas las etapas de desarrollo de la planta debido a su influencia en la creación de soporte, problemas de hongos, el cuajado y la calidad. Por esta razón, el cultivo debe ser suministrado con agua suficiente para asegurar un crecimiento vigoroso. El riego es importante para el crecimiento de las plantas y frutos (Smittle y colaboradores, 1994; Costa y Gianquinto, 2002).

El sistema de riego por goteo es uno de los métodos más eficientes de aplicación de agua en cultivos de hortalizas, sin embargo, cuando se usa el sistema de riego por goteo subterráneo se ha obtenido una mayor eficiencia en el uso del agua, menor consumo de agua de 6.7 a 7.3%, mayor rendimiento del cultivo de un 4 a 13%, mayor longitud de raíces de 11.8 a 12.5%, mayor porcentaje de raíces (7%), también se ha comprobado que a través del riego por goteo subterráneo queda una menor cantidad de residuos de nitrógeno en el suelo, y por consiguiente se previene la contaminación del agua subterránea por la lixiviación de nitratos (Kong y colaboradores, 2009).

1.5.3 Calidad del Agua e Influencia en el Fertirriego

El pimiento morrón (*Capsicum annuum* L) es un cultivo de alto valor económico, generalmente producido utilizando un sistema de Plasticultura que incluye riego por goteo y cobertura de polietileno (Lamont, 1996). Sin embargo, este cultivo debe ser manejado cuidadosamente bajo condiciones salinas debido a que la producción comercial de fruta podría disminuir si la conductividad eléctrica del extracto acuoso del suelo (CE) es superior a 1.5 ds·m⁻¹ (Maas y Grattan, 1999).

La calidad del agua de riego puede afectar de manera indirecta el crecimiento de las plantas a través de la influencia de la calidad de agua en el suelo. Los niveles de sodio en el agua de riego incrementan la presión osmótica en la solución del suelo, el sodio genera problemas en la estructura del suelo y altera la tasa de infiltración, cuando la cantidad de sodio absorbido excede de 10 a 15% del total de cationes en el complejo de intercambio del suelo, la arcilla se dispersa y disminuye la permeabilidad; el efecto de la salinidad o de la concentración de sólidos disueltos totales sobre la presión osmótica de la solución del suelo es una de las consideraciones más importantes relativas a la calidad del agua, valores de CE comprendidos

en el rango de 8-10 mmhos/cm producen un disminución del 10 – 50% en el rendimiento de la mayoría de los cultivos de una manera aproximadamente lineal (U.S. EPA, 1973). La presencia de sólidos suspendidos y/o coloides en el agua de riego puede inhibir la infiltración del agua, reducir la aireación del suelo e impedir el desarrollo de las plantas. Por el contrario, aguas con altos contenidos de limos pueden mejorar la textura, consistencia y capacidad de retener el agua en suelos arenosos (U.S. EPA, 1973).

El suelo posee un nivel de pH regulado, el cual solo podría ser afectado por niveles extremos de pH en el agua de riego, generalmente los altos niveles de pH en el agua de riego, contienen altos niveles de carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio, en estos casos se recomienda acidificar el agua de riego para reducir el pH de 5-6, antes de que llegue a la planta para mejorar la asimilación de ciertos nutrientes, como P, Fe, Zn, Cu, Mn, y B, y para evitar la precipitación de sales insolubles que podrían tapar los emisores del sistema de riego por goteo, se recomienda utilizar ácido para neutralizar del 90-95% de los carbonatos y bicarbonatos totales presentes en el agua de riego, se recomienda dejar 0.5 meq·L⁻¹ de los bicarbonatos totales para que el agua tenga una pequeña capacidad neutralizante del pH para prevenir una caída brusca del pH, ya que un pH muy ácido en el agua de riego podría llevar a la disolución de elementos tóxicos presentes en el suelo como el aluminio.

1.5.4 Suelo

Para el cultivo del pimiento morrón, se recomiendan suelos fértiles, bien aireados, con buen drenaje interno y capacidad de retención de humedad, las texturas francas a franco arcillosas, con altos contenidos de materia orgánica por encima del 5%, ya que las raíces están presentes en los primeros 60 cm de profundidad del suelo, con el 70% del volumen de raíces total en los primeros 20 cm de profundidad. El pH del suelo debe oscilar entre 5.8 a 6.8 para garantizar la máxima disponibilidad de nutrientes, además el suelo debe estar libre de piedras, de malas hierbas y estar nivelado.

1.6 Influencia de Algunos Factores Físicos en la Fotosíntesis de las Plantas 1.6.1 Fotosíntesis

La fotosíntesis (del griego antiguo "fos-fotós", 'luz', y "sýnthesis", 'composición', 'síntesis') es la conversión de materia inorgánica en materia orgánica gracias a la energía que aporta la

luz. En este proceso la energía luminosa se transforma en energía química estable, siendo el adenosín trifosfato (ATP) la primera molécula en la que queda almacenada esa energía química. Con posterioridad, el ATP se usa para sintetizar moléculas orgánicas de mayor estabilidad. Además, se debe de tener en cuenta que la vida en nuestro planeta se mantiene fundamentalmente gracias a la fotosíntesis que realizan las algas, en el medio acuático, y las plantas, en el medio terrestre, que tienen la capacidad de sintetizar materia orgánica "imprescindible para la constitución de los seres vivos" partiendo de la luz y la materia inorgánica.

La fotosíntesis responde drásticamente a los cambios de estación. La temperatura es un factor limitante, especialmente cuando desciende demasiado y hace que el agua se congele. Para muchas plantas, la temperatura óptima es de casi 35°C. Por arriba de 40°C, la fotosíntesis generalmente cesa porque las enzimas son inhibidas por el calor. Las plantas capturan sólo cerca del 2% de la radiación solar disponible y la mitad de ésta se consume en la mecánica del proceso fotosintético.

La tasa fotosintética en las plantas, varía en función del microambiente donde se encuentren, la producción de pimiento morrón es afectada principalmente por los niveles de sombreo, se ha documentado que la tasa fotosintética disminuye a medida que aumentan los porcentajes de sombra y en consecuencia se reduce el rendimiento total y comercial del cultivo, por lo cual para una fotosíntesis óptima en hojas de pimiento morrón se recomienda usar un porcentaje de sombra del 30 a 47% (Díaz-Pérez, 2013).

1.6.2 Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA)

Se denomina Radiación Fotosintéticamente Activa a la cantidad de radiación integrada del rango de longitudes de onda que son capaces de producir actividad fotosintética en las plantas y otros organismos fotosintéticos como microalgas y bacterias. Este rango es el comprendido aproximadamente entre los 400 y los 700 nanómetros y que también corresponde aproximadamente con el espectro visible. Las unidades de medida de la Radiación Fotosintéticamente Activa suelen ser las habituales para cualquier radiación: los microeinstein (μE·m⁻²·s⁻¹) o micromoles por metro cuadrado por segundo (μmol·m⁻²·s⁻¹).

El cultivo del pimiento morrón es muy exigente en los niveles de RFA, sobre todo al inicio de la etapa reproductiva, los niveles de radiación demasiado altos pueden producir el

rajado de frutos, golpes de sol, coloración irregular en la maduración de frutos. Para prevenir los daños ocasionados por los excesos de radiación, se recomienda mantener un follaje abundante sobre todo en las zonas con mayor intensidad de radiación; para zonas de intensa radiación se recomienda una nutrición balanceada en calcio y potasio para mantener la turgencia en las células de las hojas, teniendo así una planta más resistente al estrés hídrico y a la quemadura de sol (Wien, 1994).

El uso de altos porcentajes de sombreo reduce los niveles de RFA en plantas de pimiento morrón, dando como resultado una menor tasa fotosintética, y en consecuencia se reduce la cantidad de azúcares en la flor y provocando una mayor tasa de aborto floral en el cultivo (Aloni y colaboradores, 1996). Altos niveles de radiación provocan inactivación o daño en los centros de reacción de los cloroplastos que contienen la clorofila, debido a la absorción excesiva de energía en el aparato fotosintético (Bertamini y colaboradores, 2006).

1.6.3 CO₂

Bajo condiciones ambientales favorables, generalmente el crecimiento de las plantas es estimulado por elevadas concentraciones de CO₂ atmosférico. Las elevadas concentraciones de CO₂ atmosféricos generalmente tienen dos efectos fisiológicos directos y momentáneos en las plantas. En primer lugar, aumenta la tasa de fotosíntesis en las hojas, debido a la mayor cantidad de CO₂ en los sitios donde las enzimas fijan CO₂. En segundo lugar hace que los estomas cierren en parte, reduciendo de este modo la pérdida de agua debida a la transpiración de la planta (Poorter y Pérez-Soba, 2001).

Bajo condiciones de estrés hídrico y elevadas concentraciones de CO₂ se incrementa la respiración en las raíces de las plantas, el aumento de la concentración de CO₂ promueve una acumulación de almidón, pero reduce la concentración de osmolitos orgánicos solubles en la planta reduciendo así el potencial osmótico de la planta bajo condiciones de estrés. Los efectos negativos del estrés hídrico sobre la fotosíntesis pueden ser mitigados por altas concentraciones de CO₂ (Del Amor y colaboradores, 2010).

El incremento de las concentraciones de CO₂ atmosférico resulta en un aumento en el rendimiento de los cultivos agrícolas. Altas concentraciones de CO₂ en combinación con altas proporciones nitrato/amonio en la producción de plántulas de tomate dió como resultado mayor altura de plantas, grosor de tallo, peso seco total, peso seco de hojas, tallos y raíces,

mayor contenido de clorofila, fotosíntesis y mayor uso eficiente del agua. Por otro lado también se observó que las elevadas concentraciones de CO₂ no pueden mitigar los factores adversos resultantes de una fertilización nitrogenada utilizando amonio al 100% (Li y colaboradores, 2007).

1.6.4 Temperatura Ambiental

La temperatura afecta todas las reacciones bioquímicas de la fotosíntesis relacionada con el transporte de electrones, la temperatura óptima para la mayoría de plantas C3 es de 24 – 27°C, bajo estas condiciones de temperatura se alcanza la máxima fotosíntesis neta, a medida que se sobrepasan los límites óptimos de temperatura se reduce la tasa fotosintética y aumenta la respiración, aun cuando la fotosíntesis se detiene por aumento de la temperatura, la respiración sigue aumentando. En cultivos establecidos a campo abierto, generalmente se tienen elevadas temperaturas ocasionando una menor tasa fotosintética y generando un menor crecimiento en los cultivos. Se ha observado que los cultivos establecidos bajo malla sombra registran mayor tasa fotosintética total en comparación a cultivos establecidos a campo abierto.

Las temperaturas óptimas tienen fuertes componentes genéticos y fisiológicos; en plantas C4 el rendimiento cuántico se mantiene constante con la temperatura, reflejando las típicas tasas bajas de fotorespiración. En plantas C3 el rendimiento cuántico disminuye con la respiración, lo cual refleja la estimulación de la fotorespiración por la temperatura y una mayor demanda de energía por la fijación neta de CO₂. Bajo concentraciones ambientales de CO₂, las fotosíntesis es limitada por la actividad de la rubisco, cuya temperatura óptima de funcionamiento es de 24°C y como resultado se obtiene un incremento de PEP carboxilasa con la temperatura, la cual posee una temperatura óptima de funcionamiento de 30°C y disminuye la afinidad de la rubisco por el CO₂ con el aumento de la temperatura (Steward y Globig, 2012).

En plantas de tomate y pimiento, las altas temperaturas del aire (>32°C) pueden afectar drásticamente la polinización y el cuajado de los frutos (Kinet y Peet, 1997; Wien, 1990) las altas temperaturas del aire están asociadas a altos valores de temperatura del suelo (Díaz-Pérez, 2005). La temperatura de suelo óptima favorable para el cultivo de pimiento morrón se sitúa en el rango de 25 a 27.5°C, el rendimiento de la producción se ve poco afectado con temperaturas menores a 25°C y a temperaturas mayores a los 27.5°C el rendimiento en frutos

se reduce drásticamente (Díaz-Pérez, 2010). Por otro lado, la planta de pimiento morrón tiende a tolerar alta temperaturas ambientales, sin embargo, a exposiciones prolongadas con temperaturas mayores a los 35°C puede resultar en efectos detrimentales sobre el crecimiento de las plantas (Ibarra y colaboradores, 2001).

El régimen de temperaturas tiene un efecto considerable sobre el crecimiento del cultivo aunque algunos genotipos son más sensibles que otros, las altas temperaturas reducen el número de frutos por planta, así como el tamaño individual de los frutos. En estudios realizados en Asia Central en cultivo de pimiento morrón se observó que a un régimen de temperaturas de 24/18°C se obtiene un mayor número de frutos por planta y de mayor peso, comparado cuando el cultivo fue sometido a un régimen de temperatura de 29/23°C donde se obtuvo una menor cantidad de frutos por planta y de menor peso (Saha y colaboradores, 2010).

Algunos estudios realizados en genotipos de pimiento morrón sensibles al calor se observó que en cultivos sometidos a altas temperaturas se reduce el contenido de prolina en la hojas de las plantas, mientras que en genotipos tolerantes a altas temperaturas se produce una mayor cantidad de prolina en las hojas, por lo cual el contenido de prolina en las hojas de pimiento morrón se puede usar como un indicativo de la capacidad de tolerar el calor de algunos genotipos (Saha y colaboradores, 2010).

1.6.5 Humedad Relativa (HR)

La fotosíntesis en las plantas es afectada por los niveles de humedad relativa presentes del medioambiente, los niveles de humedad relativa disponibles controlan el cierre y apertura de los estomas. El nivel óptimo higrométrico es de 60 – 70%. Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades y dificultan la fecundación. La coincidencia de altas temperaturas y baja humedad relativa puede ocasionar la caída de flores y de frutos recién cuajados (Stoev, 1966). La humedad relativa interactúa con la temperatura del medio, bajo condiciones de altas temperaturas y altos niveles de humedad relativa, las plantas pueden tener fotosíntesis sin ningún problema, por otro lado, cuando se tienen elevadas temperaturas y bajos niveles de HR, la tolerancia es baja, la fotosíntesis neta disminuye y la respiración aumenta, por lo tanto, todo incremento de la HR en todas las temperaturas tiene un efecto positivo. El efecto negativo de HR bajas se manifiesta cuando la planta se encuentra en

condiciones de estrés hídrico, aunque algunos estudios reportan que con altos niveles de estrés hídrico, la hoja de la planta es capaz de captar el vapor de agua atmosférico evitando cierres estomáticos prematuros (Zufferey, 2000).

1.6.6 Agua Disponible

La fotosíntesis es un proceso fisiológico muy sensible a la disponibilidad de agua en el suelo. Existe una controversia al momento de definir el contenido de humedad en el suelo a partir del cual se produce una reducción en la fotosíntesis ya que el estado hídrico de la hoja no solo depende del contenido de humedad del suelo, también del flujo a través de la planta, de las condiciones climáticas y factores internos de la hoja, entre otros. La necesidad de una temperatura para el intercambio de gases hace que la ganancia de CO₂ para la fotosíntesis vaya acompañada de una pérdida de agua por transpiración. Los estomas y las resistencias cuticulares jugarán un papel fundamental en la conservación de agua por parte de la planta sin comprometer la fotosíntesis; la transpiración necesaria durante la apertura estomática representa el 99% del agua absorbida (Lissarrague y Baeza, 2003).

El contenido de agua en el suelo no es suficiente para definir el estado hídrico de la planta, el estado hídrico depende de todos aquellos factores que intervienen en el flujo de absorción–flujo de transpiración. Cuando las plantas se encuentran en suelos bajo condiciones de capacidad de campo, el factor limitante de la fotosíntesis son las reacciones enzimáticas del cloroplasto. Por el contrario, cuando la planta se encuentra bajo condiciones de estrés, el factor limitante en un primer momento es la resistencia o cierre estomático y a medida que el déficit de agua en el suelo se hace más intenso empiezan a tomar importancia los efectos no estomáticos. La disponibilidad hídrica limita la actividad fotosintética y aún más que las altas temperaturas. De manera general se ha admitido que la asimilación neta máxima de CO₂ se produce en ausencia de estrés hídrico (Baeza, 2000).

1.6.7 Transpiración

La temperatura afecta la fotosíntesis a nivel estomático y cloroplástico, el aumento de la temperatura afecta la velocidad de las reacciones metabólicas, si la temperatura del aire es elevada se puede producir un desequilibrio entre el estado hídrico de la hoja y el flujo de transpiración, de manera que si la demanda evapotranspirativa supera a la absorción por las

raíces, los estomas se cierran y se frena el intercambio gaseoso (Carbonneau y colaboradores, 2000). La transpiración aumenta linealmente con el aumento del déficit de presión de vapor (DPV). Al aumentar la humedad, aumenta la fotosíntesis, la transpiración expresada por unidad de DPV aumenta y la resistencia de difusión se hace más pequeña. A altas tasas de DPV se obtienen grandes diferencias en tasas de transpiración en hojas de diferentes especies, las tasas de transpiración más altas se han registrado en plantas de girasol y las más bajas en plantas de jojoba. Las tasas de pérdida de agua en las especies de cultivos C3 (girasol, trigo y soya) son más altas que en las especies C4 (gramíneas y sorgo) (Rawson y Woodward, 1977).

1.6.8 Conductancia Estomática

La diferencia de presión de vapor (DPV) entre la hoja y la atmósfera juega un papel fundamental en la apertura estomática. Si los estomas estuvieran todo el día abiertos la evapotranspiración aumentaría linealmente al tiempo que la demanda evaporatíva. Cualquier incremento de DPV incrementa la transpiración, y cuando aumenta por encima de un determinado umbral produce una disminución de la conductancia estomática (Zufferey, 2000).

Otros de los factores que afectan la conductancia estomática son: la temperatura foliar, el potasio y el estado hídrico de la planta. En ausencia de limitaciones hídricas, la conductancia estomática está fuertemente correlacionada con el microclima luminoso y térmico de las hojas. La temperatura óptima para la conductancia estomática se suele situar entre 30-32°C. Por otro lado, las altas temperaturas al inducir estrés hídrico, reducen la conductancia estomática. El cierre estomático es una herramienta de defensa frente a la limitación hídrica, la capacidad fotosintética se mantiene cerca del máximo, en tanto el potencial hídrico foliar no caiga mucho, ya que por debajo un potencial hídrico de < - 1.0 MPa la fotosíntesis cae bruscamente (Kriedemann y Smart, 1971).

1.7 Impactos Microambientales y Fisiológicos del Acolchado Plástico sobre el Cultivo de Pimiento Morrón

1.7.1 Estado Hídrico del Suelo

El uso de acolchado plástico en la producción de hortalizas, permite hacer un uso más eficiente del agua ya que evita la pérdida de agua por evaporación y evita el exceso de humedad a consecuencia del agua de lluvia, ya que permite el escurrimiento del agua de lluvia

hacia la parte inferior de los surcos evitando la lixiviación de los fertilizantes y la erosión del suelo. El contenido de humedad del suelo varía en función del color del acolchado, se ha observado que el acolchado plata registra los más altos valores de contenido de humedad en el suelo en otoño y el potencial hídrico en primavera. El estado hídrico del suelo también puede variar en función del fabricante de películas de acolchado y la materia prima utilizada, por lo tanto en acolchados del mismo color se pueden obtener diferentes valores de contenido de humedad y estado hídrico del suelo (Díaz-Pérez, 2010).

1.7.2 Temperatura de la Zona Radical (TZR)

El pimiento es un cultivo de estación cálida sensible a bajas temperaturas y heladas. El acolchado plástico permite el aumento en la temperatura de la zona radical, lo cual se traduce en mayor precocidad de los cultivos. No obstante un exceso de temperatura puede llegar a causar efectos negativos. El color del acolchado plástico determina su comportamiento de energía radiante y su influencia sobre el microclima alrededor del cultivo. La respuesta de las plantas está en función de la interacción de la calidad de la luz reflejada por la superficie del acolchado y por la capacidad de cada color para permitir el paso de la radiación solar e incrementar las temperaturas del suelo. Dependiendo de las propiedades del acolchado (reflexión, transmisión y absorción), será el grado de influencia sobre la temperatura del suelo y el microclima del follaje del cultivo (Ramírez, 1996).

En el cultivo de pimiento morrón bajo acolchado plástico a campo abierto, se observó que la temperatura de la zona radical del cultivo (TZR) mostró una tendencia decreciente en la temporada de otoño y una tendencia creciente en la primavera. Las películas de los acolchados plásticos, difieren en su capacidad de calentamiento del suelo en TZR, tanto en las temporadas de primavera y otoño, la temperatura más alta se registró en el acolchado negro y la temperatura más baja en el acolchado plata. El grado de fluctuación térmica varía entre los acolchados plásticos, los acolchados plásticos plateados mostraron la menor fluctuación diurna (Díaz-Pérez, 2010).

1.7.3 Microorganismos del Suelo

La práctica de acolchado con adición de materia orgánica al suelo, incrementa la actividad biológica al aumentar la población y las actividades de los microorganismos y de la fauna

edafológica. El uso de acolchado plástico mejora las propiedades físicas y químicas del suelo generando un ambiente más favorable para los microorganismos, mejorando la porosidad del suelo hasta una profundidad de 50 cm permitiendo buena aireación y un mayor desarrollo radical del cultivo conduciendo a una mejor absorción de agua y nutrientes del suelo. Además, el aumento de la temperatura y la humedad favorecen la mineralización del suelo, generando una mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas, el acolchado también protege de la erosión de la lluvia y de la desecación del suelo por el viento creando así un ambiente propicio para el desarrollo de la microflora y microfauna del suelo (Zribi y colaboradores, 2011).

1.7.4 Comportamiento de la Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA) en Presencia de Acolchado Plástico

El porcentaje de RFA reflejada desde la superficie de la película plástica del acolchado se relaciona de manera negativa con los valores de TZR, los valores más altos de TZR se obtienen bajo los acolchados negros, en los cuales se registra el menor porcentaje de RFA reflejado. La combinación de dos colores diferentes sobre una misma superficie cubierta pueden afectar las propiedades ópticas y térmicas de la película, la presencia de una franja negra sobre un acolchado plata resulta en una disminución de TZR, en vez de aumentar como sería de esperar por la mayor capacidad del acolchado negro de absorber mayor radiación infrarroja entrante en comparación con el acolchado plata. La presencia de una franja negra en el acolchado plata ocasionó una mayor pérdida de radiación infrarroja durante la noche resultando en una mayor fluctuación diurna en comparación con un acolchado plata sin la franja negra (Díaz-Pérez, 2010). Se han registrado pocas diferencias con respecto a la fotosíntesis neta en plantas de pimiento morrón sobre acolchado plástico. En la temporada de otoño, durante las primeras etapas de desarrollo del cultivo se obtuvo que la fotosíntesis neta en promedio fue mayor en los acolchados plata con una banda negra y la más baja se obtuvo en el acolchado plata (Díaz-Pérez, 2009; Díaz-Pérez y colaboradores, 2005).

1.7.5 Incidencia de Trips y Virus del Bronceado del Tomate

En el cultivo de pimiento morrón bajo acolchado plástico se observó que el número de trips por flor no se vio afectado de manera significativa por el porcentaje de RFA reflejada de la superficie de los acolchados, en ambas estaciones de cultivo primavera-otoño y la incidencia del virus del bronceado del tomate (TSWV) no estuvo relacionada con el número de trips por flor (Díaz-Pérez, 2010). Aunque otros autores como (Csizinszky y colaboradores, 1995) reportan que a mayor porcentaje de RFA reflejada por el acolchado plástico se tiene una menor incidencia de trips y mosca blanca en otras plantas solanáceas como en tomate.

1.7.6 Crecimiento de las Plantas

En el cultivo de pimiento morrón durante la estación de otoño, se observó que durante los primeros días después del trasplante (ddt) las condiciones de crecimiento más favorables se registraron en los acolchados plata con plantas más altas y las más bajas en los acolchados negros, también se observó que la biomasa en peso seco de la planta y diámetro de tallo decreció con el aumento promedio de los valores de TZR, durante los primeros 28 ddt (Díaz-Pérez, 2010).

1.7.7 Acumulación de Nutrientes Minerales en Hojas y Frutos

La concentración de nutrientes minerales en hojas y frutos de pimiento morrón no presentó diferencias en respuesta a los acolchados en la temporada de otoño, mientras que en la temporada de primavera, la concentración de algunos nutrientes varió entre los tratamientos de acolchado. Se registró que la concentración de la mayoría de los nutrientes (excepto calcio y magnesio) disminuyó en el transcurso de ambas temporadas primavera y otoño. Las concentraciones de nutrientes en hojas a los 28 ddt en el otoño no se relacionaron con TZR media o con las condiciones de crecimiento. Las concentraciones foliares de NPK, calcio y magnesio en plantas maduras no se correlacionó con sus correspondientes concentraciones en fruto (Díaz-Pérez, 2010).

1.7.8 Rendimiento del Cultivo

En el cultivo de pimiento morrón durante la temporada de otoño, se reportó mayor rendimiento comercial y total en el acolchado plata y los rendimientos más bajos se obtuvieron en los acolchados negros. En la temporada de primavera con clima más fresco a principios de temporada se obtuvieron pocas diferencias de rendimiento entre los acolchados. El rendimiento de la producción se ve poco afectado por debajo de los 25°C de TZR, pero

disminuye por encima de los 27.5°C de TZR obteniendo de esta manera un rango óptimo de producción de 25 a 27.5°C. (Díaz-Pérez, 2010).

1.8 Importancia de los Macronutrientes en la Producción de Pimiento

1.8.1 Nitrógeno

Después del agua, el nitrógeno es el nutriente más importante para el desarrollo de la planta, ya que es muy abundante en las principales biomoléculas de la materia viva; generalmente los suelos tienden a ser más deficientes en nitrógeno que en cualquier otro elemento, el nitrógeno junto con P y K es un elemento clave en la nutrición mineral. Las formas iónicas preferentes de absorción de nitrógeno por la raíz son el nitrato (NO₃⁻) y el amonio (NH₄⁺) (Steward, 2012).

Una combinación adecuada de NO₃-/NH₄⁺ (80/20%) genera una mayor acumulación de biomasa en comparación con cualquier planta alimentada con solo una fuente individual de nitrógeno (nitrato o amonio). En melones y tomates se obtuvo un mejor crecimiento de las plantas y mejores rendimientos con la adición de bajos niveles de NH₄⁺ en la solución de fertirriego con NO₃-. Bajo condiciones de estrés salino se reduce la asimilación de NO₃- y probablemente podría causar una deficiencia de nitrógeno en la planta, sin embrago cuando se agrega del 12 – 25% de NH₄⁺ a la solución nutritiva, se tiene un efecto mejorador en las plantas bajo condiciones de estrés hídrico, pero concentraciones más altas de NH₄⁺ resultan en una reducción del rendimiento del cultivo.

Altos niveles de amonio pueden dar lugar a la reducción de azúcares en las raíces de las plantas, debido al consumo de azúcar por el metabolismo de amonio en la raíz. El amonio puede causar la interrupción de muchos procesos metabólicos, altos niveles de NH₄⁺ reducirían el consumo de calcio debido a la competencia con el amonio, lo cual podría provocar una deficiencia de calcio en el fruto y por consiguiente aumentaría la susceptibilidad a la pudrición apical (BER) sus siglas en inglés (Ben-Oliel y colaboradores, 2004).

1.8.2 Fósforo

El fósforo tiene un papel estructural importante en muchas moléculas y estructuras celulares, como los enlaces diéster presentes en los ácidos nucléicos y fosfolípidos, por lo cual los enlaces diéster son fundamentalmente en las estructuras membranosas. Una parte importante

del fosfato en la planta se encuentra en forma iónica libre: 75% en las vacuolas y el 25% restante en la matriz y los orgánulos citoplasmáticos, en equilibrio con los ciclos metabólicos. En la mayoría de las plantas el fosfato se redistribuye fácilmente de un órgano a otro acumulándose en las hojas jóvenes, en flores y semillas en desarrollo. Los excesos de nitrógeno retrasan la maduración de los frutos, por el contrario, la abundancia de fósforo acelera la maduración, los excesos de fósforo originan, al contrario que en el caso del nitrógeno, un gran desarrollo de raíces en relación con la parte aérea, lo que determina una baja proporción parte aérea-raíz (Steward, 2012).

El fósforo es relativamente inmóvil en el perfil del suelo y su disponibilidad en la solución del suelo puede reducirse en gran medida tanto por la materia orgánica y carbonatos de calcio y magnesio (Sample y colaboradores, 1980). Debido a las propiedades químicas del fósforo, las plantas con un enraizamiento profundo tienen mayor ventaja para capturar este nutriente a expensas de otras especies (DiTomáso, 1995).

1.8.3 Potasio

El potasio es el nutriente mineral catiónico requerido en mayores cantidades en plantas como en tomate. Es un elemento esencial para muchos procesos fisiológicos, tales como la fotosíntesis, la activación enzimática, la síntesis de proteínas, osmoregulación, turgencia celular y la homeostasis iónica en las células vegetales (Kanai y colaboradores, 2011). La producción de frutos de calidad es controlada por la interacción de factores genéticos, ambientales y culturales, incluidos los nutrientes de las plantas (Dorais y colaboradores, 2001).

Entre los nutrientes esenciales para las plantas, el potasio es el que es absorbido por la planta de tomate en grandes cantidades y se considera que es la calve para la producción de frutas de calidad (Mengel y Kirkby, 1987; Marschner, 1995). La mayoría de los estudios en tomate han demostrado hasta ahora, que el aumento de la conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva, mejora la calidad de la fruta (Adams, 1987; Adams, 1991; Adams y Ho, 1989).

El potasio, junto con el P y N, constituyen el contenido principal de los fertilizantes de máxima difusión comercial, dada la importancia de estos tres elementos. El potasio se distribuye con suma facilidad de los órganos maduros a los juveniles, dada su solubilidad y su

baja afinidad por los iones orgánicos con los que intercambia fácilmente. Desempeña un papel clave en la osmoregulación que tiene lugar en los procesos de apertura y cierre estomáticos. La deficiencia de potasio en los cultivos se traduce en una mayor susceptibilidad al ataque de patógenos en la raíz y es una debilidad en los tallos que hacen a las plantas especialmente sensibles a la acción del viento, las lluvias, etc. En condiciones de exceso de potasio su consumo se incrementa, salvo en las semillas, ese exceso de consumo puede interferir en la absorción y disponibilidad fisiológica de Ca y Mg (Steward, 2012).

Las relaciones adecuadas de N/K en los cultivos determinan el equilibrio entre los procesos vegetativos y reproductivos, el potasio actúa como un regulador del crecimiento cuando la disponibilidad del nitrógeno es alta, garantiza además una adecuada formación del rendimiento, regula la aparición de determinados desordenes fisiológicos que inciden en la apariencia interna y externa de los frutos, fundamentalmente en el color y constituye un aspecto de manejo agronómico que incide en la durabilidad de la cosecha (Mikkelsen, 2005).

A nivel internacional existen diversos estudios que evalúan el efecto individual del nitrógeno y del potasio en el cultivo de tomate y se definen relaciones óptimas para estos nutrientes en términos de kg·ha⁻¹ que varían de 1.5 a 1.4 en función de la variedad, manejo del cultivo, condiciones de suelo y clima existente (Gent, 2005).

1.8.4 Calcio

El calcio es un elemento abundante en la mayoría de los suelos, y rara vez se comporta como un factor limitante, salvo en suelos ácidos con lluvias abundantes, donde resulta necesario el aporte de sales cálcicas principalmente carbonatos para elevar el pH del suelo. La deficiencia de calcio se caracteriza por un pobre desarrollo radical, los síntomas se hacen más evidentes en los tejidos jóvenes y en las zonas meristemáticas de raíces, tallos y hojas, ya que esta deficiencia afecta principalmente la división celular (Steward, 2012).

El calcio es un macronutriente esencial para las plantas, el cual cumple un papel fundamental en la estabilidad de la membrana de la planta, la estabilidad de la pared celular, y en la integridad de la célula (Hirschi, 2004). En el cultivo de pimiento morrón, se ha documentado que para una alta tasa de crecimiento en las plantas, se requiere de una alta concentración de calcio para prevenir la inducción de la pudrición apical (BER) sus siglas en inglés (Marcelis y Ho, 1999).

1.8.5 Magnesio

El magnesio casi nunca es un factor limitante para la producción, excepto en suelos muy ácidos o arenosos, es un elemento muy móvil, tanto en la planta como en las células, las hojas adultas son las primeras en presentar síntomas de deficiencia, al emigrar el Mg hacia las hojas más jóvenes. Aproximadamente el 20% del Mg total de las hojas se encuentra en los cloroplastos, aunque solo entre el 10 y 20% se presentan en las moléculas de clorofila, donde el Mg es la parte central (Steward, 2012).

El magnesio es un nutriente esencial para el crecimiento de las plantas, ya que ayuda a activar más de 300 enzimas y en la síntesis de moléculas orgánicas requeridas para el crecimiento de la planta (Wilkinson y colaboradores, 1990). Una función biológica fundamental del magnesio está ligada a su papel en las moléculas de clorofila en la que es el ion central. La clorofila, se encuentra en las hojas de la mayoría de las plantas o en células de algas verdes y cianobacterias, es responsable de la absorción de la luz durante la fotosíntesis. Durante la síntesis de clorofila, los iones de magnesio se insertan activamente en el anillo de cloro a través de la acción de la enzima quelataza (Willows, 2007).

1.8.6 Azufre

El azufre se absorbe en la planta en forma de anión sulfato y en esta forma es transportado al xilema. También puede ser absorbido por los xilemas de las hojas bajo la forma de dióxido de azufre (SO₂). El azufre como sulfato forma parte de los sulfolípidos y los heteropolizacáridos, y en forma reducida. El azufre, también forma parte de diversas coenzimas como la tiamina, la botina y la coenzima A, compuesto clave en la activación de los ácidos orgánicos y, por tanto en los procesos de síntesis y degradación de los ácidos grasos y en la respiración celular (Steward, 2012).

El azufre es un macronutriente necesario para la biosíntesis de aminoácidos, cisteína y metionina, de coenzimas y sulfolípidos y de una amplia gama de metabolítos secundarios (Schmidt y Jäger, 1992). Los compuestos del metabolismo secundario que contienen azufre como tioles, glucosinolatos y tiazoles son componentes de los mecanismos de defensa de las plantas contra enfermedades insectos y herbívoros y también afectan el estado nutricional de los cultivos (Bennet y Wallsgrove, 1994).

1.9 Importancia de los Micronutrientes en la Producción de Pimiento 1.9.1 Hierro

El hierro es un constituyente esencial en la planta e interviene en numerosos procesos metabólicos, forma parte de numerosos procesos enzimáticos con y sin grupos hemo, participando en procesos de oxido-reducción especialmente en mitocondrias y cloroplastos. Dentro de las hemo-proteínas se encuentran los citocromos que son los componentes de los sistemas redox en los cloroplastos, en la nitrato reductaza y en las mitocondrias (Clarkson y Hanson, 1980). El fierro es esencial para la síntesis de proteínas, en hojas deficientes de hierro el contenido de proteínas desciende, debido a que el número de ribosomas disminuye bajo estas condiciones (Lin y colaboradores, 1978). Cuando las deficiencias de fierro son severas, se reduce el tamaño de las hojas, al inhibirse la división celular, y disminuye la formación de complejos clorofila-proteínas que sirven de componentes estructurales para las membranas tilacoidales (Abbot, 1967). El fierro interviene en la fotosíntesis, debido a que cataliza la síntesis de clorofila e influye en la morfología de los cloroplastos (Terry y Abadía, 1986).

1.9.2 Manganeso

El manganeso es un elemento esencial necesario para las actividades enzimáticas en todos los compartimentos subcelulares (Marschner, 1995). Las elevadas concentraciones de manganeso interfieren con la absorción y utilización de otros elementos minerales afectando la energía del metabolismo, reduciendo las tasas de fotosíntesis y genera un estrés oxidativo (Fecht-Christoffers y colaboradores, 2003). Uno de los síntomas más significativos de la deficiencia de Mn es la clorosis intervenal asociada con el desarrollo de pequeñas manchas necróticas, también se ha observado que la deficiencia de Mn produce, específicamente, una desorganización de las membranas del tilacoide, y mitocondrias. La deficiencia puede ser debida a suelos ácidos con un pH por debajo de 6 y con un alto contenido orgánico (Steward, 2012).

1.9.3 Zinc

El zinc es un elemento esencial en miles de proteínas en plantas, aunque es tóxico en exceso. Desempeña papeles estructurales y/o catalíticas en muchas enzimas tales como Cu-Zn superoxido dismutasa, la alcohol deshidrogenasa, ARN Polimeraza y se asocia con el metabolismo de los carbohidratos (Broadley, 2007).

La deficiencia de Zinc es una de las deficiencias de micronutrientes más comunes en las plantas y causa severas reducciones en la producción de los cultivos, también ocasiona una serie de alteraciones fisiológicas en las células causando la inhibición del crecimiento, la diferenciación y el desarrollo de la planta. El Zn juega un papel crítico en el sistema de defensa de las células contra especies reactivas de oxigeno (ERO), y por lo tanto representa un excelente agente de protección contra la oxidación de varios componentes vitales de la célula, tales como lípidos de la membrana, clorofila y grupos-SH de proteínas (Cakmak y colaboradores, 2000).

La deficiencia de Zinc produce una clorosis intervenal fácil de observar en cultivos como en maíz, judía, sorgo y árboles frutales, lo cual se ha relacionado con un papel estabilizador del Zn en la molécula de clorofila. Las deficiencias más típicas son la disminución del crecimiento de las hojas y el acortamiento en la longitud de los entrenudos, especialmente en plantas leñosas. Por otra parte, el Zn es necesario para la actividad de al menos ochenta sistemas enzimáticos, normalmente formando parte de su estructura (Steward, 2012).

1.9.4 Cobre

El cobre es un elemento esencial, ya que está implicado en un número de procesos fisiológicos, tales como las cadenas de transporte de los electrones fotosintéticos, respiratorios y como un cofactor o como parte del grupo prostético de muchas enzimas clave implicadas en diferentes vías metabólicas, incluyendo la síntesis de Adenosín trifosfato (ATP) (Harrison y colaboradores, 1999).

El exceso de cobre en las plantas reduce el crecimiento, la actividad fotosintética y el rendimiento cuántico del fotosistema II fotoquímica evaluada por la fluorescencia de la clorofila (Maksymiec y Baszynski, 1999). Los excesos de cobre alteran la traslocación de calcio potasio y magnesio entre las raíces y las hojas inhibiendo la expansión de las hojas y reduciendo la tasa fotosintética, también ocasionan que la acumulación de almidón y sacarosa no se produzca en las raíces y que su confinamiento sea en las hojas (Alaoui-Sossé y colaboradores, 2004).

1.10 Resultados de Investigación con Acolchado del Suelo Bajo Casa Sombra

A medida que se incrementan los porcentajes de sombreo sobre el cultivo de pimiento morrón, se genera una reducción sobre la radiación fotosintéticamente activa, temperatura del aire, hojas y TZR. A consecuencia de estos cambios en el microambiente del cultivo, las plantas desarrollan hojas de mayor tamaño, aumenta el contenido de agua en el suelo, lo cual indica una reducción del uso de agua; también se observó que con el aumento de los niveles de sombreo, el área foliar total de la planta, el área foliar individual, y el peso individual de las hojas se incrementaron, mientras que el número de hojas por planta y el peso especifico de las hojas se redujo. Con el aumento del porcentaje de sombreo también disminuye la conductancia estomática, aumenta la transpiración foliar y la concentración de nutrientes minerales en las hojas. Debido a que los altos niveles de sombra reducen la temperatura foliar y la transpiración excesiva de las hojas resultando en la reducción de la fotosíntesis, se registró que los niveles adecuados de sombra para obtener un crecimiento más favorable de las plantas esta dentro del rango de 30% a 47% (Díaz-Pérez, 2013).

A medida que se reducen los niveles de RFA por el uso de malla sombra en pimiento, aumenta la altura de la planta, número de nodos y tamaño de hojas. Sin embargo, el sombreado inhibe el desarrollo de los brotes laterales en el tallo principal de la planta por debajo de la primera flor terminal. Los brotes laterales desarrollados bajo alta intensidad de radiación proporcionan hasta el 25% de la producción total, mientras que los brotes desarrollados en plantas expuestas a baja intensidad de radiación producen muy poca cantidad de frutos, frutos más grandes con un pericarpio más grueso. En el área del Néguev Israel, el uso del sombreado redujo el daño por quemaduras de sol hasta en un 36%, el mayor número de frutos de alta calidad se obtuvo con el 12 - 26% de sombreo (Rylski y Spigelman, 1986).

A medida que se incrementan los niveles de sombreo se reduce la tasa de fotosíntesis unitaria de las hojas y aumenta la tasa de aborto floral en varios cultivares de pimiento morrón. También se reporta que la traslocación de carbohidratos hacia la flor se reduce mediante la poda de hojas o sombreado y la abscisión floral resulta mucho mayor, también se observó que a bajos niveles de radiación durante el día, se reduce la acumulación de carbohidratos en la flor ocasionando mayor abscisión floral (Aloni y colaboradores, 1996)

En plantas de pimiento morrón cultivadas al 40 y 60% de sombreo se registró una reducción de manera significativa sobre la tasa de asimilación de CO₂, conductancia

estomática y transpiración. Las plantas cultivadas al 60% de sombra tuvieron un mayor contenido de clorofila y al 40% de sombra, produjeron 1.26 kg/m² más que el tratamiento control, el uso de altos porcentajes de sombreo (>40%) redujo de manera significativa el rendimiento total (López-Marín y colaboradores, 2012).

Las mallas de sombreo fotoselectivas de diferentes colores sobre plantas de pimiento morrón tuvieron efectos significativamente diferentes. En las mallas color perla se registró la mayor tasa de asimilación de CO₂ y conductancia estomática, seguido de las mallas color rojo y amarillo, también se observó que la mayor apertura estomática se obtuvo bajo la malla sombra perla y la menor apertura estomática se registró en malla sombra amarilla, el grosor de la hoja y peso especifico fue mayor bajo malla sombra perla y las hojas más delgadas y de menor peso especifico debajo la malla sombra amarilla, el índice de clorofila y carotenoides fue más alto en malla roja. Por lo tanto, el sombreado foto selectivo puede afectar diferencialmente los parámetros y actividades de las hoja de pimiento morrón. Desde el aspecto de fotosíntesis, la malla sombra perla parece ser la más adecuada para la producción de pimiento morrón en zonas semiáridas (Kong y colaboradores, 2012).

1.11 Resultados de la Investigación con Acolchado Plástico en Campo Abierto

Las películas de acolchado plástico influyen significativamente sobre el microambiente, crecimiento de plantas y producción de frutos. El crecimiento de las plantas y rendimiento en frutos se relacionó de manera significativa con los valores de TZR media, el mayor rendimiento total y comercial se obtuvo en el acolchado plata, el menor crecimiento de las plantas y rendimiento en frutos se registró en el acolchado negro durante la temporada de otoño probablemente fue resultado de una mayor TZR media, por lo cual, la mayor acumulación de calor, resultó en mayores condiciones de estrés térmico en la planta, en comparación con los acolchados plata y blanco (Díaz-Pérez, 2010).

El uso de acolchado plástico y microtúnel sobre el microclima y rendimiento de pimiento morrón y melón, dió como resultado que en el cultivo de melón las temperaturas fueran benéficas resultando en un mayor rendimiento temprano y total, el cual se obtuvo con acolchado con plástico negro y protegiendo las plantas con cubierta durante los primeros 20 días después de la siembra, logrando una acumulación de 596 días - grado suelo. En el cultivo de pimiento morrón se obtuvo poco beneficio con el uso de las cubiertas más acolchado

plástico, la producción obtenida por efecto de acolchado plástico y microtúnel fue similar a la del testigo. El follaje del pimiento tiende a ser tolerante a altas temperaturas, pero exposiciones prolongadas que excedan los 35°C pueden resultar en efectos detrimentales sobre el crecimiento de las plantas. De acuerdo a estos resultados obtenidos, con clima similar a donde se realizó el experimento, en pimiento se puede prescindir del uso de microtúnel, sugiriéndose el uso de acolchado plástico solo (Ibarra y colaboradores, 2001).

II. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

2.1 Hipótesis

Los acolchados de colores tienen un comportamiento diferente entre sí y generan condiciones microclimáticas más favorables para el crecimiento de las plantas de pimiento morrón lo cual se traduce en un mayor rendimiento y calidad de fruto comparado con el sistema de producción en suelo desnudo.

2.2 Objetivo general

Evaluar el efecto del acolchado plástico de diversos colores sobre el crecimiento y rendimiento de pimiento morrón bajo condiciones de casa sombra.

2.2.1 Objetivos particulares

- Determinar los efectos del acolchado de diversos colores sobre el crecimiento y absorción de nutrientes minerales y rendimiento en plantas de pimiento morrón.
- Determinar el efecto de la temperatura media de la zona radical sobre el crecimiento y rendimiento de plantas de pimiento morrón.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales y Reactivos

3.1.1 Material genético

 Semillas de pimiento morrón variedad SWG-42.0088 y SWG-46 de la casa comercial Enza-Zaden, S.A. de C.V.

3.1.2 Materiales de Producción de Plántula

- Invernadero tipo túnel.
- Sustrato peat moss BM2 fabricado por Berger Peat Moss Ltd
- Charolas de poliestireno expandido de 200 cavidades
- Foltron Plus de la casa comercial Arista-GBM
- Raizal 400 de la casa comercial Arista-GBM
- Ácido Nítrico 55 60 % (Manuchar Internacional, S.A. de C.V.)
- Previcur (fungicida) Bayer CropScience
- Micronutrientes Rexene Mix Ultrasol SQM
- Conductivímetro portátil marca HANNA (HI 98130)

3.1.3 Materiales de fertirriego y Casa Sombra.

- Cinta de riego (T-Tape; T-Systems Intl., San Diego, Cal.) con emisores espaciados a 20 cm y un flujo de 0.98 L/H
- Película de acolchado plástico negro, plata, aluminio y blanco/negro de 1.20 m de ancho x 0.030 mm de espesor.
- Malla Sombra Cristalizada al 50% de sombreo
- Malla Antiáfido 50 x 25 hilos por pulgada²
- Nitrato de calcio (Multical) marca Haifa
- Nitrato de magnesio (Magnisal) marca Haifa
- Sulfato de potasio (Multi SOP) marca Haifa
- Poliquel multi (GBM)
- Ácido nítrico al 55% (Manuchar Internacional, S.A. de C.V.)

- FertiDrip Triple 20 (AGROformuladora Delta, S.A de C.V)
- COSMOCEL (Complejo de micronutrientes) (AGROformuladora Delta, S.A de C.V)
- FertiDrip 11-02-42 (AGROformuladora Delta, S.A de C.V)
- NKS 12-00-46 Ultrasol SQM
- Micronutrientes Rexene Mix Ultrasol SQM

3.1.4 Agroquímicos y reactivos

- Imidacloprid (inmidacrom; GBM)
- Mancozeb 80% Polvo Mojable (WP) distribuido por NUFARM
- Dicarzol 50 PS importado y distribuido por Gowan Mexicana, S.A.P.I. de C.V.
- RidomilGold 480 SL distribuido por Syngenta
- Confidor 20 LS Bayer CropScience
- Bionex de la casa comercial Arista-GBM
- Nematrol PLUS BioCampo, S.A. de C.V.
- Aceite de Neem distribuido por Mayan de México, S.A. de C.V.
- Bio Crack distribuido por BERNI LABS, S. DE R.L. (MI)
- PHC Condor (Bacillus thuringiensis) distribuido por Plant Health Care de México
- Jabón orgánico, marca Axión
- Reactivo en polvo Nitra Ver 5, marca HACH
- Reactivo FosfoVer 3 fosfato, marca HAHC
- Reactivo Potasio 1, Potasio 2 y Potasio 3, marca HAHC
- Reactivo SulfaVer 4, marca HAHC
- Ácido Nítrico 55 60 % (Manuchar Internacional, S.A. de C.V.)
- Carbón activado

3.1.5 Materiales y equipos de laboratorio.

- Cinta métrica de 3 m marca WorkForce
- Medidor de área foliar (LI-3100, LI-COR, Inc. Lincoln, Nebraska, E. U.)
- Medidor de fotosíntesis (LI-6200, LI-COR, Inc. Lincoln, Nebraska, E. U.)
- Termopares cobre constantan (0.6 mm de diámetro)

- Data logger (CR850, Campbell Scientific, Logan, Utah, USA)
- Multiplexor (AM25T, Campbell Scientific)
- Estufa de secado SNOL 20/300 LFP
- Licuadora Osterízer
- Balanza OHAUS, modelo EP413
- Espectrómetro HACH DR/2000
- Parillas eléctricas
- Vasos precipitados de 250 mL
- Vidrio reloj
- Papel Whatman No 1 y No 45

3.2 Metodología

3.2.1 Localización Geográfica del Sitio Experimental

De acuerdo a la clasificación climática realizada por Köepen, modificada por (García, 1984), el clima de Saltillo, es BSh (estepas cálido), es decir clima semidesértico, seco con bajas precipitaciones en el verano. La temperatura media anual oscila entre los 17.5°C y la precipitación media anual es de 300 a 400 mm. El tipo de suelo que presenta el campo experimental es de textura limo-arcillosa, con contenidos de arcilla (42.0%), limo (45.4%) y arena (12.0%). Es ligeramente salino, con una conductividad eléctrica de 9.7 mmhos/cm y medianamente alcalino, presentando un pH de 8.1. Se le considera medianamente rico en materia orgánica (2.38%), con contenidos pobres de nitrógeno total y potasio intercambiable, contenidos medianos de fósforo aprovechable y altos contenidos en carbonos totales, la capacidad de campo es de 28.0% y el punto de marchitez permanente de 15.2%, con una densidad aparente de 1.25 g/cm³. El agua de riego es de clase C3S1, de calidad media, apta para suelos bien drenados.

3.2.2 Preparación del terreno

La preparación del terreno se hizo en forma mecánica con las siguientes labores: barbecho, nivelación, dos pasos de rastra para desmenuzar los terrones del barbecho e inmediatamente la formación de camas, para lo anterior se utilizó un tractor y los implementos necesarios.

3.2.3 Instalación de Cubiertas Para Acolchado

Se procedió a la colocación de la cinta de riego y del acolchado en forma manual. Los plásticos se instalaron sobre la superficie del suelo formando una cama de 60 cm de exposición del plástico. Para el sistema de riego se colocaron dos cintas de riego por surco. La perforación al plástico se realizó con un tubo caliente de 2 pulgadas de diámetro. Los tratamientos evaluados fueron: acolchado color negro, plata, aluminio, blanco y el testigo sin acolchar (Cuadro 1).

Cuadro 1. Descripción de los Tratamientos con Acolchado Plástico de Diferentes Colores y dos Variedades de Pimiento Morrón bajo Condiciones de Malla Sombra.

Acolchado (A)	Descripción
APN	Acolchado Plástico Negro
APP	Acolchado Plástico Plata
APA	Acolchado Plástico Aluminio
APB	Acolchado Plástico Blanco/Negro
TES	Testigo sin acolchar
Cultivar (C)	
SWG-42	Sweet Green 42
SWG-46	Sweet Green 46

3.2.4 Producción de Plántula

El 27 de febrero de 2012 se preparó la semilla que se sembró en charolas de poliestireno de 200 cavidades utilizando sustrato *peat moss*, se depositó una semilla por cavidad y se humedeció el sustrato y posteriormente se llevaron a un invernadero y una vez que emergieron las plántulas, se distribuyeron sobre la mesa de un invernadero y se regaron a diario, cuando las plántulas desarrollaron hojas verdaderas se hicieron aplicaciones de una vez por semana de Raizal 400 y Foltrón plus. Las características del material genético utilizado se describen a continuación:

Sweet Green 46. Pimiento tipo bloque (cuadrilocular) de color verde que no cambia a otro color en su madurez, planta de alto vigor para ciclos largos en invernaderos que mantiene un cuajado de fruta muy continuo de alto sabor y alto porcentaje de grados bríx, formas cuadriloculares muy constantes de tamaños XL y L, para su empaque en cajas de 11 lbs. y/o embolsado, excelente firmeza, alta tolerancia a pudrición apical.

Sweet Green 42. Pimiento tipo bloque (cuadrilocular) de color verde que no cambia a otro color en su madurez, planta de alto vigor para ciclos largos en invernaderos que mantiene un cuajado de fruta muy continuo con alto porcentaje de grados bríx, formas cuadriloculares muy constantes de tamaños XL y L, para su empaque en cajas de 11 lbs. y/o embolsado, excelente firmeza y resistente a algunas especies de virus del bronceado del tomate (TSWV sus siglas en inglés).

3.2.5 Trasplante

El trasplante se realizó el día 20 de abril del 2012, bajo una malla antiáfido color cristal con 50% de sombreo. El marco de plantación fue de 1.8 m entre hileras, las camas fueron de 6 m de longitud con doble fila separadas a 0.30 m entre filas y 0.35 m entre plantas, la densidad de plantación fue de 3.17 plantas·m-².

3.2.6 Tutorado

Es una práctica imprescindible para mantener la planta erguida, ya que los tallos del pimiento se parten con mucha facilidad. Las plantas en invernadero son más tiernas y alcanzan una mayor altura, por ello se emplean tutores que faciliten las labores de cultivo y aumentan la ventilación. Para esta actividad se utilizaron estacones de madera, los cuales fueron enterrados para fijarlos y posteriormente se colocaron hilos de rafía horizontalmente con un espaciamiento aproximado de 10 cm entre hilos los cuales se sujetaron de los estacones para la conducción vertical del cultivo.

3.2.7 Deshierbes

La actividad de deshierbe se realizó de manera manual, principalmente en los pasillos y sobre las camas en los tratamientos testigos.

3.2.8 Control de Plagas y Enfermedades

Las aplicaciones de productos se realizaron en forma preventiva y de control con el fin de combatir las plagas y enfermedades que atacaron al cultivo, además de la aplicación de fertilizante foliar para mejorar el crecimiento de la planta. Trips (*Frankliniella occidentalis*) fue la plaga principal que se presentó. Para el control de trips durante las primeras etapas de

crecimiento se utilizó Confidor y se hicieron dos aplicaciones, posteriormente, se aplicó de manera alternada Dicarzol 50 PS, Aceite de Nim + Biocrack y jabón orgánico.

3.2.9 Riego y Fertilización

Se fertilizó con la fórmula 250-125-250-47-125-58 kg/ha de N-P-K-Ca-Mg-S, la cual fue repartida en 56 aplicaciones durante el ciclo vegetativo del cultivo (173 ddt), se aplicó a través de la cinta de riego por goteo en dos aplicaciones por semana de acuerdo a la etapa fenológica del cultivo Cuadro 2.

Cuadro 2. Aplicación de Nutrientes (kg/ha) por Etapa Fenológica en Pimiento Morrón, Cultivado en Acolchado de Diferentes Colores bajo Condiciones de Malla Sombra.

Etapa Fenológica	ddt*	N	P	K	S	CaO	MgO
Trasplante - Establecimiento a Desarrollo	0 - 45	43	43	38	9	25	12
Desde Inicio de Floración	45 - 90	100	41	100	21	50	26
Desde formación de Fruta al final de la cosecha.	90 - 150	108	41	113	16	50	20
Total	150 - 173	250	125	250	47	125	58

ddt = días después del trasplante.

Los carbonatos y bicarbonatos presentes en el agua de riego (7.8) y suelo (1.2), suman un total de 9, se procedió a neutralizar 8.5 del total, utilizando ácido nítrico 55-60% dejando 0.5 sin neutralizar para mantener la capacidad tampón del suelo hasta obtener un pH en la solución del suelo de 5.5-6, para facilitar la asimilación de los micronutrientes esenciales para el cultivo y para evitar que los elementos trazas como el aluminio puedan ser absorbidos por la planta.

3.2.10 Cosecha

Se realizó manualmente cuando los frutos presentaron un estado maduro y un color verde intenso, realizando 12 cortes durante el ciclo total del cultivo. Se contabilizó el número de frutos y se obtuvo el peso por unidad experimental.

3.2.11 Análisis de Nutrimentos

Para este análisis se tomaron las hojas de las plantas evaluadas a los 70 ddt previamente secas se molieron en una licuadora, las muestras fueron evaluadas en el laboratorio del Departamento de Plásticos en la Agricultura del CIQA. A partir de este material, se procedió a determinar la concentración de N, P, K⁺, Mg⁺⁺, S⁻⁻, Cu, Fe, Zn y Mn.

El nitrógeno se evaluó como NO₃ usando la técnica de extracto acuoso con el reactivo en polvo Nitra Ver 5, que detecta un rango de 0-1.5% en base a una modificación del método de reducción de cadmio usando ácido gentísico en lugar de 1-naftilamina; el equipo que se utilizó fue el espectrofotómetro modelo HACH DR/2000.

El fósforo (PO₄³-P) se analizó con el método de acido ascórbico, usando el reactivo FosfoVer 3 fosfato, usando un espectofotometro UV Génesis a 890 nm para su lectura. El rango de detección es de 0-400%.

Este método consiste en la aparición de un color azul si hay fosforo y está libre de las inferencias habituales, el indicador esta combinado con el acido ascórbico, como agente reductor en una formulación denominado FosfoVer 3 fosfato.

El indicador es molibdato sódico que forma un complejo con el ion fosfato. El complejo es reducido a las especies heteropoles azules. La intensidad del color formado es proporcional a la cantidad de fosfato en la muestra.

El potasio (K) se analizó con el método de tetrafenilborato con los reactivos de Potasio 1, Potasio 2 y Potasio 3 en un espectrofotómetro UV Génesis a 890 nm para su lectura. El potasio reacciona con el tetrafenilborato de sodio para formar tetrafenilborato de potasio, un precipitado blanco. El aumento de la turbidez se mide para determinar la concentración de potasio. El tetrafenilborato de sodio se suministra en el reactivo Potasio 3. Las sales de amonio, magnesio y calcio interfieren en la precipitación y los reactivos Potasio 1 y Potasio 2 previenen estas interferencias. Este método tiene una sensibilidad de 0 a 7% de potasio.

<u>Sulfuro</u>, <u>sulfato</u> (SO₄²⁻-S) para determinar su concentración se utilizó el método de extracto acuoso con el reactivo SulfaVer 4 para determinar el azufre como sulfuro, sulfato SO₄²⁻-S en un rango de 0-0.45% en el espectofotometro HACH DR/2000.

Los iones sulfatos de la muestra reaccionan con el bario del reactivo SulfaVer 4 formando una turbidez del sulfato de bario insoluble. La cantidad de turbidez formada es proporcional a la concentración de sulfato.

Concentración de metales. Al finalizar el experimento se determinó el contenido de Mg, Cu, Mn, Fe y Zn en hojas de pimiento de dos plantas por tratamiento; que consistió en pesar 1g de la muestra; previamente secada y molida, para posteriormente realizar la digestión de los tejidos con ácido nítrico, por espectrofotometría de emisión atómica, modelo IRIS ADVANGE, marca THERMO JARREL ASH.

3.2.12 Variables evaluadas

Se realizaron en total tres muestreos destructivos para las variables evaluadas a los 40 días después del trasplante (ddt) 55 ddt y 70 ddt, el muestreo consistió en tomar área foliar y biomasa de planta.

<u>Área foliar</u>. Esta variable fue determinada con el medidor de área foliar. Consiste en pasar las hojas de las plantas por el medidor, para posteriormente obtener los resultados en cm².

Biomasa planta. Esta variable se determinó, tomando las hojas y tallos de las plantas, secadas en una estufa a una temperatura constante de 70°C por 48 hrs. Después de secadas las muestras se pesaron en una balanza electrónica, expresando los resultados en g·planta⁻¹.

Altura de planta. Consistió en medir la altura de la planta utilizando una cinta métrica.

Temperatura del suelo. Se determinó por la medición de la temperatura a 10 cm de profundidad del acolchado plástico y de la superficie del suelo. La temperatura del suelo durante la estación de crecimiento se midió con termopares cobre constantan (0.6 mm de diámetro) conectados a un data logger (CR850; Campbell Scientific, Logan, Utah, USA) conectado a un multiplexor (AM25T; Campbell Scientific). El data logger se programó para registrar temperatura cada 10 segundos y almacenarlas en promedio cada día para tres repeticiones en cada tratamiento al suelo considerando la acumulación de temperatura media.

Se determinaron unidades de calor mediante la fórmula:

$$\sum UC = \frac{\left(TSMax + TSMin\right)}{2} - Tbase$$

Donde:

TS Máx y TS Mín son temperaturas de suelo máxima y mínima respectivamente.

Se consideró temperatura base 10°C. La determinación de las unidades calor se hizo durante los primeros 70 días del ciclo del cultivo.

Mediciones Fisiológicas. Para medir el grado de modificación provocado por el acolchado plástico, las variables fisiológicas se midieron entre las 11:00 y 15:00 horas en la cuarta hoja en dirección basípeta, las mediciones fueron: radiación fotosintéticamente activa (μmol·m⁻²·seg⁻¹), temperatura de aire (°C), temperatura de hoja (°C), concentración de CO₂ ambiental (ppm), humedad relativa (%), tasa fotosintética unitaria (μmol·CO₂·m⁻²·seg⁻¹), contenido de CO₂ intercelular (ppm), conductancia estomática (cm·s⁻¹) y tasa transpiratória unitaria (μmol·H₂O·m⁻²·seg⁻¹). Estas variables se midieron en tres fechas: 40, 55, y 70 ddt. Las mediciones fueron hechas, con un aparato portátil de fotosíntesis, LI-6200 (LI-COR, Inc. Lincoln, Nebraska, E. U.).

3.2.13 Diseño Experimental

El diseño experimental que se utilizó fue bloques al azar con arreglo en parcelas divididas donde la parcela principal fueron los acolchados plásticos y las subparcelas fueron las variedades o genotipos. El modelo estadístico de este diseño es el siguiente.

$$Y_{ijk} = \mu + \rho_i + \alpha_j + E_{ij} + \beta_k + (\rho\beta)_{ik} + E_{ijk}$$

Donde:

 μ = Media general del experimento

 ρ_i = Efecto principal de la parcela

 α_i = Efecto de la repetición

 E_{ii} = Error experimental de la parcela principal

 β_k = Efecto del factor subparcela (β)

 $(\rho\beta)_{ik}$ = Interacción entre la parcela principal y la subparcela

 E_{ijk} = Error experimental asociado con la subparcela

Los datos fueron analizados usando el SAS 9.2, PROC GLM (SAS Inst., Cary, North Carolina, EU).

En aquellos casos en que el análisis de varianza indicó que al menos un tratamiento fue distinto de los otros en cuanto a los resultados ($P \le 0.05$), se realizó una comparación de medias mediante la prueba de Tukey, comparando todos los tratamientos entre sí, con una probabilidad de error de 5%.

<u>Prueba de Tukey</u>: El procedimiento es calcular un valor de DMS de acuerdo con la ecuación:

DMSH =
$$q_{(\alpha, t, g.l.)} S_{\overline{X}}$$

Donde

$$q_{(\alpha,t,g.l.)}$$

Es un valor tabular de Tukey, que se encuentra en los cuadros con el número de tratamiento (t), los g. l. del error y el nivel de significancia (α) apropiado.

$$S_{\overline{x}} = \sqrt{\frac{CM(error)}{r}}$$

Error estándar de la media.

Modelos de regresión: La selección entre algunas variables se hizo mediante análisis de regresión lineal y cuadrática para analizar la relación existente entre algunas variables.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Temperatura de la Zona Radical

4.1.1 Temperatura Mínima

En acuerdo con los análisis estadísticos sobre la temperatura mínima de la zona radical (TZR), tomadas a 10 cm de profundidad, en las películas para acolchado plástico, se obtuvieron diferencias significativas en los muestreos realizados a los 40, 55 y 70 ddt y en el valor promedio (Cuadro 3). A los 40 ddt, se observa que la mayor TZR mínima se obtuvo en el acolchado plástico negro, seguido por el acolchado blanco, el acolchado plástico plata y aluminio tuvieron un comportamiento similar. A los 55 y 70 ddt los tratamientos acolchados tuvieron un comportamiento estadísticamente similar, sin embargo, en los tres muestreos efectuados, la TZR mínima más baja se obtuvo en suelo desnudo. En el valor promedio, la mayor TZR mínima se registró en el acolchado plástico negro, seguidos de los tratamientos de acolchado blanco, plata y aluminio que tuvieron un comportamiento estadísticamente similar. La TZR mínima entre los cultivares fue estadísticamente similar en los tres muestreos efectuados así como en el valor promedio. La interacción entre cultivares y el color de las películas para acolchado plástico no mostró significancia estadística de acuerdo con los datos presentados en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Temperatura Mínima de la Zona Radical en el Cultivo de Pimiento Morrón con Acolchado de Diversos Colores, Ciclo Primavera-Verano-Otoño de 2012.

Acolchado (A)	40 ddt	55 ddt	70 ddt	Promedio
APN	23.63 a	23.85 a	22.48 a	23.32 a
APB	23.23 b	23.48 a	22.18 a	22.97 b
APA	22.94 c	23.46 a	22.33 a	22.91 b
APP	23.02 c	23.48 a	22.49 a	23.00 b
TES	20.53 d	20.79 b	19.51 b	20.28 c
Cultivar (C)				
SWG-42	22.69 a	22.91 a	21.905 a	22.505 a
SWG-46	22.66 a	23.11 a	21.698 a	22. 488 a
Significancia				
Acolchado	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Cultivares	0.2920	0.2048	0.0961	0.6761
A x C	0.4080	0.8671	0.8370	0.3808

Tratamientos con la misma literal no difieren entre sí, Tukey $P \le 0.05$. ddt - días después del trasplante.

La tendencia de TZR mínima durante el periodo de muestreo se observa en la Figura 1. La mayor TZR mínima se obtuvo al inicio del cultivo, posteriormente mostró una tendencia reductiva durante el periodo de muestreo, excepto a los 60 ddt donde se aprecia que la TZR mínima tendió a incrementase, esto quizá pudo deberse a que la temperatura ambiental dentro de la malla sombra fue superior en dicho periodo, sin embargo, la TZR mínima nuevamente tendió a disminuir a los 70 ddt.

Las mayores diferencias de temperatura entre los tratamientos al suelo se obtuvieron durante los primeros 40 ddt del cultivo de acuerdo con la tendencia que se muestra en la Figura 1 y Cuadro 3, posteriormente los tratamientos de acolchado tendieron a presentar una TZR mínima similar, donde quizá se empezó a perder el efecto del color del acolchado plástico sobre la temperatura del suelo, esto posiblemente se debió a que durante los primeros 40 ddt, las plantas tuvieron menor cobertura, ocasionando un mayor calentamiento en los tratamientos con cubierta plástica.

Los resultados obtenidos en el presente estudio concuerdan con los obtenidos por Ham y Kluitenberg (1994); Lamont (2005), quienes reportaron que las temperaturas más altas se obtuvieron en los acolchados obscuros (negro), al igual que en este estudio y menores temperaturas se obtuvieron en los acolchados claros (blanco y plata), pero menores valores se presentaron en el testigo, análogas semejanzas son reportadas por Locher y colaboradores (2005); Roberts y Anderson (1994); Siwek y colaboradores (1994).

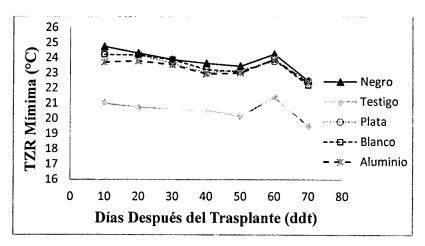


Figura 1: Comportamiento de la temperatura mínima de la zona radical (TZR) durante los primeros 70 días después del trasplante del cultivo de pimiento morrón.

4.1.2 Temperatura Máxima

El color de las películas de acolchado plástico, tuvo un efecto significativo sobre la TZR máxima en los muestreos realizados a los 40, 55 y 70 ddt (Cuadro 4). A los 40 y 55 ddt, se observa que el valor más alto de TZR máxima se registró en el acolchado plástico negro, seguido por el acolchado blanco, el color plata y aluminio tuvieron un comportamiento similar, la TZR más baja se registró en suelo desnudo. A los 70 ddt los mayores valores de TZR máxima se obtuvieron en los tratamientos de acolchado plástico negro y blanco, seguidos por los acolchados plata y aluminio que registraron una temperatura similar, la TZR máxima más baja se obtuvo en suelo desnudo. Los valores promedio más altos de TZR se obtuvieron en los tratamientos de acolchado plástico negro, seguido por el blanco, los colores plata y aluminio tuvieron una TZR máxima similar y el testigo presentó el menor valor. El efecto de los cultivares en la TZR máxima tuvo un comportamiento similar en los tres muestreos efectuados así como en el valor promedio. La interacción entre cultivares y el color de las películas para acolchado plástico no mostró significancia en las etapas de medición de TZR máxima del suelo (Cuadro 4).

Cuadro 4. Temperatura Máxima de la Zona Radical en el Cultivo de Pimiento Morrón con Acolchado de Diversos Colores, Ciclo Primavera-Verano-Otoño de 2012.

Acolchado (A)	40 ddt	55 ddt	70 ddt	Promedio
APN	29.97 a	30.51 a	29.97 a	30.15 a
APB	29.52 b	29.86 b	29.74 a	29.70 b
APA	29.00 c	29.10 с	28.95 b	29.01 c
APP	29.24 bc	29.32 с	29.11 b	29.23 с
TES	25.46 d	25.89 d	25.65 с	25.67 d
Cultivar (C)				
SWG-42	28.55 a	28.944 a	28.70 a	28.733 a
SWG-46	28.72 a	28.935 a	28.68 a	28.778 a
Significancia				
Acolchado	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Cultivares	0.0673	0.9149	0.7181	0.3363
ΑxC	0.7900	0.5085	0.6683	0.9969

Tratamientos con la misma literal no difieren entre sí, Tukey $P \le 0.05$. ddt - días después del trasplante.

La tendencia de TZR a través del tiempo tuvo un comportamiento similar a la TZR mínima, lo anterior puede deducirse de las Figuras 1 y 2. Los resultados obtenidos en el presente estudio, son similares a los obtenidos por Knavel y Mohr (1967); Brault y

colaboradores (2002) quienes reportaron que el acolchado plástico de diversos colores incrementa la TZR, al igual que en el presente estudio. Wien y Minotti (1987) también reportaron un aumento en la TZR y mencionan que el aumento de la temperatura, es uno de los principales beneficios asociados al uso de las películas de acolchado, sin embargo, es sabido que la TZR por encima del nivel óptimo puede tener efectos negativos sobre el cultivo de tomate (Díaz-Pérez, 2002), lo que no sucedió en el presente estudio con pimiento morrón.

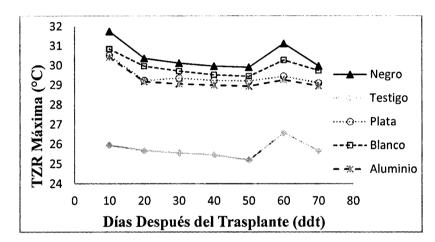


Figura 2. Comportamiento de la temperatura máxima de zona radical (TZR) durante los primeros 70 días después del trasplante del cultivo de pimiento morrón.

4.1.3 Temperatura Media

El color de las películas para acolchado plástico tuvo un efecto significativo sobre la TZR media de acuerdo a los análisis estadísticos en los muestreos realizados a los 40, 55 y 70 ddt y en el valor promedio (Cuadro 5). A los 40 ddt y en el valor promedio, se observa que los mayores valores de TZR se obtuvieron en el acolchado plástico negro, seguido del acolchado blanco y plata que tuvieron una respuesta similar, seguidos por el aluminio, los valores más bajos de TZR media se obtuvieron en el tratamiento testigo.

A los 55 y 70 ddt, los valores más altos de TZR media se obtuvieron en el acolchado plástico negro, seguido de los acolchados blanco, aluminio y plata los cuales fueron estadísticamente similares. Los cultivares tuvieron un comportamiento estadísticamente similar en la TZR media al igual que en la TZR máxima y mínima de suelo. En la interacción entre los colores de acolchado plástico y cultivares no se encontraron diferencias significativamente diferentes en la TZR media (Cuadro 5).

Cuadro 5. Temperatura Media de la Zona Radical del Cultivo de Pimiento Morrón con Acolchado de Diversos Colores. Ciclo Primavera-Verano-Otoño de 2012.

Acolchado (A)	40 ddt	55 ddt	70 ddt	Promedio
APN	26.01 a	26.14 a	25.43 a	25.86 a
APB	25.65 b	25.84 b	25.14 b	25.55 b
APA	25.39 с	25.82 b	25.05 b	25.37 с
APP	25.76 b	25.67 b	25.17 b	25.59 b
TES	23.00 d	22.58 c	22.06 c	22.55 d
Cultivar (C)				
SWG-42	25.15 a	25.22 a	24.58 a	24.96 a
SWG-46	25.18 a	25.21 a	24.56 a	24.98 a
Significancia				
Acolchado	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Cultivares	0.4333	0.7788	0.4535	1.0000
AxC	0.9097	0.5773	0.6214	0.2096

Tratamientos con la misma literal no difieren entre sí, Tukey $P \le 0.05$. ddt - días después del trasplante.

La tendencia de la TZR media del suelo por efecto del color de las películas para acolchado plástico se muestra en la Figura 3. La tendencia de TZR media fue similar, al de TZR máxima y mínima durante el periodo de muestreo.

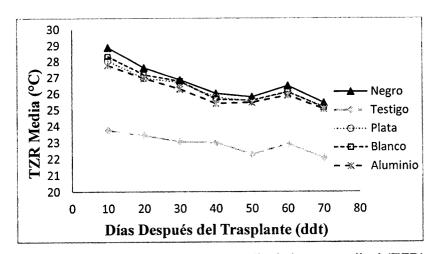


Figura 3: Comportamiento de la temperatura media de la zona radical (TZR) durante los primeros 70 días después del trasplante del cultivo de pimiento morrón.

Los resultados encontrados en el presente estudio, coinciden con los resultados obtenidos por Liakatas y colaboradores (1986) y Tarara (2000) ellos reportaron que con el uso de acolchado plástico se altera el balance de energía, generando una aumento en la

temperatura de la zona radical, esto mismo fue posible observar con el uso de acolchados plásticos en el presente estudio. Lamont (2005) y Tarara (2000) reportan que los valores más altos de TZR media se presentaron en el acolchado plástico negro en comparación con los acolchados blanco y plata, seguidos por el color aluminio, y los valores más bajos se registraron en el testigo, esa misma tendencia fue posible observar en el presente estudio.

4.2 Unidades Calor

En el presente estudio se determinaron unidades calor (Cuadro 6) para tratar de relacionarlas con producción de masa seca, área foliar y rendimiento. Sin embargo, la mejor predictora de dichas variables fue la temperatura media de la zona radical. Resultados similares a los del presente estudio con relación a la temperatura media de la zona radical han sido encontrados por (Díaz-Pérez, 2009), quien menciona que la temperatura media es la mejor predictora del rendimiento en relación con unidades calor. Sin embargo, Ibarra y colaboradores, (2001) encontraron que el rendimiento temprano y total en melón puede ser predicho con la acumulación de grados días suelo empleando un modelo de regresión lineal simple.

Cuadro 6. Acumulación de Unidades Calor en el Cultivo de Pimiento Morrón con Acolchado Plástico de Diversos Colores, Ciclo Primavera-Verano-Otoño de 2012.

Acolchado (A)	40 ddt	55 ddt	70 ddt	Total	Promedio
APN	17.34 a	17.18 a	16.23 a	119.97 a	17.14 a
APB	16.94 b	16.67 b	15.96 ab	117.08 b	16.72 b
APA	16.46 c	16.28 c	15.64 b	114.03 d	16.29 d
APP	16.68 bc	16.40 c	15.80 ab	115.33 с	16.48 c
TES	13.19 d	13.34 d	12.59 c	92.05 e	13.15 e
Cultivar (C)					
SWG-42	16.13 a	15.93 a	15.17 a	111.54 a	15.93 a
SWG-46	16.12 b	16.03 a	15.32 a	111.85 a	15.98 a
Significancia					
Acolchado	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Cultivares	0.8034	0.1830	0.8680	0.1313	0.1400
A x C	0.4423	0.1483	0.4634	0.3212	0.3519

Tratamientos con la misma literal no difieren entre sí, Tukey $P \le 0.05$. ddt - días después del trasplante.

Al igual que la TZR mínima, máxima y media, las unidades calor tuvieron una tendencia general similar a disminuir (Figura 4). Aumentos en la cantidad de unidades calor

por efecto de acolchado han sido obtenidos por Nguagio y Ernest (2005) en el cultivo de pepino, quienes indican que con el uso de acolchado plástico de diversos colores se obtiene una mayor acumulación de grados días suelo, al igual que en el presente estudio, puesto que los acolchados plásticos afectan directamente el microclima en el entorno de la planta modificando además el flujo de calor en el suelo, de la zona de mayor concentración a la de menor concentración, prevaleciendo el mayor calor en suelo acolchado que en suelo sin protección plástica, resultados similares con relación a mayor temperatura de suelo son mencionados por (Jenni y colaboradores, 2000; Orzolek, 2000; Orzolek y colaboradoes, 2003; El-Nemr, 2006; Korir y colaboradores, 2006).

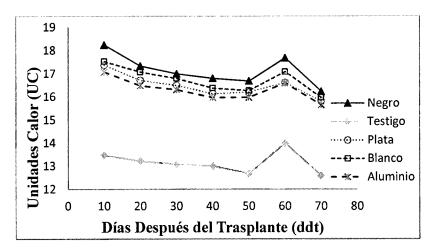


Figura 4. Unidades calor acumuladas durante los primeros 70 días después del trasplante del cultivo de pimiento morrón.

4.3 Área Foliar

El color de las películas para acolchado plástico, generó un efecto significativo sobre el área foliar de las plantas en los muestreos realizados a los 40, 55, 70 ddt y en el valor promedio. Los mayores valores de área foliar a los 40, 55 ddt y en el valor promedio, se obtuvieron en los acolchados negro, blanco, aluminio y plata con valores promedio de 2567.5 cm², 5361.8 cm² y 5298.2 cm², el testigo promedió los menores valores con 1232.0 cm², 3696.7 cm² y 3540.5 cm², respectivamente; los tratamientos de acolchado plástico negro, blanco, plata y aluminio resultaron estadísticamente similares (Cuadro 7). A los 70 ddt, los mayores valores de área foliar se obtuvieron en los tratamientos de acolchados pero solo el acolchado blanco tuvo un efecto superior al testigo (Cuadro 7).

Los cultivares tuvieron un efecto significativamente diferente a los 70 ddt y en el valor promedio, dicha información nos indica que los cultivares tuvieron una expresión diferente en la expresión de área foliar. A los 70 ddt, la mayor cantidad de área foliar se obtuvo en el cultivar SWG-46 con 8077.2 cm² vs 6945.0 cm² obtenidos en el cultivar SWG-42, así mismo la mayor cantidad de área foliar en el valor promedio se obtuvo en el cultivar SWG-46 con 6945.0 cm² vs 5522.1 cm² obtenidos en el cultivar SWG-42 (Cuadro 7). La interacción entre las películas de acolchado y cultivares no fue significativa.

Cuadro 7. Área Foliar del Cultivo de Pimiento Morrón con Acolchado de Diversos Colores, Ciclo Primavera-Verano-Otoño de 2012.

Acolchado (A)	40 ddt	55 ddt	70 ddt	Promedio
APN	2574.2 a	5277.8 a	8031.3 ab	5294.5 a
APB	2831.2 a	6034.3 a	8285.3 a	5716.8 a
APA	2386.5 a	5106.2 a	8042.7 ab	5178.3 a
APP	2478.0 a	5028.8 a	7502.8 ab	5003.2 a
TES	1232.0 b	3696.7 b	5693.3 b	3540.5 b
Cultivar (C)				
SWG-42	2242.4 a	4926.6 a	6945.0 b	4671.3 b
SWG-46	2358.3 a	5130.9 a	8077.2 a	5522.1 a
Significancia				
Acolchado	0.0126	0.1499	0.0210	0.0011
Cultivares	0.3840	0.1207	0.0433	0.0297
A x C	0.9373	0.2900	0.9162	0.7708

Tratamientos con la misma literal no difieren entre sí, Tukey $P \le 0.05$. ddt - días después del trasplante.

El crecimiento del cultivo determinado en base a mediciones de área foliar en función de la TZR media durante los primeros 40 y 55 ddt se observa en las Figuras 5 y 6, donde se puede apreciar que la TZR se relacionó en parte linealmente con el área foliar en ambos cultivares con valores de R²=0.92 para el cultivar SWG-46 y R²=0.87 para el cultivar SWG-42 a los 40 ddt y con valores de R²= 0.93 para el cultivar SWG-42 y R²=0.49 para el cultivar SWG-46 a los 55 ddt. A los 70 ddt, no se encontró relación alguna entre los valores de TZR media con el área foliar del cultivo, posiblemente debido a que en este periodo de muestreo, la TZR por efecto de los acolchado tendió a ser similar por una mayor cobertura del follaje sobre las camas de siembra.

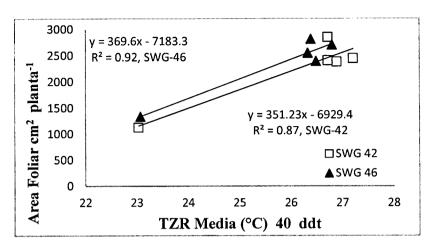


Figura 5: Comportamiento del área foliar (AF) a los 40 ddt del cultivo de pimiento morrón en función de la temperatura media de la zona radical (TZR). Cada símbolo representa el promedio de tres repeticiones en cada tratamiento de acolchado.

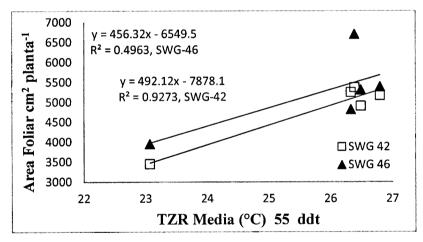


Figura 6. Comportamiento del área foliar (AF) a los 55 ddt del cultivo de pimiento morrón en función de la temperatura media de la zona radical (TZR). Cada símbolo representa el promedio de tres repeticiones en cada tratamiento de acolchado.

Los resultados de área foliar obtenidos en este estudio concuerdan con los obtenidos por Díaz-Pérez y Batal en tomate (2002), Díaz-Pérez en tomatillo (2005), Díaz-Pérez en pimiento (2010) quienes reportaron que al utilizar acolchado plástico de colores se obtuvieron mayores valores de área foliar al igual que en el presente estudio; el color de las películas para acolchado plástico afectó positivamente la TZR y la disponibilidad de nutrientes para las

plantas y la humedad del suelo, lo cual permitió una mayor producción de superficie foliar en comparación con los cultivos sin acolchar.

4.4 Biomasa de Planta

El color de las películas de acolchado plástico generó un efecto significativo sobre la producción de masa seca por planta en los muestreos realizados a los 40, 55 ddt y en el valor promedio pero no a los 70 ddt (Cuadro 8). A los 40 ddt se observa que la mayor producción de biomasa se produjo en los tratamientos de acolchado plástico, los cuales mostraron un comportamiento estadísticamente similar, con un valor promedio de 16.67 g·planta⁻¹ y el testigo registró el menor valor promedio con 8.26 g·planta⁻¹. A los 55 ddt y en el valor promedio, la mayor cantidad de masa seca por planta se obtuvo en los tratamientos de acolchado los cuales fueron estadísticamente similares, el acolchado plata y el testigo registraron una producción de masa seca similar.

Cuadro 8. Biomasa de Plantas de Pimiento Morrón con Acolchado Plástico de Diversos Colores, Ciclo Primavera-Verano-Otoño de 2012.

Acolchado (A)	40 ddt	55 ddt	70 ddt	Promedio
APN	17.10 a	40.52 a	59.48	39.02 a
APB	17.88 a	45.53 a	63.13	42.16 a
APA	15.78 a	41.68 a	60.13	39.20 a
APP	15.90 a	37.77 ab	54.43	36.03 ab
TES	8.26 b	26.07 b	44.50	27.28 b
Cultivar (C)				
SWG-42	15.026 a	37.92 a	54.43 a	36.125 a
SWG-46	14.946 a	39.91 a	58.24 a	37.359 a
Significancia				
Acolchado	0.0119	0.0127	0.0617	0.0004
Cultivares	0.9240	0.3664	0.3090	0.2895
AxC	0.8540	0.4425	0.8730	0.6469

Tratamientos con la misma literal no difieren entre sí, Tukey $P \le 0.05$. ddt - días después del trasplante.

La producción de biomasa de los cultivares evaluados en el presente estudio, resultó estadísticamente similar en los tres muestreos realizados así como en el valor promedio. La interacción entre los cultivares y el color de las películas para acolchado plástico tampoco mostró significancia estadística alguna de acuerdo con los datos presentados en el Cuadro 8.

La tendencia de la producción de biomasa por efecto de la TZR media del acolchado plástico y suelo desnudo durante el periodo de muestreo se observa en las Figuras 7 y 8. La TZR media a los 40 y 55 ddt se relacionó de manera lineal en parte con la producción de masa seca por planta en ambos cultivares. El uso de malla sombra posiblemente permitió obtener condiciones favorables para el cultivo, ya que las temperaturas registrada en el presente estudio no tuvieron efecto negativo alguno sobre la producción de biomasa de planta.

Los resultados obtenidos en el presente estudio son consistentes con los obtenidos por (Decoteau y colaboradores, 1989, tomate; Díaz-Pérez, 2010, pimiento), quienes reportan que con el uso de acolchado plástico de colores se incrementa la temperatura del suelo, produciendo una mayor cantidad de biomasa, altura de planta y diámetro de tallo en las plantas.

Resultados similares a los del presente estudio, son reportados por Farias-Larios y Orozco-Santos (1997), sandia, y Rubeiz y Freiwat (1995), tomate, quienes encontraron que el uso de acolchado plástico resulta en un mayor crecimiento de las plantas, sin embargo Schwarz y colaboradores (2010) y López-Marín y colaboradores (2011) reportan que los altos niveles de TZR pueden tener efectos negativos sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos, en el presente estudio eso no ocurrió, seguramente como consecuencia de que la TZR media bajo condiciones de malla sombra no rebasó los valores óptimos de temperatura, como sucede en cultivos establecidos a campo abierto.

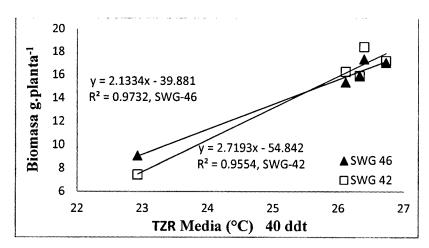


Figura 7. Relación entre biomasa de planta y la temperatura media de la zona radical (TZR). A los 40 ddt. Cada símbolo representa el promedio de tres repeticiones en cada tratamiento de acolchado.

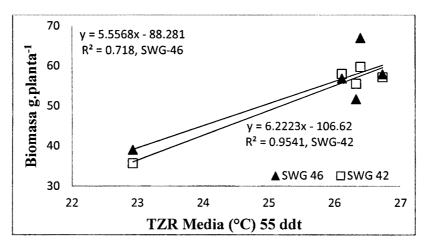


Figura 8: Relación entre biomasa de planta y temperatura media de la zona radical (TZR). A los 55 ddt. Cada símbolo representa el promedio de tres repeticiones en cada tratamiento.

4.5 Altura de planta

El color de las películas para acolchado plástico evaluadas en el presente estudio no mostró efecto significativo sobre la altura de las plantas en los muestreos realizados a los 40, 55, 70 ddt y en el promedio (Cuadro 9). Los cultivares incluidos en este estudio registraron una altura de planta estadísticamente similar a los 40 y 55 ddt, sin embargo, a los 70 ddt y en el valor promedio, la mayor altura de planta se obtuvo en el cultivar SWG-46 en comparación al cultivar SWG-42.

Cuadro 9. Altura de Plantas en Dos Cultivares de Pimiento Morrón con Acolchado Plástico de Diversos Colores, Ciclo Primavera-Verano-Otoño de 2012.

Acolchado (A)	40 ddt	55 ddt	70 ddt	Promedio
APN	55.50	76.50	90.67	74.16
APB	53.83	78.33	99.33	77.33
APA	52.67	76.00	96.67	75.16
APP	52.83	74.67	95.67	74.50
TES	41.83	67.00	89.67	66.17
Cultivar (C)				
SWG-42	51.00 a	72.93 a	90.93 b	71.67 b
SWG-46	51.67 a	76.07 a	97.87 a	75.27 a
Significancia				
Acolchado	0.080	0.178	0.343	0.186
Cultivares	0.565	0.070	0.005	0.006
A x C	0.573	0.321	0.534	0.572

Tratamientos con la misma literal no difieren entre sí, Tukey $P \le 0.05$. ddt - días después del trasplante. Longitud expresada en cm.

En acuerdo con las apreciaciones visuales, esa misma tendencia se observó después de este periodo de muestreo. La interacción entre los cultivares y el color de las películas para acolchado plástico no mostró significancia estadística en los tres muestreos realizados ni en el valor promedio (Cuadro 9). La altura de las plantas no se relacionó con los valores de TZR media, es posible que para el crecimiento de las plantas puedan estar influyendo otros factores distintos a la temperatura del suelo, sin embargo, numéricamente los tratamientos acolchados mostraron una mayor altura de planta que el tratamiento testigo en los tres muestreos efectuados y en el valor promedio.

Los resultados obtenidos en el presente estudio, no concuerdan con los obtenidos por Díaz-Pérez (2010) quien encontró que las mejores condiciones de altura de las plantas de pimiento morrón se obtuvieron en el acolchado plata y que la altura de la planta se disminuyó en el acolchado plástico negro donde se registraron los mayores valores de TZR media. En este estudio, no se descarta la posibilidad de que haya sido necesario evaluar un mayor número de variables microclimáticas dentro de la malla sombra para una mejor interpretación de la variable altura de planta ya que numéricamente los tratamientos acolchados presentan mayores valores de altura que el testigo.

4.6 Variables Fisiológicas

El factor acolchado plástico no mostró significancia estadística en las variables de fotosíntesis, conductancia estomática y transpiración en los muestreos realizados a los 40, 55 y 70 ddt (Cuadros 10, 11 y 12). Las variables radiación fotosintéticamente activa (RFA), temperatura de hoja, CO₂ ambiental y contenido intercelular de CO₂, tampoco mostraron significancia estadística (datos no mostrados). La TZR media influyó sobre área foliar, biomasa de planta y rendimiento, sin embargo, las variables fisiológicas no respondieron a la TZR media por efecto del color del acolchado plástico en los tres muestreos realizados. La interacción entre los cultivares y el color de las películas de acolchado plástico tampoco mostró significancia estadística de acuerdo con los datos presentados en los Cuadros 10, 11 y 12. Los resultados obtenidos en el presente estudio son similares a los obtenidos por Díaz-Pérez (2010) quien encontró que las variables fisiológicas no fueron afectadas de manera significativa por el uso de acolchado plástico en plantas de pimiento morrón. Sin embargo, los resultados obtenidos en esta investigación, difieren de los obtenidos por Liang y colaboradores (2011) quienes

encontraron que con el uso de acolchado plástico en plantas de pimiento morrón se incrementa la tasa de fotosíntesis neta, conductancia estomática, concentración de CO2 intracelular y la tasa de transpiración. Los cultivares mostraron una respuesta estadísticamente similar en los muestreos realizados a los 40 y 55 ddt (Cuadros 10 y 11), sin embargo, a los 70 ddt tuvieron un efecto significativamente diferente en fotosíntesis unitaria, el mayor valor de fotosíntesis se obtuvo en el cultivar SWG-46 con un valor promedio de 13.32 μmol CO₂·m-²·s-¹ vs 11.05 μmol CO₂·m-²·s-¹ obtenidos por el cultivar SWG-42 (Cuadro 12). Estos resultados coinciden con los obtenidos por Juan-Juan y colaboradores (2012) quienes reportan que la capacidad fotosintética de plantas de pimiento durante las etapas de crecimiento y fructificación varía entre cultivares y también depende de otros factores como, zonas geográficas, estaciones de cultivo, prácticas agrícolas, humedad del suelo y una relación adecuada entre los niveles de sombreo y radiación solar. Shuting y colaboradores (1997), Ashraf y Bashir (2003) y Zou y colaboradores (2007) encontraron que los cultivares con un mayor rendimiento, permiten una mayor tasa fotosintética, estos resultados coinciden en parte con los obtenidos en el presente estudio, donde se encontró que el cultivar SWG-46 que registró la mayor tasa de fotosíntesis unitaria (Cuadro 12) también registró un mayor rendimiento total, Cuadro 14. Sin embargo, esto sucedió con un solo punto de muestreo de la variable fotosíntesis.

Cuadro 10. Fotosíntesis, Conductancia Estomática y Transpiración a los 40 ddt en Cultivo de Pimiento Morrón con Acolchado Plástico de Diversos Colores, Ciclo Primavera-Verano-Otoño de 2012.

Acolchado (A)	Fotosíntesis µmol CO ₂ ·m ⁻² ·s ⁻¹	CE cm·s ⁻¹	Transpiración μgH2O·m ⁻² ·s ⁻¹
APN	10.53	0.81	10.76
APB	10.52	0.86	12.66
APA	10.96	0.79	12.42
APP	9.95	0.81	11.20
TES	14.75	0.99	13.96
Cultivar (C)			
SWG-42	11.260	0.813	11.780
SWG-46	11.424	0.880	12.610
Significancia			
Acolchado	0.194	0.949	0.660
Cultivares	0.893	0.645	0.501
A x C	0.638	0.542	0.801

Tratamientos con la misma literal no difieren entre sí, Tukey $P \le 0.05$. Conductancia estomática (CE).

Cuadro 11. Fotosíntesis, Conductancia Estomática y Transpiración a los 55 ddt en Cultivo de Pimiento Morrón con Acolchado Plástico de Diversos Colores, Ciclo Primavera-Verano-Otoño de 2012.

Acolchado (A)	Fotosíntesis µmol CO ₂ ·m ⁻² ·s ⁻¹	CE cm·s ⁻¹	Transpiración μgH2O m ⁻² ·s ⁻¹
APN	13.84	3.50	16.41
APB	12.26	4.21	17.79
APA	12.37	3.37	16.16
APP	14.06	3.14	17.32
TES	12.63	3.05	16.35
Cultivar (C)			
SWG-42	12.708	3.2480	16.536
SWG-46	13.352	3.6580	17.072
Significancia			
Acolchado	0.7766	0.1801	0.7012
Cultivares	0.5537	0.0408	0.3799
ΑxC	0.5510	0.2472	0.7032

Tratamientos con la misma literal no difieren entre sí, Tukey $P \le 0.05$. Conductancia estomática (CE).

Cuadro 12. Fotosíntesis, Conductancia Estomática y Transpiración a los 70 ddt en Cultivo de Pimiento Morrón con Acolchado Plástico de Diversos Colores, Ciclo Primavera-Verano-Otoño de 2012.

Acolchado (A)	Fotosíntesis µmol CO ₂ ·m ⁻² ·s ⁻¹	CE cm·s ⁻¹	Transpiración μgH2O m ⁻² ·s ⁻¹
APN	13.45	3.65	14.63
APB	12.59	3.95	15.85
APA	13.39	3.08	13.87
APP	9.95	2.94	13.11
TES	11.54	2.98	13.25
Cultivar (C)			
SWG-42	11.05 b	3.087	13.580
SWG-46	13.32 a	3.550	14.692
Significancia			
Acolchado	0.2286	0.4655	0.2809
Cultivares	0.0004	0.0969	0.0931
ΑxC	0.0339	0.0487	0.0456

Tratamientos con la misma literal no difieren entre sí, Tukey $P \le 0.05$. Conductancia estomática (CE).

4.7 Análisis de Nutrimentos en Hoja

La concentración de nutrientes minerales en hojas de plantas de pimiento morrón, no presentó diferencias significativas para el factor acolchado plástico en el único muestreo realizado a los

70 ddt. La interacción entre los cultivares con el color de las películas de acolchado plástico tampoco mostró significancia estadística alguna de acuerdo a los resultados mostrados en el Cuadro 13. La concentración de nutrimentos en hojas entre los cultivares resultó ser estadísticamente similar excepto en la concentración de zinc, donde la mayor concentración se registró en el cultivar SWG-42 con 71.6 ppm y la menor concentración se registró en el cultivar SWG-46 con 63.7 ppm (Cuadro 13).

Cuadro 13: Análisis Nutrimental en Hojas de Pimiento Morrón a los 70 ddt con Acolchado de Diversos Colores, Ciclo Primavera-Verano-Otoño de 2012.

	N	P	K	S	Mg	Cu	Fe	Zn	Mn
Acolchado (A)	(%)					(ppm)			
Negro	2.83	0.55	3.0	0.41	0.54	8.5	97.0	68.7	132.8
Plata	2.92	0.65	2.9	0.49	0.56	9.0	89.3	67.7	135.7
Aluminio	2.92	0.43	3.0	0.43	0.57	6.3	97.5	65.3	131.3
Blanco	2.82	0.56	3.2	0.52	0.56	8.5	85.3	70.8	149.7
TES	2.52	0.55	3.1	0.47	0.56	8.0	93.0	65.7	144.0
Cultivar (C)									
SWG-42	2.95	0.56	3.1	0.47	0.56	8.46	94.0	71.6 a	139.1
SWG-46	2.64	0.53	3.0	0.46	0.55	7.66	90.9	63.67 b	138.3
Significancia									
Acolchado	0.359	0.117	0.515	0.116	0.388	0.496	0.792	0.750	0.496
Cultivares	0.065	0.340	0.438	0.514	0.156	0.067	0.321	0.033	0.920
ΑxC	0.240	0.334	0.232	0.636	0.621	0.651	0.410	0.996	0.851

Tratamientos con la misma literal no difieren entre sí, Tukey $P \le 0.05$.

Las concentraciones promedio de N y K obtenidas en hojas de plantas de pimiento morrón, se encuentran por debajo de los niveles normales (4-6% de Nitrógeno y 4-6% de Potasio) en acuerdo a los porcentajes óptimos obtenidos Jones y colaboradores (1991), sin embargo las concentraciones de P, Mg, Cu, Fe, Zn y Mn, se encuentran dentro de los rangos normales preestablecidos (0.35-1.0% P, 0.3-1.0 Mg, 6-25 ppm Cu, 60-300 ppm Fe, 20-200 ppm Zn y 50-250 ppm Mn).

En acuerdo con la concentración normal de nutrimentos en hojas de pimiento morrón, obtenido por Hochmuth y Hanlon (1995), (2.9-4.0% N, 0.25-0.4% P, 2.5-4.0 % K, 0.3-0.4% S, 0.3-0.4% Mg, 5.0-10 ppm Cu, 30-150 ppm Fe, 25-80 ppm Zn y 30-100 Mn), las concentraciones obtenidas de N, K, Cu, Fe y Zn, se encuentran dentro de los rangos normales, mientras que el contenido promedio de P, S, Mg y Mn, se encuentran ligeramente por encima

de los rangos normales. Sin embargo, a pesar de que la concentración de nutrimentos es diferente entre las fuentes consultadas, consideramos que nuestros resultados se encuentran dentro de las concentraciones normales.

Los resultados obtenidos en el presente estudio, son similares a los obtenidos por Díaz-Pérez (2010) quien reportó que la acumulación de nutrientes minerales en hojas y frutos de pimiento morrón, no fueron afectados de manera significativa por el color de las películas para acolchado plástico. Sin embargo, Liu y colaboradores (2003), Groot y colaboradores (2002) y Díaz-Pérez (2013) encontraron que la concentración de nutrientes minerales en hojas de pimiento morrón, se incrementa con el aumento de los porcentajes de sombreo sobre las plantas y no por el uso de acolchado plástico de colores. Sin embargo (Baghour y colaboradores, 2002) encontraron en otras plantas solanáceas como en papa, que las concentraciones de cobre y zinc en hojas estuvieron asociadas a los diferentes valores de TZR media por efecto del color de las películas de acolchado plástico, sin embargo, esto mismo no sucedió en el presente estudio, donde se hallaron diferencias de concentración de zinc entre variedades y no por efectos del acolchado plástico. Los diferentes valores de concentración de zinc entre cultivares, también podría ser debido a que se trata de dos cultivares distintos, los cuales pudieran tener distintas necesidades nutrimentales, por lo cual, también tendrían diferentes respuestas.

4.8 Rendimiento

El rendimiento precoz en los tratamientos acolchados fue estadísticamente similar pero estos fueron superiores en magnitud al tratamiento testigo (Cuadro 14). El valor promedio de los tratamientos acolchados fue 1.50 kg·m-² y el valor registrado por el testigo fue de 0.69 kg·m-². Los resultados obtenidos en el presente estudio concuerdan con los obtenidos por Wien y Menotti (1987), Farias-Larios y colaboradores (1994) y Yaghi y colaboradores, (2013) en otras plantas como en pepino, donde encontraron que el mayor rendimiento precoz se obtuvo en los tratamientos de acolchado en comparación con los tratamientos sin acolchar.

En rendimiento total, los tratamientos acolchados tuvieron un comportamiento estadísticamente diferente (Cuadro 14). Los valores más altos se obtuvieron en el acolchado plástico negro con 10.78 kg·m-², seguidos por el acolchado plástico aluminio y blanco con 10.39 kg·m-² y 10.24 kg·m-², respectivamente, el valor más bajo de rendimiento total entre los

tratamiento acolchados lo registró el acolchado plástico plata con 9.02 kg·m-², el valor más bajo lo presentó el testigo con 8.7 kg·m-².

Cuadro 14. Rendimiento Precoz y Total Obtenido en el Cultivo de Pimiento Morrón con Acolchado de Diversos Colores, Ciclo Primavera-Verano-Otoño de 2012.

	Rendimiento Precoz kg·m- ²	Rendimiento Total kg·m- ²
Acolchado (A)		
APN	1.43 a	10.78 a
APP	1.34 a	9.02 c
APA	1.66 a	10.39 b
APB	1.55 a	10.24 b
TES	0.69 b	8.7 d
Cultivar (C)		
SWG-42	1.35	9.31 b
SWG-46	1.32	10.35 a
Significancia		
Acolchado	0.0001	0.0001
Cultivares	0.5793	0.0001
A x C	0.0021	0.0001

Tratamientos con la misma literal no difieren entre sí, Tukey $P \le 0.05$.

Mayor rendimiento por efecto de acolchado son reportados en pimiento y tomate (Lamont, 1993; Ibarra y colaboradores, 2001; Romic y colaboradores, 2003; Hutton y Handley, 2007; Díaz-Pérez, 2010; Quezada y colaboradores, 2011; Liang y colaboradore, 2011). La diferencia en rendimiento precoz y total en favor del acolchado puede ser atribuida a que el plástico mejora la estructura física del suelo, aumenta la temperatura del suelo, los fertilizantes están más disponibles para la planta, hay una mejor disponibilidad de humedad del agua del suelo y existe un aumento de CO₂ en el entorno del follaje (Dong y colaboradores, 2009; Jordán y colaboradores, 2010).

Los cultivares incluidos en este estudio tuvieron una respuesta similar en rendimiento precoz, sin embargo, mostraron un comportamiento estadísticamente diferente en rendimiento total (Cuadro 14), el cultivar SWG-46 registró el mayor rendimiento con 10.35 kg·m-² y el cultivar SWG-42 registró 9.31 kg·m-² de donde se deduce una ganancia de 1.04 kg·m-² en favor de SWG-46. Es posible que el potencial genético sobre el rendimiento y su respuesta a la temperatura de suelo sea más favorable para el cultivar SWG-46.

En acuerdo con comentarios personales con los distribuidores de ambos cultivares, el cultivar SWG-42 ha venido presentado menores rendimientos por unidad de superficie que el cultivar SWG-46 en diferentes zonas geográficas del país, esto se confirma el presente estudio.

La interacción entre los cultivares y el color de las películas de acolchado plástico fue significativamente diferente en rendimiento precoz (Cuadro 15), lo que significa que los cultivares respondieron de manera diferente al color del acolchado plástico. Los mayores valores de rendimiento precoz en el cultivar SWG-42 se registraron en el acolchado plástico aluminio, blanco y plata con rendimientos de 1.68 kg·m-², 1.59 kg·m-² y 1.55 kg·m-², respectivamente, el acolchado plástico negro y el testigo registraron un rendimiento estadísticamente inferior con valores de 1.08 kg·m-² y 0.87 kg·m-², de donde se refleja que el acolchado negro presentó numéricamente mayor rendimiento precoz que el testigo (Cuadro 15).

En el cultivar SWG-46, el mayor rendimiento precoz se obtuvo en el acolchado plástico negro, aluminio y blanco con un rendimiento de 1.79 kg·m-², 1.64 kg·m-² y 1.51 kg·m-², respectivamente, seguidos por el acolchado plástico plata con un rendimiento de 1.12 kg·m-², el menor rendimiento se registró en el testigo con 0.52 kg·m-² (Cuadro 15).

Cuadro 15. Comparación de Medias para la Interacción Rendimiento Precoz y Total Obtenido en el Cultivo de Pimiento Morrón con Acolchado de Diversos Colores, Ciclo Primavera-Verano-Otoño de 2012.

Acolchado x Cultivar	Rendimiento Precoz kg·m- ²	Rendimiento Total kg·m- ²
APA	1.68 a	9.45 ed
APB	1.59 ab	9.77 d
APN	1.08 dc	9.60 d
APP	1.55 abc	8.63 f
TES	0.87 ed	9.11 e
SWG-46		
APA	1.64 a	11.33 b
APB	1.51 abc	10.71 c
APN	1.79 a	11.97 a
APP	1.12 bcd	9.42 ed
TES	0.52 e	8.30 f

Tratamientos con la misma literal no difieren entre sí, Tukey $P \le 0.05$.

La interacción entre cultivares y el color de las películas de acolchado plástico también fue significativamente diferente en rendimiento total (Cuadro 15). El mayor rendimiento total se obtuvo en el cultivar SWG-46 en el acolchado plástico negro seguido del aluminio, blanco y plata con 11.97 kg·m², 11.33 kg·m², 10.71 kg·m² y 9.42 kg·m², respectivamente, y el rendimiento más bajo se obtuvo en el testigo con 8.30 kg·m² (Cuadro 15). El menor rendimiento total se obtuvo en el cultivar SWG-42 en el acolchado plástico aluminio, blanco y negro los cuales fueron estadísticamente similares con valores de 9.45 kg·m², 9.77 kg·m² y 9.60 kg·m² respectivamente, seguidos por el testigo con 9.11 kg·m² y el menor rendimiento se registró en el acolchado plástico plata con 8.63 kg·m².

En las Figuras 9 y 10 se puede observar que el cultivar SWG-46 mostró una cierta relación lineal entre la TZR media con el rendimiento precoz y total, lo que significa que a medida que aumentó la TZR media también el rendimiento precoz y total aumentó. En cambio, en la Figura 9, se puede observar que el rendimiento precoz obtenido en el cultivar SWG-42 mostró una relación cuadrática, lo que significa que este cultivar alcanzó un punto máximo de rendimiento precoz en el entorno cercano a los 25°C, posteriormente el rendimiento se redujo con el incremento de la TZR media, lo que no sucedió en rendimiento total (Figura 10) ya que la tendencia no tendió a ser lineal ni cuadrática, posiblemente debido a que este cultivar posee diferentes necesidades de TZR que el cultivar SWG-46.

La interacción del rendimiento precoz y total en suelo acolchado con otros factores de la producción está muy poco reportada, en este estudio es posible que la respuesta diferente de los cultivares al acolchado haya sido debida en parte a la diferente respuesta de los cultivares a la temperatura media de la zona radical, es posible también que los cultivares hayan tenido una diferente respuesta al acolchado debido a que las condiciones de temperatura en el entorno de la planta hayan sido diferentes para cada cultivar. En ambientes protegidos se sabe por ejemplo de la variación de temperaturas y humedad relativa a lo largo y a lo ancho de los ambientes confinados, pero sus efectos sobre los tratamientos que han sido estudiados, están muy poco reportados.

También, se sabe a nivel comercial de la respuesta diferente que tienen los cultivos, ejemplo tomate, en cuanto al crecimiento y rendimiento de acuerdo a la cantidad de radiación recibida, siendo ocasionalmente afectado negativamente el cultivo, en las plantas que reciben mayor cantidad de radiación, esto quizá también pudo haber sucedido en el presente estudio,

lo que propició una diferente respuesta de los cultivares al acolchado plástico. No se descarta que los cultivares "per se" tengan una diferente respuesta al acolchado plástico de colores por sus características genéticas.

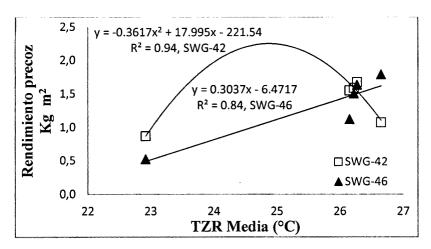


Figura 9. Relación entre el rendimiento precoz y la temperatura media de la zona radical (TZR). Cada símbolo representa el promedio de tres repeticiones en cada tratamiento.

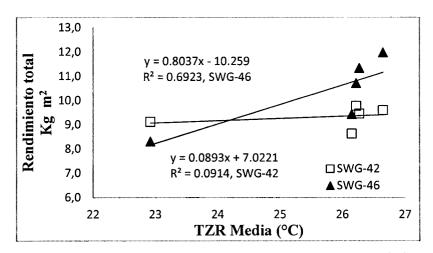


Figura 10. Relación entre el rendimiento total y la temperatura media de la zona radical (TZR). Cada símbolo representa el promedio de tres repeticiones en cada tratamiento.

El rendimiento total en frutos de pimiento morrón obtenido en el presente estudio, ha sido muy diferente en comparación al registro de producción a nivel estado y nacional; en el presente estudio se registró un rendimiento de 10.11 kg·m-² promedio de dos cultivares. El SIAP (2012) reporta que el rendimiento promedio de pimiento morrón en el estado de

Coahuila fue de 2.252 kg·m⁻² en campo abierto y 7.0 kg·m⁻² en malla sombra; a nivel nacional se reporta un promedio de 4.208 kg·m⁻² en campo abierto y 8.234 kg·m⁻² bajo condiciones de malla sombra. De acuerdo a los rendimientos de las estadísticas antes mencionadas, podemos deducir que en el presente trabajo de investigación se obtuvieron resultados positivos en malla sombra.

V. CONCLUSIONES

- Las películas para acolchado influyeron de manera significativa sobre la temperatura de la zona radical (TZR), las temperaturas más altas se registraron en el acolchado negro y las más bajas en los colores claros (blanco, aluminio y plata), el testigo presentó el menor valor.
- ➤ La TZR media se relacionó positivamente con área foliar, masa seca de planta y rendimiento precoz y total.
- Las variables fotosíntesis, conductancia estomática y transpiración no respondieron significativamente a la TZR media. Sin embargo, las variedades mostraron una respuesta significativamente diferente en fotosíntesis unitaria pero en un solo periodo de muestreo de tres que se efectuaron.
- ➤ La concentración de nutrimentos de N, P, K, S, Mg, Cu, Fe, Zn y Mn en hojas no fue afectada por el uso de acolchado plástico de colores, sin embargo, entre los cultivares se obtuvo una diferencia significativa en la concentración de Zinc en favor del cultivar SWG-42.
- ➤ En rendimiento precoz de fruto los tratamientos acolchados superaron en magnitud al tratamiento testigo con un valor promedio de 0.81 kg m⁻², los cultivares tuvieron un rendimiento precoz estadísticamente similar.
- ➤ Los tratamientos acolchados registraron significativamente un mayor rendimiento total con relación al testigo con un incremento de 2.08 kg m⁻² promedio de los dos cultivares.
- ➤ Los cultivares mostraron indicación de interacción con los acolchados plásticos, lo que significa que la respuesta de los cultivares al acolchado fue diferente.

VI. SUGERENCIAS

➤ El uso del acolchado plástico de colores, es mejor comprendido que el uso de porcentajes de sombreo sobre las plantas, por lo que se recomienda analizar el efecto de diferentes porcentajes de sombreo sobre las variables fisiológicas y rendimiento en frutos de pimiento morrón, para determinar el porcentaje de sombreo optimo requerido por el cultivo para una mayor producción.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, P. 1991. Effects of increasing the salinity of the nutrient solution with major nutrients or sodium chloride on the yield, quality and composition of tomatoes grown in rockwool. *J. Hort. Sci.* 66, 201–207.
- Adams, P. and Ho, L. C. 1989. Effects of constant and fluctuating salinity on the yield, quality and calcium status of tomatoes. *J. Hort. Sci.* 64, 725–732.
- Adams, P. 1987. The test of raised salinity. Grower 107, 23-27.
- Alaoui-Sossé, B., Genet, P., Vinit-Dunand, F., Toussaint, M.P., Eprom, D., Badot, P.M. 2004. Effect of copper on growth in cucumber plants (*Cucumis sativus*) and its relationships with carbohydrate accumulation and changes in ion contents. *Plant Science*, 166 (5), pp.1213–1218.
- Alarcón, J.J., Ortuño, M.F., Nicolás, E., Navarro, A., Torrecillas, A. 2006. Improving wateruse efficiency of young lemon trees by shading with aluminised-plastic nets. *Agricultural Water Management*, 82(3), pp.387–398.
- Allen, L. H. 1975. Shade cloth microclimate of Soybean. Agron. J. 67, 175–181.
- Allen, L. H. and Lemon, J. E. 1974. Carbon dióxide exchange and turbulence in a Costa Rica tropical rain forest. In: Monteith, J.L. (Ed.), Vegetation and the Atmosphere. *Academic Press, New York*, pp. 99 110.
- Aloni, B. and An, Z.Z. 1996. Changes of carbohydrates in pepper (*Capsicum annuum* L.) flowers in relation to their abscission under different shading regimes. *Annals of Botany* 78: 163–168, 1996.
- Aloni, B., Karni, I., Rylski, Y., Cohen, Y., Lee, M., Fuchs, S., Moresht, S., Yaho, C. 1999. Cuticular cracking in bell pepper fruit: II. Effects of fruit water relations and fruit expansion. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 74 (1): pp. 1-5.
- Akanbi B. W., T. A. Adebayo, O. A. Togun, A. S. Adeyeye and O. A. Olaniran. 2007. The use of compost extract as foliar spray nutrient source and botanical insecticide in Telfairia occidentalis. *World Journal of Agricultural Sciences* 3(5):642-652.
- Ashraf, M. and Bashir, A. 2003. Relationship of photosynthetic capacity at the vegetative stage and during grain development with grain yield of two hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars differing. Eur. J. Agron. 19, 277–287.
- Baeza, P., Ruiz, C., Bartolomé, M.C., Lissarrague, J.R. 2000. Dififerences in gas exchange ÍQ cv. Temprarullo (*Vitis vinifera* L.) as affected by training system. *Acta Horticulturae* 526: pp. 391-396.
- Baghour, M., Moreno, D.A., Villora, G., Lopez-Cantarero, I., Hernandez, J. Castilla, N. and Romero, L. (2002). Root zone temperature influences the distribution of Cu and Zn in potato-plant organs. *J. Agr. Food Chem.* 50:140–146.
- Bennet, R.N. and Wallsgrove, R.M. 1994. Secondary metabolites in plant defense mechanisms. *New Phytol.* 127, pp. 617–633.

- Ben-Oliel, G., Kant, S., Haim, M.N., Takeoka, G.R., Butterry, R.G., Kafkafi, U. 2004. Effects of ammonium to nitrate ratio and salinity on yield and fruit quality of large and small tomato fruit hybrids. *Journal of Plant Nutrition*, 27(10), pp.1795–1812.
- Bertamini, M., Muthuchelian, K., Nedunchezhian, N. 2006. Shade effect alters leaf pigments and photosynthetic responses in Norway spruce (Picea abies L.) grown under field conditions. *Photosynthetica*, 2, pp. 227-234.
- Bortolotti, M., Coccia, G., Grossi, G., Miglioli, M. 2002. The treatment of functional dyspepsia with red pepper. *Aliment Pharmacol Ther*. 16: pp. 1075–1082.
- Bosland, P. W. 1992. "Chiles: a diverse crop", HortTechnology 2 (1), pp. 6-10.
- Briassoulis, D., Mistriotis, A., Eleftherakis, D. 2007. Mechanical behaviour and properties of agricultural nets—Part I: Testing methods for agricultural nets. *Polymer Testing* 26, pp. 822–832.
- Broadley, M.R. 2007. Zinc in plants, New Phytol, 173, pp. 677-702.
- Brault, D., Stewart, K.A., Jenni, S. 2002. Growth, development, and yield of head lettuce cultivated on paper and polyethylene mulch. *HortScience* 37 (1), 92–94.
- Bruce, R.R., Chesness, J.L., Keisling, T.C., Pallas, J.E., Smittle, D.A., Stansell, J.R., Thomas, A.W. 1980. Irrigation of crops in the southeastern United States: principles and practices. U.S. Dept. Agric. Sci. Ed. Admin. Agric. Rev. Man. ARM-S-9.
- Cakmak, I. 2000. Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species, *New Phytol*, 146 pp. 185–205.
- Carbonneau, A. 2000. Recent developments in grapevine canopy management. *Acta Horticulturae* 526: 109-113.
- Castellano, S., G.S. Mugnozza, G., Russo, D., Briassoulis, A., Mistriotis, S., Hemming, and Waaijenberg D. 2008. Plastics net in agriculture: A general review of types and applications. *Appl. Eng. Agr.* 24: 799–808.
- Chakraborty, D., Garg, R.N., Tomar, R.K., Singh, R., Sharma, S.K., Singh, R.K., Trivedi, S.M., Mittal, R.B., Sharma, P.K. Kamble, K.H. 2010. Synthetic and organic mulching and nitrogen effect on winter wheat (Triticum aestivum L.) in a semi-arid environment. *Agricultural Water Management*. 97, pp. 738–748.
- Clarkson, D.T. and Hanson, J.B. 1980. The mineral nutrition of higher plants. Ann Rev. *Plant Physiol.* 31: 239-298.
- Cochran, H.L. 1936. Some factors influencing growth and fruit-setting in the pepper (Capsicum frutescens L.). Cornell agric. Expt. Stn. Mem 190, 29 pp.
- Cooper, A.J. 1973. Root Temperature and Plant Growth A Review. Commonwealth Agricultura Bureaux, Slough England.
- Costa, L.D. and Gianquinto, G. 2002. Water stress and water table depth influence yield, water use efficiency, and nitrogen recovery in bell pepper: lysimeter studies. *Aust. J. Agric.* Res. 53, 201–210.
- Csizinszky, A.A., Schuster, D.J., Kring, J.B. 1995. Color mulches influence yield and insect pest populations in tomatoes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 120:778–784.

- Davis, R.D., Beckett, P.H.T., Wollan, E. 1978. Critical levels of twenty potentially toxic elements in young spring barley. *Plant and Soil* 49, 395 408.
- de Groot, C.C., Marcelis, L.F.M, Van den Boogaard, R; Lambers, H. 2002. Interactive effects of nitrogen and irradiance on growth and partitioning of dry mass and nitrogen in young tomato plants. *Funct. Plant Biol.* 29: 1319–1328.
- Decoteau, D.R., Kasperbauer, M.J., Hunt, P.G. 1989. Mulch surface color affects yield of fresh-market tomatoes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114: 216-219.
- Del Amor, F.M., Cuadra, C.P., Walker, D.J., Camara, J.M., Madrid, M. 2010. Effect of foliar application of antitranspirant on photosynthesis and water relations of pepper plants under different levels of CO₂ and water stress. *Journal of Plant Physiology*, 167(15), pp.1232-8.
- Díaz-Pérez, J.C. and Batal, K.D. 2002. Colored plastic film mulches affect tomato growth and yield via changes in root-zone temperature. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 127, 127–136.
- Díaz-Pérez, J. C., S. C. Phatak, D. Giddings, D. Bertrand, H. A. Mills. (2005). Root zone temperature, plant growth, and fruit yield of tomatillo as affected by plastic film mulch. *Hort Science* 40:1312-1319.
- Díaz-Pérez, J.C. 2009. Root zone temperature, plant growth and yield of broccoli [Brassica oleracea (Plenck) var. italica] as affected by plastic film mulches. *Hort Science* 123:156–163.
- Díaz-Pérez, J.C. 2010. Bell Pepper (*Capsicum annum* L .) Grown on plastic film mulches □: effects on crop microenvironment, physiological attributes, and fruit yield. *Hort Science* 45(8), pp.1196–1204.
- Díaz-Pérez, J.C. 2013. Bell Pepper (*Capsicum annum* L .) Crop as affected by sade level□: microenvironment, plant growth, leaf gas Exchange, and leaf mineral nutrient concentration. *Hort Science* 48(2):175–182.
- DiTomáso, J.M. 1995. Approaches for improving crop competitiveness through the manipulation of fertilization strategies. *Weed Sci.* (43), 491–497.
- Dong, H.Z., Li, W.J., Tang, W., Zhang, D.M. 2009. Early plastic mulching increases stand establishment and lint yield of cotton in saline fields. *Field Crops Res* (111), 269–275.
- Dorais, M., Papadoulos, A.P., Gosselin, A. 2001. Greenhouse tomato fruit quality. In: Janick, J. (Ed.), *Horticultural Review*, vol. 26, pp. 239–319.
- Doorenbos, J., Kassam, A.H. 1986. Yield response to water, irrigation and drainage paper 33. FAO, Rome, Italy.
- Eltez, R. and Tüzel, Y. 1994. Efecto de diferentes materiales utilizados en acolchamiento de suelo sobre el rendimiento y la calidad de los cultivos de tomate bajo invernadero. *Plasticulture Nº* 103: 23 -25.
- El-Nemr, A.M., 2006. Effect of mulch types on soil environmental conditions and their effect on the growth and yield of cucumber plants. *Journal of Applied Sciences Research* 2(2), 67–73.

- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., Basra S.M.A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Department of Agronomy, University of Agriculture, Faisalabad-38040, Pakistan. *Agron. Sustain. Dev.* 29 (2009) 185–212.
- Farias-Larios, J. and Orozco-Santos, M. 1997. Color polyethylene mulches increase fruit quality and yield in watermelon and reduce insect pest populations in dry tropics. *Gartenbauwis-senschaft*. 62:255–260.
- Ferrara, A., Lovelli, S., Di Tommáso, T., Perniola, M. 2011. Flowering, growth and fruit setting in greenhouse bell pepper under waterstress. *Journal of agronomy* 10(1) pp. 12-19.
- Food and Agriculture Organization. 2002. Agricultura Mundial: Hacia los años 2015/2030. Informe Resumido pp. 11-24.
- García, E. 1984. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köepen. Primera Edición. México, D. F.
- Gent, M.P.N. 2004. Yield of greenhouse tomato in response to supplemental nitrogen and potassium. *Acta Horticulturae*, Vol. 633, pp. 341-348.
- Gupta, U.C. 1997. Soil and plant factors affecting molybdenum uptake by plants. In: Gupta, U.C. (Ed.), Molybdenum in Agriculture. *CambridgeUniversity Press, Cambridge, UK*, pp. 71-91.
- González-Dugo, V., Orgaz, F., Fereres, E. 2007. Responses of pepper to deficit irrigation for paprika production. *Scientia Horticulturae* 114, 77–82.
- Goren, A., Alkalia-Tuvia, S., Perzelan, Y., Aharon, Z., Fallik, E. 2011. Photoselective shade nets reduce postharvest decay development in pepper fruits. *Adv. Hortic. Sci.* 25, pp 26-31.
- Hassan, S.A., Abidin, R.Z., Ramlan, M.F. 1995. Growth and yield of chilli (*Capsicum annuum* L.) in response to mulching and potassium fertilization. Pertanika *J. rop. Agric. Sci.* 18(2), 113-17.
- Ham, J.M., Kluitenberg, G.L., Lamont, W.J. 1993. Optical properties of plastic mulches affect the field temperature regime. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 118:188-193.
- Ham, J.M. and Kluitenberg, G.J., 1994. Modeling the effect of mulch optical properties and mulch-soil contact resistance on soil heating under plastic mulch culture. *Agric. Forest Meteorol.* 71, 403–424.
- Hirschi, K. D. 2004. The calcium conundrum. Both versatile nutrient and specific signal. *Plant Physiol.* 136: 2438–2442.
- Hochmuth, G.J. and Hanlon, E.A. 1995. Commercial vegetable crop nutrient requirements in Florida. Gainesville (FL): University of Florida Cooperative Extension Service. Special Publication.
- Hulugalle, N.R. and Willatt, S.T. 1987. Patterns of water uptake and root distribution of chili peppers grown in soil columns. *Canadian Journal of Plant Science* 67, 531–535.
- Huo, H.X., Niu, W.Q., Wang, Y.K., Wang, J.Z., 2008. Influence of irrigation volume to hot pepper growth. *Yellow River* 30 (2), 55–58.

- Hutton, M.G. and D.T. Handley. 2007. Effects of silver reflective mulch, white inter-row mulch, and plant density on yields of pepper in Maine. *HortTechnology* 17:214–219.
- Ibarra J. L. y A. Rodríguez. 1997. Acolchados de Suelos con Películas Plásticas. *Editorial Limusa*. 2ª Reimpresión, México D.F.
- Ibarra, L. y G. Márquez. 1993. Efecto de la irrigación sobre los caracteres agronómicos del pimiento morrón con acolchado plástico. *Terra* 2 (1): 67-72.
- Ibarra-Jiménez, L., Brondo, Lopez, J.M., Herrera, S.A., Díaz-Pérez, J.C., Mendoza, J.L., and Larios, J.F. 2001. Growth analysis of muskmelon and bell pepper with mulch and rowcover. *Revista Fitotecnia Mexicana* 24: 39–48.
- Inoue, A. and Reifschneider, F. 1989. Morphological and chemical characterization of fruits of Capsicum spp. accessions. *Horticultura Brasileira* 7: 10-18.
- Inzunza I. M., M. S. F. Mendoza, E. A. Catalán, C. M. M. Villa, C. I. Sánchez y L. A. Román. 2007. Productividad del chile jalapeño en condiciones de riego por goteo y acolchado plástico. *Revista Fitotecnia Mexicana*, año/vol. 30, número 004 Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. Chapingo, México pp. 429-436.
- Ityel, E., Lazarovitch, N., Silberbush, M., Ben-Gal, A., 2012. An artificial capillary barrier to improve root-zone conditions for horticultural crops: Response of pepper plants to matric head and irrigation water salinity. *Agricultural Water Management* 105, 13–20.
- Iwai, H., Hokura, A., Oishi, M., Chida, H., Ishii, T., Sakai S., Satoh, S. 2006. The gene responsible for borate cross-linking of pectin Rhamnogalacturonan-II is required for plant reproductive tissue development and fertilization, *Proc. Natl Acad. Sci.* USA 103: 16592–16597.
- James, W. L. 1993. Plastic mulches for the production of vegetable crops. Department of Horticulture, Forestry and Recreation Resources, Kansas State University, Manhattan, KS 66506-4002. *HortTechnology*. Jan./Mar. pp. 1 3.
- Jenni, S., Brault, D., Stewart, K.A. 2000. Degradable mulch as an alternative for weed control in lettuce produced on organic soils. HRDC, Agriculture and Agri-Food Canada, 430 Boul. Gouin, St-Jean-sur-Richelieu, Quebec, Canada. J3B 3E6; Dept. of Plant Science, Macdonald Cam-Pus of McGill Univ., Ste-Anne-de-Bellevue, Que, Canada, H9X 3V. (9).
- Jordán, A., Zavala, L.M., Gil, J. 2010. Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semiarid conditions in southern Spain. *Catena* 81, pp. 77–85.
- Jones, J.R., Wolf, J.B., Mills H.A. 1991. Plant Analysis Handbook. Micro-Macro Publishing, Inc. USA. pp. 184-188.
- Juan-Juan, ZHU., Qiang, Peng., Yin-li, Liang., Xing, WU., Wang-lin, HAO. 2012. Leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence, and fruit yield in hot pepper (Capsicum anmuum L.) grown under different shade and soil moisture during the fruit growth stage. *Journal of Integrative Agriculture*. Vol. 11, pp. 927-937.
- Kinet, J.M. and Peet, M.M. 1997. Tomato. In: Wien, J.C. (Ed.). The physiology of vegetable crops. CABI Publishing, London, pp. 207–258.

- Kong, Q., Li, G., Wang, Y., Huo, H. 2009. Bell pepper response to surface and subsurface drip irrigation under different fertigation levels. *Irig Sci.* DOI 10.1007: pp. 271-278.
- Kong, Yun., L, Avraham., Ratner, K., Shahak, Y. 2012. Response of photosynthetic parameters of sweet pepper leaves to light quality manipulation by photoselective shade nets. *Acta Horticulturae* 956, pp. 501-506.
- Kong, Yun., L, Avraham., Perzelan, Y., Alkalai-Tuvia, S., K. Ratner., Shahak, Y And Fallik, E. 2013. Pearl netting affects postharvest fruit quality in 'Vergasa' sweet pepper via light environment manipulation. *Scientia Horticulturae* 150, 290–298
- Korir, N., Aguyoh, K., Gaqiong, J.N. 2006. Enhanced growth and yield of greenhouse roduced cucumber under high altitude areas of Kenya. *Agricultural Tropical and Subtropical* 39(4), 249–254.
- Kriedemann, P. E., and. Smart, R. E. 1971. Effects of irradiance, temperature and leaf water potential on photosynthesis of vine leaves. *Photosynthetica* 5: 6-15.
- Lamont, J.W.J. 1993. Plastic mulches for the production of vegetable crops. *HortTechnology* 3:35–39.
- Li, J., Zhou, J.-M., Duan, Z.Q. 2007. Effects of elevated CO₂ concentration on growth and water usage of tomato seedlings under different ammonium/nitrate ratios. *Journal of Environmental Sciences* (China), 19(9), pp.1100–1107.
- Liakatas, A., Clark, J.A., Monteith, J.L., 1986. Measurements of the heat balance under plastic mulches. *Agr. Forest Meteorol.* 36, 227–239.
- Liang, Y.L., Wu, X., Zhua, J.J., Zhou, M.J., Peng, Q. 2011. Response of hot pepper (Capsicum annuum L.) to mulching practices under planted greenhouse condition. *Agricultural Water Management*, 99, pp. 111–120.
- Lichtenthaler HK. Vegetation stress: an introduction to the stress concept in plants. J. *Plant Physiol* 1996;148: 4–14.
- Lichtenthaler HK. The stress concept in plants: an introduction. In: Csermely P, editors. Stress of life: from molecules to man. Annals of New York Academy of Sciences, vol. 851. New York, NY, USA: *New York Academy of Sciences*; 1998. p. 187–98.
- Lin, C.H. and Stocking, C.R. 1978. Influence of leaf age, light, dark and iron deficiency on polyribosome levels in maize leaves. *Plant Cell Physiol*. 19: 461 470.
- Liu, X.Z., S.Z. Kang, H.P. Yi, and J.H. Zhang. 2003. Dry-matter partitioning, yield and leaf nutrient contents of tomato plants as influenced by shading at different growth stages. *Pedosphere* 13:263–270.
- Lissarrague, J. R. y Baeza, P. S. 2003. Fotosintesis. E.T.S.I. Agrónomos. Producción Vegetal: *Fitotecnia. Madrid, Universidad Politécnica de Madrid*: 383.
- Locher, J., Ombodi, A., Kassai, T., Dimeny, J. 2005. Influence of coloured mulches on soil temperature and yield of sweet pepper. *Eur. J. Hort. Sci.* 70, 135–141.
- López-Marín, J., Gálvez, A., González, A., Egea-Gilabert, C., Fernández, J. 2012. Effect of shade on yield, quality and photosynthesis-related parameters of sweet pepper plants. *Acta Horticulturae* 956, pp 545-552.

- López-Marín, J., A. Gálvez y González, A. 2011. Efecto de la sombra Sobre la Calidad de los pimientos de invernadero. *Acta Horticulturae.*, 893, pp 895-900.
- Maoka, T., Mochida, K., Kozuka, M., Ito, Y., Fujiwara, Y., Hashimoto, K., Enjo, F., Ogata, M., Nobukuni, Y., Tokuda, H., Nishino, H. 2001. Cancer chemopreventive activity of carotenoids in the fruits red paprika (*capsicum annumm* L). *Cancer. Lett.* 172(2): 103-109.
- Marcelis, L.F.M. and Ho, L.C. 1999. Blossom-end rot in relation to growth rate and calcium content in fruits of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *J. Exp. Bot.* 50: 357–363.
- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, New York, pp. 6-78.
- Maas, E.V. and Grattan, S.R. 1999. Crop yields as affected by salinity. In: Skaggs, R.W., van Schilfgaarde, J. (Eds.), *Agricultural Drainage*. Agron. Monograph 38. Madison, pp. 55–110.
- Mikkelsen, R.L. 2005. Tomato flavour and plant nutrition: a brief review. *Better Crops with Plant Food*, v.89, p.14-15.
- McInnes, K.J., Heilman, J.L. Savage, M.J. 1994. Aerodynamic conductances along a bare ridge-furrow tilled soil surface. *Agric. For. Meteorol.* 68, pp. 119–131.
- Möller, M. and Assouline, S. 2007. Effects of a shading screen on microclimate and crop water requirements. *Irrig. Sci.* 25:171–181.
- Möller, M., Tanny, J., Li, Y., Cohen, S.T. 2004. Measuring and predicting evapotranspiration in an insect-proof screenhouse. *Agr. For. Meteorol.* 127:35–51.
- Morille, B., Migeon, C., Bournet, PE. 2013. Is the Penman–Monteith model adapted to predict crop transpiration under greenhouse conditions? *Scientia Horticulturae*. 152, pp. 80-91
- Moreno, E., Mora, R., Sánchez, F., García, V. 2011. Fenología y rendimiento de híbridos de pimiento morrón (Capsicum annuum L.) cultivados en hidroponía. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, Vol. XVII, Edición Especial 2: 5-18.
- Monteith, J.L. and Unsworth, M.H. 1990. Principles of Environmental Physics. *Edward Arnold*.
- Mundarain, S., Coa, M., Cañizares, A. 2005. Fenología del crecimiento y desarrollo de plántulas de aji dulce (Capsicum frutescens L.). *Revista UDO Agrícola* 5(1): 62-67.
- Ngouajio, M. and Ernest, J. (2005). Changes in the physical, optical, and thermal properties of polyethylene mulches during double cropping. *HortScience* 40(1):94-97.
- Nuez, F., Ortega, R., Costa, J. 1995. El cultivo de Pimientos, Chiles y Ajies. pp. 25 27. Ediciones Mundi-Prensa. España.
- Orzolek, M.D., 2000. New Concepts in Plasticulture for Tomatoes and Peppers 814. The Pennsylvania State University, University Park, PA, pp. 863–1150.
- Orzolek, M.D., Murphyj, J., Giardi, 2003. The effect of colored polyethylene mulch on the yield of squash. In: Tomato and Cauliflower College of Agricultural Sciences. Penn State University.

- Pereira, L.S., Goncalves, J.M., Dong, B., Mao, Z., Fang, S.X., 2007. Assessing basin irrigation and scheduling strategies for saving irrigation water and controlling salinity in the upper Yellow River Basin, China. *Agricultural Water Management* 93, 109–122.
- Poorter, H. and Pérez-Soba. M., 2001. The growth response of plants to elevated CO₂ under nonóptimal environmental conditions. *Oecologia*. 129: 1–20.
- Quezada-Martín, M.R., Munguía, L.J., Ibarra, J.L., Arellano García, M. A., Valdez-Aguilar, L. A., Cedeño-Ruvalcaba, B. 2011. Fisiología y producción de pimiento morrón cultivado con diferentes colores de acolchado. *Terra Latinoamericana* 29: 421-430.
- Quezada-Martín, M. R., Munguía, L. J., Ibarra, J. L. 1992. Efecto del acolchado de suelo en la movilización de nutrientes en el cultivo de pepino. *Memoria del XXV Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo*, Acapulco Guerrero, México. p. 179.
- Ramírez, V.J. 1996. El uso de acolchados plásticos en la horticultura. 1ra Ed. UAS. Univ Autón Sinaloa. Dept de Común Educ y Divulg, *Facultad Agron*, Culiacán Rosales, Sinaloa, México. 70p.
- Rawson, H.M., Begg, J.E., Woodward, R.G. 1977. The effect of atmospheric humidity on photosynthesis, transpiration and water use efficiency of leaves of several plant species. *Plant Physiol*.134, 5 10 (1977).
- Roberts, B.W. and Anderson, J.A. 1994. Canopy shade and soil mulch affect yield and solar injury of bell pepper. *HortScience* 29, 258–260.
- Romic, D., Romic, M., Borosic, J., Poljak M. 2003. Mulching decreases nitrate leaching in bell pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivation. *Agric. Water Manage*. 60, pp. 87–97.
- Rubeiz, I.G. and Freiwat, M.M. 1995. Rowcover and black plastic mulch effects on tomato production. *Biol. Agr. Hort.* 12:113–118.
- Rylski, I. and Spigelman, M. 1986. Effect of shading on plant development, yield and fruit quality of sweet pepper grown under conditions of high temperature and radiation. *Scientia Horticulturae* 29:31–35.
- Saha, S., Hossain, M., Rahman, M., Kuo, C., Abdullah, S. 2010 Effect of High Temperature Stress on the Performance of Twelve Sweet Pepper Genotypes. Bangladesh *J. Agril. Res.* 35(3): 525-534.
- Sample, E.C., Soper, R.J., Racz, G.J. 1980. Reactions of phosphate fertilizers in soils. In: Khasawneh, F.E. (Ed.), The Role of Phosphorus in Agriculture. *American Society of Agronomy, Madison*, WI, pp. 263–304.
- Saure, M.C. 2001. Blossom-end rot of tomato (Lycopersicon esculentum Mill) a calcium- or a stress-related disorder? *Scientia Horticulturae*. 90: 193–208.
- Schmidt, A. and Jäger, K. 1992. Open questions about sulfur metabolism in plants, *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 43: 325–349.
- Shahak, Y., Gal, E., Offir, Y., Ben, D. 2008. Photoselective shade netting integrated with greenhouse technologies for improved performance of vegetable and ornamental crops *Acta Horticulturae* 797, pp 75-80.

- Shoemaker, J.S. and Taskey, B.J. 1995. Práctical Horticulture, *John Wiley and Sons Inc.*, New York.
- Shuting, D., Rongqi, G., Changltao, H., Qunying, W., Kong-jun, W. 1997. Study of canopy photosynthesis properties and high yield potential after anthesis in maize. *Acta Agron Sin* 23 (3), 318 325.
- Schwarz, D., Y. Rouphael., G. Colla., J.H. Venema. 2010. El injerto de como una herramienta para mejorar la tolerancia de los vegetales al estrés abiótico: estrés térmico, el estrés hídrico y los contaminantes orgánicos. *Scientia Horticulturae*, 127, pp 162-171.
- SIAP. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. www.siap.gob.mx. (Consulta septiembre 2013).
- Siwek, P., Cebula, S., Libik, A., Mydlarz, J. 1994. The effect of mulching on changes in microclimate and on the growth of yield of sweet pepper grown in plastic tunnels. *Acta Hort*. 366, 161–167.
- Smittle, D.A., Dickens, W.L., Stansell, J.R. 1994. Irrigation regimes affect yield and water use by bell pepper. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 119, 936–939.
- Steward-Phillip, G. 2012. Plant Physiology. Apple Academic Press Inc.
- Synsuke, K., Reda, E., Moghaieb, H., El-Shemy, R., Panigrahi, P., Mohapatra J., Ito D., Nguyen T., Hirofumi S. 2011. Potassium deficiency affects water status and photosynthetic rate. *Plant Science*. pp. 368 374.
- Takano, J., Wada, M., Ludewig, U., Schaaf, G., Von Wiren, V., Fujiwara, T. 2006. The Arabidopsis major intrinsic protein NIP5;1 is essential for ef fi cient boron uptake and plant development under boron limitation, *Plant Cell* 18 1498–1509.
- Terry, N. and Abadía, J. 1986. Function of iron in chloroplasts. J. Plant. Nutr. 9:609-646. M.R. broadley, zinc in plants, New Phytol. 173: 677-702.
- Tindall, J.A., Mills, H.A., Radcliffe, D.E. 1990. The effect of root zonetemperature on nutrient uptake of tomato. *J. Plant Nutr.* 13, 939–956.
- U.S. EPA (U.S. Environmental Protection Agency). 1973. Water Quality Criteria 1972. Section V. Agricultural Uses of Water. *Water for Irrigation*. EPA R3.73.035.
- U.S. Department of Agriculture. 2009. Georgia Agricultural Facts. National Agricultural Statistics Service, Georgia Field Office, Athens, GA.
- Villalobos, S.R.I. 1993. Potencial de la micorriza, vesículo arbuscular en la producción de chile (*Capsicum annuum* L.) y cebolla (Allium cepa L.). Tesis de Maestría Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México.
- Villarreal-Guerrero, F., Kacira, M., Fitz-Rodriguez, E., Linker, R., Kubota, C., Gia-comelli, G.A., Arbel, A. 2012. Simulated performance of a greenhouse cooling control strategy with natural ventilation and fog cooling. Biosyst. Eng. 111, 217–228.
- Vos, J.G.M., Uhan, T.S., Sutatya, R., 1995. Integrated crop management of hot pepper (Capsicum spp.) under tropical lowland conditions: effects of rice straw and plastic mulches on crop health. *Crop Prot.* 14 (6), 445–452.

- Wang, Y.X., 2009. Pepper plant fertilizer and water in the role and impact studies. *Modern Agricultural Sciences* 16 (5), 107–108.
- Wien, H.C., 1994. Fruit set in peppers and response to cold temperatures. Department of Horticulture. Cornell University, Ithaca NY. Wien, H.C., Minotti, P.L., 1987. Growth, yield, and nutrient uptake of transplanted fresh-market tomatoes as affected by plastic mulch and initial nitrogen rate. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 112, 759-763.
- Willows, R.D. 2007. Chlorophyll synthesis. In The Structure and Functions of Plastids Advances in Photosynthesis and Respira tion, vol. 23 (eds. R. R. Wise and J. K. Hoober). Springer, Netherlands, pp. 295–313.
- Wilkinson S., Welch R., Mayland H., Grunes D. 1990. Magnesium in plants: uptake, distribution, function andutilization by man and animals. *Met. Ions Biol. Syst.* 26: 33–56.
- Yaghi, T., Arslan, A., Naoum, F. (2013). Cucumber (Cucumis sativus, L.) water use efficiency (WUE) under plastic mulch and drip irrigation. *Agricultural Water Management* 128: pp. 149 157.
- Yang, H., Jiang, H., Zhan, Y.F., Yu, W.Z., Tu, X.M., Lai, W. 2008. Effects of different conditions of irrigation and fertilization on dry matter accumulation, nutrient absorption and yield of hot pepper. *Crops* 6, 26–29.
- Zribi, W., Faci, J., Aragüés. R. 2011. Efectos del acolchado sobre la humedad, temperatura, estructura y salinidad de suelos agrícolas. *ITEA*, Vol. 107 (2), pp. 148-162.
- Zou, X.X., Ma, Y.Q., Liu, R.Y., Zhang, Z.Q., Cheng, W.C., Dai, X.Z., Li, X.F., Zhou, Q.C. 2007. Combining ability analyses of net photosynthesis rate in pepper (Capsicum annuum L.). *Agric. Sci. China* 6 (2),159–166.
- Zufferey, V. 2000. Echanges gazeux des feuilles chez (*Vitis vinifera* L.) (cv. Chasselas) en fonction des parametres climatiques et physiologiques et des modes de conduite de la vigne. *Zurich, Ecole Polytechnique Federale*: 335p.