

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA**



**Respuesta del Crecimiento, Rendimiento, Patógenos, Malezas y Nutrientes
del Suelo a Diferentes Periodos de Solarización en el Cultivo de Fríjol
(*Phaseolus vulgaris* L.) con Acolchado Plástico.**

**POR:
RENE CASTILLO GUZMÁN**

TESIS

**Presentada como Requisito parcial para obtener el
Título de:**

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Marzo 2009

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

**Respuesta del Crecimiento, Rendimiento, Patógenos, Malezas y Nutrientes
del Suelo a Diferentes Periodos de Solarización en el Cultivo de Frijol
(*Phaseolus vulgaris* L.) con Acolchado Plástico.**

TESIS

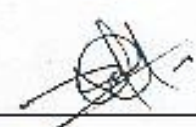
Presentada por:

RENE CASTILLO GUZMÁN

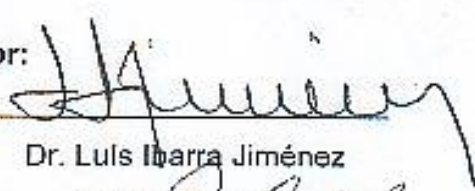
Que somete a consideración del H. jurado examinador como requisito para
obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

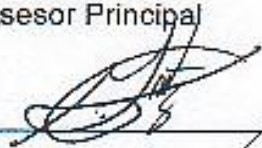
Aprobado por:



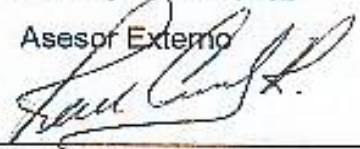
Dr. Valentín Robledo Torres
Asesor Principal



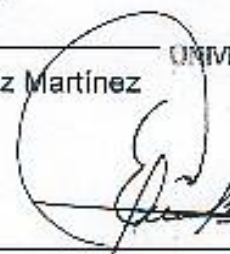
Dr. Luis Ibarra Jiménez
Asesor Externo



Dr. Gerardo Sánchez Martínez
Asesor



Ing. René de la Cruz Rodríguez
Asesor



Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo
Coordinador de la División de Agronomía
División de Agronomía
Coordinación



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Marzo 2009

DEDICATORIAS

A Dios por haberme dado la vida y ser el guía espiritual en nuestro camino y al Señor Santiago Apóstol quien le tengo una Fe enorme, que siempre ha bendecido mi camino.

Mis respetos y sinceros agradecimientos al filántropo Antonio Narro Rodríguez al realizar la donación de estas tierras por la cual fue posible la construcción de nuestra “ALMA MATER” por lo cual le doy esta oración de todo corazón.

Padre nuestro que estas en los cielos santificado
se a tu nombre vénganos a nosotros tu reino,
hágase tu voluntad en la tierra como en el cielo,
danos hoy nuestro pan de cada día perdona nos
nuestras ofensas así como nosotros perdonamos
a los que nos ofenden, no nos dejes caer en
tentación líbranos de todo mal y que dios te
tenga en su gloria Antonio Narro Rodríguez....
AMEN

A MIS PADRES

Vicente Castillo Cardoso y Maria Asunción Guzmán Alvarado
Por darme la vida, por quererme, apoyarme, por confiar en mí y sobre todo el amor
y afecto que siempre me han dado. Gracias por ser mis padres, los quiero mucho.

A MIS HERMANAS

Wendy y Luz Elena
Por todo su apoyo moral.

A Elizabeth Hernández Hernández por su compañía y comprensión en el transcurso de la carrera.

A MIS ABUELOS

Juan Castillo y Herminia Cardoso

Alfonso Guzmán (+) y Cira Alvarado

Por todo el amor que me brindaron durante todo el transcurso de mi carrera, así como toda su experiencia transmitida, la cual me sirvió de mucho en mi preparación académica “gracias”.

A MIS TÍOS Y TÍAS

Teo, Marciana, Martín, Benigno, Cidronia, Carmen, Víctor, Ranulfo, Cirina, Donato, Ernestina, Narciso, Juanita, y todos mis primos “GRACIAS” por confiar en mí y apoyarme en mi preparación.

A MIS AMIGOS

Juan de dios, Gabriel, Virginio, Rosalio, Vicente, Armando, MC. Gerardo, MC. José Manuel, Dr. Noe, Ing. Isidro, Ing. Luís, Dr. Raúl, Asucena, Carlos, Cecilio, Leonel, Luís Enrique, Luís Alberto, Neftalín, Gustavo, Luís Adrián, Giovanni, Pancho, Luís Ángel, Benito, Víctor, Juan, Agustín etc..... Gracias por su amistad y compañía de los momentos tan bonitos que vivimos juntos.

A G R A D E C I M I E N T O S

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente.

Al Dr. Valentín Robledo y Dr. Rubén López Cervantes por el apoyo brindado en la realización de este trabajo. A los maestros del departamento de Fitomejoramiento les doy gracias por ayudarme en mi formación profesional.

Al Ing. René de la Cruz Ramírez y Dr. Humberto de León Castillo por brindarme su amistad y compartir sus experiencias conmigo.

Al Dr. Luís Ibarra Jiménez por la dirección y apoyo brindado en la realización de este trabajo de investigación.

Al Centro de Investigación en Química Aplicada por permitirme realizar este trabajo dentro de uno de sus proyectos de investigación.

A el MC. Eduardo Alfonso Treviño López y al Ing. Felipe Hernández Castillo, mis sinceros agradecimientos por haber colaborado en todo el proceso y desarrollo de esta investigación en las actividades de campo.

A el MC. José Ángel Sánchez Medina y a la QFB. Noemí Cantu Gonzáles por haber tenido la amabilidad de ayudarnos con el análisis de extracción de elementos asimilados por la planta.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIAS.....	Pág. iii
AGRADECIMIENTOS.....	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivos.....	2
Hipótesis.....	2
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Origen del Cultivo de Fríjol	3
Taxonomía del Fríjol.....	4
Morfología del Fríjol.....	5
Etapas Fenológicas del Fríjol.....	6
Plagas del Fríjol	10
Plagas que Atacan la Semilla y las Plántulas.....	10
Plagas que atacan al follaje.....	11
Plagas que atacan a los brotes y vainas.....	11
Época para Combatir las Plagas del Fríjol.....	11
Enfermedades del Fríjol.....	12
Principales Enfermedades.....	12
Otras Enfermedades.....	13
Malezas del Fríjol.....	14
Importancia del Cultivo.....	15
Importancia del Cultivo en la Región.....	15
Generalidades del Acolchado.....	17
Principio del Acolchado.....	17
Principales Ventajas del Acolchamiento.....	17
Control de malezas.....	17
Humedad del suelo.....	17
Fertilidad de la tierra.....	18
Protección del suelo.....	18
Reducción de áfidos.....	18
Reflexión de luz.....	18
Temperatura del suelo.....	18

Desarrollo de Raíces.....	19
Reducción de costos por mano de obra.....	19
Reducción de costos de agua y fertilizantes.....	19
Bajo costo. (Excelente relación costo-beneficio).....	19
Desventajas del Acolchamiento.....	20
Aplicación de las Distintas Cubiertas de Polietileno.....	20
Generalidades de la Solarización.....	23
Conversión de la radiación solar a calor bajo la cobertura.....	24
Tipo y grosor del plástico.....	25
Importancia económica.....	25
Limitaciones.....	27
Modo de reducción de los patógenos del suelo.....	27
Relación entre la humedad y temperatura.....	28
Rango de temperaturas alcanzadas bajo la cubierta.....	28
Efectos de la solarización.....	29
Eficiencia sobre patógenos.....	29
Eficiencia contra malas hierbas.....	30
Fertilidad del suelo.....	31
Sistema de Riego por Goteo.....	32
Ventajas del riego por goteo.....	33
Desventajas del riego por goteo.....	35
Fotosíntesis.....	35
Factores Físicos que Interactúan con la Fotosíntesis.....	36
Transpiración.....	39
Factores Físicos que Interactúan con la Transpiración.....	40
Conductancia estomática.....	40
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	41
Localización del Lote Experimental.....	41
Clima.....	41
Suelo.....	41
Agua.....	41
Establecimiento Del Experimento.....	42
Preparación del terreno.....	42
Marcación y formación del terreno.....	42
Colocación de cubiertas.....	42
Descripción de los tratamientos.....	42
Establecimiento del cultivo.....	43
Fecha de siembra.....	43
Fertirrigación.....	43
Control de plagas	43

Variables Evaluadas	44
Poblaciones de patógenos.....	44
Colocación de sensores de temperatura.....	44
Toma de tasa fotosintética y área foliar.....	45
Evaluación de cosecha.....	45
Determinación de nutrientes de la planta.....	45
Análisis de suelo.....	46
Diseño experimental	46
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
Cobertura de Malezas.....	47
Patógenos del suelo.....	50
Área Foliar.....	51
Peso seco de la planta.....	53
Temperaturas del suelo.....	55
Fotosíntesis.....	56
Fotosíntesis, Conductancia estomática y Transpiración.....	57
Rendimiento Total.....	58
Rendimiento Total.....	62
V. CONCLUSIONES	65
VII. BIBLIOGRAFÍA	66
VIII. APÉNDICE	74

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1 Superficie sembrada, siniestrada y porcentaje siniestrado de frijol en Coahuila.....	16
Cuadro 2 Tratamientos de desinfección utilizando películas de polietileno transparente en diferentes periodos de solarización.....	42
Cuadro 3 Promedio de malezas encontradas en las unidades experimentales utilizadas como testigos. CIQA 2008.....	47
Cuadro 4 Comparación de medias del efecto de diferentes periodos de la solarización en las malezas más comunes, en el lado norte, sur y sobre la superficie de la cama de siembra. CIQA 2008.....	48
Cuadro 5 Promedio de las maleza controladas totalmente en el lado norte, sur y superficie de la cama de siembra. CIQA 2008.....	48
Cuadro 6 Comparación de medias de área foliar en cuatro periodos de muestreo, en el cultivo de frijol. CIQA 2008.....	52
Cuadro 7 Comparación de medias de peso seco de planta en cuatro periodos de muestreo, en el cultivo de frijol. CIQA 2008.....	53
Cuadro 8 Comparación de medias de nutrientes existentes en el suelo después de la cosecha. CIQA 2008.....	59
Cuadro 9 Tabla de clasificación del suelo, después de someterlo a distintos periodos de solarización y de la siembra del cultivo de frijol. CIQA 2008.....	59
Cuadro 10 Comparación de medias para el peso de 100 granos, numero de vainas y rendimiento por hectárea del cultivo de frijol. CIQA 2008.....	62
Cuadro 11 Cuadrados medios de los análisis de varianza para área foliar en cuatro periodos de muestreo en el cultivo de frijol con diferentes periodos de solarización CIQA 2008.....	74

Cuadro 12	Cuadrados medios de los análisis de varianza para peso seco de hoja en cuatro periodos de muestreo en el cultivo de frijol con diferentes periodos de solarización. CIQA 2008.....	74
Cuadro 13	Comparación de medias de peso seco de hoja en cuatro periodos de muestreo en el cultivo de frijol con diferentes periodos de solarización. CIQA 2008.....	74
Cuadro 14	Cuadrados medios de los análisis de varianza para peso seco de tallo en cuatro periodos de muestreo en el cultivo de frijol con diferentes periodos de solarización. CIQA 2008.....	74
Cuadro 15	Comparación de medias de peso seco de tallo en cuatro periodos de muestreo en el cultivo de frijol con diferentes periodos de solarización. CIQA 2008.....	75
Cuadro 16	Cuadrados medios de los análisis de varianza para peso seco de planta en cuatro periodos de muestreo en el cultivo de frijol con diferentes periodos de solarización. CIQA 2008.....	75
Cuadro 17	Cuadrados medios de los análisis de varianza para los elementos asimilados por la planta de frijol a los 50 dds. CIQA 2008.....	75
Cuadro18	Comparación de medias para los elementos asimilados por la planta de frijol a los 50 dds. CIQA 2008.....	75
Cuadro 19	Cuadrados medios de los análisis de varianza para peso de 100 granos, numero de vainas y rendimiento por hectárea del cultivo de frijol. CIQA 2008.....	76
Cuadro 20	Análisis de varianza y comparación de medias de las unidades calor del periodo de Solarización.....	76
Cuadro 21	Análisis de varianza y cuadrados medios del efecto de diferentes periodos de la solarización en las malezas más comunes, en el lado norte, sur y sobre la superficie de la cama de siembra. CIQA 2008.....	76
Cuadro 22	Análisis de varianza y cuadrados medios de la temperatura mínima del suelo bajo cubierta color blanco sobre negro comparado con el testigo,	

	aplicado en el cultivo de fríjol, utilizando promedios de temperatura cada 10 días, desde los 10 dds hasta 90 dds, día de la cosecha. CIQA 2008.....	77
Cuadro 23	Análisis de varianza y cuadrados medios de la temperatura mínima del suelo con acolchado plástico blanco sobre negro comparado con el testigo, en el cultivo de fríjol, utilizando promedios de temperatura cada 10 días, desde los 10 dds hasta 90 dds, día de la cosecha. CIQA 2008.....	77
Cuadro 24	Análisis de varianza y cuadrados medios de la temperatura media del suelo bajo cubierta color blanco sobre negro comparado con el testigo, aplicado en el cultivo de fríjol, utilizando promedios de temperatura cada 10 días, desde los 10 dds hasta 90 dds, día de la cosecha. CIQA 2008.....	77
Cuadro 25	Comparación de la temperatura media del suelo con acolchado plástico blanco sobre negro comparado con el testigo, en el cultivo de fríjol, utilizando promedios de temperatura cada 10 días, desde los 10 dds hasta 90 dds, día de la cosecha. CIQA 2008.....	78
Cuadro 26	Análisis de varianza y cuadrados medios de la temperatura máxima del suelo bajo cubierta color blanco sobre negro comparado con el testigo, aplicado en el cultivo de fríjol, utilizando promedios de temperatura cada 10 días, desde los 10 dds hasta 90 dds, día de la cosecha. CIQA 2008.....	78
Cuadro 27	Comparación de la temperatura máxima del suelo con acolchado plástico blanco sobre negro comparado con el testigo, en el cultivo de fríjol, utilizando promedios de temperatura cada 10 días, desde los 10 dds hasta 90 dds, día de la cosecha. CIQA 2008.....	78
Cuadro 28	Análisis de varianza y cuadrados medios de patógenos del suelo existentes después de 30 y 60 días de solarización comparado con un testigo. CIQA 2008.....	79

Cuadro 29	Comparación de medias de patógenos del suelos existentes después de 30 y 60 días de solarización comparado con un testigo. CIQA 2008.....	79
Cuadro 30	Análisis de varianza y cuadrados medios de nutrientes existentes en el suelo después de la cosecha del cultivo de fríjol. CIQA 2008.....	80
Cuadro 31	Comparación de medias de nutrientes existentes en el suelo después de la cosecha del cultivo de fríjol, en el. CIQA 2008.....	80
Cuadro 32	Comparación de medias y coeficiente variación de los datos fisiológicos evaluados a los 20 dds en el cultivo de fríjol en acolchado plástico blanco. CIQA 2008.....	81
Cuadro 33	Comparación de medias y coeficiente variación de los datos fisiológicos evaluados a los 30 dds en el cultivo de fríjol en acolchado plástico blanco. CIQA 2008.....	81
Cuadro 34	Comparación de medias y coeficiente variación de los datos fisiológicos evaluados a los 40 dds en el cultivo de fríjol en acolchado plástico blanco. CIQA 2008.....	82
Cuadro 35	Comparación de medias y coeficiente variación de los datos fisiológicos evaluados a los 50 dds en el cultivo de fríjol en acolchado plástico blanco. CIQA 2008.....	82

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1.- Comportamiento del área foliar en cuatro fechas de muestreo durante el desarrollo del cultivo de fríjol. CIQA 2008.....	52
Fig. 2.- Comportamiento del peso seco de planta en cuatro fechas de muestreo durante el desarrollo del cultivo de fríjol. CIQA 2008.....	54
Fig. 3.- Comparación de la temperatura mínima, media y máxima entre el suelo acolchado y desnudo, durante el desarrollo del cultivo de fríjol.....	55
Fig. 4.- Influencia del acolchado plástico en la fotosíntesis unitaria en el cultivo de fríjol. CIQA 2008.....	57
Fig. 5.- Relación entre transpiración, conductancia estomática y fotosíntesis unitaria en el cultivo de fríjol, usando promedios de cinco tratamientos. CIQA 2008.....	58
Fig. 6.- Influencia del potasio sobre el rendimiento del cultivo de fríjol. CIQA 2008.....	61
Fig. 7.- Influencia del fósforo sobre el rendimiento del cultivo de fríjol. CIQA 2008.....	61
Fig. 8.- Relación entre unidades calor en el periodo de solarización y rendimiento en el cultivo de fríjol. CIQA 2008.....	63

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), en el ciclo primavera-verano del 2008 en Saltillo, Coahuila, con el objetivo de evaluar el efecto de diferente periodo de solarización sobre los nematodos, hongos, control de malezas y examinar su influencia sobre el crecimiento, fotosíntesis y rendimiento del cultivo de frijol con acolchado y riego por goteo.

Los tratamientos utilizados fueron: Testigo (T), 30 Días de Solarización (30DS), 40 Días de Solarización (40DS), 50 Días de Solarización (50DS), 60 Días de Solarización (60DS).

El diseño experimental que se utilizó fue bloques completos al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Las variables a evaluar fueron Fotosíntesis, Conductancia estomática, Transpiración, área foliar, peso seco de planta, patógenos del suelo, malezas, rendimiento total y unidades calor de suelo a 0.1 m de profundidad.

Para las variables fisiológicas se hicieron cuatro mediciones a los 20, 30, 40 y 50 dds (días después de la siembra).

Las variables, Fotosíntesis unitaria, Conductancia estomática y Transpiración no mostraron diferencia significativa entre tratamientos en las cuatro mediciones, mientras que el Área foliar y Peso seco de planta mostraron significancia entre tratamientos, teniendo al tratamiento de 60DS como el de mayor valor, reflejando un aumento de 38.8 y 43.2% más que el testigo, dicho tratamiento también mostró diferencia significativa en cuanto a rendimiento total, presentando un valor de 3.783 t ha^{-1} , también el tratamiento de 60DS obtuvo la mayor acumulación de Unidades Calor (UC) en los periodos de solarización con un valor de 1915.17.

Los tratamientos de solarización no mostraron diferencia significativa para los hongos *Fusarium solani*, *Fusarium oxysporum*, *Pythium* y *Chaetophoma*, pero si mostraron diferencia numérica, en las cuatro especies se mostró un mayor control en el tratamiento de 60DS con una disminución de 43.9, 76.9, 100 y 100% respectivamente, con relación al testigo, mientras que en el nematodo *Criconebella* mostró diferencia significativa y una reducción de 57.7% con relación al testigo.

Para las malezas, en el norte y sur de la cama, se mostró que la maleza *Cyperus esculentus L.* se comporto de diferente manera en cada uno de los tratamientos para cada lado, reflejando al tratamiento de 30DS como el de mayor cobertura con valores de 580 y 145 plantas respectivamente y el de menor cobertura que fue el de 60DS con 497 y 76 plantas sobrevivientes respectivamente, mientras que *Portulaca oleracea L.* mostró igualdad entre tratamientos, por otro parte, en la superficie de la cama existió un mejor control ya que solo se detecto *Cyperus esculentus L.*, en la cual todos los tratamientos presentaron igualdad entre sí, para las malezas *Amaranthus*, *Sonchus oleraceus*, *Chenopodium murale* y *Sertarta adhaerens* se mostró un control total en todos los tratamientos evaluados con respecto al testigo.

Los periodos de solarización en las variables Materia Orgánica, Nitrógeno, Sodio, Plomo, Conductividad Eléctrica, Potasio y pH no se mostraron diferencia significativa entre tratamientos, pero para las tres ultimas variables existió una diferencia con respecto al testigo ya que en las variables de pH y Potasio el testigo fue menor que todos los tratamientos y en el CE fue mayor que todos los mismos, mientras que para el Fósforo muestra al tratamiento de 60DS como el de mayor valor y al testigo como al de menor, lo cual se refleja en el tratamiento de 60DS un aumento de 54.24% con respecto al testigo.

Con los resultados obtenidos en esta investigación logramos obtener mayores rendimientos con los diferentes periodos de solarización.

I. INTRODUCCIÓN

El frijol ha sido uno de los cultivos más importante en nuestro país por la superficie dedicada a la producción, por la cantidad de grano que se consume y la actividad económica que genera. En México la superficie dedicada a este cultivo ha llegado a superar los 2.0 millones de hectáreas aunque dicha cifra ha sido variable a través de los años.

Existen regiones que destacan por la superficie sembrada y por la cantidad de grano que aportan para el consumo nacional tal es el caso de los estados de Zacatecas, Durango, Chihuahua, Sinaloa, Nayarit, Jalisco Tamaulipas y Guanajuato.

Los productores líderes de frijol en el mercado mundial son India, Brasil, China, Estados Unidos y México. A pesar de ello, México es un país importador de frijol. México complementa el abasto, importando frijol de Estados Unidos. En todo caso, Estados Unidos, Canadá, China y Argentina se perfilan como los principales abastecedores de frijol para satisfacer la demanda interna (INEGI, 2004).

Los cultivos tradicionales en particular los granos básicos: maíz y frijol son seriamente afectados por diferentes malezas y plagas del suelo, estas últimas se presentan generalmente con diversos grados de infestación o infección, por lo tanto, se esta buscando poner en practica la técnica del acolchados plástico para mejorar la eficiencia de agua, fertilizante y eliminar malezas y patógenos malignos.

Actualmente se han desarrollado acolchados plásticos de diferentes colores, espesores y formulaciones que pueden tener diferentes efectos en la temperatura del perfil superior del suelo y en las propiedades espectrales de la radiación reflejada, que pueden afectar el desarrollo y rendimiento de las plantas (Decoteaou *et al.*, 1988).

La solarización es el uso de la energía solar como medio de control no contaminante, es la única arma disponible para la recuperación de suelos fatigados por contaminantes químicos, o reduce los niveles de residuos cuando se usa combinado con tratamientos químicos. La sociedad en la que vivimos camina hacia mayores niveles de bienestar que incluyen cada vez más exigencias sanitarias, y mayores restricciones en contenidos de residuos. La solarización puede aportar la técnica adecuada para aproximarnos a un nivel de agricultura biológica, si no se cometen errores en el proceso de transferencia de esta tecnología. Lo que se busca no es ya un control absoluto de las enfermedades, sino más bien una reducción económica del nivel de enfermedad, mediante la explotación los recursos biológicos y físicos naturales.

Palabras clave.- Cultivo de fríjol, acolchado plástico, cubierta transparente, cubierta blanca, periodos de solarización, malezas, patógenos, factores fisiológicos, rendimiento.

Objetivo General

Evaluar el efecto de diferentes periodos de solarización sobre los nematodos, hongos, control de malezas y examinar su influencia sobre el crecimiento, fotosíntesis y rendimiento del cultivo de fríjol con acolchado y riego por goteo.

Objetivo Especifico

Examinar el efecto de la solarización sobre el posible control de patógenos del suelo, crecimiento y rendimiento de fríjol.

Hipótesis

La solarización es una técnica que mejora la fertilidad del suelo, reduce algunos patógenos y malezas, y también aumenta el crecimiento vegetativo de las plantas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Origen del Cultivo de Fríjol

Los centros de origen y domesticación establecidos por Ivanov (referido por Sánchez, 2002), del género *Phaseolus* son dos:

Sur de México y Guatemala para tres especies de origen americano: *Phaseolus vulgaris*, *Phaseolus coccineus* y *Phaseolus lanatus*, aunque las primeras y las últimas especies están aún en discusión. Recientemente sitúa al progenitor de *Phaseolus vulgaris* en las vertientes occidentales de México y Centroamérica. En el caso de *Phaseolus lanatus*, el punto está aún menos claro. Indica que se trata de Guatemala y basa su idea en formas menos seleccionadas; así usando el carácter tamaño de semillas, encuentra que a partir de Guatemala las semillas van aumentando de tamaño, y por tanto su grado de selección. Y por otro lado, en base a la información arqueológica, tenemos que los restos más antiguos se han localizado en Perú (5,300 años a partir de nuestros días), y en México solo datan de hace 1800 años. También apoya como centro de origen de *Phaseolus lanatus* al Perú, usando el criterio de tiempo de domesticación; así piensa que “los frijoles de Lima encontrados en ruinas de las más antiguas civilizaciones de Perú, tienen sus semillas casi cien veces más grandes que las silvestres del área” siendo inconsistente, por un lado, el concepto de testigos antiguos de semillas grandes, y por otro, una domesticación reciente de ese frijol. Siempre existe la posibilidad de una domesticación independiente en áreas lejanas usando a una misma especie silvestre de amplia distribución geográfica, o sea que un cultivar puede tener un origen poligenético.

Suroeste de Estados Unidos y Noroeste de México para el *Phaseolus acutifolius* tanto el progenitor como el cultivar se sobreponen en parte de su distribución. Sin embargo, los restos arqueológicos más antiguos no están en dicha área, sino se localizan en el área de Tehuacan, Puebla; así mismo este autor sugiere que el centro de domesticación no fue el suroeste-noroeste, sino que fue llevado allí ya como cultivar.

Taxonómia del Fríjol

Parsons (1981) indica que el fríjol pertenece al género *Phaseolus*, el cual comprende un amplio número de especies que incluyen hierbas anuales perennes, erectas y volubles. También señala que la especie más importante es el fríjol *Phaseolus vulgaris* L:

Reino	Vegetal
Subreino	Embriofhyta
Clase	Angiosperma
Subclase	Dicotiledónea
Orden	Rosales
Familia	Leguminoseae
Subfamilia	Papilionoideae
Tribu	Phaseoleae
Subtribu	Phaseolinae
Género	Phaseolus
Especie	Phaseolus vulgaris L.

Morfología del Fríjol

La morfología y fisiología del fríjol se relaciona con el comportamiento productivo de la planta, el cual se manifiesta en forma diferente según el medio ambiental y las técnicas del cultivo utilizadas (Galván, 1986).

Raíces

- Raíz principal. Pueden alcanzar una profundidad de 1 a 2 metros y es de tipo ramificado.
- Raíces laterales. Estas desarrollan una radícula cónica (Galván, 1986).

Hojas

- Hojas cotiledóneas. Son las primeras dos especies de hojas de forma acorazonada, sencillas y opuestas. Estas hojas son el resultado de la germinación epigea, o sea cuando los cotiledones salen a la superficie.
- Hojas verdaderas. Estas hojas son pinadas, trifoliadas o pubescentes. Su tamaño varía de acuerdo con la variedad del fríjol.

Inflorescencia

Esta aparece en forma de racimo. Nace en la axila de las hojas. Puede ser lateral o Terminal.

Flor

Esta formada por cinco sépalos, cinco pétalos, diez estambres y un pistilo. Esta flor es típica de las leguminosas. Sus pétalos difieren morfológicamente, pero en su conjunto forman la corola.

- Estandarte. Es el pétalo más grande. Esta situado en la parte superior de la corola.
- Alas. Son los dos pétalos laterales.
- Quilla. Son los dos pétalos inferiores, unidos por los bordes laterales.
- Legumbre. Es el fruto de las leguminosas. La semilla esta encerrada en una vaina. El color de la vaina puede ser verde, amarillo, blanco o plateado. Las semillas se propagan por dehiscencia, o sea, que la vaina al madurar se abre dejando escapar sus semillas.
- Semilla de fríjol. Existen infinidad de semillas que difieren en tamaño, forma y color.

Tallo

Es milimétrico y consta de tres o cuatro nudos, su porción mas baja es el nudo de donde surgen los cotiledones; este nudo es, a su vez la parte más alta del hipocotilo. El hipocotilo es la zona de transición entre las estructuras típicas del tallo y la raíz.

Etapas Fenológicas del Fríjol

Etapas 1.- Germinación

Al sembrar la semilla debe colocarse en un ambiente favorable para que germine. Se debe tomar como iniciación de la etapa 1, el día en que las semillas tienen humedad suficiente para el comienzo del proceso de germinación; es decir, el día del primer riego, o de la primera lluvia. La semilla absorbe agua inicialmente y ocurren en ella los fenómenos de división celular y las reacciones bioquímicas que liberan los nutrimentos de los cotiledones. Posteriormente emerge la radícula (generalmente por el lado del hilum). Luego esta se convierte en raíz primaria al aparecer sobre ella las raíces secundarias

y terciarias. El hipocotilo también crece y cuando los cotiledones quedan a nivel de suelo, termina la etapa de la germinación (CIAT, 1982).

Etapas 2.- Emergencia

La etapa 2 se inicia cuando los cotiledones de la planta aparecen al nivel del suelo; se considera que el cultivo de frijol inicia la etapa 1 cuando el 50% de la población esperada presenta los cotiledones al nivel del suelo.

Después de la emergencia, el hipocotilo se endereza y sigue creciendo hasta alcanzar su tamaño máximo. Cuando este se encuentra completamente erecto, los cotiledones empiezan a separarse y se nota que el hipocotilo ha empezado a desarrollarse. Luego comienza el despliegue de las hojas primarias; las láminas empiezan a separarse y a abrirse hasta desplegarse completamente.

Etapas 3.- Hojas Primarias

La etapa 3 comienza cuando las hojas primarias de la planta están desplegadas. En el cultivo se considera que esta etapa comienza cuando el 50% de la planta presenta estas características. Las hojas primarias son unifoliadas y opuestas, están situadas en el segundo nudo del tallo principal y cuando están completamente desplegadas se encuentra generalmente en posición horizontal, aunque no hayan alcanzado su máximo. En esta etapa comienza el desarrollo vegetativo rápido de la planta durante el cual se formará el tallo, las ramas y las hojas trifoliadas.

Las hojas trifoliadas son alternas. Al inicio de esta etapa se puede observar la primera hoja trifoliada que comienza su crecimiento. Los cotiledones pierden en este momento su forma, arqueándose y arrugándose. El crecimiento de una hoja trifoliada incluye tres pasos: inicialmente, los folíolos todavía unidos

aumentan de tamaño; luego, estos se separan y por último, se despliegan y se extienden en un solo plano.

Etapas 4.- Primera hoja Trifoliada

Esta etapa se inicia cuando las plantas presentan la primera hoja trifoliada completamente abierta y plana. Cuando el 50% de hojas en un cultivo presentan la primera hoja trifoliada desplegada, se inicia la etapa 4.

Etapas 5.- Tercera hoja trifoliada

Esta etapa comienza cuando la tercera hoja trifoliada se encuentra desplegada. En un cultivo se considera que se inicia la etapa 5 cuando el 50% de las plantas presentan esta característica. De igual manera que para la primera hoja trifoliada, esta se considera desplegada cuando las láminas de los folíolos se encuentran en un solo plano; se puede observar que la hoja se encuentra aún debajo de la primera hoja trifoliada. Es a partir de esta etapa que se hacen claramente diferenciales algunas estructuras vegetativas tales como el tallo, las ramas y otras hojas trifoliadas que se desarrollan a partir de las triadas de yemas que se encuentran en las axilas de las hojas de la planta, incluso de las hojas primarias y de los cotiledones.

Etapas 6.- Prefloración

Esta etapa se inicia cuando aparece el primer botón o el primer racimo. Se considera que el cultivo ha entrado a esta etapa cuando el 50% de las plantas presentan esta característica.

Etapas 7.- Floración

La etapa se inicia cuando la planta presenta la primera flor abierta y, cuando el 50% de las plantas presentan esta característica. La primera flor abierta corresponde al primer botón floral que apareció.

Etapas 8.- Formación de Vainas

Esta etapa se inicia cuando una planta presenta la primera vaina con la corola de la flor colgada o desprendida, y en condiciones de cultivo, cuando el 50% de las plantas presentan esta característica.

Etapas 9.- Llenado de Vainas

Esta etapa se inicia cuando el 50% de las plantas empiezan a llenar la primera vaina. Comienza entonces el crecimiento activo de las semillas. Vista por las suturas o de lado, las vainas presentan abultamiento que corresponden a las semillas en crecimiento. Al final de esta etapa los granos pierden su color verde para comenzar a adquirir las características de la variedad. En gran número de variedades ocurre entonces la pigmentación de la semilla.

Etapas 10.- Maduración

La etapa 9 se considera como la última de la escala del desarrollo, ya que en ella ocurre la maduración. Esta etapa se caracteriza por la decoración y secado de vainas. El cultivo inicia esta etapa cuando la primera vaina inicia su decoloración y secado, en el 50% de las plantas.

Plagas del Fríjol

Crispín (1987) considera que el fríjol es uno de los cultivos mas atacados por insectos. Y asienta que se ha constatado el ataque de no menos de 45 especies de insectos en 28 géneros, la mayor parte de importancia económica.

En una recopilación efectuada por anónimo (1982), en el Centro Internacional de Agricultura Tropical enlista alrededor de 200 especies de insectos y ácaros que dañan al cultivo del fríjol. En Cuba, Popov y colaboradores mencionados por De León (1981), reportaron 150 especies de insectos entre dañinos, útiles e indiferentes, encontrándose 25 especies dañinas.

Ospina (1980) menciona que las plagas de fríjol se pueden clasificar, para fines prácticos, en cuatro categorías basándose en el tipo de daño y el estado de desarrollo de la planta en el momento del ataque. Estas son:

- plagas que atacan las plántulas.
- plagas que atacan el follaje.
 - masticadores
 - chupadores
 - minadores
- plagas que atacan la vaina.
- plagas que atacan al grano almacenado.

Plagas que Atacan la Semilla y las Plántulas

Cortan o trozan las plantas a la altura del hipocotilo. Se presentan en focos en el campo. Son favorecidos por las lluvias, malezas, las temperaturas y humedad ambiental altas.

- Gusanos de tierra (*Spodoptera frugiperda*, *Feltia experta*, *Agrotis ipsilon*).
- Gusano picador (*Elasmopalpus lignosellus*).
- Grillos (*Gryllus assimilis*).

Plagas que atacan al follaje

- Mosca blanca (*Bemisia tabaci*)
- Lorito (*Empoasca kraemeri*)
- Caballada (*Prodenia eridania*)
- Comedores de Hoja (*Diabrotica*, *Cerotoma*)
- Arañita roja (*Tetranychus urticae*).

Plagas que atacan a los brotes y vainas

- Barrenadores de brotes (*Epinotia aporema*)
- Picadores de vainas (*Laspeyresia leguminis*)
- Heliotis (*Heliothis virescens*)
- Prodiplosis (*Prodiplosis longifila*)

Época para Combatir las Plagas del Fríjol

En el cultivo de fríjol es de vital importancia vigilar estrictamente la abundancia de diversas poblaciones de insectos plaga durante los primeros 40 días de desarrollo, es decir, desde la emergencia de la planta hasta el inicio de la floración. Se ha determinado que precisamente en esta fase la planta se afecta en gran proporción y los rendimientos decrecen en forma drástica (CIAT, 1982).

Enfermedades del Fríjol

Los patógenos penetran en las plantas a través de las aberturas naturales (estomas, lenticelas, hidatodos y nectarios) a través de heridas causadas por granizadas, vientos fuertes, aperos de labranza, o atravesando la epidermis, como lo hacen algunos hongos. Muchas de las bacterias se introducen por las aberturas naturales; las gotas de agua facilitan el desplazamiento hasta la cavidad subestomatal. Una vez dentro del tejido se multiplican abundantemente y causan necrosis y marchitamiento al taponar las haces vasculares (Campos, 1997).

Algunos insectos como las chicharritas, las mosquitas blancas, y los pulgones, son agentes transmisores de enfermedades virosas. Estos adquieren los virus con pocos segundos al alimentarse de una planta enferma y los transmite a las plantas sanas. Ciertos virus, para poder ser transmitidos, requieren de un periodo de incubación en el insecto; estos virus pueden causar mosaicos, arrugamientos y acaparamiento. En cuanto a los nematodos, estos penetran en las raíces en forma mecánica y ocasionan pudriciones y agallas.

Principales Enfermedades

Se han observado diversas enfermedades del fríjol pero las principales son: el moho blanco o salivazo, los mosaicos, el chahuixtle, y el “damping- off” o secadera de plántulas. La primera es la mas importante y es particularmente severa bajo condiciones de alta humedad del terreno; los mosaicos aparentemente son transmitidos por insectos chupadores, y el chahuixtle a través del viento y plantas hospederas. El “damping off” ‘puede causar daños importantes, dependiendo del grado de infestación del suelo por los hongos causantes de esta enfermedad (CIAT, 1982).

Otras Enfermedades

➤ Pudriciones radicales

Producida por un complejo de hongos de los géneros: *Rhizoctonia*, *Fusarium*, *Macrophomina* y *Esclerotium*. Produce pudriciones de semilla, raíz y tallo, ocasionando la muerte de plantas. Es favorecida con la alta humedad del suelo, sequías, siembras continuas, suelo compactado, semilla de mala calidad, siembras profundas y riegos abundantes.

➤ Virus

Se transmite generalmente a través de insectos, por la semilla y mecánicamente. Deforman, enrollan y decoloran (mosaico) las hojas, produciendo enanismo y a veces la muerte. Afectan la floración, el tamaño de la vaina y el rendimiento entre el 5 y 20%. La diabrotica y cerotoma transmiten el virus al Caupí.

➤ Oidium

En sus inicios se presenta como manchas color plumizo en el envés de las hojas y luego sus micelios toman una apariencia polvoza y blanquecina. Con frecuencia ataca tallos, hojas, deforma vainas y ocasiona muerte de las plantas. Es favorecida por las sequías, la baja humedad ambiental y las temperaturas moderadas. Se disemina por semilla y a través del viento. Afecta el rendimiento entre 10 y 60%.

➤ Roya

Se presenta como pústulas de color marrón rojizo que se inician como puntos amarillentos en el envés de las hojas. En ataques severos produce amarillamiento y defoliación y puede reducir los rendimientos hasta en 80%.

Malezas del Fríjol

Uno de los factores que mayormente inciden en estos bajos rendimientos es la competencia ocasionada por el crecimiento de las malezas. En la práctica, el agricultor realiza dos limpiezas a mano, las cuales representan un 25-35 % del costo de producción del cultivo.

Además de ser costosas, las limpiezas son hechas en una forma empírica, sin ninguna sistematización, por lo tanto, no existen evidencias experimentales en este aspecto.

En un estudio sobre la determinación del periodo crítico de competencia entre frijol y malezas, concluyen que el mayor daño es ocasionado por las malezas durante los primeros 30 días de desarrollo del cultivo, causando reducciones en el rendimiento de aproximadamente 50%, estando el período crítico de competencia entre los 10 días después de la emergencia hasta los 30 días de desarrollo de las plantas de frijol (Agundis *et al*, 1982).

Se encontró que para que haya un buen desarrollo en variedades de tipo guía, es necesario controlar las malezas la 5a. y 7a. semanas posteriores a la germinación, después de lo cual las malezas son controladas por la misma competencia que ejercen las plantas de frijol (Dawson, 1984).

Importancia del Cultivo

Por su parte el INIFAP (1995) menciona que después del maíz, el frijol es el segundo alimento en importancia en la dieta de nuestro país y constituye una base genética y proteica. Las localidades de este cultivo son muy variables en cuanto a apariencia ya que los factores genéticos y ambientales afectan su calidad y valor comercial.

Así también FIRA (2001) menciona que México es el quinto productor mundial de frijol a pesar de poseer el tercer lugar en superficie destinada a este cultivo. Los principales estados productores son en primer lugar Zacatecas con el 27 por ciento de la producción nacional. Sinaloa le sigue con el 12 y Durango con el 10, Chihuahua con el 7, Chiapas con el 5 y Guanajuato el 4 por ciento y que en su conjunto suma el 73 por ciento de la producción nacional.

Así mismo INEGI (2004) menciona que el estado de Zacatecas es el principal estado productor de frijol en nuestro país, ya que para el año 2003 obtuvo una producción de 452, 127 toneladas.

Salgado (1978) menciona que la composición química del frijol revela que algunos elementos químicos están al mismo nivel que la carne de res, y es fácil digerir y asimilar por el organismo humano.

Importancia del Cultivo en la Región

En el estado de Coahuila, en un mayor número de años, se siniestra más del 40% de la superficie sembrada con frijol, debido a la escasa precipitación como lo muestra el cuadro siguiente:

Cuadro 1.- Superficie sembrada, siniestrada y porcentaje siniestrado de frijol en Coahuila.

Años	Superficie Sembrada Has.	Superficie Siniestrada Has.	% Siniestrado
1992	3,441	2,132	61.96
1993	4 038	2,151	53.27
1994	7 555	3,402	45.03
1995	7 574	3,033	40.04
1996	10,967	2,200	20.06
1997	10,987	6,253	56.91
1998	10,941	1,672	15.28
1999	9,498	6,162	64.88
2000	9,891	4,040	40.85
2001	7,708	2,722	35.31
2002	8,724	1,861	21.33

La región del sur del estado de Coahuila esta ubicada dentro de las zonas semiáridas del país, que se caracteriza por una precipitación escasa y mal distribuida, no siendo suficiente para satisfacer adecuadamente los requerimientos hídricos de los cultivos bajo temporal (Blanco y Ramírez, 2002). En esta región se encuentra ubicado el Distrito de Desarrollo Rural 04, el cual comprende los municipios de Saltillo, Arteaga, Ramos Arizpe, General Cepeda y Parras de la Fuente. En este distrito normalmente siembran bajo temporal cerca de 30,000 ha, la mayor superficie es ocupada por maíz y frijol, en menor escala avena y sorgo forrajero. En el cuadro 1 se hace referencia al estado de Coahuila, sin embargo en el DDR 04 se siembra el 80% de la superficie mencionada. En el período de 1993 a 1997 el rendimiento promedio regional para frijol fue de 500 kg / ha.

Principio del Acolchado

Anteriormente el acolchado pedía hacerse con materiales inertes o no vivientes que también son muy útiles, el material vegetal usado como acolchado incluye residuos de cultivos, como maíz, sorgo y otros cereales. Las malezas cortadas pueden funcionar como acolchado en especial las gramíneas como: *Panicum spp.* (Pasto guinea) y *Paspalum spp.* (Bahagrass) pueden utilizarse residuos de cultivos perennes, como banano, bagazo de caña de azúcar, cáscaras de coco y diversas especies de palma. En esta técnica también se utilizan acolchados de polietileno (plástico) que consiste en la colocación de un plástico sobre un suelo que está labrado y húmedo previamente, en este mismo proceso se pueden hacer otras labores culturales como siembra, fertilización y colocación de cintilla (Badiola y Reus, 1997)

El acolchado es una técnica empleada para proteger los cultivos y el suelo de la acción de los agentes atmosféricos. Se utiliza en explotaciones agrícolas con distintos fines. Tiene efectos favorables sobre el suelo y el medio ambiente. La mayoría de los plásticos empleados en el acolchado incrementa la temperatura del suelo (Badiola y Reus, 1997.)

Principales Ventajas del Acolchamiento (Henao, 2001).

Control de malezas

La impermeabilidad a la luz solar de algunos polietilenos, detiene el crecimiento de malezas.

Humedad del suelo

La impermeabilidad del polietileno impide la evaporación del agua del suelo, consiguiendo que el líquido permanezca disponible para las plantas cultivadas. La plantación mantiene una alimentación regular y constante.

Fertilidad del suelo

La temperatura y humedad del suelo incrementadas debido a la cobertura de polietileno favorecen la nitrificación y por tanto, la absorción del nitrógeno. Adicionalmente, al estar protegido el terreno, las lluvias no lavan el suelo; los fertilizantes no son arrastrados a profundidades donde no puedan llegar las raíces. Se elimina casi por completo las pérdidas de nitrógeno por lavado.

Protección del suelo

El método de cobertura de suelos con polietileno contribuye efectivamente a evitar la erosión y el endurecimiento de la tierra.

Reducción de áfidos

La utilización de polietilenos con caras plata o blanco hacia el sol consigue el efecto reflexión de luz. Este efecto tiene gran influencia contra la presencia de mosca blanca y otros áfidos, aunque a veces el efecto es opuesto.

Reflexión de luz

Los plásticos plata y blancos reflejan la luz solar proporcionando a las hojas luz en anverso y reverso, con lo cual se estimula la fotosíntesis, se mejora la calidad de los frutos y se obtienen cosechas más tempranas.

Temperatura del suelo

El plástico transmite al suelo la energía calorífica recibida del sol durante el día, produciendo el efecto invernadero. Durante la noche el polietileno limita la fuga de las radiaciones IR (energía calorífica generada por el suelo y las plantas)

y mantiene, durante la noche, temperaturas para las raíces más altas que las del ambiente.

Desarrollo de Raíces

El suelo acolchado tiene una estructura adecuada para el desarrollo de las raíces. Estas se hacen más abundantes y más largas en forma horizontal debido a que la planta localiza la humedad suficiente a poca profundidad. El incremento de raicillas estimula a la planta para efectuar mayor succión de aguas, sales minerales y demás fertilizantes, que producen mayores rendimientos.

Reducción de costos por mano de obra, herbicidas e insecticidas

Los beneficios proporcionados por los plásticos que bloquean el desarrollo de malezas son tan grandes que en la mayoría de los casos, solo este factor, justifica económicamente la inversión. Adicionalmente, al no tener que aplicar herbicidas e insecticidas, obtiene frutos de mejor calidad y se beneficia de los demás factores mencionados en los párrafos anteriores.

Reducción de costos de agua y fertilizantes

El evitar la evaporación reduce los costos de agua y evita la consiguiente pérdida simultánea de fertilizantes. Hay interrelación entre los factores que benefician la producción empleando cobertura de suelos o mulch, ya que parte de la reducción del consumo de agua y fertilizantes se debe también al hecho de que se bloquee el desarrollo de malezas que consumen estos elementos.

Bajo costo (Excelente relación costo-beneficio)

A diferencia de lo que generalmente se cree, el costo de los polietilenos para acolchamiento agrícola es muy bajo, si se tiene en cuenta que la optimización de

este recurso está en una buena recomendación en cuanto a los espesores. Las nuevas tecnologías han aportado con calibres muy delgados pero de alta resistencia mecánica lo cual contribuye a tener altos rendimientos con baja inversión.

Desventajas del Acolchamiento

A grandes rasgos se ven dos desventajas, una económica y otra de carácter ambiental. La economía radica que el costo de cubiertas plásticas para acolchar puede ser prohibitivo a determinados pequeños agricultores, sobre todo de la denominada agricultura de subsistencia, por lo que el apoyo financiero del estado para los agricultores es vital en una etapa inicial de uso del método.

En grandes áreas de cultivo ya se ha venido utilizando la solarización. Ya a este nivel de uso surge el problema ambiental con las películas plásticas deterioradas, que no recoge y ni se destruye se convierten en un contaminante del medio.

Aplicación de las Distintas Cubiertas de Polietileno

Película transparente

Cuando una película es transparente, las malas hierbas se desarrollan, según las, más o menos vigorosamente. Para poder combatir las malas hierbas con los plásticos transparentes hay que cerrar el orificio de la planta inmediatamente después de la plantación, con una pala o con otro material pesado para que la película quede bien adherida al suelo y no permita la mínima circulación de aire, de esta manera, la alta temperatura y la alta humedad en el ambiente quemarán las malas hierbas germinadas, en su primera fase vegetativa antes de hacer volumen y antes de que puedan levantar

la película plástica y surtirse de aire que necesitan. De todas formas, la película transparente será tanto más eficaz cuanto menor sea el número de las malas hierbas que se encuentren en el momento de hacer el acolchamiento (Ramírez, 1995).

Estas cubiertas tienen la propiedad de transmitir un elevado porcentaje de los rayos solares recibidos (más del 80 por ciento), lo cual provoca un notable calentamiento del terreno que cubre al actuar como abrigo. Este efecto de invernadero produce la buena germinación de las semillas, favorece el crecimiento de los cultivos y da lugar a la obtención de cosechas precoces.

También menciona que las películas transparentes permiten el paso de los rayos solares, lo que aumenta el calor del suelo y las hace ser de gran utilidad para el buen desarrollo de algunos cultivos; su principal desventaja estriba de esta deseable característica, el paso de los rayos del sol permite, a su vez, la proliferación de malezas bajo el plástico, que deterioran el material y compiten con los cultivos en el aprovechamientos de agua y nutrientes. El mayor calor del suelo acelera el crecimiento vegetativo, haciendo posible adelantar los períodos de recolección.

De acuerdo a Ramírez (1995) las ventajas y desventajas que tienen los plásticos transparentes para acolchado de suelos son:

Ventajas

- Aumenta considerablemente la temperatura del suelo durante el día.
- Protege los cultivos durante la noche al permitir el paso de las radiaciones caloríficas del suelo hacia la atmósfera.
- Da precocidad a los cultivos.

Desventajas

- Favorece el crecimiento de las malas hierbas, las cuales sustraen del suelo elementos fertilizantes y reservas de agua. Estas malas hierbas levantan los plásticos.

Película blanca

Se asume que una superficie de plástico blanco es alrededor de 7 °C más fría que un plástico de color negro (Ramírez, 1996) la emisión de longitud de onda larga será muy baja (400 Wm^{-2} a 25 °C) y (485 Wm^{-2} a 40 °C). El acolchado color blanco tiene la mayor reflexión de luz fotosintética de 65 a 75 %.

En el plástico blanco, existe un mayor porcentaje de radiación reflejada y probablemente, mejor calidad de luz que es absorbida por las hojas en los diferentes estratos del dosel incluso donde la radiación directa del sol no puede llegar; así que las hojas realizan de la mejor manera sus actividades fisiológicas y también el cultivo de chile responde a esta radiación porque es exigente en luminosidad. Celis, (2005), encontró que el acolchado blanco fue el mejor para precocidad y rendimiento en el cultivo de chile

Trigueros, (2006) trabajando en tomate bajo invernadero, encontró que el acolchado de polietileno blanco produce mayor rendimiento total y mayor precocidad en otoño, mientras que en primavera muestra menor rendimiento y mayor precocidad. La ventaja del polietileno blanco en invierno esta dada por el beneficio de reflejar la luz sobre las plantas.

Linares (1993) citado por Trigueros, (2006) reporta que al evaluar películas fotoselectivas de PVC en el cultivo de sandía (*Citrullus lanatus* L.) utilizó los colores verde, rojo, amarillo, y azul, reportando en sus resultados que con la

película blanca se obtienen los mejores resultados en los parámetros de diámetro de tallo, longitud de planta, precocidad y rendimiento total.

Generalidades de la Solarización

La solarización del suelo es un proceso hidrotérmico que tiene lugar en el suelo húmedo, que es cubierto por una película plástica y expuesto a la luz solar durante los meses más cálidos. El proceso del calentamiento solar del suelo es conocido como solarización del suelo y abarca un complejo de cambios físicos, químicos y biológicos del mismo, asociados con el calentamiento solar y tiene valor como una alternativa al uso de ciertos productos químicos para la agricultura que serán radiados del uso agrícola. La solarización del suelo es un proceso de cobertura que tuvo sus orígenes en las épocas tempranas de la agricultura cuando esta práctica fue usada para cubrir el suelo y las plantas con materiales orgánicos e inorgánicos para formar una barrera protectora contra las heladas. El suelo así calentado fue usado para aumentar el crecimiento de las plantas y la cobertura también fue utilizada para limitar la evaporación de agua del suelo, para controlar malezas, para mejorar la estructura del suelo y para combatir la erosión (Lai, 1984).

Cuando se comenzaron a usar las coberturas de plástico el polietileno fue considerado ideal para el calentamiento solar en razón de que es básicamente transparente a la radiación solar (280-2500 nm) extendiéndose hasta el extremo infrarrojo, pero menos transparente a la radiación terrestre (5000-35000 nm) reduciendo el escape de calor del suelo. El polietileno es un derivado petroquímico y su costo está directamente relacionado con su espesor. Las películas de polietileno claras han sido usadas con buenos resultados en la solarización del suelo (Lai, 1984).

Conversión de la radiación solar a calor bajo la cobertura

Durante la solarización del suelo, la radiación solar recibida penetra a través de la película plástica y es absorbida por el suelo. La mayor parte de la radiación absorbida es convertida en calor. Dado que todos los objetos por encima del cero absoluto emiten calor, tanto la cantidad como la calidad de la energía radiante emitida por el suelo dependen de la temperatura del mismo. De acuerdo a la ley de Stefan Boltzman, la cantidad de radiación emitida es función de la cuarta potencia de la temperatura absoluta: $Q = e d T^4$ donde:

Q= cantidad de energía radiada en calorías

d = constante de Stefan-Boltzman ($8,132 \times 10^{-11}$ cal/cm²/min.gr K⁴)

T = temperatura absoluta en grados Kelvin.

La longitud de onda de la radiación emitida por cualquier objeto también está influenciada por la temperatura. De acuerdo a la ley de Wein, la longitud de onda de la radiación emitida es inversamente proporcional a la temperatura del objeto ($\lambda \propto 1/T$). Por lo tanto, la radiación solar es emitida a longitudes de onda más cortas comparadas con las emitidas por la tierra (99 por ciento de la radiación solar está comprendida entre 150-4,000 nm, mientras que la radiación terrestre es emitida a cerca de 10,000 nm, 99 por ciento de la radiación del suelo es emitida entre 400-100,000 nm (IR larga) (Salisbury y Ross, 1980). Por lo tanto, la radiación solar puede fácilmente penetrar la cobertura de plástico pero la radiación emitida por el suelo (normalmente a una longitud de onda más larga) no puede pasar a través de esa cobertura. Consecuentemente, la mayor parte de esa radiación será retenida debajo de la cobertura plástica. Durante este proceso la temperatura del suelo podría elevarse a niveles letales para muchos de los organismos del suelo, incluyendo patógenos de las plantas y malezas.

Tipo y grosor del plástico

Los plásticos cristalinos o transparentes muestran el mayor porcentaje de transmitancia en el espectro visible y en el infrarrojo corto de la radiación solar que en términos generales son las longitudes de onda que más contribuyen al calentamiento de los suelos; por otra parte, los plásticos claros reflejan la radiación y evitan que llegue al suelo consecuentemente son los que menos proporcionan calor al suelo. En lo que se refiere a espesores o grosores de plásticos la mayoría de las experiencias en solarización nos indican que los plásticos más delgados son más eficientes que los plásticos gruesos debido a que se adhieren mejor a la superficie del suelo y evitan la presencia de bolsas de aire que ocasionarían el enfriamiento del mismo (Munro *et al* ,1993).

En lo que se refiere a experiencias en México en investigaciones acerca del uso de polietilenos transparentes de diferentes grosores, Munro *et al* (1993) mencionan que plásticos del calibre 80, 100 y 120 son muy eficientes para calentar el suelo pero se fracturan en poco tiempo y no resisten el manejo en cultivos acolchados, así mismo estos autores encontraron, que los plásticos de calibre 150 son también eficientes para incrementar la temperatura del suelo y resisten el tiempo suficiente para lograr cosechar cultivos hortícola. Así mismo se ha encontrado que los plásticos cristalinos sin aditivos ni pigmentaciones son eficientes para un buen calentamiento del suelo.

Importancia económica

Con el método de solarización, puede desinfectar el suelo antes de sembrar o plantar en la parcela. Su efecto es sobre:

Hongos de la clasificación Damping off (*Fusarium*, *Verticillium*, *Rhizoctonia*, *Phyium*) que se encuentran en la capa arable del suelo, estos son los principales causantes de las enfermedades de las plantas causadas por hongos.

Los insectos y gusanos se alimentan de las hojas, tallos y raíces, algunos de ellos son portadores de enfermedades causadas por hongos, bacterias y algunos causados por virus, también podemos destacar al *meloidogyne* spp. (Nematodo) que se alimenta de las raíces de las plantas (Agrios, 2005).

Muchas hierbas anuales (deja inservibles las semillas), las malezas son uno de los principales causantes de la baja producción de la competencia de nutrientes, agua, luz, y suelo. Aunque la solarización no controla bien algunas malas hierbas (*Cyperus*, *Cynodon*, *Portulaca*...).

Las altas temperaturas en el suelo se logran cuando la humedad del suelo es suficiente. La actividad de varios organismos (patógenos y malezas) se ve favorecida por la humedad y esto, a su vez, eleva la susceptibilidad de los mismos a las altas temperaturas. También mejora la conducción de calor en el suelo y permite la actividad biológica durante la solarización (Brock, 1988).

La solarización conlleva una elevación del rendimiento del cultivo posterior, más crecimiento, vigor, más altura, más producción de flores y frutos. Hay un aumento temporal de más nutrientes minerales disueltos y materia orgánica soluble (Brock, 1997).

Limitaciones

- Aplicable a regiones que tenga una elevada irradiación solar y altas temperaturas de verano.
- Durante el tratamiento, el suelo debe de estar libre de cultivo, como mínimo durante 1 mes en verano.
- No es un método de desinfección total 100%.
- Algunas plagas son de difícil control o no son controladas por este tratamiento.
- Entre las fajas solarizadas no hay control de plagas en los surcos.
- Los vientos fuertes o los animales pueden romper la película de cobertura (Badiola y Reus, 1997).

Modo de reducción de los patógenos del suelo

Los organismos del suelo son destruidos directa o indirectamente por las temperaturas a las que se llega durante el calentamiento solar del suelo húmedo bajo películas de polietileno que limitan el escape de gases y vapor de agua del suelo. La sensibilidad de algunos organismos a las altas temperaturas está relacionada con pequeñas diferencias en macromoléculas que llevan a un incremento de los enlaces intramoleculares con pequeños cambios en los enlaces-H, los enlaces iónicos y los enlaces de disulfitos (Brock, 1988). Los lípidos insaturados (que tienen un punto de fusión más bajo) en las membranas de los organismos mesofíticos hacen que sean más sensibles a las altas temperaturas durante la solarización del suelo que las especies termotolerantes. La sensibilidad de los organismos al calor está relacionada con un límite superior de la fluidez de las membranas, más allá del cual su función se reduce (Sundarum, 1986). Se encontró que la curva termal letal para los hongos patógenos es de tipo logarítmico. Los organismos termotolerantes y termofílicos del suelo por lo general sobreviven al proceso de solarización del suelo.

Relación entre la humedad y temperatura

La declinación térmica de los organismos del suelo durante el proceso de solarización depende de la humedad y de la temperatura del suelo y del tiempo de exposición, los cuales están inversamente relacionados. La humedad del suelo es una variable crítica en todo el proceso de solarización del suelo. La humedad hace que los organismos sean más sensibles al calor; además, la transferencia de calor a las semillas de las malezas es incrementada por la humedad. Dado que la solarización es un proceso hidrotérmico y que su éxito depende de la humedad disponible para una mayor transferencia de calor, el calor máximo que alcanzan los suelos se incrementa con el aumento de la humedad de los mismos (Mahrer, 1989). Las actividades celulares de las semillas y el crecimiento de los microorganismos del suelo son favorecidos por la humedad del suelo, haciéndolos más vulnerables a los efectos letales de las altas temperaturas del suelo asociadas a la solarización del mismo.

La interacción entre las temperaturas y la humedad del suelo promueve el ciclo del agua en el suelo durante la solarización. Las capas superiores del suelo (5 cm superiores) tienen una marcada fluctuación diurna de la temperatura, enfriándose durante la noche y calentándose a altas temperaturas durante las horas de sol. Esta fluctuación diurna causa que la humedad en las capas superiores del suelo descienda durante el día como resultado de la radiación solar, mientras que de noche baja la temperatura de las capas superiores causando un movimiento ascendente de la humedad.

Rango de temperaturas alcanzadas bajo la cubierta

Las temperaturas que comúnmente se alcanzan con la solarización del suelo oscilan entre 35-60°C, dependiendo de la profundidad del mismo; por ejemplo, llegan a más de 45°C en la capa de los 15cm superiores del suelo, en el verano, en el valle de San Joaquín (Stapleton *et al* 1990). Muchas plagas del suelo son bien controladas con cuatro a ocho semanas de solarización en la capa de 10-30cm (zona radical).

Efectos de la solarización

La eficiencia de la solarización del suelo para controlar las plagas del suelo es función de las relaciones entre el tiempo y la temperatura y se basa en el hecho que muchos patógenos de las plantas, las malezas y otras plagas, son mesófilos. En el caso de estos organismos mesófilos, es crítico un umbral de temperatura de 37 °C; la acumulación de los efectos del calor a esta o a temperaturas más altas durante un cierto tiempo, es letal. Al aumentar la temperatura se requiere menos tiempo para alcanzar una combinación letal de tiempo y temperatura. Por ejemplo, a 37 °C, la temperatura letal de exposición (para muchos hongos mesófilos) puede requerir de dos a cuatro semanas, mientras que a 47 °C entre una y seis horas de exposición serán suficientes.

Eficiencia sobre patógenos

En general se ha comprobado que la solarización es efectiva contra varios patógenos del suelo bajo diversas condiciones.

Desde los primeros trabajos se conoce la eficacia contra *Verticillium* (Tomate, Berenjena, Patata), *Rhizoctonia solani* (Patata, Cebolla) *Sclerotium rolfsii* (Cacahuete), *Pyrenochaeta terrestris* (Cebolla), *Fusarium spp.* (Algodón, Melón, Tomate, Cebolla), *Plasmodiophora brassicae* nematodos como *Pratylenchus thornei* (Patata). La solarización reduce significativamente la incidencia de *Fusarium oxysporum fsp ciceri* sobre altramuza, también aumenta la nodulación, cosecha y altura de las plantas en madurez. La decoloración del xilema y el número de propagulos fúngicos en el suelo y se reduce la viabilidad de las *clamidoporas* (Arora, 1989).

La reducción de la incidencia de la enfermedad en los suelos solarizados se produce en los tres componentes bióticos que intervienen, huésped patógeno y microorganismos que le rodean. Así como sobre los componentes abióticos del ambiente tanto físicos como químicos.

Por otra parte la reinfestación a partir de núcleos que hayan sobrevivido al tratamiento, dado que este nunca alcanza una eficacia total, capas profundas, o suelos adyacentes no tratados, se ve dificultada por el efecto de antibiosis y competición favorecido por la solarización. Este hecho ha sido comprobado para muchos hongos como *S. sclerotiorum* (Phillips 1990) en el que la solarización produce una reducción de inóculo debida a la colonización de microorganismos y a la degradación de los esclerocios debilitados por temperaturas subletales.

Trichoderma spp y *Bacillus subtilis*, microorganismos de los experimentados como antagonista, resisten el calor mejor que los patógenos, lo mismo ocurre con bacterias saprofitas y actinomicetos. Las temperaturas alcanzadas por la solarización no siempre son letales para el patógeno y para los antagonistas, y por tanto reducen la probabilidad de vacío biológico, a diferencia de la desinfección del suelo clásica.

Se ha podido comprobar que propagulos de *Talaromyces flavus* aumentan su supervivencia en los suelos solarizados y podrían estar relacionados con la eficacia de la solarización (Tjamos, 1988). Los propágulos de *Aspergillus terreus* también aumentan en suelos tratados. (Freeman *et al* 1990) observa también inducción a la supresividad del suelo con la solarización.

Eficiencia contra malas hierbas.

Diversos autores en los últimos años han demostrado el hecho de que la solarización reduce la vegetación espontánea (Ashley, 1990; Braun *et al* 1986; Cebolla *et al* 1990; Del Busto *et al* 1999), también, por otra parte, Silveira *et al.* (1990) afirman que esta técnica controló considerablemente la población de malas hierbas en cultivos de cebolla y lechuga.

La solarización influye notablemente sobre malas hierbas anuales, en menor medida sobre perennes, e incluso sobre algunas plantas parásitas como *Orobancha* spp. (Sauerborn *et al* 1989; Spreich *et al* 1990). En el IVIA se sembraron tubérculos de *Cyperus esculentus* a unos 5 cm. de profundidad y después de solarizar se observó una buena acción sobre el tubérculo madre que redujo enormemente la población. También se ha observado un gran control sobre *Calendula arvensis* y *Urtica urens* *Sonchus* spp.

Esta técnica reduce el peso seco de la vegetación espontánea (Sauerborn *et al* 1989; Phillips 1990) sobre todo cuando el período de solarización excede los 10 días en la época más calurosa. Estos mismos autores citan dos leguminosas, *Coronilla scorpioides* y *Scorpirus muricatus*, que no fueron controladas por la solarización. La resistencia de las leguminosas a la solarización se ha comprobado en parcelas experimentales del IVIA. Con esas mismas especies y además *Medicago litoralis* y *Melilotus indica*.

Trabajos de laboratorio simulando la solarización han sido realizados por algunos autores (Egley, 1990; Del Busto *et al* 1999) para conocer la viabilidad de algunas especies, *Portulaca oleracea*, *Amaranthus retroflexus*, *Sorghum halepense*, *Abutilon theophrasti*, *Xanthium strumarium*.

Fertilidad del suelo

La mayor disponibilidad de nutrientes minerales que hay después de la solarización del suelo está mayormente relacionada con la fracción orgánica tales como $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, P, y Mg, como resultado de la muerte de la microbiota (Stapleton *et al.*, 1990). Los elementos P, K, y algunos Mg extraíbles han sido encontrados en mayores cantidades después de la solarización del suelo (Stapleton *et al.*, 1982). La liberación de compuestos del N (vapor o líquido) es un componente del modo de acción ya que una mayor concentración de N reducido se nitrificará después de la solarización del suelo para

proporcionar NO_3 para un mayor crecimiento de las plantas (Stapleton *et al.*, 1990).

La concentración de cada elemento es función del pH del suelo y de los microorganismos nitrificantes (Hasson *et al.*, 1987). Las altas temperaturas que alcanzan los suelos ricos en materia orgánica pueden matar buena parte de la microbiota, incluyendo los organismos nitrificantes y favoreciendo la acumulación de $\text{NH}_4\text{-N}$. Por otro lado, las bajas temperaturas del suelo en los suelos con bajo contenido de materia orgánica permitirán la sobrevivencia de la biota del suelo y promoverán condiciones aeróbicas con una mínima liberación de compuestos nitrogenados dando lugar a la nitrificación y pérdida de N del suelo, ya que el NO_3 es fácilmente lixiviado.

Sistema de Riego por Goteo

Rojas y Briones, (1990) definen al riego por goteo como la aplicación artificial de agua al suelo en forma lenta pero frecuente y en pequeñas cantidades dirigidas directamente a la zona radicular de las plantas a donde llega a través de emisores o goteros de 2 a 10 LPH con flujo gradual y uniforme. El agua aplicada se distribuye en el perfil del suelo describiendo un patrón de humedecimiento ovoide llamado bulbo de mojado cuyo contorno se extiende más lateral que verticalmente en suelos arcillosos, mientras que en suelos arenosos se presenta más alargado en forma vertical que horizontal. Por otra parte dado que la aplicación es intermitente permite mantener el suelo en condiciones óptimas de humedad durante el desarrollo del cultivo.

El riego por goteo y acolchado en tomate de industria proporciona una mejor eficiencia en el uso del agua, pero su manejo ha de contemplarse en función de las características del suelo (Pardo *et al.*, 2001).

Además en el riego por goteo se pueden suministrar nutrientes disueltos en el agua, con lo que se permite su distribución uniforme en el tiempo y en el espacio. De esta forma, se puede reducir el uso de fertilizante mejorando la calidad del agua drenada (Hartz y Hochmuth, 1996).

Ventajas del Sistema de Riego por Goteo (Matta, 1998)

- La eficiencia del riego por goteo es muy alta (90 a 95%), y la distribución del agua es muy uniforme.
- Permite la fertirrigación con una gran eficiencia.
- Con este sistema se puede regar muy frecuentemente con pequeñas cantidades de agua, de tal manera que el suelo esté siempre húmedo, con buena relación entre agua y aire.
- El régimen de aplicación (intervalos entre riego y cantidad de agua), puede ajustarse exactamente de acuerdo con las condiciones del suelo y del cultivo.
- Es posible aprovechar el agua las veinticuatro horas del día, sin necesidad de supervisión continuada del riego.
- Con este sistema de riego a presión no se producen pérdidas de agua en los deslindes del predio y no se mojan los caminos ni las parcelas vecinas.
- Se aplica el agua que sólo las raíces del cultivo son capaces de absorber, por lo tanto se evita mojar otras áreas de terreno, lo que significa un ahorro de agua.

- Contribuye a facilitar el control de las malezas al humedecer el suelo en forma localizada, ya que el agua es entregada directamente al lado de las plantas y a lo largo de la línea del cultivo, quedando seca la superficie entre las líneas. Además, el agua de riego se aplica finamente filtrada y libre de semillas de malezas.
- Es posible ejecutar otras actividades agrícolas en el predio, durante el riego, como fumigación y cosecha.
- Los goteros dosifican su caudal, entregándolo gota a gota, de acuerdo a la capacidad de absorción del suelo y las necesidades del cultivo; así se minimiza las pérdidas por conducción y evaporación, como también la formación de costra superficial.
- El goteo impide que se forme un ambiente húmedo, como ocurre en otros sistemas de riego, disminuyendo con esto las condiciones propicias para el desarrollo de enfermedades. Además, el follaje no se moja.
- Es un sistema de riego de alta eficiencia, aún en terrenos con topografía irregular, en suelos poco profundos o con problemas de infiltración o en predios en que el recurso hídrico sea escaso. Además, en la preparación del terreno para el riego por goteo no son necesarias actividades especiales.
- Este método de riego ofrece especiales ventajas para su uso en zonas que dispongan de bajos caudales de agua, pero en forma casi continua, donde a través de un riego gota a gota es igualmente factible cubrir las necesidades de riego del cultivo.

Desventajas del Sistema de Riego por Goteo

- Su alto costo inicial de la inversión.
- Este sistema requiere de un especial cuidado en el filtraje del agua y mantenimiento de los goteros, pues son muy sensibles al taponamiento por materia orgánica o impurezas, también por el crecimiento de algas en el interior de la tubería. Por esta razón, los filtros deben ser limpiados frecuentemente.

Fotosíntesis

El proceso mediante el cual se realiza la conversión de la energía lumínica en los alimentos, se conoce como fotosíntesis. La luz solar al incidir sobre las hojas y activar las funciones de los cloroplastos, desencadenan una serie de reacciones de gran complejidad, en las cuales a partir de bióxido de carbono y el agua, se forman diversos tipos de azúcares que son el resultante de este proceso y componente de las partes comestibles de las especies vegetales (de la Rosa, 1997).

En esencia es un proceso de oxidación-reducción, en el que el carbono de CO_2 atmosférico se reduce a carbono orgánico, la fotosíntesis en las plantas consiste básicamente en la producción de una sustancia orgánica (un glucido simple) a partir de moléculas inorgánicas (el CO_2 como sustrato a reducir y el agua como donador de electrones que se oxida), mediante el aprovechamiento de la energía lumínica que se queda almacenada como energía química dentro de la molécula sintetizada y con desprendimiento del oxígeno (de la Rosa, 1997).

El proceso fotosintético es muy complejo pero de forma general se lleva a cabo en dos tipos: reacciones lumínicas y reacciones en la oscuridad (de la Rosa, 1997).

Las reacciones lumínicas se definen como el tipo de la fotosíntesis donde es necesaria la presencia de la luz para que estas se lleven a cabo, es decir, la energía lumínica es utilizada y absorbida por los pigmentos presentes en los tilacoides de los cloroplastos y allí es transformada en energía química y depositada en las moléculas de ATP y de NADPH.

La reacción de oscuridad se define como el tipo de reacciones fotosintéticas que no necesitan luz para llevarse a cabo, es decir, pueden realizarse en presencia o ausencia de luz. Estas reacciones ocurren en el estroma del cloroplasto y consisten fundamentalmente en la transformación de CO₂ atmosférico en carbón orgánico reducido (glucosa).

Factores Físicos que Interactúan con la Fotosíntesis

Luz

La luz hace que los estomas se abran en presencia de ésta, un estoma abierto permite la entrada de CO₂ y capacita la hoja para la fotosíntesis.

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

Chermnykh y Kosobrukhov (1988) estudiaron el efecto de varias intensidades de luz, CO₂ y temperatura sobre la actividad fotosintética de las plantas de pepino bajo condiciones de invernadero y observaron un aumento en la temperatura de fotosíntesis máxima cuando se incrementaba la intensidad

lumínica; incrementando simultáneamente los niveles de irradiación y temperatura se incremento el efecto de CO₂ en forma positiva en la fotosíntesis.

Temperatura

La temperatura afecta directamente las reacciones metabólicas que siguen a las reacciones de luz y dependiendo de la eficiencia y la velocidad con que se realicen, la asimilación de CO₂ será modificada.

Las altas temperatura limitan la absorción neta de CO₂ al actuar sobre los procesos básicos dependientes de la apertura. La temperatura afecta indirectamente sobre la tasa fotosintética ya que la planta para evitar exceso transpira en forma de vapor de agua (Días, 1988).

Solamente el 3% de la energía solar que absorben las hojas se utiliza en la fotosíntesis, el resto se convierte en calor, si no se eliminara ese exceso de temperatura se morirían las células de las plantas.

Se ha demostrado que la velocidad de la fotosíntesis aumenta al incrementarse la temperatura, pero al pasar los 40 °C la velocidad desciende rápidamente, y ocurre la desnaturalización de las enzimas, por efectos del calor que lleva a una disminución en la fotosíntesis (Alexander, 1992).

Las altas temperaturas ocasionan una desorganización fisiológica debido básicamente al desajuste entre la fotosíntesis y la respiración, lo que origina abortos en hojas y frutos en formación (Días, 1988).

Efecto del CO₂

El CO₂ es la fuente de carbono a partir del cual se sintetiza otros compuestos mediante la utilización de la energía solar. Para poder realizar esta

síntesis se requiere de poder reductor y energía química, estas formas son NADPH Y ATP respectivamente; ambas se forman mediante reacciones lumínicas de la fotosíntesis. Generalmente se considera que las concentraciones de CO_2 y O_2 en la atmósfera son de 0.03% y 21% respectivamente, pero actualmente se sabe que la concentración de CO_2 se esta modificando en el transcurso de los años (Beadle *et al.*, 1985).

Nedheroff *et al.*, (1989) hicieron mediciones de las concentraciones de CO_2 dentro y fuera de invernadero, combinándolo con mediciones lineales proporcionales de ventilación y observaron una correlación positiva entre la fotosíntesis y la concentración de bióxido de carbono (CO_2).

Disponibilidad de agua

La deficiencia del agua en el suelo afecta la fisiología y el rendimiento de las plantas a través del potencial hídrico de las hojas. El descenso del potencial hídrico afecta muchos procesos fisiológicos, un ejemplo de la deficiencia del agua es que la fotosíntesis es sensible al estrés hídrico, pero los estomas se cierran cuando la planta no absorbe agua y por lo tanto no hay absorción de CO_2 , un efecto mas expresado por la planta es la marchitez, flacidez del tallo y hojas.

La cantidad de agua usada directamente en las reacciones de la fotosíntesis es pequeña, comparada con la transpirada o almacenada en las plantas en cualquier tiempo, la condición hídrica de la planta influye severamente en el crecimiento de la planta, en particular a través de sus efectos en la expansión de la hoja y de la raíz. La tasa de fotosíntesis del dosel de un cultivo disminuye con la escasez de agua debido al cierre de los estomas y a los efectos de los déficit hídricos en los procesos de los cloroplastos (Beadle, *et al.*, 1985).

Edad de la planta

La eficiencia fotosintética depende de la edad de la hoja y el genotipo de la planta, así como de la demanda de asimilados en la floración y efecto del medio ambiente. Bajo condiciones medioambientales comparables, la porción de la fotosíntesis declina con la edad y la expresión completa de la hoja (Dwyer y Stewart, 1986).

Transpiración

La transpiración es el proceso mediante el cual la planta regula su temperatura, que consiste en la pérdida de agua en forma de vapor a través de los estomas y cutículas o lenticelas hacia una atmósfera no saturada de humedad.

La velocidad de transpiración es mas baja por la noche, en que los estomas suelen estar cerrados y la temperatura mas baja reduce la velocidad de evaporación de agua de las células del mesófilo. Los numerosos y pequeños orificios de los estomas proporcionan una vía notablemente eficaz para la difusión de vapor de agua, oxígeno y CO_2 .

La evaporación de las hojas de una planta causa que el agua suba desde las raíces, este proceso permite también que los minerales disueltos en el agua entre la planta, otro resultado de la evaporación es el enfriamiento de las hojas. Este efecto es importante porque solamente el 3% de la energía solar que absorbe las hojas se usan en la fotosíntesis, el resto se convierte en calor, si no se eliminara, se morirían las células de la planta (Alexander, 1992).

Tomando en consideración que un gramo de agua líquida consume más de 500 calorías para pasar al estado de vapor, se comprende el efecto refrescante de la transpiración. De no ser por este efecto, las hojas sometidas a una inmensa carga calorífica no podrían evitar los daños por sobrecalentamiento.

Factores Físicos que Interactúan con la Transpiración

Luz

La luz es el mecanismo que gobierna la apertura y cierre estomatal en condiciones normales de humedad, temperatura y viento.

La luz blanca tal y como nos llega del sol, esta compuesta de ondas de varias longitudes, pero solo una parte de este espectro visible es efectivo en el proceso fisiológico de la planta.

Temperatura

La temperatura esta relacionada con la transpiración ya que provoca el calentamiento de las hojas por lo que la planta tiene que transpirar o de lo contrario sufriría lesiones.

La velocidad de transpiración es mas baja durante la noche ya que los estomas suelen estar cerrados y la temperatura mas baja reduce la velocidad de evaporación de agua de las células del mesófilo (Alexander, 1992).

Conductancia Estomática

El estoma tiene como función, proveer de alimento (CO_2) a la planta y al mismo tiempo actúa como termorregulador y evitar la deshidratación.

Más del 90% del agua que recibe una planta se pierde a través de las hojas. El vapor de agua se mueve por difusión, a través de los espacios del mesófilo hacia los estomas. Entonces el agua se difunde a través del estoma, directamente de la atmósfera, mientras el vapor de agua se mueve hacia fuera del estoma el CO_2 de la atmósfera entra a la hoja por el estoma (Alexander, 1992).

III. MATERIALES Y METODOS

Localización y características del sitio experimental

El trabajo de investigación se realizó en el periodo primavera-verano del 2008 en el campo experimental del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), localizado en Saltillo, Coahuila.

Clima

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

Suelos

El pH del sitio experimental es de 8.1 clasificándose como un suelo medianamente alcalino, con un contenido de materia orgánica de 2.38, lo que lo hace medianamente rico. Presenta una conductividad eléctrica de 3.7 milimhos/cm, siendo ligeramente salino, el contenido de arcilla es de 42%, el de limo es de 45.4% y el de are arena 12.6%, siendo clasificado como un suelo limo-arcilloso.

Calidad del agua de riego

El agua utilizada para riego pertenece a la clase C₃S₁, Lo que significa que es de calidad media, apta para suelos bien drenados.

Establecimiento del Experimento

Preparación del terreno

Para la preparación del terreno fue necesario el rastreo aplicando una cruz para desmenuzar los terrones del primer rastreo, por lo cual fue necesario utilizar un tractor y un implemento de rastreo.

Marcación y formación del terreno

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

Colocación de cubiertas

Para acolchar el terreno del sitio experimental se utilizaron 2 tipos de cubierta una transparente y una de color blanco sobre negro, la primera se colocó en periodo para la solarización que fue el 01 de abril del 2008, y la segunda para llevar a cabo la siembra el 03 de junio del mismo año, ésta colocación se realizó de una manera manual en ambas ocasiones.

Descripción de los tratamientos

Cuadro 2. Tratamientos de desinfección utilizando película de polietileno transparente en diferentes periodos de solarización.

Tratamientos	Material	Periodo de solarización (días)
T1	Acolchado	60
T2	Acolchado	50
T3	Acolchado	40
T4	Acolchado	30
T5	Testigo	0

Una vez que se solarizó el suelo, se acolcho con una película plástica blanca para llevarse acabo la siembra y así poder evaluar la respuesta del cultivo después de dicho proceso.

Establecimiento del cultivo

El cultivo de frijol (Peruano) se estableció en camas de 0.80 m de ancho y una longitud de 7.0 m, con una distancia de 1.8 m entre centros de camas. Se utilizó cinta de riego por goteo T-Tape, con emisores espaciados cada 30.5 cm y un flujo de 0.98 L h^{-1} , las cintas se colocaron manualmente en la superficie a los lados de la hilera central del cultivo quedando en el centro con las hileras laterales.

Fecha de siembra

La semilla de frijol se sembró manualmente en el campo el 21 de Junio del 2008, con tres hileras de plantas por cama, a una distancia de 10 cm entre plantas y 20 cm entre hileras.

Fertirrigación

Después de 2 semanas de la siembra se hizo la aplicación de fertilizante aplicado en el riego con la fórmula (80-40-00), el riego se hizo cada 3 días, el tiempo variaba según era la necesidad, ya que en algunos casos las lluvias abastecían de agua al cultivo.

Control de plagas

Para combatir las plagas que se presentaron a lo largo de experimento se aplicaron en forma preventiva y de control algunos agroquímicos como Ridomil, Methomyl 90, Confidor, Tecto 60 y Disparo. Para la aplicación de estos

productos se utilizó una mochila de aspersión manual con capacidad de 15 litros. La mosquita blanca y diabrotica fueron las principales plagas que se presentaron en el desarrollo del cultivo.

Variables Evaluadas

Poblaciones de patógenos

Para el muestreo de las poblaciones de patógenos en el suelo, se sacaron muestras de suelo a una profundidad de 30 cm, se realizaron tres tomas por cada unidad experimental se homogenizó y se tomó la muestra, ajustada a un kilogramo, se tomaron tres unidades experimentales por bloque que fueron la del tratamiento de 0, 30 y 60 días de solarización en los 4 bloques completando 12 muestras, estas muestras se realizaron después del descubrimiento del tratamiento de 60 días que fue el 31 de mayo del 2008, y se mandaron a analizar en el Centro Internacional De Servicios Fitosanitarios, S.A. de C.V.(CISEF) ubicada en Urdiñola Norte, 360 C.P.25000 en Saltillo Coahuila.

Colocación de sensores de temperatura

La temperatura de suelo se midió a 10 cm de profundidad con termocoples cobre-constantan (diámetro 0.6 mm), los termocoples fueron conectados a un datalogger (21X, Campbell Sci., Logan, UT), el datalogger se conectó a un multiplexor AM25T (Campbell Sci.). El datalogger fue programado para almacenar temperaturas de suelo cada 10 s^{-1} y almacenar promedios diarios de temperatura máxima, media y mínima en un periodo de 60 dda (días después del acolchado) y 90 dds (días después de la siembra).

Para el cálculo de las unidades calor se realizo con la siguiente formula:

$$UC = ((\text{Temperatura Mínima} + \text{Temperatura Máxima}) / 2)$$

Toma de tasa fotosintética y área foliar

La tasa de fotosíntesis fue determinada con un medidor portátil de fotosíntesis (LI-6200, LI-COR, Lincoln, NE, EU). Las mediciones fueron hechas en días claros entre las 11:00 y 14:00 h en la segunda hoja de planta en una dirección descendente. Las mediciones se hicieron en tres plantas en cada unidad experimental. El área foliar se determinó con un equipo portátil LI-3100, LI-COR (Lincoln, NE) en tres plantas de cada unidad experimental a los 20, 30, 40, 50 días después de la siembra (*dds*). Las plantas cosechadas se separaron en hojas y tallos. Las hojas y tallos se secaron en una estufa de aire donde permanecieron a 70 °C hasta obtener masa seca constante, con la suma de ambas masas se obtuvo la masa seca por planta.

Evaluación de cosecha

Una vez maduro el grano se contabilizó el número de vainas a 10 plantas, se obtuvo el peso de 100 granos, se cosecharon 102 plantas por unidad experimental a las cuales se les determinó el rendimiento y se transformó a ton/ha.

Determinación de nutrientes de la planta

Esta practica se llevo acabo en el laboratorio del Centro de Investigación en Química Aplicada. Las muestras que se utilizaron fueron las hojas secas del quinto muestreo que fueron utilizadas para sacar el área foliar y peso seco, esta muestra fue tomada el 20 de agosto del 2008.

Análisis de suelo

Este análisis fue determinado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en el departamento de suelos, en el laboratorio de fertilidad, en el cual se determinó N, P, K, CE, PH, Na, Pb. En cada unidad experimental se tomaron tres muestras se homogenizó y se tomó la muestra representativa, ajustada a un kilogramo, dicho análisis fue para las 20 unidades experimentales.

Diseño experimental

El diseño experimental fue bloques completos al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron: (I) 30 días de solarización, (II) 40 días de solarización, (III) 50 días después de solarización, (IV) 60 días de solarización, que se compararon en su respuesta con el (V) testigo, suelo desnudo. Los espesores de los plásticos fueron de 0.0375 mm de espesor y 1.20 m, el modelo estadístico de este diseño es:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + E_{ij}$$

Donde:

μ = Media general.

T_i = 1, 2, 3, 4, 5 tratamientos; diferentes periodos de solarización.

β_j = 1, 2, 2, 4 bloques; número de bloques.

E_{ij} = error experimental.

Y_{ij} = variable aleatoria observable del i-ésimo periodo de solarización en el j-ésimo bloque.

Los datos fueron analizados usando el SAS, PROC GLM (SAS Inst., Cary, North Carolina, EU). Las medias de los datos obtenidos se analizaron usando la prueba DMS (0.05).

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

Para la interpretación de los resultados obtenidos, debe considerarse que los datos provienen de varias plantas representativas de cada parcela experimental, con hojas sanas, sin daño mecánico, sin embargo, los datos de las variables fisiológicas representan mediciones instantáneas, en condiciones ambientales específicas difícilmente permanecen constantes durante todo el ciclo biológico de las plantas. Los resultados de la comparación de medias y los análisis de varianza se encuentran en el Apéndice.

Cobertura de Malezas

Cabe mencionar que la evaluación de cobertura de malezas fue medida en dos unidades diferentes, eso se debe a que el testigo de las cuatro repeticiones tuvo una cobertura total y fue imposible de contabilizar planta por planta, sin embargo, en los tratamientos que recibieron solarización no existió problema, por lo tanto, se contabilizó planta por planta de cada maleza y fue evaluado en un modelo estadístico (Cuadros 4 y 21) mientras que en el testigo solo se obtuvo un promedio y fue expresado en porcentaje (Cuadro 3).

En los tratamientos la cobertura vegetal de malezas fue evaluada en el lado norte, sur y superficie de la cama de siembra, ya que se observaron diferentes comportamientos para los diferentes lados, mientras que en los testigos fue evaluado para la cama total, en la cual se identificaron 6 especies de malezas diferentes (Cuadro 3).

Cuadro 3. Promedio de malezas encontradas en las unidades experimentales utilizadas como testigo. CIQA 2008

	<i>Cyperus esculentus</i> L. (%)	<i>Portulaca oleracea</i> L. (%)	<i>Amaranthus</i> (%)	<i>Sonchus oleraceus</i> (%)	<i>Chenopodium murale</i> (%)	<i>Sertaria adhaerens</i> (%)
Testigo	30	20	12	5	23	10

El análisis de varianza para el lado norte y sur (Cuadro 21), muestra que para la maleza *Cyperus esculentus* L. se obtuvo una diferencia altamente significativa entre tratamientos y repeticiones, mientras que para la *Portulaca oleracea* L. no existe diferencia significativa en ambos, por otra parte, en la superficie de la cama solo sé reflejo *Cyperus esculentus* L., la cual no mostró diferencia significativa entre tratamientos y repeticiones.

La comparación de medias para el lado norte y sur (Cuadro 4), mostró que la maleza *Cyperus esculentus* L. se comporto de diferente manera en cada uno de los tratamientos para cada lado, reflejando al tratamiento de 30DS como el de mayor cobertura con valores de 580 y 145 plantas, respectivamente y el de menor cobertura que fue el de 60DS con 497 y 76 plantas sobrevivientes respectivamente, mientras que la *Portulaca oleracea* L. mostró igualdad entre tratamientos, por otro parte, en la superficie de la cama existió un mejor control ya que solo se detecto *Cyperus esculentus* L., en la cual todos los tratamientos presentaron igualdad entre sí (Cuadro 4),

Cuadro 4. Comparación de medias del efecto de diferentes periodos de la solarización en las malezas más comunes, en el lado norte, sur y sobre la superficie de la cama de siembra. CIQA 2008.

Tratamiento	Lado Norte <i>Cyperus esculentus</i> L.	<i>Portulaca oleracea</i> L.	Superficie <i>Cyperus esculentus</i> L.	Lado Sur <i>Cyperus esculentus</i> L.	<i>Portulaca oleracea</i> L.
60DS	497.51c	33.25	95.75	76.00b	29.75
50DS	531.25b	40.25	100.50	128.75a	29.75
40DS	558.25a	42.00	99.00	124.50a	31.50
30DS	580.01a	42.00	102.00	145.75a	31.50
DMS(0.05)	21.09	ns	ns	28.58	ns

DMS = diferencia mínima significativa; DS=días de solarización; ns= no significativa.
Tratamientos con la misma literal en cada columna son iguales entre si, DMS (P<0.05).

Cuadro 5. Promedio de las maleza controladas totalmente en el lado norte, sur y superficie de la cama de siembra.

Tratamiento	<i>Amaranthus</i>	<i>Sonchus oleraceus</i>	<i>Chenopodium murale</i>	<i>Sertarta adhaerens</i>
60DS	0	0	0	0
50DS	0	0	0	0
40DS	0	0	0	0
30DS	0	0	0	0

En las malezas *Amaranthus*, *Sonchus oleraceus*, *Chenopodium murale*, y *Sertarta adhaerens* se mostró un control total en todos los tratamientos con relación al testigo (Cuadro 3), por lo cual ya no fue necesario someter los datos al análisis estadístico, por ese motivo solo se le saco promedio (Cuadro 5).

Cabe mencionar que todos los tratamientos de solarización mostraron un efecto de reducción en las malezas identificadas con respecto al testigo, el testigo mostró una cobertura total de ellas (Cuadro 3).

Los resultados obtenidos en la presente investigación confirma lo mencionado por Phillips (1990) quien indica que la técnica de solarización reduce el peso seco de la vegetación espontánea, sobre todo cuando el periodo de Solarización excede los 10 días en la época más calurosa, y también coinciden con lo mencionado por Silveira *et al.* (1990) quienes afirman que la técnica de solarización controló considerablemente la población de malas hierbas en cultivos de cebolla y lechuga, análogas semejanzas son reportadas por Spreich *et al.* (1990) quienes demostraron que la solarización influye notablemente sobre malas hierbas anuales, en menor medida sobre perennes, e incluso sobre algunas plantas parásitas como *Orobancha spp.*

Lo anterior puede ser explicado en parte por lo indicado por Munro *et al.* (1993) quienes mencionan que los plásticos transparentes muestran el porcentaje de transmitancia de radiación en el espectro visible y en el infrarrojo corto de la radiación solar que en términos generales son las longitudes de onda que más contribuyen al calentamiento del suelo, por lo tanto, también justifica el comportamiento de el efecto en las tres áreas evaluadas, ya que el sol se encuentra ubicado hacia el sur de las unidades experimentales en las horas con mas alta luminosidad, lo cual hace que los rayos del sol caigan de una manera directa en la superficie y sur de las camas, mientras que en el lado norte se encuentra sombreado en ese periodo de mayor luminosidad, por la altura de las camas.

Patógenos del suelo

En el análisis del suelo se detectaron 5 tipos de hongos (*Rhizoctonia solani*, *Fusarium solani*, *Fusarium oxysporum*, *Pythium*, *Chaetophoma*) y 3 de nematodos (*Criconemella*, *Rhabditis*, *Aphelenchus*) los cuales se comportaron de la siguiente manera en el análisis estadístico.

Hongos

El análisis de varianza (Cuadro 30) para las 5 especies de hongos, mostró un comportamiento similar entre tratamientos y repeticiones para cada una de ellas, sin embargo, hubo diferencia numérica en la mayoría de hongos, tal fue el caso de *Fusarium solani*, *Fusarium oxysporum*, *Pythium* y *Chaetophoma*, los cuales coincidieron teniendo al tratamiento de 60DS como el de mayor control con valores de 575, 75, 0 y 0 ufc/kg, respectivamente, mientras que en el testigo los valores fueron 1025, 325, 150 y 75 ufc/kg, lo cual se muestra una reducción del 44, 77, 100, 100% en el tratamiento de 60DS con relación al testigo, por otra parte, el tratamiento de 30DS refleja una reducción del 0, 38, 33, 100%, respectivamente con relación al testigo.

Nematodos

El análisis de varianza (Cuadro 28) muestra que los tres tipos de nematodos identificados, no mostraron diferencia entre tratamientos y repeticiones, mientras que la comparación de medias (Cuadro 29) refleja que el nematodo *Criconemella* muestra una reducción de 57% respecto al testigo que fue el de mayor número de patógenos encontrados con un valor de 26 u/kg y los de menor número que fueron los tratamientos de 30DS y 60DS con valores de 10 y 11 u/kg respectivamente, ambos se comportaron de manera similar, mientras que los dos tipos de nematodos restantes (*Rhabditis* y *Aphelenchus*) no mostraron diferencia significativa entre tratamientos.

Como se puede observar los periodos de solarización (60DS, 30DS, Testigo) no mostraron variación estadística, eso se debe a que los datos del análisis de suelo tuvieron una gran variación entre tratamientos y repeticiones, lo cual al momento de ser analizados estadísticamente hacen que el coeficiente de variación tome un valor muy alto y el análisis no muestre diferencia entre los tratamientos.

Por otra parte, los periodos de solarización alcanzaron temperaturas máximas de 26 a 41°C y mostraron un gran porcentaje de reducción para cada uno de los patógenos encontrados, eso podría deberse a lo mencionado por De Vay (1990), que indica que la mayoría de los patógenos del suelo son organismos mesófilos lo cual tienen un umbral de temperatura de 37°C, también menciona que para muchos hongos mesófilos la temperatura letal es de 37°C con una exposición de dos a cuatro semanas, mientras que a 47°C entre una y seis horas.

Área Foliar

Durante las mediciones de área foliar en el cultivo de fríjol, los tratamientos evaluados mostraron diferencia significativa (Cuadro 6). Para la primera medición a los 20 dds, el tratamiento de 50DS fue el tratamiento de que tuvo el valor mas alto con 347.78 cm² planta⁻¹ seguido por el de 40 y 60DS con 318.54 y 313.64 cm² planta⁻¹, respectivamente, mientras que el testigo obtuvo el valor mas bajo con tan solo 245.96 cm² planta⁻¹.

Para las mediciones a los 30, 40, y 50 dds el tratamiento de 60DS fue superior a todos, comparado con el testigo, tuvo un incremento de 34.14, 43.13 y 38.66%. Los resultados del presente estudio concuerdan con lo obtenido por (Stapleton *et al.* 1990) quienes comprobaron que la solarización hace más accesible los nutrientes del suelo a las plantas e incrementa relativamente las poblaciones de bacterias del genero *Bacillus* que favorecen el crecimiento, desarrollo y productividad de las plantas cultivables.

Cuadro 6. Comparación de medias de área foliar en cuatro periodos de muestreo. CIQA 2008.

Tratamientos	20dds cm ² planta ⁻¹	30dds cm ² planta ⁻¹	40dds cm ² planta ⁻¹	50dds cm ² planta ⁻¹	Promedio
60DS	313.64b	794.76a	2229.00a	4849.80a	2046.80a
50DS	347.78a	751.54ab	1929.80b	4592.60ab	1905.43a
40DS	318.54b	684.07bc	1549.70c	3945.60bc	1624.48a
30DS	281.82c	614.72c	1530.90c	3789.50c	1554.26b
Testigo	245.96d	523.40d	1267.50c	2974.40d	1253.04c
DMS(0.05)	27.40	88.27	285.54	690.75	189.66

dds = días después de la siembra; DS = días de solarización

Tratamientos con la misma literal no difieren entre sí, DMS ($P \leq 0.05$)

Podemos apreciar que las medias para el área foliar del cultivo de frijol nos indican que el tratamiento de 60DS fue el que obtuvo mayor valor de área foliar durante las ultimas tres mediciones, seguido por el de 50, 40, 30DS y el testigo respectivamente, encontrando una diferencia entre el tratamiento de 60DS y el testigo de 38.79%(Fig. 1).

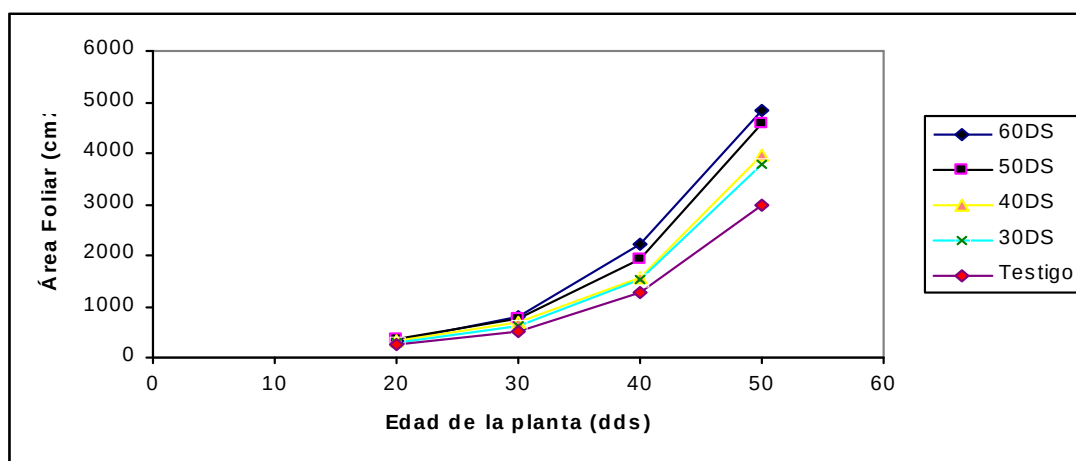


Fig. 1 Comportamiento del área foliar en cuatro fechas de muestreo durante el desarrollo del cultivo de frijol. CIQA 2008.

Los resultados obtenidos también coinciden con los de Cortés (2002), quien realizó un trabajo similar en el cultivo de papa encontrando que los acolchados incrementan el área foliar con respecto al suelo desnudo, esto podría deberse a que en el plástico blanco existe un mayor porcentaje de radiación reflejada y probablemente, mejor calidad de luz que es absorbida por las hojas en diferentes estratos del dosel incluso, donde la radiación directa del sol no puede llegar (Ramírez, 1996).

Peso seco de la planta

El análisis de varianza (Cuadro 16), reflejo que los tratamientos estudiados mostraron diferencia significativa al 0.01 de probabilidad, excepto en el segundo muestreo que solo mostró significancia al 0.05, por otra parte, las repeticiones del primero y segundo muestreo (20 y 30 dds) no tuvieron significancia, mientras que para el tercero y cuarto muestreo (40 y 50 dds) mostraron diferencia significativa al 0.01 de probabilidad.

Durante los muestreos del peso seco de planta, los tratamientos estudiados mostraron diferencia significativa (Cuadro 7). Para el primer muestreo a los 20 dds, el tratamiento de 50DS obtuvo el valor mas alto con 1.23 g planta⁻¹, seguido por los tratamientos 40, 60, 30DS y el testigo con valores de 1.11, 1.01, 0.95 y 0.85 g planta⁻¹, respectivamente, mientras que para los muestreos de 30, 40 y 50 dds el tratamiento de 60DS fue superior al resto de los tratamientos, comparado con el testigo, tuvo una diferencia de 24.19, 43.87 y 47.68%, en los respectivos muestreos, ya que el testigo mostró los valores mas bajos. Los resultados del presente estudio concuerdan con lo obtenido por (Arora, 1989) quien trabajando con el cultivo de chile encontró que la solarización reduce significativamente la incidencia de hongos, nematodos y algunas plagas, consecuentemente se presentó mayor altura de las plantas, peso seco de planta y rendimiento.

Cuadro 7. Comparación de medias de peso seco de planta en cuatro periodos de muestreo. CIQA 2008.

Tratamientos	20dds (g planta ⁻¹)	30dds (g planta ⁻¹)	40dds (g planta ⁻¹)	50dds (g planta ⁻¹)	Promedio (g planta ⁻¹)
60DS	1.01bc	2.81a	8.57a	17.49a	7.47a
50DS	1.23a	2.59ab	6.89b	14.81b	6.38b
40DS	1.11ab	2.54ab	6.11bc	12.68bc	5.61c
30DS	0.96cd	2.27bc	6.09bc	12.03c	5.33c
Testigo	0.85d	2.13c	4.81c	9.15d	4.24d
DMS(0.05)	0.13	0.36	1.41	2.26	0.69

dds = días después de la siembra; DS = días de solarización

Tratamientos con la misma literal no difieren entre sí. DMS ($P \leq 0.05$)

Podemos observar (Fig. 2) que las media para esta variable nos indica que el tratamiento de 60DS fue el que obtuvo mayor valor de peso seco de planta durante las últimas tres mediciones, seguido por el de 50, 40, 30, y testigo, encontrando una diferencia entre el tratamiento de 60DS y testigo de 43.23%.

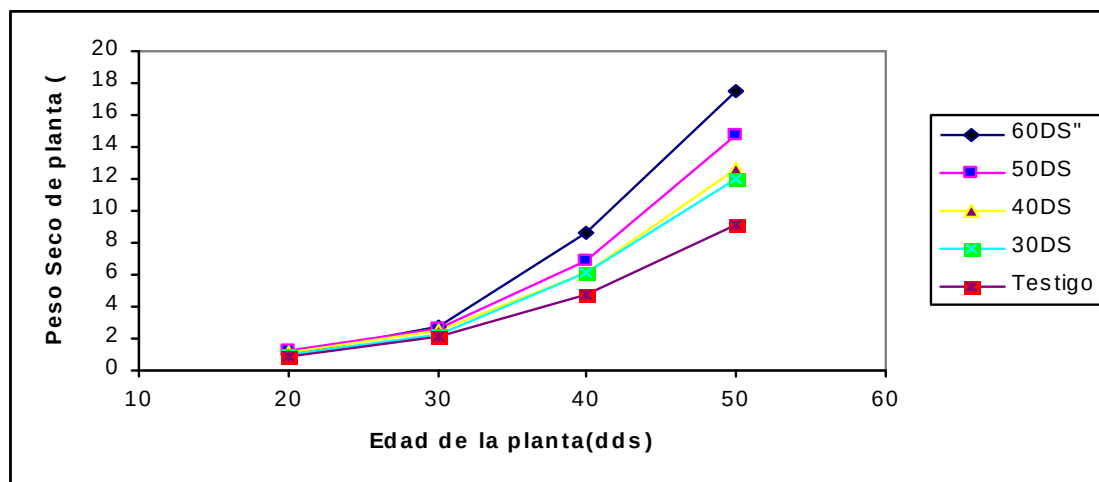


Fig. 2 Comportamiento del peso seco de planta en cuatro fechas de muestreo durante el desarrollo del cultivo de frijol. CIQA 2008.

Los resultados muestran que el acolchado plástico blanco tiene efecto en un proceso de vital importancia como es la producción de biomasa, lo cual nuevamente cumple con la afirmación de Ramírez (1996), quien menciona que en el acolchado plástico blanco existe un mayor porcentaje de radiación reflejada y probablemente, mejor calidad de luz que es absorbida por las hojas en los diferentes estratos del dosel incluso, donde la radiación directa del sol no puede llegar; así que las hojas realizan de la mejor manera su actividad fisiológica y consecuentemente generan un mayor valor de área foliar y materia seca.

La materia seca de las plantas se origina de la fotosíntesis y por este proceso la planta utiliza la energía de la radiación solar con la ayuda de la clorofila. El potencial de producción de biomasa está determinado por la radiación solar recibida, la producción esta dada por la eficiencia con el follaje que intercepte la radiación solar y la transforma en materia seca. Indirectamente el exceso o falta de humedad influye en el crecimiento de los tejidos vegetales, siendo este crecimiento menor aunque la temperatura sea óptima. Las células

de los tejidos de crecimiento, al estar expuestas a la sequedad, se hacen coriáceas y disminuye su multiplicación, por lo que es menor su crecimiento vegetativo y como consecuencia su masa seca. En el presente estudio los tratamientos que fueron acolchados produjeron mayor cantidad de biomasa y también un mayor rendimiento (Cuadro 10).

Temperaturas del suelo

Las temperaturas mínimas, medias y máximas del suelo bajo acolchado plástico blanco tendieron a ser superiores al testigo (Cuadros 23, 25, 27), cuando aún no tuvieron diferencia significativa entre sí, ya que solo tuvieron una diferencia de 1.69, 0.57 y 1.1°C, para temperatura mínima, media y máxima, respectivamente, según el promedio de temperatura durante el ciclo del cultivo.

Como se puede observar en la Fig. 3, las temperaturas del acolchado plástico blanco y el testigo fueron disminuyendo su temperatura durante el crecimiento del cultivo, esto podría deberse a que las plantas fueron desarrollándose vegetativamente hasta llegar a cubrir el acolchado y por esa razón explica la disminución de temperatura, ya que el acolchado se encuentra sombreado por las plantas.

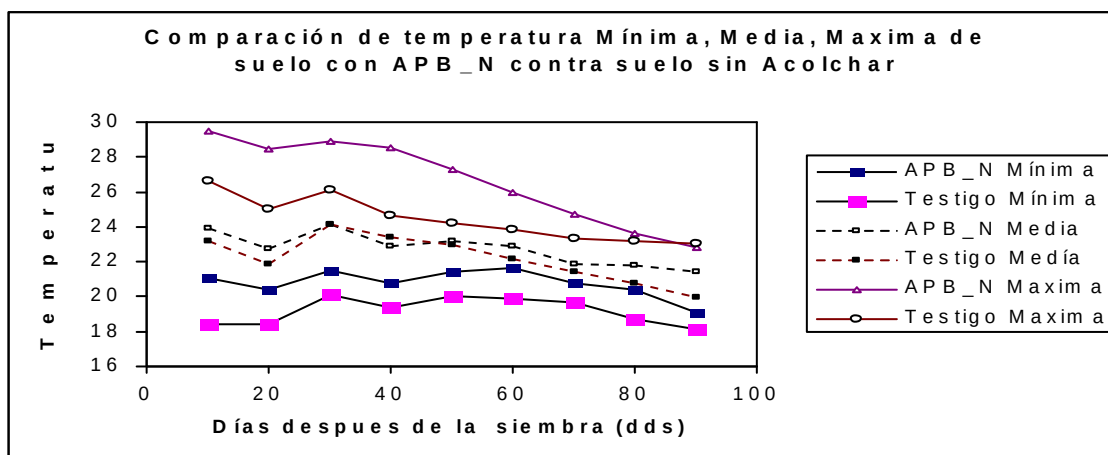


Fig. 3. Comparación de la temperatura mínima, media y máxima entre el suelo acolchado y desnudo, durante el desarrollo del cultivo de frijol.

Celis (2005) menciona que la temperatura de un suelo acolchado es mayor en comparación a la de un suelo descubierto, esto se logra mediante la barrera física que crean las películas plásticas, pero también depende la pigmentación, es decir del color del plástico.

Los resultados obtenidos también coinciden con lo reportado por Ramírez (1996) quien menciona que el acolchado blanco tiene una mayor reflexión de luz fotosintética de 65 a 75%, por lo tanto, la temperatura de este acolchado es alrededor de 6 °C menos frío que el negro y 1- 3 °C mas que el testigo.

Fotosíntesis

En los cuadros 32, 33, 34 y 35, se muestra que las tasas unitarias de fotosíntesis no tuvieron diferencia significativa entre tratamientos, para cada uno de los muestreos (20, 30, 40 y 50 dds). Los resultados del presente estudio con respecto a las tasas unitaria de fotosíntesis concuerdan con lo obtenido por Cortés (2002), quien no encontró diferencia significativa entre tratamientos de acolchados claros, en el cultivo de papa.

Como podemos observar en la Fig. 4, para las cuatro mediciones (20, 30, 40 y 50 dds) el mayor y menor valor cambio en cada uno de los tratamientos, pero sin marcar diferencia estadística. También se observa que cada vez que se tomaba la medición, la fotosíntesis unitaria decrecía cada vez más hasta llegar a tener una reducción promedio del 35.85% entre el periodo de la primera toma y la ultima (20 y 50 dds).

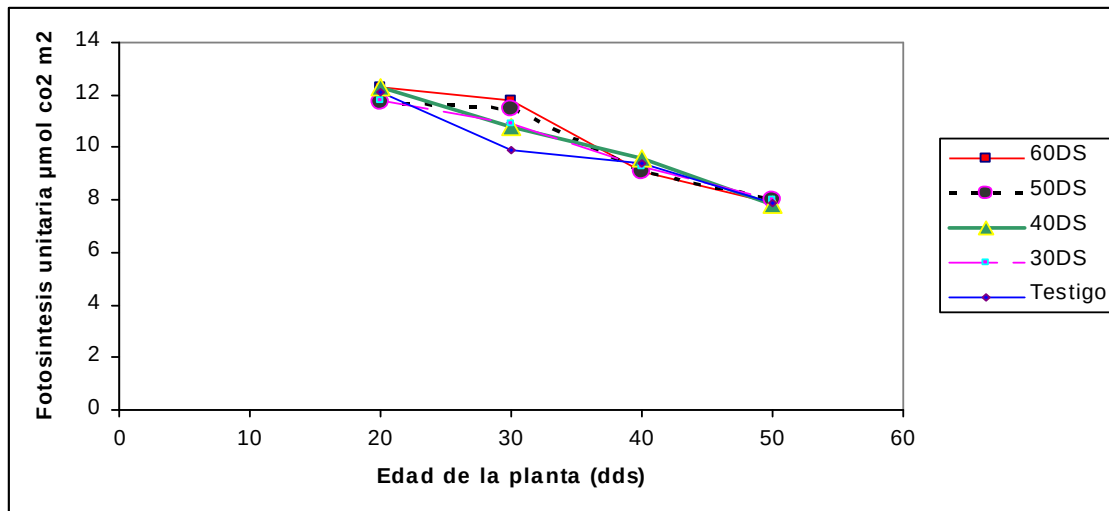


Fig. 4.- Influencia del acolchado plástico en la fotosíntesis unitaria en el cultivo de fríjol. CIQA 2008.

Estos resultados concuerdan con lo mencionado por Dwyer y Stewart (1986), quienes afirman que la porción de fotosíntesis declina con la edad de la planta y la expansión completa de la hoja, además tomando en cuenta que entre mediciones hay un espacio de 10 días, tiempo suficiente para que haya cambios importantes en cuanto a la madurez de la planta y por consiguiente, su tasa fotosintética disminuye.

Fotosíntesis, Conductancia estomática y transpiración

Según el ANVA (Cuadros 32, 33, 34 y 35) realizado a los datos registrados para las variables fotosíntesis, conductancia estomática y transpiración, en las cuatro mediciones (20, 30, 40 y 50 dds) no mostraron diferencia significativa entre tratamientos. Como podemos observar (Fig. 5) la transpiración guarda cierta relación con la fotosíntesis unitaria y conductancia estomática ya que cada una fue disminuyendo en cada una de las mediciones conforme pasaba el tiempo.

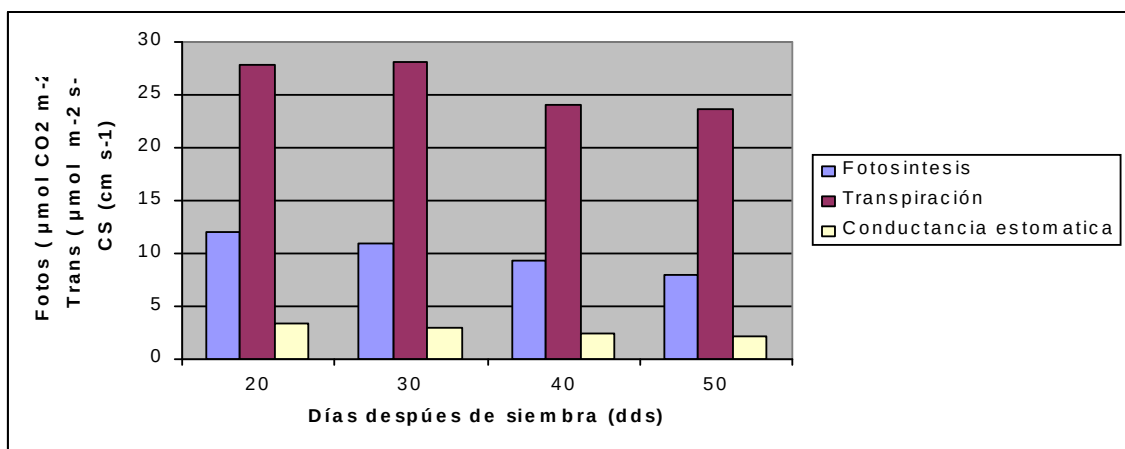


Fig. 5 Relación entre transpiración, conductancia estomática y fotosíntesis unitaria en el cultivo de frijol, usando promedios de cinco tratamientos. CIQA 2008.

Nuestros resultados concuerdan con lo encontrado por (Nederhoff, *et al.* 1989) quienes en un experimento evaluaron la fotosíntesis dentro y fuera del invernadero, combinándolo con mediciones lineales proporcionales de ventilación y observó una correlación positiva entre la fotosíntesis y conductancia estomática de acuerdo con (Alexander, 1992) la conductancia estomática normalmente incrementa la fotosíntesis en la planta; pero la mayoría del incremento de este, depende de la temperatura y transpiración de la planta, al respecto Ray (1985) menciona que la apertura y cierre de los estomas determina la pérdida de vapor, los estomas abiertos presentan poca resistencia a la transpiración por lo que hay mas conductancia estomática, cuando se cierran no se restringe ningún flujo de CO₂.

Comportamiento del Suelo Después de la Cosecha

El análisis de varianza (Cuadro 30), muestra que para las variables pH, Materia Orgánica, Nitrógeno, Sodio y Plomo no existió diferencia significativa entre tratamientos, mientras que las variables Conductividad Eléctrica, Fósforo y Potasio muestran significancia al 0.01 de probabilidad. Por otra parte, para las variables pH, Potasio y Sodio presentaron diferencia significativa de 0.01 de probabilidad entre repeticiones, mientras que la Conductividad Eléctrica, Materia Orgánica, Nitrógeno, Fósforo y Plomo no presentaron diferencia significativa.

Como se observa en la comparación de medias (Cuadro 8), para las variables Materia Orgánica, Nitrógeno, Sodio, Plomo, Conductividad Eléctrica, Potasio y pH no se mostraron diferencia significativa entre tratamientos, pero para las tres últimas variables existió una diferencia con respecto al testigo ya que en las variables de pH y Potasio el testigo fue menor que todos los tratamientos y en el CE fue mayor que todos los mismos, mientras que para el Fósforo muestra al tratamiento de 60DS como el de mayor valor y al testigo como al de menor, lo cual se refleja en el tratamiento de 60DS un aumento de 54.24% con respecto al testigo.

Cuadro 8. Comparación de medias de nutrientes existentes en el suelo después de la cosecha. CIQA 2008.

Tratamientos	pH	Conductividad Eléctrica (Ds)	Materia Orgánica (%)	Nitrógeno (%)	Fósforo (ppm)	Potasio (ppm)	Sodio (ppm)	Plomo (ppm)
60DS	8.31b	45.30a	4.88	0.24	1.53a	387.50a	151.25	30.00
50DS	8.30b	46.37a	4.64	0.23	1.16b	362.50a	171.25	27.50
40DS	8.26b	50.37a	4.88	0.24	0.82c	350.00a	138.75	31.25
30DS	8.28b	50.80a	5.13	0.25	0.74c	312.50a	168.75	33.75
Testigo	8.40a	32.87b	4.51	0.22	0.70c	237.50b	145.00	32.50
DMS(0.05)	0.112	11.06	ns	ns	0.299	77.67	ns	ns

DMS = diferencia mínima significativa; DS= días de solarización.

Tratamientos con la misma literal en cada columna son iguales entre si, DMS (P<0.05).

De acuerdo a las tablas de clasificación del Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro nos indican que nuestro suelo se clasifico de la siguiente manera:

Cuadro 9. Tabla de clasificación del suelo, después de someterlo a distintos periodos de solarización y de la siembra del cultivo de frijol. CIQA 2008.

Variables	Clase
pH	Medianamente alcalino
Conductividad eléctrica	Alta
Materia orgánica	Extremadamente rico
Nitrógeno	Rico extremadamente rico
Fósforo	Pobre
Potasio	Extremadamente rico
Sodio	Media
Plomo	Media

Como se pudo observar en los resultados del análisis del suelo, de todas las variables evaluadas solo sobresalieron el pH, P y K. Para el P y K se reflejó un aumento en los tratamientos con respecto al testigo, mientras que el pH disminuyó, lo que concuerda con lo citado por Stapleton *et al.* (1982) quien confirma que los elementos P, K y algunos Mg extraíbles han sido encontrado en mayores cantidades después de la solarización del suelo, y según Hansson *et al.* (1987) la concentración de cada elemento es función del pH del suelo y los organismos nitrificantes.

Las altas temperaturas que alcanzan los suelos ricos en Materia orgánica pueden matar buena parte de la microbiota, incluyendo los organismos nitrificantes y favoreciendo la acumulación de $\text{NH}_4\text{-N}$. Por otro lado, las bajas temperaturas del suelo en los suelos con bajo contenido de materia orgánica permitirán la sobrevivencia de la biota del suelo y promoverán condiciones aeróbicas con una mínima liberación de compuestos nitrogenados dando lugar a la nitrificación y pérdida de N del suelo, ya que el NO_3 es fácilmente lixiviado según Hansson *et al.* (1987).

Como se observa en las Fig. 6 y 7, respectivamente, las variables Potasio y Fósforo se incrementaron de acuerdo al periodo de Solarización, por lo tanto, posiblemente influya en el rendimiento, ya que al comparar el Potasio y Fósforo con el rendimiento la tendencia de ambas graficas es similar.

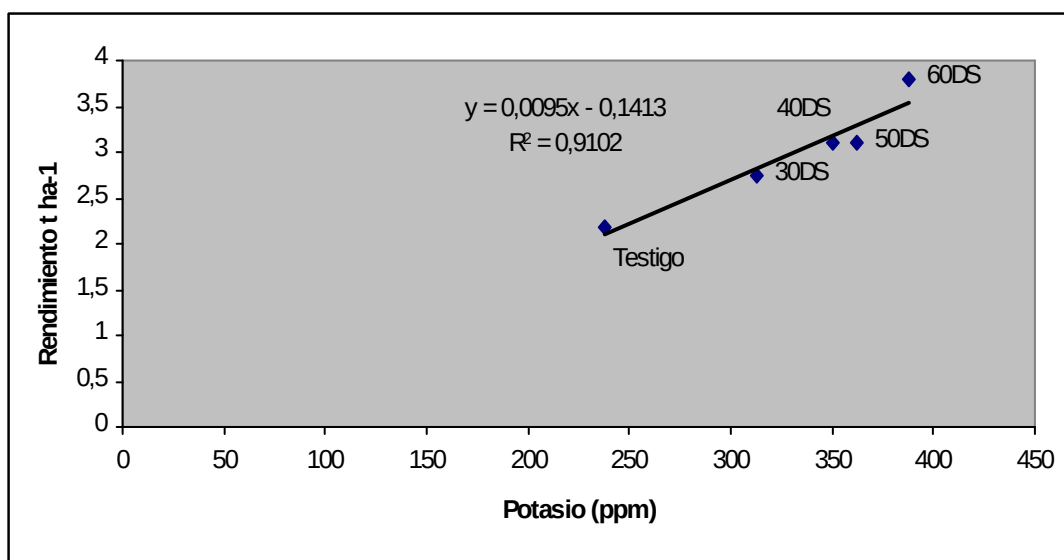


Fig. 6.- Influencia del potasio sobre el rendimiento del cultivo de frijol. CIQA 2008.

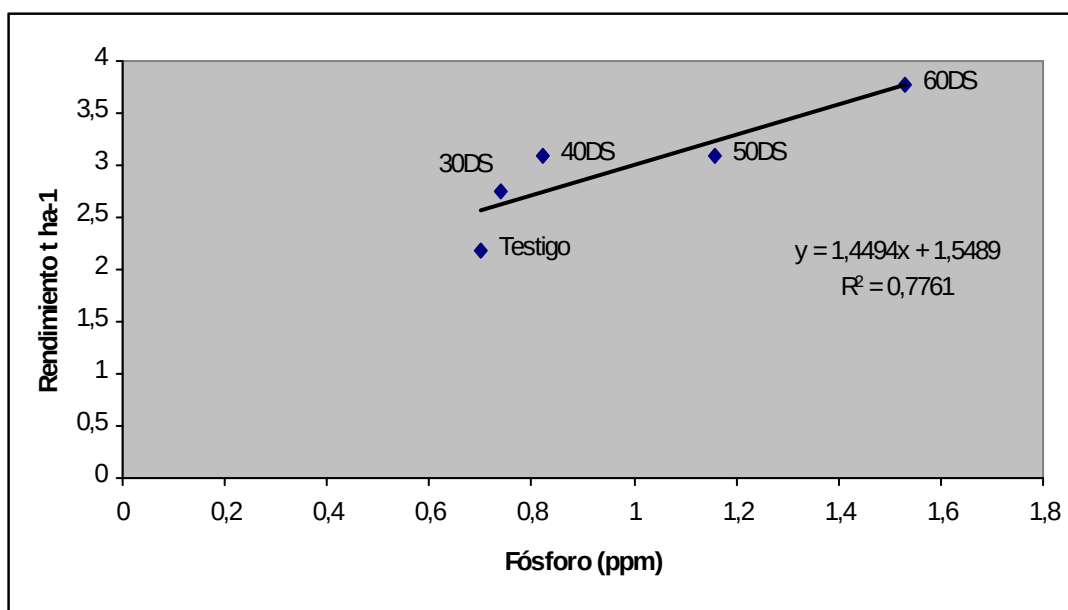


Fig. 7.- Influencia del fósforo sobre el rendimiento del cultivo de frijol. CIQA 2008.

Rendimiento Total

Para la variable rendimiento el ANVA nos indica que hay un alta diferencia significativa entre tratamientos y repeticiones (Cuadro 19), notando que el tratamiento de 60DS obtuvo el mayor rendimiento con 3.783 t ha^{-1} , quedando en el segundo lugar el tratamiento de 50DS y 40DS con 3.096 y 3.093 t ha^{-1} , siendo el testigo el que obtuvo el menor rendimiento con tan solo 2.192 t ha^{-1} , por lo tanto, el tratamiento de 60DS muestra un aumento de 42.06% con respecto al testigo (Cuadro 10).

Se puede observar que el rendimiento esta en función del incremento de área foliar, el número de vainas, y peso de 100 semillas, o al menos es lo que se encontró en el presente trabajo, ya que el tratamiento de 60 días de solarización fue el mejor tratamiento para las tres variables antes mencionadas, mientras que el segundo lugar es el tratamiento de 50DS para las tres variables (Cuadro 10), y el testigo tiene el valor mas bajo.

Cuadro 10. Comparación de medias para el peso de 100 granos, numero de vainas y rendimiento por hectárea del cultivo de frijol, CIQA 2008.

Tratamientos	Peso de 100 granos	Vainas por planta	Rendimiento t ha^{-1}
60DS	47.98a	16.75a	3.783a
50DS	47.05b	15.25a	3.096b
40DS	46.58bc	15.50a	3.093b
30DS	46.00c	15.25a	2.755c
Testigo	44.47d	11.25b	2.192d
DMS (0.05)	0.91	1.88	.489

DS = días de solarización

Tratamientos con la misma literal no difieren entre sí. DMS ($P \leq 0.05$)

Los resultados obtenidos no coinciden con Ángeles (2005) quien trabajando con papa, encontró que el rendimiento no esta en función a la producción de área foliar, ya que los valores con menos área foliar son los que tuvieron los mas altos rendimientos.

Los rendimientos obtenidos (Cuadro 10) pueden atribuirse a las UC acumuladas (Cuadro 18) durante el periodo de solarización, siendo el testigo el que presento la menor acumulación con tan solo 589.49, así como el menor rendimiento, mientras que el mayor rendimiento se da con el tratamiento de 60DS con una acumulación de 1915.17, este efecto podría deberse a efectos secundarios como la reducción de malezas (Cuadros 4 y 21) y patógenos (Cuadro 30) ya que son competencia para la planta y según De Vay (1990), la eficiencia de la solarización del suelo para controlar las plagas del suelo es función de la relación entre el tiempo y la temperatura y se basa en el hecho que muchos patógenos de las plantas, las malezas y otras plagas, son mesófilos, es crítico un umbral de temperatura de 37°C; la acumulación de los efectos del calor a esta o a temperaturas mas altas durante un cierto tiempo, es letal, al aumentar la temperatura se requiere menos tiempo para alcanzar una combinación letal de tiempo y temperatura, por ejemplo, a 37°C, la temperatura letal de exposición puede requerir de 2 a 4 semanas, mientras que a 47°C entre una y seis horas de exposición, por lo tanto, los resultados indican que entre mayor sea las unidades calor acumuladas mayor es el rendimiento Fig. 8.

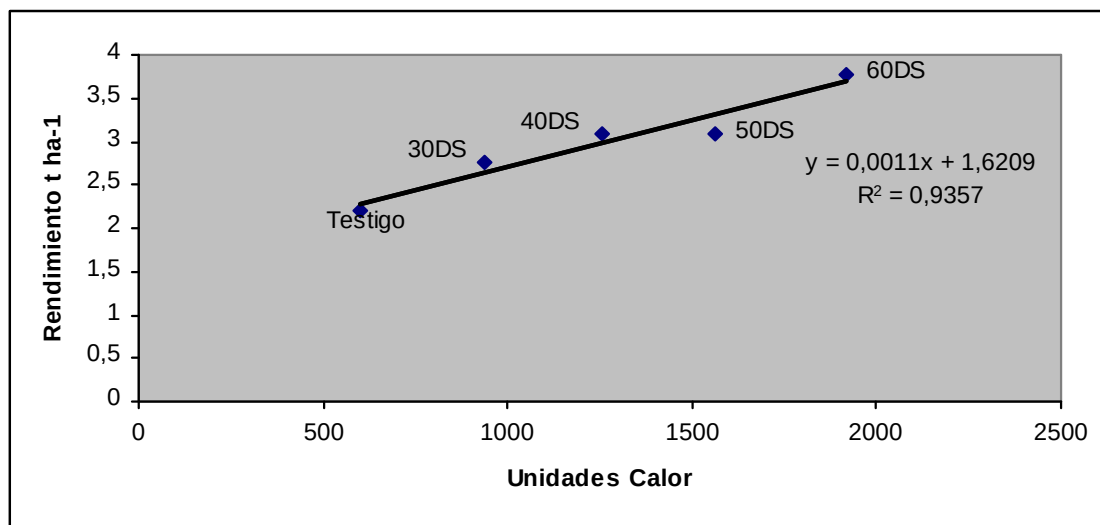


Fig. 8.- Relación entre las unidades calor en periodo de solarización y el rendimiento total del cultivo de frijol. CIQA 2008.

Los resultados obtenidos en la presente investigación coinciden con Sundarum (1997) quien menciona que las altas temperaturas en el suelo se logran cuando la humedad del suelo es suficiente. La actividad de varios organismos (patógenos y malezas) se ve favorecida por la humedad y esto, a su vez, eleva la susceptibilidad de los mismos a altas temperaturas. También mejora la conducción de calor en el suelo y permite la actividad biológica durante la solarización, por lo tanto, la solarización conlleva una elevación del rendimiento del cultivo posterior, más crecimiento, vigor, mayor área foliar, más producción de flores y frutos. Hay un aumento temporal de más nutrientes minerales disueltos y materia orgánica soluble.

V. CONCLUSIONES

- Las variables, fotosíntesis unitaria, conductancia estomática y transpiración no mostraron diferencia significativa entre tratamientos en las cuatro mediciones realizadas.
- El área foliar, peso seco de planta, peso de 100 granos y número de vainas influyeron directamente en el rendimiento total, debido a que tratamiento de 60 días de solarización registró los valores mas altos para la cinco variables descritas, superando al testigo con 38.9% (2046 vs. 1253 cm² planta⁻¹), 43.2% (7.5 vs. 4.2 g planta⁻¹), 7.3% (47.9 vs. 44.5 g/100granos), 32.8% (16.7 vs. 11.3 vainas/planta), 42.05% (3.783 vs. 2.192 t ha⁻¹), respectivamente.
- Para los patógenos, los tratamientos solarizados redujeron las poblaciones de *Fusarium solani*, *Fusarium oxysporum*, *Phytium* y *Chetophoma*, con relación al testigo, teniendo una reducción de 43.9, 76.9, 100, 100%, respectivamente, entre el tratamiento de 60DS que obtuvo la menor población y el testigo que obtuvo la mayor, por lo tanto, estos resultados quizá influyen en el rendimiento, ya que el tratamiento de 60DS fue el de mayor rendimiento y el de mayor control.
- La técnica de solarización mostró un control total de *Portulaca oleracea* L., *Amaranthus*, *Sonchus oleraceus*, *Chenopodium murale* y *Sertarta adhaerens*, por lo cual, se considera un efecto positivo de la solarización.
- La técnica de solarización mostró un aumento de Fósforo y Potasio de 54.24 y 38.71%, respectivamente, con relación al testigo. Dichos tratamientos presentaron mayor y menor valor de rendimiento.

BIBLIOGRAFÍA

Agrios G. N. 2005. Fitopatología Agrícola. Departamento de fitopatología universidad de Massachussets, 2^a ed- México-pag-689.

Agundis, O M.; A, Valtierra y B, Castillo. 1982. Periodos críticos de competencia entre fríjol y malezas. Agricultura Técnica en México. 2 (2) 87-90.

Ángeles, R.F., 2005. Respuesta Fisiológica y Temperatura del suelo ocasionados por el acolchado plástico de diferentes colores en cultivo de papa (*solanum tuberosum* L.). Tesis licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo Coahuila, México.

Alexander, P. 1992. Biología. Prentice Hall. New Jersey. Printed in USA: 57:61

Arora, D. K., Pandey A.k. (1989) Effects of solarization of Fusarium wilt chickpea. Journal of Phytopathology. 124:13-22.

Ashley ,R.A. 1990. Solarization as weed control alternative for Conecticut. Proc. Northeastern Weed Science Society. 23.

Badiola.J. S.L. y Reus 1997.Los plásticos y la agricultura. Ed. De horticultura. México. 204-209pp.

Baker, K.F. y Cook, R.J. 1984. Biological control of plant pathogens. San Francisco, W. H. Freeman and Company.

Beadle, C. L; S. P. long; S. K. Inbamba; D. C. Hall and R. J. Olembo. 1985. Photosynthesis in relation to plant production in terrestrial environmental. Ticooly Publishing limited. Oxford, England. 156.

Blanco, M. G. Y Ramírez C. G. 2002. La conservación del suelo y agua en México. I.M.R.N.R. A.C. México. P. 113.

Braun, M; Koch W.; Mossa H.H.; Stiefvater M. 1986. Solarization for weed and pest control-possibilities and limitations. Proc Weed Control in Vegetable Production of the EC Experts'Group, Stuttgart 28-31.

Brock, T.D. 1988. Thermophylic Microorganisms and Life at High Temperatures. Springer-Verlag, New York, Estados Unidos de América.

Campos, A. J., 1997. Enfermedades del frijol. Ed.trilla. p. 7.

Cebolla V., del Busto A., Barreda D., Martínez P.F., Cases B.1990. Control de hongos del suelo y malas hierbas mediante solarización y bromuro de metilo. Proc. I Congreso Ibérico de Ciencias Hortícolas. Lisboa Portugal 18-21 Junio de 1990.

Celis, P.O., 2005. Análisis de crecimiento y rendimiento en chile Anaheim *Capsicum Annuum* L. por efecto de acolchado de suelo y fertilización. Tesis licenciatura, universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Centro Internacional de Agricultura Tropical. (CIAT). 1982. Etapas de desarrollo de las plantas del frijol común. Guía de estudio. CIAT, Cali, Colombia. P. 26.

Cortés, M. L. M., 2002. Efecto del acolchado plástico de diferentes colores en la fotosíntesis y rendimiento en el cultivo de la papa. Tesis licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Chermnykh, L. and A. Kosobrukhov. 1988. Effect of environmental factors of optimum temperature on photosynthetic intensity of plant adapted to various condition. Hort. Abst. 58 (11): 942.

Crispín, M. A. 1987. El cultivo de frijol en México. Folleto de divulgación No. 53 SAG-INIA. P. 12-17.

Dawson, B H. 1984 competition between irrigated field beans and annual weed Bibliog. II. Weeds 12: 206-208.

Del Busto, A.; Gómez de Barreda D.; Martínez P.F.; Cebolla V.; Campos T. 1999. Solarización en la Comunidad Valenciana. Sus efectos en Malherbología. Proc. 4º EWRS Meditherranean Symposium.

Decoteau, D. R. M. J. Kasperbauer, D. D. Daniels and P. G. Hunt. 1988. Plastic mulch color effects on reflected light and tomato plant growth. Scienti Horticulturae. 34: 169-175.

De la Rosa, I. M. 1997. Apuntes de fisiología vegetal. 22pp. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

De León, M. J. 1981. Plagas del cultivo de frijol en el sureste de México. IX Simposio Nacional de Parasitología Agrícola. Mazatlán, Sin. México.

De santiago, J, 1996. Programación de siembra de chile verde, Rev. Productores de hortalizas. Publicaciones periódicas de meister. México, D.F.

De Vay, J.J. 1990. Historical review and principles of soil solarization. En: De Vay, J.E., Stapleton, J.J. & Elmore, C.L., eds. Proc. of the First Int. Conference on Soil Solarization, Amman, Jordan, 19-25 February 1990. FAO Plant Protection and Production Paper No. 109. Rome, 1991.

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

Dwyer, L. M. and D. W. Stewart 1986. Effects of leaf age and position on net photosynthetic rates in maize (*Zea mays*). Agric. For Meteorologic 37: 29-46.

Egley, G.H. 1990. High-temperature effects on germination and survival of weed seeds in soil. Weed Science 38:429-435.

FIRA. 2001. El frijol en México, competitividad y oportunidades de desarrollo. Boletín informativo. No. 316. Vol. XXXIII. Morelia, Michoacán. México. Editorial FIRA. P. 87.

Freeman, S.; Szejnberg, A. Shabi, E.; Katan, J. (1990) Long-term effect of soil solarization for the control Of *Rosellinia necatrix* in apple. Crop Protection 9:312-316.

Galván, C. G., 1986. Descripción botánica del frijol. (*Phaseolus vulgaris* L.). Seminario técnico. SAG-INIA-CAERIB. P. 22.

García, G. E., 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köeppen (para adaptarlo a las condiciones de la republica mexicana). UNAM. México.

Gil Ortega R., Barriuso J. Palazon C, Zaragoza C.1990. Efecto de la solarización del suelo sobre el cultivo de pimiento al aire libre. ITEA 86:142-154.

Hasson, A.M., T. Hassaballah, R. Hussain y Abbas, L. 1987. Effect of soil sterilization on nitrification in soil. J. of Plant Nutrition 10: 1805-1809.

Hartz, T. K y G. J. Hochmuth., 1996. Fertility management of drip irrigated vegetables. Hort technology 6:168-172.

Henao O . F. 2001. Acolchado de suelos con polietileno. Revista agroterra. En línea: www.agroterra.com/profesionales/articulos.asp.

Ibarra, J.L. Y P.A. Rodríguez. 1991. Acolchados de suelos con películas plásticas. Primera edición. Editorial LIMUSA, México

INEGI. 2004. El Sector alimentario en México. Serie de estadísticas sectoriales. México. Agricultura y ganadería. p. 32-33.

INIFAP. 1995. Manual para determinar características en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) Celaya Guanajuato. Disponible en línea con la información en. Infoteca INIFAP <http://www.inifap.gob.mx>.

Katan, J. 1981. Solar heating (solarization) of soil for control of soil borne pests. Annual Review of Phytopathology 19: 211-236.

Katan, J. 1987. Soil solarization, pp. 77-105. En: Innovative approaches to plant disease management, I. Chet, ed., John Wiley and Sons, New York, Estados Unidos de América.

Katan, J. 1988. Effectiveness of soil solarization in furrow- irrigated soils. Plant Disease 72: 143-146.

Lai, R. 1984. Soil temperature, soil moisture, and maize yield from mulched and unmulched tropical soils. Plants and soils 40: 129-143.

Levecchia, G. 1994. Producción de plántulas con alta tecnología en invernadero. Rev. Productores de hortalizas. Año 3 No.9, Septiembre, Publicaciones periódicas México D.F.

Nederhoff, E. J; J.Gijzen and F. Vegter. 1989. Measurement and simulation of crop photosynthesis of cucumbers (*Cucumis sativus*) in greenhouse. Horts. Abst. 59(2): 127.

Mahrer, Y. 1989. Prediction of soil temperature of a soil mulched with transparent polyethylene. J. Appl. Metrerol. 18: 1263-1267.

Matta, R., 1998. Instalación, manejo y mantención de sistema de riego presurizado (en línea). Chile. Comisión Nacional de Riego.

Munro D., J.Vidales, A. Vega, J. Javier, F. Arias, J.J. Alcantar. 1993. Consideraciones sobre el control de malezas y enfermedades del suelo mediante el uso de energía solar en cultivos hortícola. Publicación Especial No.2 del Campo Experimental Forestal y Agropecuario del Valle de Apatzingan. Centro de Investigaciones del Pacífico Centro. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, SARH. Noviembre 1993.

Ospina, O. H. 1980. Descripción y daño de las plagas que atacan al fríjol. Guía de estudio. CIAT. Cali, Colombia. p.41.

Pardo, A., M. L. Suso., N. Vásquez., J. L. Macua., L. Lahoz., J. Garnica y R. Calvo., 2001. Efecto del acolchado plástico y del sistema de riego en un cultivo de tomate de industria. Actas del XXII Congreso Ibérico de Ciencias Hortícolas. Cáceres (en prensa).

Parsons, M. D. 1981. Fríjol y chícharo. Tercera edición, Editorial Trillas, México DF. p. 23.

Phillips, A.J.L. (1990) The effects of soil solarization on sclerotial population of *Sclerotinia sclerotiorum*. Plant Pathology. 39:38-43.

Ramírez, O. M. E., 1995. Efecto del acolchado Negro y Transparente con DCPA en el Crecimiento, Desarrollo y Producción de Melón *Cucumis melo L.* en Parras de la Fuente, Coahuila. Tesis licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Ramírez, V. J., 1996. El uso del acolchado plástico en la agricultura. Primera edición UAS. Universidad Autónoma de Sinaloa. Departamento de Comunicación Educativo y Divulgación de Facultad de Agronomía, Culiacán Rosales, Sinaloa, México. 70p.

Ray, P. M., 1985. La planta viviente. Editorial continental, S. A. México D. F.

Rojas, P. L., Briones, S. G., 1990. Sistemas de riego. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Sánchez, M. V. 2002. Comportamiento de la producción de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*), México 1991-2000. Monografía del frijol, requisito para titularse en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. No de serie SB327. p. 5.

Salisbury, F.B. y Ross, C. 1980. Plant physiology. Wadsworth Publishing Company, Inc., Belmont, California, Estados Unidos de América.

Salgado, S. E. 1978. Marco de referencia del cultivo del frijol en la Huasteca. CAEHAS-CIAGON-INIA, Inédito. Sin página.

Sauerborn J.; Linke K-H.; Saxena M.C.; Koch W. 1989. Solarization a physical control method for weeds and parasitic plants (*Orobanch* spp.) in Mediterranean agriculture. Weed Research 29:391-397.

Silveira H. L.;Gomes R.; Aguiar L.; Caixinhas M.L.;Bica J.; Bica M. 1990. Soil solarization and polyethylene film: Cultivation of lettuce and onions. *Plasticulture* 85:35-42.

Spreich H.; Sauerborn J.; Koch W.1990. The solarizing effect of sprayable films. *Zeitschrift fur Pflandenzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft* 12:455-461.

Stapleton J.J.; DeVay J.E.; 1982. Effect of soil solarization in populations of selected soil borne microorganisms and growth of deciduous fruit tree seedlings. *Phytopathology* 72:323-326.

Stapleton, J.J., DeVay, J.E. y Lear, B. 1990. Simulated and field effects of ammonia-based fertilizers and soil solarization on pathogens control, soil fertility and crop growth. pp. 331-342.

Sundarum, T.K. 1986. Physiology and growth of thermophilic bacteria. P 75-XX. En: *Thermopiles: General, Molecular, and Applied Microbiology*, Brock, T.D., ed. John Wiley and Sons, New York, Estados Unidos de America.

Tjamos E.C., Paplomatas, E.J. (1988) Long term effect of soil solarization in controlling *Verticillium* wilt of globe artichokes in greece. *Plant Pathology* 37:507-515.

Trigueros, V. W. Y., 2006. Modificación de la radiación neta (R_n), flujo de calor en el suelo (G) con acolchado blanco en el cultivo de chile Anaheim (*capsicum annuum* Var. TMR-23).

APÉNDICE

Cuadro 11. Cuadrados medios de los análisis de varianza para área foliar en cuatro periodos de muestreo en el cultivo de frijol con diferentes periodos de solarización. CIQA 2008

FV	GL	20dds	30dds	40dds	50dds	Promedio
Tratamientos	4	6053.27**	46890.21**	570917.72**	2165799.35**	386493.76**
Repeticiones	3	260.39ns	18018.21*	578708.79**	3873975.09**	429860.40**
Error	12	316.33	3282.87	34350.13	201018.71	15155.02
CV (%)		5.89	8.50	10.89	11.12	7.34

dds = días después de la siembra.

ns, *, **, no significancia y significancia al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente

Cuadro 12. Cuadrados medios de los análisis de varianza para peso seco de hoja en cuatro periodos de muestreo en el cultivo de frijol con diferentes periodos de solarización. CIQA 2008

FV	GL	20dds	30dds	40dds	50dds	Promedio
Tratamientos	4	0.04**	0.12*	3.41**	13.91**	2.25**
Repeticiones	3	0.006ns	0.11ns	1.42*	10.43**	1.21**
Error	12	0.003	0.04	0.26	0.67	0.08
CV (%)		7.33	10.81	12.19	10.26	7.63

dds = días después de la siembra.

ns, *, **, no significativo, significancia al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente

Cuadro 13. Comparación de medias de peso seco de hoja en cuatro periodos de muestreo en el cultivo de frijol con diferentes periodos de solarización. CIQA 2008.

Tratamientos	20dds	30dds	40dds	50dds	Promedio
60DS	0.74bc	2.01a	5.57a	10.70a	4.75a
50DS	0.88a	1.82ab	4.60b	8.85b	4.03b
40DS	0.80ab	1.80ab	3.91b	7.26c	3.44c
30DS	0.70c	1.62b	3.94b	7.32c	3.40c
Testigo	0.61d	1.58b	3.09c	5.79d	2.76d
DMS(0.05)	0.08	0.29	0.79	1.26	0.43

dds = días después de la siembra; DS = días de solarización

Tratamientos con la misma literal no difieren entre sí, DMS ($P \leq 0.05$)

Cuadro 14. Cuadrados medios de los análisis de varianza para peso seco de tallo en cuatro periodos de muestreo en el cultivo de frijol con diferentes periodos de solarización. CIQA 2008

FV	GL	20dds	30dds	40dds	50dds	Promedio
Tratamientos	4	0.0083**	0.038**	0.85*	6.76**	0.85**
Repeticiones	3	0.0005ns	0.011ns	0.67ns	4.58**	0.50**
Error	12	0.0012	0.006	0.24	0.53	0.04
CV (%)		12.59	11.41	21.81	13.92	9.72

dds = días después de la siembra.

ns, *, **, no significativo, significancia al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente

Cuadro 15. Comparación de medias de peso seco de tallo en cuatro periodos de muestreo en el cultivo de frijol con diferentes periodos de solarización. CIQA 2008.

Tratamientos	20dds	30dds	40dds	50dds	Promedio
60DS	0.27bc	0.80a	3.00a	6.79a	2.71a
50DS	0.34a	0.77ab	2.29ab	5.96ab	2.34b
40DS	0.31ab	0.74ab	2.21b	5.42bc	2.17bc
30DS	0.25c	0.66bc	2.14b	4.71c	1.94c
Testigo	0.224c	0.55c	1.72b	3.36d	1.47d
DMS(0.05)	0.05	0.12	0.76	1.12	0.32

dds = días después de la siembra; DS = días de solarización

Tratamientos con la misma literal no difieren entre sí, DMS ($P \leq 0.05$)

Cuadro 16. Cuadrados medios de los análisis de varianza para peso seco de planta en cuatro periodos de muestreo en el cultivo de frijol con diferentes periodos de solarización. CIQA 2008.

FV	GL	20dds	30dds	40dds	50dds	Promedio
Tratamientos	4	0.084**	0.28*	7.61**	39.00**	5.81**
Repeticiones	3	0.006ns	0.18ns	4.02*	28.75**	3.26**
Error	12	0.007	0.05	0.83	2.16	0.20
CV (%)		8.38	9.68	14.09	11.12	7.77

dds = días después de la siembra.

ns, *, **, no significativo, significancia al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente

Cuadro 17. Cuadrados medios de los análisis de varianza para los elementos asimilados por la planta de frijol a los 50dds. CIQA 2008.

FV	GL	NNO_3^-	S SO_4^{2-}	Potasio	Nitrógeno	Calcio	Magnesio
Tratamiento	4	0.0005ns	0.0004ns	0.49ns	0.044ns	0.12**	0.049**
Repeticiones	3	0.0003ns	0.0013ns	0.79*	0.015ns	0.11**	0.036**
Error	12	0.0006	0.0005	0.19	0.039	0.015	0.006
CV (%)		12.35	18.13	10.18	5.85	8.65	0.82

ns, *, **, no significativo, significancia al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente

Cuadro 18. Comparación de medias para los elementos asimilados por la planta de frijol a los 50dds. CIQA 2008.

Tratamientos	NNO_3^-	S SO_4^{2-}	Potasio	Nitrógeno	Calcio	Magnesio
60DS	0.20	0.11	4.81a	3.21	1.50ab	0.84a
50DS	0.19	0.13	3.90b	3.39	1.40b	0.86a
40DS	0.21	0.13	4.40ab	3.34	1.61a	0.85a
30DS	0.18	0.12	4.06b	3.38	1.37b	0.75a
Testigo	0.19	0.13	4.37ab	3.49	1.14c	0.60b
DMS(0.05)	ns	ns	0.67	ns	0.19	0.12

DS = días de solarización

Tratamientos con la misma literal no difieren entre sí, DMS ($P \leq 0.05$)

Cuadro 19. Cuadrados medios de los análisis de varianza para peso de 100 granos, número de vainas y rendimiento por hectárea del cultivo de frijol. CIQA 2008.

FV	GL	Peso de 100 granos	Rendimiento T ha ⁻¹	Vainas planta ⁻¹
Tratamientos	4	6.80**	1419.17**	17.30**
Repeticiones	3	8.94**	954.35**	1.33ns
Error	12	0.35	100.93	1.50
CV (%)		1.26	10.50	8.27

ns, **, no significativo, significancia al 0.01 de probabilidad, respectivamente

Cuadro 20. Análisis de varianza y comparación de medias de las unidades calor del periodo de Solarización

FV	GL	UC	Tratamientos	UC
Tratamientos	4	536918.719**	60DS	1915.17a
Repeticiones	1	7.788ns	50DS	1559.82b
Error	4	5.029	40DS	1257.11c
CV (%)		0.179	30DS	935.22d
DMS (0.05)			Testigo	589.49e

ns = no significancia; **= significancia al 0.01 y 0.05 de probabilidad, respectivamente.

Cuadro 21. Análisis de varianza y cuadrados medios del efecto de diferentes periodos de la solarización en las malezas más comunes, en el lado norte, sur y sobre la superficie de la cama de siembra. CIQA 2008.

FV	GL	Lado Norte <i>Cyperus</i> <i>esculentus</i> L.	<i>Portulaca</i> <i>oleracea</i> L.	Superficie <i>Cyperus</i> <i>esculentus</i> L.	Lado Sur <i>Cyperus</i> <i>esculentus</i> L.	<i>Portulaca</i> <i>oleracea</i> L.
Tratamientos	3	5071.50**	69.41ns	28.56ns	3586.16**	4.08ns
Repeticiones	3	3814.50**	110.25ns	545.73ns	4502.66**	20.41ns
Error	9	187.44	47.64	342.51	319.16	34.03
CV (%)		2.53	17.53	18.63	15.04	19.04

ns, ** = No significancia y significancia al 0.01 de probabilidad, respectivamente.

Cuadro 22. Análisis de varianza y cuadrados medios de la temperatura mínima del suelo bajo cubierta color blanco sobre negro comparado con el testigo, aplicado en el cultivo de frijol, utilizando promedios de temperatura cada 10 días, desde los 10 dds hasta 90 dds, día de la cosecha. CIQA 2008.

FV	GL	10dds	20dds	30dds	40dds	50dds	60dds	70dds	80dds	90dds	Promedio
Tratamientos	1	7.07ns	4.12ns	1.90ns	1.94ns	1.97ns	3.01ns	1.25ns	2.72ns	3.34ns	2.85ns
Repeticiones	1	0.49ns	0.22ns	0.22ns	0.09ns	0.03ns	0.28ns	0.55ns	0.81ns	1.08ns	0.10ns
Error	1	0.42	0.02	0.38	1.15	0.73	1.13	0.85	1.32	1.84	0.47
CV (%)		3.29	0.82	2.98	5.35	4.12	5.13	4.54	5.87	7.13	3.44

ns = No significancia dds =días después de la siembra.

Cuadro 23. Comparación de la temperatura mínima del suelo con acolchado plástico blanco sobre negro comparado con el testigo, en el cultivo de frijol, utilizando promedios de temperatura cada 10 días, desde los 10 dds hasta 90 dds, día de la cosecha. CIQA 2008.

Tratamientos	10dds	20dds	30dds	40dds	50dds	60dds	70dds	80dds	90dds	Promedio
APB_N	21.08	20.43	21.49	20.77	21.43	21.61	20.80	20.38	19.07	20.89
Testigo	18.42	18.40	20.11	19.38	20.02	19.88	19.68	18.73	18.14	19.20
DMS(0.05)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ns = No significancia; DMS = diferencia mínima significativa; dds=días después de siembra; APB_N = acolchado plástico blanco sobre negro.

Cuadro 24. Análisis de varianza y cuadrados medios de la temperatura media del suelo bajo cubierta color blanco sobre negro comparado con el testigo, aplicado en el cultivo de frijol, utilizando promedios de temperatura cada 10 días, desde los 10 dds hasta 90 dds, día de la cosecha. CIQA 2008.

FV	GL	10dds	20dds	30dds	40dds	50dds	60dds	70dds	80dds	90dds	Promedio
Tratamientos	1	0.56**	0.87ns	0.0121ns	0.24ns	0.05ns	0.55ns	0.22ns	1.071ns	2.07ns	0.325ns
Repeticiones	1	0.07*	0.06ns	0.0004ns	0.26ns	0.35ns	0.04ns	0.00ns	0.002ns	0.05ns	0.025ns
Error	1	0.0001	0.01	0.032	0.096	0.18	0.21	0.19	0.07	0.22	0.078
CV (%)		0.04	0.56	0.74	1.34	1.84	2.06	2.03	1.29	2.27	1.24

ns, *, ** = No significancia y significancia al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente; dds =días después de la siembra.

Cuadro 25. Comparación de la temperatura media del suelo con acolchado plástico blanco sobre negro comparado con el testigo, en el cultivo de frijol, utilizando promedios de temperatura cada 10 días, desde los 10 dds hasta 90 dds, día de la cosecha. CIQA 2008.

Tratamientos	10dds	20dds	30dds	40dds	50dds	60dds	70dds	80dds	90dds	Promedio
APB_N	23.92	22.78	24.11	22.92	23.20	22.88	21.87	21.76	21.40	22.76
Testigo	23.17	21.84	24.10	23.41	22.97	22.13	21.40	20.73	19.96	22.19
DMS(0.05)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ns = No significancia; DMS = diferencia mínima significativa; dds=días después de solarización; APB_N = acolchado plástico blanco sobre negro.

Cuadro 26. Análisis de varianza y cuadrados medios de la temperatura máxima del suelo bajo cubierta color blanco sobre negro comparado con el testigo, aplicado en el cultivo de frijol, utilizando promedios de temperatura cada 10 días, desde los 10 dds hasta 90 dds, día de la cosecha. CIQA 2008.

FV	GL	10dds	20dds	30dds	40dds	50dds	60dds	70dds	80dds	90dds	promedio
Tratamientos	1	8.20ns	12.07*	7.53ns	15.24ns	9.57ns	4.57ns	1.98ns	0.19ns	0.05ns	1.21ns
Repeticiones	1	0.55ns	0.01ns	0.80ns	2.94ns	3.08ns	3.76ns	1.61ns	2.64ns	1.91ns	0.0009ns
Error	1	1.60	0.02	0.69	2.94	3.08	3.76	3.20	2.64	1.92	4.75
CV (%)		4.50	0.54	3.03	6.44	6.80	7.78	7.45	6.94	6.04	8.35

ns, *, ** = No significancia y significancia al 0.05 de probabilidad, respectivamente; dds =días después de la siembra.

Cuadro 27. Comparación de la temperatura máxima del suelo con acolchado plástico blanco sobre negro comparado con el testigo, en el cultivo de frijol, utilizando promedios de temperatura cada 10 días, desde los 10 dds hasta 90 dds, día de la cosecha. CIQA 2008.

Tratamientos	10dds	20dds	30dds	40dds	50dds	60dds	70dds	80dds	90dds	Promedio
APB_N	29.51	28.49a	28.88	28.57	27.32	25.98	24.71	23.62	22.79	26.65
Testigo	26.65	25.02b	26.14	24.67	24.23	23.84	23.30	23.18	23.03	25.55
DMS(0.05)	Ns	1.84	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ns = no significancia; DMS = diferencia mínima significativa; dds=días después de solarización; APB_N = acolchado plástico blanco sobre negro.

Cuadro 28. Análisis de varianza y cuadrados medios de patógenos del suelo existentes después de 30 y 60 días de solarización comparado con un testigo. CIQA 2008.

FV	GL	Hongos					Nematodos		
		Rhizoctonia solani ufc/kg	Fusarium Solani ufc/kg	Fusarium Oxysporum ufc/kg	Pythium ufc/kg	Chaetophoma ufc/kg	Criconemella u/kg	Rhabditis u/kg	Aphelenchus u/kg
Tratamientos	2	20833.33ns	271508.33ns	62500.00ns	23333.33ns	7500.00ns	321.33ns	17.33ns	12.00ns
Repeticiones	3	20833.33ns	565452.77ns	202222.22ns	83333.33ns	7500.00ns	125.77ns	10.66ns	4.88ns
Error	6	20833.33	181286.11	48055.55	23333.33	7500.00	77.77	12.00	4.88
CV (%)		346.41	48.61	109.61	183.30	346.41	56.29	129.90	221.10

ns = No significativo; ufc=unidades formadoras de colonias (número de propágulos); u=unidades (número de nematodos)

Cuadro 29. Comparación de medias de patógenos del suelos existentes después de 30 y 60 días de solarización comparado con un testigo. CIQA 2008.

Tratamientos	Hongos					Nematodos		
	Rhizoctonia Solani ufc/kg	Fusarium Solani ufc/kg	Fusarium Oxysporum ufc/kg	Pythium ufc/kg	Chaetophoma ufc/kg	Criconemella u/kg	Rhabditis u/kg	Aphelenchus u/kg
60DS	0	575	75	0	0	11ab	5	3
30DS	125	1027.5	200	100	0	10b	2	0
Testigo	0	1025	325	150	75	26a	1	0
DMS(0.05)	ns	ns	ns	ns	ns	15.22	ns	ns

DMS = diferencia mínima significativa; ns= no significativo; DS= días de solarización; ufc=unidades formadoras de colonias (número de propágulos); u=unidades (número de nematodos).

Tratamientos con la misma literal en cada columna son iguales entre si, DMS (P<0.05).

Cuadro 30. Análisis de varianza y cuadrados medios de nutrientes existentes en el suelo después de la cosecha del cultivo de frijol. CIQA 2008.

FV	GL	PH	Conductividad Eléctrica (Ds)	Materia Orgánica (%)	Nitrógeno (%)	Fósforo(ppm)	Potasio(ppm)	Sodio(ppm)	Plomo(ppm)
Tratamientos	4	0.011ns	211.42*	0.93ns	0.004ns	0.501**	18125.00**	831.25ns	23.12ns
Repeticiones	3	0.104**	93.14ns	1.59ns	0.008ns	0.050ns	19000.00**	2103.33*	16.66ns
Error	12	0.005	51.53	1.42	0.005	0.038	2541.66	476.25	28.12
CV (%)		0.87	15.90	12.38	15.09	19.61	14.40	14.08	17.11

ns, *, ** = No significancia y significancia al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

Cuadro 31. Comparación de medias de nutrientes existentes en el suelo después de la cosecha. CIQA 2008.

Tratamientos	PH	Conductividad Eléctrica (Ds)	Materia Orgánica (%)	Nitrógeno (%)	Fósforo(ppm)	Potasio(ppm)	Sodio(ppm)	Plomo(ppm)
60DS	8.31ab	45.30a	4.88	0.24	1.53a	387.50 ^a	151.25	30.00
50DS	8.30ab	46.37a	4.64	0.23	1.16b	362.50 ^a	171.25	27.50
40DS	8.26b	50.37a	4.88	0.24	0.82c	350.00a	138.75	31.25
30DS	8.28b	50.80a	5.13	0.25	0.74c	312.50 ^a	168.75	33.75
Testigo	8.40a	32.87b	4.51	0.22	0.70c	237.50b	145.00	32.50
DMS(0.05)	0.112	11.06	ns	ns	0.299	77.67	ns	ns

DMS = diferencia mínima significativa; DS= días de solarización.

Tratamientos con la misma literal en cada columna son iguales entre si, DMS (P<0.05).

Cuadro 32. Comparación de medias y coeficiente variación de los datos fisiológicos evaluados a los 20 dds en el cultivo de frijol en acolchado plástico blanco. CIQA 2008.

Tratamientos	RFA $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$	Temperatura del aire °C	Temperatura de hoja °C	CO2 ppm	Fotosíntesis $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Conductancia estomática cm s^{-1}	Transpiración $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$
60DS	2017.7	36.5	36.7	248.2	12.3	3.5	27.5
50DS	1997.6	36.9	37.1	242.1	11.7	2.9	27.9
40DS	2023.8	37.1	37.3	249.5	12.3	3.5	27.6
30DS	1995.8	36.8	36.7	243.4	11.8	3.5	27.7
Testigo	1999.3	37.2	37.2	253.5	12.1	3.6	28.0
DMS(0.05)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	2.4	4.2	4.2	3.7	6.4	16.4	3.1

DS= días de solarización; ns = no significativo.

Cuadro 33. Comparación de medias y coeficiente variación de los datos fisiológicos evaluados a los 30 dds en el cultivo de frijol en acolchado plástico blanco. CIQA 2008.

Tratamientos	RFA $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$	Temperatura del aire °C	Temperatura de hoja °C	CO2 ppm	Fotosíntesis $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Conductancia estomática cm s^{-1}	Transpiración $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$
60DS	2035.7	36.2	36.4	246.1	11.8	3.11	30.3
50DS	2026.6	37.3	37.5	248.3	11.5	2.98	30.1
40DS	2044.8	36.7	36.8	243.2	10.8	3.09	31.1
30DS	2043.8	37.1	37.2	245.1	10.9	3.19	29.7
Testigo	2015.7	37.1	37.2	253.5	9.9	3.09	28.0
DMS(0.05)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	3.003	3.98	4.05	3.88	11.8	4.83	9.38

DS= días de solarización; ns = no significativo.

Cuadro 34. Comparación de medias y coeficiente variación de los datos fisiológicos evaluados a los 40 dds en el cultivo de frijol en acolchado plástico blanco. CIQA 2008.

Tratamientos	RFA $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$	Temperatura del aire °C	Temperatura de hoja °C	CO2 ppm	Fotosíntesis $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Conductancia estomática cm s^{-1}	Transpiración $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$
60DS	1838.2	34.3	34.3	215.8	9.1	2.6	24.1
50DS	1830.8	34.8	34.8	214.2	9.1	2.7	22.9
40DS	1873.6	34.5	34.5	208.6	9.6	2.5	23.1
30DS	1840.4	34.6	34.6	200.3	9.3	2.5	25.1
Testigo	1877.4	34.9	34.9	212.2	9.4	2.5	25.4
DMS(0.05)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	2.1	2.1	2.1	5.1	3.7	7.5	8.2

DS= días de solarización; ns = no significativo.

Cuadro 35. Comparación de medias y coeficiente variación de los datos fisiológicos evaluados a los 50 dds en el cultivo de frijol en acolchado plástico blanco. CIQA 2008.

Tratamientos	RFA $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$	Temperatura del aire °C	Temperatura de hoja °C	CO2 ppm	Fotosíntesis $\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$	Conductancia estomática cm s^{-1}	Transpiración $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$
60DS	1774.07	35.49	35.60	160.25	7.89	2.7	23.51
50DS	1801.65	36.62	36.63	168.12	7.98	2.5	23.41
40DS	1780.29	36.31	36.31	163.88	7.84	2.7	23.07
30DS	1787.35	36.31	36.31	165.05	8.00	2.5	24.16
Testigo	1798.99	36.96	37.02	164.38	7.89	2.4	23.73
DMS(0.05)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	1.76	2.92	3.00	3.72	3.53	12.66	4.33

DS= días de solarización; ns = no significativo.