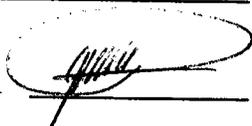


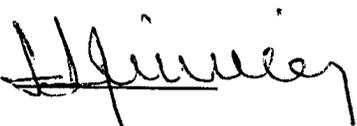
# TESIS CON CARACTER ABIERTO

PROGRAMA: MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROPLASTICULTURA

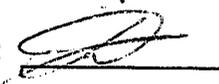
AUTOR: GORGONIO LÓPEZ TOLENTINO FIRMA: 

TITULO: Desarrollo y Uso de Películas Foto-oxodegradables para Acolchado en el Cultivo de Pepino.

ASESORES: Dr. Luis Ibarra Jiménez

FIRMA: 

Dr. Adrián Méndez Prieto

FIRMA: 

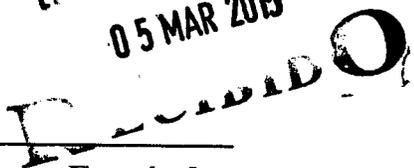
El Centro de Investigación en Química Aplicada clasifica el presente documento de tesis como ABIERTO.

Un documento clasificado como Abierto se expone en los estantes del Centro de Información para su consulta. Dicho documento no puede ser copiado en ninguna modalidad sin autorización por escrito del Titular del Centro de Información o del Director General del CIQA.

Saltillo, Coahuila, a 16 de Enero de 2015

  
Sello de la Institución

  
Dr. Oliverio Santiago Rodríguez Fernández  
Director General del CIQA

  
05 MAR 2015  




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

***TESIS***

**Desarrollo y Uso de Películas Foto-oxodegradables para Acolchado  
en el Cultivo de Pepino**

***Presentada por:***

**GORGONIO LÓPEZ TOLENTINO**

***Para obtener el grado de:***

**Maestro en Ciencias en Agroplasticultura**

***Asesorado por:***

**Dr. Luis Ibarra Jiménez**  
**M.C. Adrián Méndez Prieto**

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

**TESIS**

**Desarrollo y Uso de Películas Foto-oxodegradables para Acolchado  
en el Cultivo de Pepino**

*Presentada por:*

**GORGONIO LÓPEZ TOLENTINO**

*Para obtener el grado de:*

**Maestro en Ciencias en Agroplasticultura**

*Asesorado por:*

**Dr. Luis Ibarra Jiménez**  
**M.C. Adrián Méndez Prieto**

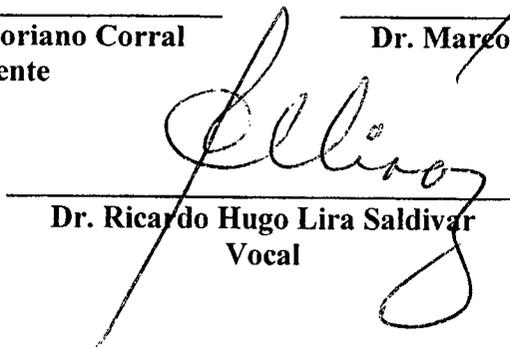
**SINODALES**



**Dr. Florentino Soriano Corral**  
**Presidente**



**Dr. Marco Antonio Arellano García**  
**Secretario**



**Dr. Ricardo Hugo Lira Saldivar**  
**Vocal**

**Saltillo, Coahuila**

  
**05 MAR 2015**  
**RECIBIDO**  
Ench, 2015

## DECLARACIÓN

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

Saltillo, Coahuila a 16 de enero de 2015



GORGONIO LÓPEZ TOLENTINO

Nombre y Firma

**RECIBIDO**  
05 MAR 2015

## AGRADECIMIENTOS

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

Al **Centro de Investigación en Química Aplicada** por la estancia que me otorgo y por todo el apoyo técnico brindado para que la realización de este Proyecto fuera posible.

A la empresa **FLEXTRONICS** por la aportación de los pigmentos para su evaluación en los acolchados plásticos

Al **Dr. Luis Ibarra Jiménez** por la orientación brindada y el tiempo dedicado para la correcta ejecución de éste proyecto.

Al **MC. Adrián Méndez Prieto** por todo el apoyo brindado en lo referente al area de polímeros y por todo su tiempo invertido para la correcta ejecución del Proyecto.

A los sinodales: **Dr. Ricardo Hugo Lira Saldívar, Dr. Florentino Soriano y Dr. Marco Antonio Arellano** por sus sugerencias para la correcta elaboración de éste documento.

A los ingenieros **María Concepción González Cantú, Ma. Guadalupe Mendez Padilla y Rodrigo Cedillo García** por su valiosa colaboración en la elaboración y evaluación de las películas para acolchado.

Al **Ing. Felipe Hernández Castillo**, al **M.C. Federico Cerda Ramírez** y al **M.C. Eduardo Alfonso Treviño López** por su valiosa colaboración en los trabajos de campo para la realización de éste Proyecto.

A los integrantes del área de posgrado: **MC. Gladys, Lic. Nancy, Lic. Imelda y Dr. Luis Alfonso** por su apoyo durante mi estancia en éste Centro de Investigación.

A mis compañeros de generación: **Nadia, Beatriz Adriana, Fátima, Enrique Alonso, Román Antonio, Raymundo, Gerardo y Eliazar**, por los momentos compartidos.

## DEDICATORIA

A **Dios** por permitirme realizar un sueño mas y darme fuerzas y voluntad para que este trabajo fuera posible

A mis padres: **Adela Tolentino y Guillermo López (+)** por darme la vida y por todo el apoyo incondicional durante toda mi vida

A mi esposa, amiga y compañera de toda mi vida **Mayra Guadalupe Vázquez** por todo su apoyo y por todos los momentos que comparto conmigo

A mis hijos: **Goretti Guadalupe y Diego Misael** por los momentos que compartimos y que forman parte de mi vida

A mis hermanos: **Marta, Domingo, fausto (+) y Rocío (+)** por los momentos que compartimos juntos.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<b>Agradecimientos</b> .....	i
<b>Dedicatoria</b> .....	ii
<b>Índice general</b> .....	iii
<b>Índice de tablas</b> .....	iv
<b>Índice de figuras</b> .....	v
<b>Resumen</b> .....	vi
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1 Ensayos realizados con plástico para acolchado mediante el uso de aditivos metálicos .....	3
1.2 Generalidades del cultivo de pepino.....	4
1.3 Actividades que influyen en la elaboración del alimento de las plantas.....	5
1.3.1 Fotosíntesis.....	5
1.3.2 Transpiración.....	6
1.3.3 Clorofila.....	6
1.4 Efecto del acolchado plástico sobre el cultivo.....	7
1.4.1 Efecto sobre la humedad del suelo.....	7
1.4.2 Efecto sobre la temperatura del suelo.....	7
1.4.3 Efecto sobre la estructura y la fertilidad del suelo.....	8
1.4.4 Efecto sobre el control de malas hierbas.....	8
1.4.5 Efecto sobre los rendimientos.....	8
1.4.6 Efecto del acolchado plástico con respecto al color.....	9
1.5 Generalidades del polietileno (PE).....	9
1.5.1 Proceso de soplado de película.....	10
1.5.2 Propiedades mecánicas de las películas plásticas.....	12
1.6 Degradación del plástico.....	12
1.6.1 Foto-degradación.....	13
1.6.2 Oxo-degradación.....	14
1.7 Cámara QUV.....	15
1.7.1 Espectroscopia infrarroja.....	15
<b>II. Hipótesis</b> .....	17

2.1 Objetivo general.....	17
2.2 Objetivos particulares.....	17
III. Materiales y métodos.....	18
3.1 Elaboracion de películas.....	18
3.2 Ubicación del área experimental.....	18
3.3 Características del experimento.....	19
3.4 Preparacion del terreno.....	19
3.4.1 Establecimiento del experimento.....	19
3.4.2 Instalacion de los acolchados plásticos y del sistema de riego.....	19
3.4.3 Siembra.....	20
3.4.4 Material genético.....	20
3.4.5 Fertilizacion.....	21
3.4.6 Control de malezas.....	21
3.4.7 Control fitosanitario.....	21
3.4.8 Variables evaluadas.....	21
3.4.9 Descripcion de las variables.....	22
3.5 Medicion realizada en cámara QUV.....	23
3.6 Diseño experimental.....	24
IV. Resultados y discusión.....	25
V. Conclusiones.....	41
VI. Literatura revisada.....	42

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Pág.
1	Concentración de componentes de las películas plásticas foto-oxodegradables en estudio.....	18
2	Descripción de los tratamientos en estudio.....	19
3	Medias de clorofila en los muestreos realizados a los 25, 35, 45 y 55 días después de la siembra (dds) en el cultivo de pepino en los campos experimentales CIQA y Las Encinas.....	25
4	Medias de área foliar en los muestreos realizados a los 25, 35, 45 y 55 dds en el cultivo de pepino en los campos experimentales CIQA y Las Encinas.....	26
5	Medias de peso seco aéreo de planta de los muestreos realizados a los 25, 35, 45 y 55 dds en el cultivo de pepino en los campos experimentales CIQA y Las Encinas.....	28
6	Medias de fotosíntesis, conductancia estomática y transpiración de los muestreos realizados a los 35 y 55 dds en el cultivo de pepino en el campo experimental CIQA.....	30
7	Medias de rendimiento de frutos de las cosechas llevadas a cabo a partir de los 55 dds en el cultivo de pepino en los campos experimentales CIQA y Las Encinas.....	31
8	Medias de temperatura de suelo registradas durante el desarrollo del cultivo de pepino en las localidades CIQA y Las Encinas.....	32
9	Porcentaje de degradación de los acolchados plásticos en estudio registradas a los 25, 35, 45, 55 y 75 dds en el cultivo de pepino en las localidades CIQA y Las Encinas.....	34

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Pág.
1	20
2	27
3	29
4	33
5	34
6	35
7	36
8	38
9	40

## RESUMEN

El presente estudio se realizó en dos campos experimentales del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), el primer ensayo se realizó en CIQA Saltillo, Coahuila y el segundo en el rancho Las Encinas, Ramos Arizpe, Coahuila. El objetivo fue desarrollar y evaluar películas de polietileno de baja densidad para acolchado foto-oxodegradables en el cultivo de pepino. Las películas se formularon en tres colores diferentes (rojo, azul y verde) con dos concentraciones de pigmento (8 y 12%) con bajo contenido de fierro por lo que se evaluó su efecto pro-oxidante, comparativamente también se evaluó un tratamiento con acolchado negro convencional y un testigo (sin acolchar). Los resultados obtenidos para ambas localidades indican que el índice de degradación en los tratamientos con concentraciones del 12% de pigmento fue superior que en los de 8%. Las películas fueron tratadas en cámara QUV durante 23 ciclos de envejecimiento acelerados donde se midieron propiedades mecánicas en cada ciclo de envejecimiento. Resultados positivos se mostraron en los tratamientos con acolchado para cada una de las variables evaluadas con respecto al suelo desnudo, solamente en los valores de temperatura máxima y media la película negra convencional fue superior a los acolchados oxodegradables. No hubo diferencia entre tratamientos en fotosíntesis neta, conductancia estomática y transpiración. Para ambos ensayos el rendimiento total en los tratamientos con acolchado superaron a los resultados mostrados por el testigo; para la localidad CIQA, el testigo fue superado con un promedio de  $26.0 \text{ t ha}^{-1}$  (64.6%) y para las Encinas con  $12.4 \text{ t ha}^{-1}$  (39.6%). De manera general, en todas las variables evaluadas en promedio la localidad CIQA superaron los resultados obtenidos en Las Encinas. Comparando los resultados de degradación en ambas localidades, el mayor índice se mostró en CIQA, en Las Encinas la degradación fue menor en todos los acolchados foto-oxodegradables.

**Palabras clave:** Cucumis sativus, temperatura de suelo, fotosíntesis, clorofila.

## I. INTRODUCCIÓN

El acolchado plástico es un método que se introdujo en la década de 1950 y desde entonces se ha convertido en un importante método de control de malezas para muchos productores, contribuyendo de manera significativa a la viabilidad económica de los cultivos para los agricultores en todo el mundo (Takakura y Fang, 2002). Los beneficios reportados para los cultivos desarrollados con acolchado en los que se incluyen, adelanto de las cosechas, incremento en los rendimientos, mayor calidad en la producción, entre otros beneficios, se atribuyen a un incremento de la temperatura del suelo, uso eficiente de agua y fertilizantes y menor competencia de los cultivos con las malezas (Munguía *et al.*, 2000).

Desde la introducción de esta técnica, la producción de hortalizas ha cambiado del sistema de suelo desnudo al sistema con acolchado plástico en varias regiones del mundo, actualmente la producción de hortalizas para consumo en fresco se hace en camas acolchadas con polietileno utilizando riego por goteo que ha llegado a ser la práctica estándar para varios productores agrícolas. Por ejemplo, en México, la superficie que se cultiva con el uso de acolchado es de unas 100,000 hectáreas cada año. Se estima que en los Estados Unidos tan solo en el año 2004 se utilizaron 130,000 toneladas de plástico para acolchado (Warnick *et al.*, 2006). Para esta técnica actualmente se utilizan diferentes tipos de plástico variando en espesor y color, dependiendo de las necesidades del cultivo y la región, ya que cada uno de estos materiales posee diferentes características dando lugar a efectos diferentes sobre los cultivos (Rajapakse *et al.*, 1999). Entre los polímeros aplicados a la agricultura destaca el polietileno de baja densidad (LDPE) por sus características de flexibilidad, propiedades ópticas y su bajo costo.

El empleo del Polietileno (PE) para fabricar película para acolchar cultivos ha crecido enormemente en los últimos años y aunque presenta grandes ventajas, también tiene abundantes inconvenientes que justifican la búsqueda de alternativas al mismo (Kasirajan y Ngouajio, 2012). La acumulación de residuos que contaminan los campos, como consecuencia de los grandes volúmenes de plástico utilizado en el acolchado, implica un riesgo ambiental considerable, al ser arrastrada por el viento y corrientes de agua hacia ríos que van a dar al mar y que finalmente causan diferentes daños (Briassoulis, 2006). Asimismo, la recolección y reciclado de estos residuos, son actividades que se complican principalmente por el bajo espesor de los materiales y por la presencia de tierra, otros químicos como fertilizantes y productos aplicados para combatir plagas y enfermedades, haciendo difícil los procesos de limpieza

(González *et al.*, 2003). Uno de los principales problemas de los materiales plásticos son los largos periodos para la degradación y dependen de las condiciones climáticas, según Feuilloley *et al.* (2003) se puede tardar hasta 300 años para la degradación total del polietileno de 60 micras de espesor sin aditivos. En muchos casos el proceso de degradación es incompleto, permaneciendo estos residuos en los diferentes ecosistemas.

Con base en un estudio realizado por Contreras *et al.* (2004) indican que el uso de polietileno degradable trae buenos beneficios económicos en la siembra de melón y es el procedimiento que más se utiliza en Murcia, España. Cuando se suman los costos de recolección y la práctica a la gestión integral del material, aumentan significativamente los costos de producción; un ejemplo claro sucedió en Estados Unidos, cuando Kelly *et al.* (1995) calcularon el costo de compra, colocación y disposición final de las películas plásticas, sumando una cantidad cercana a los 1250 dólares ha.

Para dar solución a esta problemática generada por el uso indiscriminado de plásticos sintéticos y su persistencia en el ambiente ha estimulado la investigación para el desarrollo de nuevos materiales que permitan generar plásticos que presenten las mismas propiedades pero que tengan un periodo de degradación más corto (Segura *et al.*, 2007). Para el caso de los acolchados, es importante crear materiales con un determinado periodo de vida.

Las coberturas plásticas fotodegradables que se han desarrollado han sido eficaces, pero han demostrado ser poco confiables y de los elevados costos para su uso. Los materiales fotodegradables son por lo general de polietileno con aditivos que aceleran su degradación en presencia de radiación solar. Sin embargo, este proceso es inhibido por los cultivos al momento de ir creciendo, ya que disminuye su exposición a la luz ultravioleta. La degradación es también más lenta en las zonas que reciben menos radiación solar (Greer y Dole, 2003).

En esta investigación se evaluaron seis tipos de acolchados foto-oxodegradables comparados con una película de polietileno comercial de baja densidad color negro. Se evaluó el crecimiento y rendimientos de fruto, entre otras variables en el cultivo de pepino, así como también los porcentajes de degradación de los plásticos a través del tiempo. Lo que se pretende con los materiales generados es que se presenten rendimientos similares del cultivo con el acolchado convencional en los degradables, que presente las mismas propiedades fisico-mecánicas por un determinado tiempo y al mismo tiempo que se degraden al término del ciclo del cultivo. El interés es desarrollar nuevos materiales plásticos para acolchado degradables

utilizando material reciclado para disminuir costos, y que las películas presenten propiedades similares a los plásticos convencionales.

### **1.1 Ensayos realizados con plástico para acolchado mediante el uso de aditivos metálicos**

Con base en un trabajo realizado por Telmo *et al.* (2009), en el cual se evalúa la degradación biótica y abiótica de los polietilenos de alta y baja densidad formulados con aditivos pro-oxidantes los cuales se expusieron a la degradación ambiental y evaluados periódicamente con respecto a los cambios en sus propiedades mecánicas y estructurales. Se demostró que los polietilenos que contienen sustancias pro-oxidantes se degradaron por la exposición al medio ambiente resultando una disminución de la masa molar y de oxígeno incorporado en la cadena en forma de grupos carbonilo. Durante la exposición de 3 a 4 meses disminuyeron las propiedades mecánicas causando la desintegración del material.

En un trabajo realizado por Roy *et al.* (2006) en el que evaluaron el comportamiento de degradación de películas de polietileno de baja densidad que tienen como aditivos dos complejos de cobalto: Copolímero de estireno maleato (CSMA) y estereato de cobalto (CS). La degradación se evaluó con base a los cambios en la resistencia a la tracción, alargamiento a la rotura, índice de carbonilos (IC), índice de fluidez (MFI) y la densidad. Se observó que aunque los dos aditivos contenían el mismo metal y el mismo tipo de unión, el CSMA es incapaz de iniciar la foto-degradación térmica del polietileno de baja densidad, mientras que CS en la misma concentración, aceleró significativamente la degradación. Por lo que se concluyó que la actividad catalítica de cualquier metal depende de varios factores, tales como su valencia y tipo de ligando a la que está asociada, la degradación es más elevada cuando el metal tiene una alta valencia y enlace iónico.

En un estudio realizado por Santiago *et al.* (2001) en el que evaluaron rendimiento, área foliar y absorción de nutrientes en el cultivo de sandía desde el trasplante hasta la fructificación en un sistema de riego por goteo y acolchado de colores en el que incluyen los colores verde, azul, naranja, negro, blanco y café. Se demostró que en las tres variables del ensayo los valores mostrados en los acolchados de colores fueron superiores al testigo (sin acolchar). Entre los acolchados de colores marcaron diferencia significativa entre estos para las variables rendimiento y área foliar, aunque en la máxima absorción de nutrientes los tratamientos con acolchado de colores no difieren entre sí.

En un ensayo llevado a cabo por Quezada *et al.* (2011) en el que evaluaron la influencia de 7 acolchados de colores sobre aspectos fisiológicos y de rendimiento en el cultivo de pimiento morrón (*Capsicum Annuum* L), se determinó también la temperatura de suelo a los 7.5 cm de profundidad y la radiación PAR reflejada al medio día, tasa fotosintética, resistencia estomática, tasa de asimilación neta y acumulación de materia seca y rendimiento. Los resultados mostrados indican que la temperatura de suelo generada por los diferentes acolchados fue determinante en el índice de tasa fotosintética, tasa de asimilación neta de CO<sub>2</sub> y acumulación de materia seca teniendo efectos negativos donde se presentaron temperaturas de suelo por arriba de los 30°C. El calentamiento excesivo del acolchado transparente afectó negativamente a las plantas expresando menor tasa de crecimiento relativo, asimilación neta, fotosíntesis y disminución de rendimiento de fruto.

## **1.2 Generalidades del cultivo del pepino**

El pepino es originario de las regiones tropicales del sur de Asia, se cultiva en la India desde hace más de 3000 años. Es una planta anual, herbácea y de crecimiento rastrero e indeterminado. Tiene un alto índice de consumo tanto en fresco como industrializado.

Su nombre científico es *Cucumis sativus* L. Debido a la alta productividad de la planta genera un sistema radicular muy potente que se ramifica rápidamente para dar origen a raíces secundarias superficiales de color blanco. Su tallo es anguloso y veloso, de porte rastrero y trepador. La hoja es acorazonada con peciolo largo, la hoja tiene tres lóbulos más o menos pronunciados, más marcado el del centro. Es de color verde oscuro y cubierto de un bello muy fino.

La flor es de corto pedúnculo y pétalos amarillos, aparecen en las axilas de las hojas, pueden ser hermafroditas o unisexuales, en estos tiempos, la mayoría de las variedades son ginóicas y producen solamente flores femeninas distinguiéndose por la formación de un ovario en la base de la flor. El fruto es una pepónide áspera o liso dependiendo de la variedad, lo mismo en color el cual pueden pasar de un verde claro a oscuro y al madurar pasa a un color amarillento, aunque la cosecha se realiza antes de la madurez fisiológica. La pulpa es de color blanquecino con semillas en la parte intermedia y distribuida a lo largo del fruto. Las semillas son de color blanco-amarillento, ligeramente aplanadas y ovaladas, la cantidad depende de la variedad.

Es un cultivo de clima templado y cálido, cualquier periodo corto de baja temperatura puede inducir un adelanto en la floración, se adapta a diferentes alturas sobre el nivel del mar, se detiene el crecimiento de la planta a temperaturas superiores a los 40°C y menores a 14°C, al prolongarse este periodo de temperaturas críticas induce la caída de flores femeninas. A temperatura menor a 1°C hay congelamiento y muerte de las plantas. Es una planta que requiere grandes cantidades de agua, requiere de una humedad relativa de 60-70% y durante la noche de 70-90%, excesos de humedad durante el día puede disminuir la temperatura por disminuciones en la transpiración y a consecuencia, la fotosíntesis. Puede desarrollar con cantidades menores de 12 horas luz, aunque también soporta elevadas intensidades luminosas, se ha comprobado que a mayor radiación solar incrementa la producción de fruto. No es muy bueno donde las lluvias son intensas ya que induce la propagación de plagas y enfermedades. El pepino se puede cultivar en una amplia gama de suelos fértiles y bien drenados desde arenosos hasta franco arcillosos, se recomienda una profundidad de 60 cm para facilitar la retención de agua, requiere de un pH (potencial Hidrógeno) de 5.5 a 6.8 o hasta 7.5, si es posible evitar suelos ácidos menores a 5.5 (Casaca, 2005).

### **1.3. Actividades que influyen en la elaboración del alimento de las plantas**

#### **1.3.1. Fotosíntesis**

Es un proceso físico-químico mediante el cual todas las plantas, algas y algunas bacterias fotosintéticas sintetizan compuestos orgánicos con el uso de la radiación solar, convirtiendo en carbohidratos a más del 10% del dióxido de carbono que existe en la atmósfera terrestre. Se habla de fotosíntesis oxigenica, en la cual se libera oxígeno y la fotosíntesis anoxigenica en la cual no se libera oxígeno, tal es el caso de la fotosíntesis que desarrollan algunas bacterias, utilizan el oxígeno para producir compuestos orgánicos, sin embargo, no liberan oxígeno (Pérez, 2009). Es una de las actividades de mayor importancia en la biosfera ya que la radiación solar es convertida en energía química y utilizada por todas las formas de vida (Kraub, 2003). Para este proceso físico-químico, la planta utiliza la radiación fotosintéticamente activa (PAR) en el rango de 400-700 nanómetros (nm).

### **1.3.2. Transpiración**

Es un proceso que determina el balance energético de la hoja y del estado hídrico de la planta y comprende la evaporación del agua desde las células superficiales en el interior de los espacios intercelulares y su difusión fuera del tejido vegetal principalmente a través de los estomas y en menor medida a través de la cutícula y lenticelas, que en conjunto con el intercambio de dióxido de carbono determina la eficiencia del uso del agua de una planta (Squeo y Cardemil, 2007).

La pérdida de agua de las hojas es a consecuencia de la actividad fotosintética de las células del mesófilo. Los estomas controlan la salida de agua en respuesta a un fuerte gradiente diferencial de presión de vapor entre la atmósfera y la hoja. Tanto la absorción desde el suelo, así como la transpiración por las hojas, ejercen un control primario en la regulación de la conductancia estomática. El flujo de agua a través de la planta corresponde a dos ambientes distintos, por un lado al ambiente aéreo a la que está expuesta la hoja el cual se define en términos de la radiación, temperatura, diferencial de presión de vapor y contenido de CO<sub>2</sub> por otro lado, las raíces que generan señales de estrés hídrico que sumadas a las señales en la conductividad hidráulica del xilema también controlan la pérdida de agua a través de la hoja (Sperry *et al.*, 1998).

### **1.3.3. Clorofila**

Es un pigmento de color verde que se concentra en la hoja y en menor cantidad en tallos. Una concentración elevada refleja una buena nutrición nitrogenada y por lo tanto, se refleja en una mayor tasa fotosintética. Cantidades adecuadas de nitrógeno (N) en la planta, producen hojas de color verde oscuro reflejando una alta concentración de clorofila. El pigmento verde de la clorofila absorbe la energía de la luz necesaria para iniciar la fotosíntesis (Rincón y Ligarreto, 2010).

Con base en un ensayo realizado por Novoa y Villagrán (2002) al evaluar el contenido de clorofila en el cultivo de maíz mediante el uso de un medidor portátil de clorofila SPAD 502, encontraron que el contenido de clorofila está altamente relacionado con el contenido de N. Con esto se deduce que contenido de clorofila puede ser una herramienta fácil de utilizar para detectar en campo niveles críticos de N en hojas de maíz.

#### **1.4. Efecto del acolchado plástico sobre el cultivo**

Con base en la literatura, diversos son los beneficios de los acolchados sobre los cultivos entre los que se mencionan al desarrollo óptimo de la planta, rendimiento y calidad de fruto en diversos cultivos hortícolas, además también mejora el desarrollo radicular e incrementa la absorción de los nutrientes (Wien *et al.*, 1993). Entre otros factores que se modifican, también se mencionan a la conservación de la humedad en el suelo, modifica a la estructura del suelo, incrementa la temperatura del suelo, inhibe el desarrollo de malezas en el área acolchada, se modifica la estructura del suelo; estos cambios se describen a continuación.

##### **1.4.1. Efecto sobre la humedad del suelo**

Diversos ensayos se han realizado para determinar la influencia del acolchado sobre la evaporación del agua del suelo (Yang *et al.*, 2006). El acolchado debilita la intensidad del intercambio turbulento entre la atmósfera y el agua que existe en el suelo reduciendo su evaporación (Dong y Qian, 2002). Todos los acolchados reducen significativamente la evaporación del agua y conservan la humedad del suelo por más tiempo en comparación con el suelo desnudo. Entre los diferentes acolchados que se utilizan, el más eficaz para evitar la evaporación del agua es el acolchado plástico por su impermeabilidad (Zribi *et al.*, 2011).

Haddad y Villagran (1988) encontraron que con el uso de acolchado plástico se logró distanciar los riegos a uno cada dos semanas en zonas donde se regaba dos veces por semana, calculando un ahorro hasta del 75% en el uso del agua. Además, al utilizar acolchados opacos, que inhiben el desarrollo de malezas, es otro factor que incrementa el uso eficiente del agua, al ahorrarse la cantidad de agua que éstas pudieran consumir.

##### **1.4.2. Efecto sobre la temperatura del suelo**

El acolchado modifica la energía que llega al suelo y por consecuencia, el sistema térmico, amortigua los picos máximos y mínimos de temperatura en los primeros 15 centímetros de profundidad. Por lo tanto, genera un mayor crecimiento radicular principalmente en zonas con veranos muy cálidos. El acolchado acumula calor en el suelo durante el día y durante la noche la conserva, aunque tiende a perderse parte de ese calor acumulado, el calor que se conserva es más elevado que en un suelo desnudo (Zribi *et al.*, 2011).

### **1.4.3. Efecto sobre la estructura y la fertilidad del suelo**

La estructura del suelo se mantiene por más tiempo cuando se utiliza un sistema de acolchado debido a la protección contra agentes atmosféricos como las gotas de lluvia y erosión por el viento (Erenestein, 2002). También la temperatura y humedad del suelo aumentan la mineralización del suelo generando mayor disponibilidad de los nutrientes para las plantas (Smets y Poesen, 2009). La consecuencia de mantener una buena estructura en el suelo, se evita la compactación y formación de costras, además de mantener una adecuada aireación y porosidad favoreciendo el crecimiento radicular y mejor eficiencia en el aprovechamiento de los nutrientes por parte de las plantas (Zribi *et al.*, 2011).

El incremento de la temperatura y la conservación de la humedad del suelo inducido por los acolchados favorecen la mineralización del suelo incrementando la disponibilidad de nitrógeno para las plantas, además reducen la lixiviación de este elemento. Con base en un estudio realizado por Al-Assir *et al.* (1992) en un cultivo de lechuga obtuvieron que el nivel de nitrato del suelo fue mayor en los suelos con acolchado que en el suelo desnudo.

### **1.4.4. Efecto sobre el control de malas hierbas**

El uso de cubiertas o acolchado es una técnica ancestral. En América precolombina se cortaba la vegetación natural y se colocaba sobre el suelo como cubierta para inhibir el crecimiento de maleza, suplía de nutrientes al cultivo y evitaba la excesiva evaporación del agua. La mayoría de las especies de malas hierbas necesitan luz para su germinación, algunas otras no, sin embargo todos los vegetales necesitan de luz solar para realizar fotosíntesis y producir su alimento, el acolchado plástico negro u opaco elimina casi en su totalidad el paso de luz, inhibiendo el desarrollo de malezas (Teasdale, 2003).

El crecimiento de malezas bajo el acolchado depende del color del plástico y de la transmisividad de luz solar, las películas de colores con valores intermedios en transmisión de radiación fotosintéticamente activa (PAR) permiten el desarrollo proporcional de malezas debido a que hay más transmisión de luz que en un acolchado negro u opaco.

### **1.4.5. Efecto sobre los rendimientos**

El rendimiento de las hortalizas es otro de los beneficios que brinda el acolchado plástico, al mismo tiempo se obtiene mejor calidad de los frutos disminuyendo así el rendimiento

rezaga (frutos defectuosos). López *et al.* (2009) trabajando con tomate de cáscara y acolchado plástico encontraron que el acolchado incrementó en promedio el rendimiento de frutos superando al tratamiento en suelo desnudo.

#### **1.4.6. Efecto del acolchado plástico con respecto al color**

El color influye en la determinación de las propiedades fotométricas de una película plástica con respecto a la reflexión, absorción y transmisión de radiación solar, que a su vez también influye en el microclima que crea en el suelo, tal como la temperatura, entre otros cambios que genera (Kluitenberg *et al.*, 1993). El acolchado negro absorbe hasta el 95% de la radiación total y es transmitida hacia el suelo en forma de calor, aunque se pierde muy fácilmente a través de la radiación y convección forzada. Los acolchados de color rojo, amarillo o verde, reflejan radiaciones diferentes hacia la parte aérea de las plantas e incrementan la tasa de fotosíntesis. El color también puede atraer ciertos insectos, en el caso del color amarillo atrae a los pulgones y el color plateado los repele (Lamont, 1993).

#### **1.5. Generalidades del polietileno (PE)**

La palabra plástico se refiere a ciertos tipos de materiales sintéticos obtenidos mediante fenómenos de polimerización o multiplicación artificial de los átomos de carbono en largas cadenas. Estos materiales son derivados del petróleo, aunque algunos se pueden obtener a partir de otras sustancias naturales (Segura *et al.*, 2007). Inicialmente el término plástico hacía referencia a la propiedad de los materiales de poder ser moldeada, aunque en realidad, se hace referencia a que un polímero también es un plástico: ciertos materiales sintéticos que pueden moldearse fácilmente y en cuya composición entran principalmente derivados de la celulosa, proteínas y resinas (Flores, 2009).

El PE es el polímero sintético más sencillo, sin embargo es uno de los materiales plásticos más utilizados a nivel mundial, es un polímero termoplástico, parcialmente cristalino y amorfo, de color blanquecino y traslucido. Los tipos de este material en el mercado son de baja densidad, de alta densidad y lineal de alta densidad. La estructura química del polietileno es  $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$  y su unidad estructural son dos átomos de carbono y cuatro átomos de hidrogeno unidos todos por enlaces de tipo covalente, esta unidad se puede multiplicar infinidad de veces dando origen al polímero polietileno (Kalpakjan y Schmid, 2002).

El Polietileno de baja densidad (LDPE), es un polímero de cadena ramificada que se obtiene por la polimerización del etileno a altas presiones por el mecanismo de radicales libres, su densidad oscila entre 0.925-0.941 g cm<sup>3</sup>. Es un polímero termoplástico de cadena larga altamente ramificado. Sus principales aplicaciones son bolsas de supermercado, botellas para leche, juguetes, artículos para el hogar, mangueras y cintas de riego, películas para invernaderos en sus diferentes calibres

Presenta buena elongación ante la aplicación de fuerza de tensión y esta propiedad está determinada por la temperatura al aumentar incrementa la elongación a esfuerzos constantes. Algunas propiedades mecánicas como la resistencia a ser mezclada y su capacidad de estiramiento en estado fundido son afectadas por el peso molecular. La resistencia a la fusión indica que tanto se puede mantener el material en estado fundido y la capacidad de estiramiento indica que tan delgado puede extenderse el polímero.

### **1.5.1. Proceso de soplado de película**

El soplado de película es un proceso que se utiliza generalmente para producir láminas delgadas mediante la extrusión de un tubo de bajo espesor y se expande mediante el incremento de la presión interna del tubo (Thuwall *et al.*, 2006). Es uno de los métodos más importantes en la industria de los polímeros ya que provee gran flexibilidad a la producción de películas de diversas propiedades físicas y mecánicas y amplia gama de materiales. En este proceso se da a la película una orientación biaxial, una es longitudinal por el estirado de la película y una transversal por el soplado, afectado las propiedades mecánicas de la película. Los pasos de este proceso son fundir, dosificar, mezclar y bombear el material plástico a la sección de formado, el cual es un cabezal con una boquilla de salida que proporciona al material fundido la forma final del producto. Al salir del cabezal el material fundido es inflado por medio de aire alimentado por el cabezal formándose una burbuja caliente la cual es enfriada por un flujo de aire a alta velocidad suministrado por el anillo de enfriamiento, esta burbuja continua enfriándose hasta pasar por unos rodillos de colapsamiento los cuales comprimen el tubo para formar una película plana, el material avanza hacia abajo y en línea guiada por otros rodillos para finalmente ser embobinada.

En este proceso interviene variantes generales como la temperatura y la velocidad del caudal del tornillo, las variables específicas que también intervienen son (Pérez *at al.*, 2013).

1. Relación de soplado: Este parámetro se obtiene del cociente entre el diámetro de la burbuja y el diámetro del cabezal y proporciona un estimado del grado de orientación transversal de la película, un aumento de la relación de soplado se traduce en una mayor orientación transversal.
2. Relación de estiramiento: Es el cociente entre la velocidad de estirado de los rodillos de colapsamiento y la velocidad de extrusión a la salida de la boquilla indicando el estirado que ha sufrido el material en la dirección de extrusión una vez que ha salido de la boquilla.
3. Relación de adelgazamiento: Mide la reducción del espesor en la resina fundida después de ser soplada y se obtiene del cociente entre la abertura de los labios de la boquilla y el espesor de la película.
4. Altura de la línea de enfriamiento: Distancia desde la salida del cabezal hasta que el material solidifica, a partir de esta zona el diámetro de la burbuja se mantiene constante y el perfil de temperatura a lo largo de la burbuja muestra un punto de inflexión debido a la cristalización del material.
5. Velocidad del tornillo: Está relacionado con la cantidad de material obtenido en un determinado tiempo, operar a elevados caudales permite un incremento en la producción, pero trae como consecuencia el aumento de la orientación molecular a la salida de la boquilla, aumento del calentamiento por disipación viscosa y reducción de la estabilidad de la burbuja
6. Temperatura de extrusión: La modificación de este es el ajuste de la viscosidad o resistencia al fundido, a mayor temperatura, menor viscosidad y por consecuencia menor resistencia al fundido dificultando mantener la geometría de la burbuja estable y libre de defectos superficiales como rallas. Si se emplea menor temperatura de extrusión la potencia consumida por parte del motor será mayor y esto se traduce en un material más viscoso requiriendo más potencia para lograr su avance a través de la extrusora.

Por lo tanto, tomar en cuenta y saber cómo controlar estos factores es indispensable para producir películas de buena calidad comercial y se reduce el desperdicio de los materiales, se reduce el gasto de energéticos y se reducen los tiempos para la producción.

### 1.5.2. Propiedades mecánicas de las películas plásticas

Las películas para acolchado además de su bajo espesor, deben tener ciertas propiedades mecánicas de tal manera que tengan una duración en el campo permitiendo la conservación de sus propiedades físico-mecánicas durante el desarrollo del cultivo. Las pruebas de resistencia a la tensión y resistencia a la elongación, son de las evaluaciones más comunes para determinar las propiedades de ductilidad, resistencia al rasgado, tenacidad, modulo elástico y rigidez, permitiendo determinar la capacidad de resistencia de un plástico al ser sometido a un esfuerzo de tensión. Entre mayor sea la resistencia a la tensión y tenga mayor % de elongación, se facilitará el manejo durante la colocación de las películas de acolchado. Asimismo en caso de que la película haya sido sometida a un sobrecalentamiento durante su procesamiento o bien presente porosidad, rigidez como consecuencia de su aplicación en campo, el % de elongación de la misma puede decrecer por debajo de lo normal.

**Resistencia a elongación:** Es la máxima extensión que alcanza una muestra hasta el momento de su rotura al ser sometida al estiramiento y el resultado se reporta en %. Esta práctica consiste en sujetar a la probeta por los extremos y posteriormente, se estiran en dirección uniaxial hasta romperse, la medición se realiza midiendo la distancia central hasta el final de la prueba

**Resistencia a la tensión:** Es la capacidad de resistencia de los plásticos al exponerse a un esfuerzo determinándose por la fuerza de tensión por unidad de área y se define como la máxima carga de tensión que resiste una muestra antes de deformarse, generalmente se expresa en unidades de psi (Enciclopedia del Plástico, 2000).

### 1. 6. Degradación del Plástico

La degradación de los materiales plásticos es un proceso que tiende a modificar la estructura del polímero para hacerlo vulnerable a los diferentes factores de degradación tendiendo a una reducción y minimización del material residual. Durante el proceso se observan variaciones tanto físicas como químicas en el material como son la pérdida de brillo, color, formación de grietas provocando pérdida de las propiedades de los materiales.

La degradación es iniciada por la acción de radicales libres muy reactivos originados por efectos térmicos, radiación solar o esfuerzos mecánicos o algunas impurezas metálicas. La oxidación de los polímeros se da en etapas, la primera es la iniciación provocada por una fuente

de energía térmica o radiante, los radicales libres formados experimentan sucesivos procesos de oxidación, en la segunda etapa de propagación y como consecuencia se forman los peróxidos (-O-O-) e hidroperóxidos (-O-OH) (ambos inestables), la tercera etapa de terminación donde estas especie químicas reaccionan entre sí dando lugar a productos estables, cuando los peróxidos o hidroperóxidos se forman a partir de un carbono (C) terciario se pueden formar grupos cromóforos como lo es el grupo carbonilo (C=O) responsable del amarillamiento del polímero (San Andrés *et al.*, 2010).

### 1.6.1. Foto-degradación

Es un proceso inducido por la radiación solar principalmente en el rango del espectro Ultra Violeta (UV) que oscila entre 180 y 350 nm, este proceso se acelera en combinación con el contenido de agentes catalizadores como óxidos metálicos sensibles a la radiación que al estar presentes en la estructura de la cadena del plástico forman radicales libres en las regiones amorfas y estos reaccionan con el oxígeno, causando la pérdida de propiedades de los plásticos. Los daños originados por la radiación solar pueden ser fotolíticos como consecuencia directa de la radiación o fotoquímicos debido a la acción combinada con otro agente como puede ser el oxígeno (O<sub>2</sub>) que se conoce como foto-oxidación u otro agente como la humedad. (San Andrés *et al.*, 2010). La foto-degradación puede promover una rápida desintegración de los polímeros en un residuo en polvo con un impacto visual muy reducido (Wiles and Scott, 2006).

Ozawa *et al.* (1979) y Audoin *et al.* (1995), han planteado varios modelos cinéticos describiendo el proceso de degradación. Desafortunadamente, la diversidad natural de la foto degradación implica determinar diversas constantes que se aplican en la erosión de las muestras de polímero (Pospíšil *et al.*, 2006). El aumento de la degradación de los polímeros se pueden estimar a través de diversos métodos químicos, físicos y mecánicos. Inclusive, se puede utilizar la calorimetría diferencial de barrido (DSC), el análisis termogravimétrico (TG) (Roy *et al.*, 2007), espectroscopia optoelectrónica de rayos (XPS) (Tidjani and Arnaud, 1993), la absorción de oxígeno (Fraisse Z., 2006), estudios de evolución de CO<sub>2</sub> (Jin *et al.*, 2006) y las pruebas mecánicas (Miyagawa *et al.*, 2007). El método de espectroscopia infrarroja (FTIR) muy utilizado para observar la evolución en los cambio de los grupos funcionales presentes en los polímeros (Tidjani and Arnaud, 1993), asimismo la referencia utilizada para medir el grado de

degradación se utiliza un índice carbonilo (IC) que se define como la relación de absorbancia máxima en la banda de carbonilo cerca de  $1720\text{ cm}^{-1}$  a la de  $720\text{ cm}^{-1}$

$$\text{IC} = A_{1720}/A_{720}$$

La banda de referencia se debe a  $\text{CH}_2$  en la fase de balanceo de vibración de las secuencias de metileno tiene contiene siete o más carbonos. En las muestras sólidas, esta banda aparece como un doblete en el espectro infrarrojo.

### 1.6.2. Oxo-degradación

Otra razón por lo que el polietileno es estable en el medio ambiente, es porque tiene estabilizadores (Briassoulis *et al.*, 2004). Estos aditivos están presentes, incluso en una concentración mínima, en todas las preparaciones comerciales para evitar la oxidación durante su procesamiento debido a que en estado fundido y a temperaturas elevadas es sensible a la oxidación oxígeno. Los residuos de estabilizadores antioxidantes subsecuentemente inhiben la oxidación en el material sólido y prolongan su vida útil en gran medida. La situación podría cambiar radicalmente al utilizar un sistema de oxo-degradación que consiste en el ataque del oxígeno activo sobre el polímero; en el fondo, es una reacción orgánica de oxidación-reducción. Como en la degradación térmica, el oxígeno origina radicales libres en el polímero, que pueden dar todo tipo de reacciones secundarias degradantes. En general, los polímeros con carbonos terciarios son los menos resistentes al oxígeno debido a la reactividad de los carbonos acrílicos y terciarios. Los plásticos oxo-degradables generalmente son derivados del petróleo con concentraciones mínimas de aditivos como sales metálicas (ácidos carboxílicos, metales de transición, como el hierro  $\text{Fe}^{3+}$ , níquel Ni, cobalto  $\text{Co}^{2+}$  y manganeso  $\text{Mn}^{2+}$ ), las concentraciones son extremadamente bajas que no causan riesgo de contaminar el medio ambiente.

El aditivo añadido a la película es activado por la radiación solar para formar radicales libres como peróxidos e hidroperóxidos que reaccionan con el polímero iniciando la producción de macro-radicales que vuelven a reaccionar con el oxígeno para generar la rotura de las cadenas poliméricas y como consecuencia se genera un peso molecular bajo como cetonas, aldehídos, alcoholes, lactonas, ácidos carboxílicos, etc. (Roy *et al.*, 2011).

El ciclo de vida de los materiales oxo-degradables se ve afectado por los diferentes iones metálicos, los complejos de níquel, zinc y cobalto, actúan como estabilizadores, mientras que los complejos de hierro y cobre actúan como sensibilizadores (Hamid *et al.*, 1992).

Para estimar el tiempo de vida útil de un plástico, es necesario conocer la dosificación precisa de aditivos pro-oxidantes para que el material permanezca intacto justo antes de la cosecha, ya que la degradación prematura podría significar una disminución de los beneficios que proporcionan al suelo y como consecuencia a las plantas. También deben conservar sus propiedades mecánicas, principalmente su resistencia a la rotura, lo cual esta resistencia debe permanecer hasta finalizar el periodo de producción y disminuir rápidamente más tarde. El ciclo de vida de un plástico degradable, también depende del medio ambiente, por lo tanto es recomendable que cada material oxo-degradable se configure con base a la energía incidente y la temperatura.

## **1.7. Cámara QUV**

Las pruebas de degradación pueden efectuarse en condiciones naturales o artificiales. Para el primer caso las películas plásticas se exponen a la intemperie, las muestras se exponen para que reciban directamente la radiación solar durante un periodo determinado, las desventajas de este método es que requieren de periodos extensos de evaluación y dependen totalmente de las condiciones climáticas del lugar. Para las pruebas artificiales se requiere una cámara con lámpara UV y controles de humedad y temperatura en el cual se permiten realizar pruebas de degradación acelerada en diversos materiales. Estas cámaras mantienen condiciones semejantes a los que reciben los materiales a la intemperie pero disminuye el tiempo de exposición de los materiales (Cano *et al.*, 2011).

### **1.7.1. Espectroscopia infrarroja**

Es una técnica que permite estudiar cualquier muestra independientemente el estado que presente como líquido, pasta, polvo, película o fibras. El espectro infrarrojo se obtiene al hacer pasar radiación a través de una muestra y determinar que fracción de la radiación incidente ha sido absorbida, la energía particular a la que aparece cada señal o pico en un espectro guarda relación con la frecuencia de vibración de una parte de la molécula. El efecto que se observa en los espectros de sólidos es la aparición de bandas anchas en el intervalo de frecuencias permitido. En el espectro típico se presenta el % de transmitancia frente al número de ondas expresado en  $\text{cm}^{-1}$  que es proporcional a la frecuencia y a la energía en la cual se observan absorciones de distinta intensidad en el intervalo en estudio. Los enlaces vibran al absorber la

energía adecuada dando lugar a un espectro característico y dependiendo de la fortaleza de los enlaces y la masa de los átomos implicados será la energía necesaria para que se produzca la absorción de la radiación.

Una vez que se registra el espectro prosigue la etapa de interpretación, las bandas se asignan a partes concretas de la molécula que producen las frecuencias de grupo y estos permiten establecer si está presente o no en la muestra un grupo funcional dado. La región IR del espectro electromagnético se divide en tres regiones: IR cercano (NIR):  $12800-4000\text{ cm}^{-1}$ , IR medio:  $4000-400\text{ cm}^{-1}$  e IR lejano:  $400-10\text{ cm}^{-1}$ , y es en el IR medio donde se dan la mayoría de las aplicaciones analíticas.

El IR medio se estudia en 4 zonas: La región de vibración de extensión X-H ( $4000-2500\text{ cm}^{-1}$ ) que corresponde a los enlaces con Hidrógeno (H) (Alcoholes, aminas y enlaces C-H), la región del triple enlace ( $2500-2000\text{ cm}^{-1}$ ) que absorbe un número limitado de compuestos ( $\text{-C}\equiv\text{N}$ ,  $\text{C}\equiv\text{O}$ ,  $\text{-C}\equiv\text{C-}$ ,  $\text{-N}\equiv\text{C-}$ ) y la región del doble enlace en el que las bandas principales se deben al grupo carbonilo ( $\text{C}=\text{O}$ ) ( $1830-1650\text{ cm}^{-1}$ ) y al doble enlace  $\text{C}=\text{C}$ , la primera es más intensa que la segunda y una de las más fáciles de reconocer en el espectro.

El índice carbonilo es una medida de la proporción de enlaces C-O y C=O que existen en las muestras, estos tipos de enlaces se forman debido a la oxidación de los materiales el cual se utilizan lo que se utiliza como indicador en los procesos de degradación. Uno de los principales efectos de la degradación de los polímeros es su amarillamiento que se asocia a la foto-oxidación que son los responsables de la aparición de grupos cromóforos como grupo carbonilo ( $\text{C}=\text{O}$ ), hidroperóxido ( $\text{-OOH}$ ) y dobles enlaces ( $\text{-C}=\text{C-}$ ), a mayor presencia de estos grupos, mayor será el grado de amarillamiento del plástico (San Andrés *et al.*, 2010).

## **II. HIPÓTESIS**

La concentración de óxido de hierro del pigmento residual extraído de fotocopiadoras, interactúa con la radiación solar principalmente en el rango de 180-400 nanómetros (nm) creando radicales hidroxilo (OH) que actúa como pro-oxidante para acelerar la degradación de las películas plásticas de polietileno; Además, la respuesta del cultivo de pepino establecido en estos materiales, es similar al establecido en acolchado de polietileno convencional.

### **2.1. Objetivo general**

Evaluar el desempeño y la acción degradable de películas que permitan el uso de nuevas alternativas de producción en el sistema de acolchado plástico evaluadas sobre el cultivo de pepino.

### **2.2. Objetivos particulares**

- Determinar el efecto de las películas foto-oxodegradables estudiadas sobre el crecimiento vegetativo y rendimiento del cultivo de pepino
- Determinar si existe diferencia entre las dos concentraciones (8 y 12%) de pigmento utilizados en las formulaciones de las películas foto-oxodegradables, en el efecto de la degradación fotoquímica.
- Determinar si existe diferencia en la respuesta del cultivo de pepino, así como también en la velocidad e índice de degradación de las películas foto-oxodegradables entre las dos localidades de experimentación.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Elaboración de las películas

Las películas plásticas se elaboraron por el proceso de extrusión soplado en la planta piloto 1 del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA). Se realizaron mezclas de polietileno de baja densidad, titanio rutilo y pigmento (rojo, azul y verde) que contienen 1% de fierro, en las concentraciones 8 y 12% (Tabla 1) para evaluar su efecto pro-oxidante en películas potencialmente foto-oxodegradables.

Tabla 1. Concentración de componentes de las películas plásticas foto-oxodegradables en estudio

Mezcla	Concentración de la Mezcla en %		
	PE	Titanio Rutilo	Pigmento
Acolchado Rojo (AR)	69	23	8
	66	22	12
Acolchado Azul (AA)	69	23	8
	66	22	12
Acolchado Verde (AV)	69	23	8
	66	22	12

Las mezclas de PEBD y Titanio, se calibraron con la finalidad de buscar la máxima opacidad y minimizar al máximo la transmitancia y el mínimo que se logró fue el 25.4%.

Para el uso de acolchado de suelos en campo fue buscar un ancho de 60 cm, el ancho de las bolsas de la extrusora fue de 32 cm, al cortarlas longitudinalmente por la mitad, se logró un ancho de 64 cm, por lo cual se hizo necesario sellar dos bandas de película para formar un ancho de 1.20 m, los 8 cm sobrantes se utilizaron para sellar.

#### 3.2. Ubicación del área experimental

El trabajo se desarrolló en dos localidades experimentales del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) que se realizó bajo los mismos tratamientos y metodologías.

La primer localidad se ubica en Saltillo, Coahuila cuyas coordenadas son 25° 27' 37" N y 100° 58' 08" O, y una altura de 1503 msnm. La segunda localidad localiza en rancho Las Encinas, Ramos Arizpe, Coahuila sobre la carretera antigua a Monclova, cuyas coordenadas son 25° 39' 11.87" N 101° 06' 57.71" O y tiene una altura de 1193 msnm (google Earth, consultado el 24 de abril del año 2014).

### 3.3. Características del experimento

Los tratamientos evaluados fueron testigo (sin acolchar), un acolchado negro de polietileno convencional y 6 películas de colores rojo, azul y verde con dos concentraciones de pigmento residual que contienen 1% de óxido de hierro (Tabla 2) que fue usado como prodegradante.

Tabla 2. Descripción de los tratamientos en estudio

Tratamientos		
Nº	Descripción	Simbología
1	Testigo	TEST
2	Acolchado negro	AN
3	Acolchado rojo	AR8
4	Acolchado rojo	AR12
5	Acolchado azul	AA8
6	Acolchado azul	AA12
7	Acolchado verde	AV8
8	Acolchado verde	AV12

### 3.4. Preparación del terreno

La preparación del terreno se realizó de forma mecanizada mediante las siguientes labores: Rastra para mullir el suelo y formación de camas con una encamadora; las medidas de cada cama fueron de 20 metros de longitud, 1.80 metros entre centros de cama, obteniendo una exposición de camas de 0.60 metros.

#### 3.4.1. Establecimiento del experimento

Los tratamientos fueron distribuidos en el campo bajo un diseño de bloques al azar con tres repeticiones, en la fila 3 se estableció el tratamiento 1 (suelo desnudo) (Figura 1) con el fin de regular la aplicación de agua debido a su mayor requerimiento evitando que el factor hídrico pudiera influir en la respuesta del cultivo.

### 3.4.2.. Instalacion de los acolchados plásticos y sistema de riego por goteo

Las películas y el sistema de riego se colocaron de forma manual. Los plásticos se colocaron sobre las camas con una cara de exposición directa a la radiación solar de 0.60 metros. Para el sistema de riego se utilizó tubo de Poli cloruro de vinilo de 1 ½ pulgadas y cinta de riego de HDPE con una separación entre goteros de 30 cm y un gasto de 0.98 L/h, la colocación fue de una cinta de riego por cada cama. Los riegos se realizaron con base a la lectura de los tensiómetros manteniéndose en 30 centibares. La perforación del acolchado se realizó con un tubo metálico caliente de 2 pulgadas de diámetro.

		R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>		
Tratamientos	Sur	8	8	4	Norte	
	4	6	3			
	3	3	7			
	5	2	5			
	7	4	8			
	Desnudo	Desnudo	Desnudo			
	6	7	6			
	2	5	2			

Figura 1. Distribución de los tratamientos y repeticiones en el campo experimental para ambos ensayos

### 3.4.3. Siembra

La siembra en el primer ensayo se realizó el día 19 de abril del año 2013 de forma manual a hilera sencilla, una separación de 20 cm entre plantas y una profundidad de siembra de 3 cm del suelo. Bajo los mismos métodos, la siembra en el segundo ensayo se realizó el día 23 de agosto del año 2013.

### 3.4.4. Material genético

Para ambos ensayos se estableció el híbrido Dasher II, que da origen a plantas vigorosas, el tipo de floración es ginoica y su precocidad es temprana (58 días), el fruto es de forma erecta y ligeramente aplanada con dimensiones de 20 x 6 cm, uniforme, corteza verde oscuro. Es resistente al virus del pepino (MVC), *Cladosporium*, *Oidio*, *Mildiu*, *Antracnosis*, *Pseudomonas*.

### **3.4.5. Fertilización**

Para ambos ensayos, la fertilización se realizó con la fórmula 240-200-200 kg ha<sup>-1</sup> de Nitrógeno, Fosforo y Potasio (NPK), la cual fue repartida en 18 aplicaciones durante el desarrollo del cultivo, la primera aplicación fue a la aparición de la segunda hoja verdadera y a partir de ahí se realizaron de 2 a 3 aplicaciones por semana hasta el momento de la cosecha, las fuentes de fertilizantes utilizados fue Triple-20 y Triple-17, además se realizaron aplicaciones de urea para complementar la demanda de nitrógeno. Los primeros dos productos mencionados contienen un mínimo porcentaje de micro elementos, el método de fertilización fue con Venturi insertado al sistema de riego por goteo.

### **3.4.6. Control de malezas**

Esta actividad se realizó en forma manual sobre los pasillos entre las camas acolchadas, en el tratamiento de suelo desnudo y en los alrededores se hizo con la ayuda de un azadón, la frecuencia fue cada vez que se observaba presencia mínima de maleza.

### **3.4.7. Control fitosanitario**

Esta actividad se realizó con la misma metodología para los dos ensayos en el que se realizaron aplicaciones preventivas de Tecto-60 para *Damping off*, las aplicaciones posteriores se realizaron con base a los monitoreos realizados diariamente para lo cual se aplicó Disparo para minador de hoja y Amistar para control de cenicienta polvorienta, todas las aplicaciones se realizaron con base a las recomendaciones y dosis señaladas en la etiqueta de los productos y el método que se utilizó fue aspersión manual con un aspersor de mochila de 20 litros de capacidad

### **3.4.8. Variables evaluadas**

Las variables evaluadas fueron las mismas para los dos experimentos y bajo la misma metodología se evaluaron: Peso seco de planta (g) (PSP), longitud de tallo (cm) (LT), área foliar (cm) (AF), Clorofila (spad) (Cl), degradación (%) (DG), temperatura de suelo (°C) (T) y rendimiento (t ha<sup>-1</sup>). Fotosíntesis unitaria ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), conductancia estomática ( $\text{cm s}^{-1}$ ) y transpiración unitaria ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) son variables que se midieron solamente en el primer experimento (CIQA).

### 3.4.9. Descripción de las variables

**Área foliar:** Se realizó a los 25, 35, 45 y 55 días después de la siembra (dds) tomando una planta por tratamiento y por repetición, se dependieron las hojas de la planta desde la inserción de la hoja y el pedúnculo, se colocaron sobre la banda de un equipo para medir área foliar y el total se expresó en  $\text{cm}^2 \text{planta}^{-1}$ , esta actividad se desarrolló con la ayuda del equipo LI-3100, LI-COR, Inc Lincoln, Nebraska E.U.

**Peso Seco de planta:** El muestreo se realizó a los 25, 35, 45 y 55 dds, tomando una planta por unidad experimental, se pusieron las muestras a secar en una estufa de secado durante 48 horas a una temperatura de  $75^\circ\text{C}$ . El peso seco de planta por repetición se obtuvo con la ayuda de una báscula electrónica y fue expresada en  $\text{g planta}^{-1}$ .

**Medición de clorofila:** Se realizó a los 25, 35, 45 y 55 dds, se tomaron 5 plantas por unidad experimental seleccionadas al azar tomando la lectura en la penúltima hoja. Esta medición se realizó con la ayuda de un equipo SPAD 502 de Minolta y el resultado se expresó en unidades Spad.

**Fotosíntesis:** Esta variable solo se midió en el primer ensayo (CIQA) a los 35 y 55 dds, la toma de lectura se realizó entre las 11:00 – 12:00 horas, en la penúltima hoja bien desarrollada. Entre las mediciones que se realizaron fueron: tasa fotosintética unitaria, tasa de transpiración unitaria y conductancia estomática. Las mediciones fueron hechas, con un aparato portátil de fotosíntesis LI-6400 (LI-COR, Inc. Lincoln, Nebraska, E. U.).

**Evaluación de rendimiento:** Para el primer ensayo (localidad CIQA), la primera cosecha se realizó a los 60 dds, los frutos se clasificaron como comercial (frutos de color verde oscuro y rectos de 10-20 cm) y rezaga (frutos pequeños y malformados, menores a 10 cm de longitud), la suma de ambos cortes se consideró rendimiento total. La cosecha se realizó dos veces por semana durante un mes y se obtuvo el rendimiento rezaga (RR), rendimiento precoz (RP) (obtenido en los primeros 7 días de cosecha), rendimiento comercial (RC) y rendimiento total (RT), los valores se expresaron en toneladas por hectárea ( $\text{t ha}^{-1}$ ).

**Degradación de la película:** Para ambos ensayos, los datos se tomaron a los 25, 35, 45 y 55 dds y una lectura como degradación final posterior al retiro de las plantas de los surcos (75 dds). Las estimaciones se realizaron de manera visual estimadas en porcentaje y con una escala de cero a cien, donde el cero indica no degradación, es decir, cero para las camas que están completamente cubiertas y el cien indica degradación completa. Los valores se registraron para cada unidad experimental.

**Temperatura de suelo:** Estos datos se midieron con un dataloger (CR 850; Campbell Scientific, Logan, Utah, USA) conectado a un multiplexor (AM25T; Campbell, Scientific). Este equipo se programó para registrar temperaturas cada 10 segundos y almacenarlas en promedio por día, registrando la temperatura media, máxima y mínima. Para este caso, solo se midieron dos repeticiones para cada tratamiento y las lecturas se tomaron a 10 cm de profundidad.

Todas las variables de ambos ensayos se sometieron a análisis de varianza y se utilizó la prueba de comparación de medias de Duncan usando el procedimiento PROC GLM (General Lineal Models) procedimiento de SAS versión 9.2 (SAS Institute, NC).

### **3.5. Medición realizada en cámara QUV**

El estudio de la degradación oxidativa se realizó en una cámara de intemperismo acelerado artificial Q-panel modelo QUV-SE, con ocho lámparas fluorescentes UVA-340 con una máxima emisión de 280 nm. La cámara se operó en base a la norma ASTM D-4329, seleccionando ciclos de 4 horas de condensación a 50°C y 8 horas de radiación ultravioleta (UV) a 70°C. Se tomaron muestras diariamente hasta alcanzar la degradación de las muestras y estas fueron evaluadas por medio de pruebas de tensión-elongación y espectroscopia infrarroja.

Para la evaluación de las pruebas mecánicas se trazaron probetas de 1.25 cm de ancho por 14 cm de largo y se evaluaron 6 réplicas por muestra. Para esta prueba se realizó con un equipo instron 4301 y con base a la norma ASTM D-882, con una celda de 50 kg, la prueba se realizó bajo las siguientes condiciones: con una velocidad de prueba de 20 in/min y una separación de mordazas de 2 pulgadas y una longitud de referencia de 1 pulgada.

Las pruebas de infrarrojo se realizaron en un equipo de espectro fotómetro Nicolet modelo 550. La muestra se cortó de 2 x 2 cm la cual fue expuesta a la irradiación UV dentro de la cámara QUV a la cual se realizaron pruebas de infrarrojo periódicamente a 32 scan, la película de polietileno convencional se conservó en cámara durante 47 días.

La misma metodología se realizó para desarrollar cada una de las evaluaciones, en un principio, se evaluaron diariamente, al no observarse un avance significativo en la pérdida de propiedades, se optó por evaluar cada tercer día, de tal modo que en cada evaluación se observara algún cambio, esto se hizo para todas las muestras y colores. Para suspender las evaluaciones se tomó en cuenta la pérdida casi total de su resistencia a elongación. Al final, para la interpretación de los resultados, los datos obtenidos se concentraron en una tabla para su arreglo en una gráfica de dispersión.

### **3.6. Diseño experimental**

El diseño experimental utilizado fue bloques al azar con 8 tratamientos y 3 repeticiones, el modelo estadístico fue:

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

Donde:

$Y_{ij}$  = Variable aleatoria observable.

$\mu$  = Media general.

$T_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo tratamiento.

$\beta_j$  = Efecto del  $j$ -ésimo bloque.

$E_{ij}$  = error experimental para cada observación ( $ij$ ).

$i = 1, 2, \dots, t$  (tratamientos)

$j = 1, 2, \dots, r$  (repeticiones)

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Clorofila:** Existe diferencia en los valores de clorofila en las hojas en plantas de pepino entre sitios experimentales en favor de la localidad CIQA (Tabla 3), en esta localidad no hubo diferencias entre tratamientos a los 25 dds y 45 dds, a los 35 dds los tratamientos Testigo y el tratamiento AR12 fueron superiores ( $p \leq 0.05$ ) en contenido de clorofila al tratamiento AN, además, el tratamiento AR12 fue superior al tratamiento AV8 a los 55 dds, en el valor promedio los tratamientos AR12 y AV12 superaron al tratamiento AN. En la localidad las Encinas todos los tratamientos tuvieron un comportamiento similar en los cuatro muestreos efectuados y en el valor promedio. Las diferencias en contenido de clorofila de hojas entre localidades, no se soportan suficientemente para argumentar que propició tales diferencias, pero podríamos argumentar diferencia entre localidades y fechas de siembra.

Tabla 3. Medias de clorofila en los muestreos realizados a los 25, 35, 45 y 55 dds en el cultivo de pepino en los campos experimentales CIQA y Las Encinas.

Tratamientos	Unidades Spad planta <sup>-1</sup>				Promedio
	25 dds	35 dds	45 dds	55 dds	
<b>CIQA</b>					
TEST	51.5 a	83.2 a	52.1 a	49.0 ab	58.9 ab
AN	48.3 a	79.5 b	50.5 a	49.3 ab	56.9 c
AR8	49.4 a	80.1 ab	53.0 a	50.2 ab	58.2 ab
AR12	48.9 a	83.2 a	52.1 a	52.1 a	59.1 a
AA8	50.2 a	81.4 ab	52.7 a	50.9 ab	58.8 ab
AA12	49.7 a	80.5 ab	50.5 a	48.4 ab	57.3 bc
AV8	50.2 a	81.1 ab	51.3 a	48.3 b	57.8 bc
AV12	50.7 a	82.4 ab	52.5 a	51.0 ab	59.2 a
<b>Media</b>	<b>49.8</b>	<b>81.4</b>	<b>51.8</b>	<b>49.9</b>	<b>58.3</b>
P	0.2173	0.0173	0.2631	0.0392	0.0408
CV (%)	3.0	1.4	2.7	2.6	1.5
<b>Las Encinas</b>					
TEST	44.3 a	44.3 a	43.5 a	45.2 a	44.1 a
AN	44.6 a	45.8 a	43.7 a	44.3 a	45.0 a
AR8	45.3 a	46.2 a	45.5 a	44.3 a	44.9 a
AR12	45.1 a	45.5 a	44.3 a	45.4 a	44.2 a
AA8	45.1 a	45.7 a	44.5 a	45.2 a	44.9 a
AA12	44.9 a	45.5 a	43.5 a	45.6 a	45.4 a
AV8	44.9 a	45.3 a	44.7 a	44.9 a	44.8 a
AV12	45.2 a	46.5 a	46.1 a	43.1 a	44.6 a
<b>Media</b>	<b>44.9</b>	<b>45.6</b>	<b>44.5</b>	<b>44.7</b>	<b>44.7</b>
P	0.9585	0.7105	0.8569	0.7124	0.4197
CV (%)	2.058	2.299	3.872	2.396	1.6

Tratamientos con la misma letra no difieren entre sí, Duncan  $P \leq 0.05$

**Área Foliar:** En general el área foliar en la localidad CIQA fue mayor que en Las Encinas, excepto en el primer muestreo a los 25 dds que fue muy similar (Tabla 4). En la localidad CIQA solo los tratamientos AN, AR8, AA12 y AV12 fueron siempre superiores ( $p \leq 0.05$ ) al testigo en área foliar. En la localidad las Encinas la respuesta fue diferente, ya que solo en el primer muestreo todos los tratamientos acolchados superaron ( $p \leq 0.05$ ) al testigo, sin embargo, el tratamiento AV12 tuvo una tendencia similar que en la localidad CIQA ya que superó siempre al testigo en área foliar excepto en el cuarto muestreo que fue similar. Mayores valores de área foliar asociados al acolchado plástico han sido reportados por López *et al.* (2007) en cultivo de brócoli; Inzunza *et al.* (2007) en chile jalapeño. Uno de los beneficios del acolchado plástico es el incremento del área foliar lo cual se relaciona con el incremento del rendimiento de fruto, tal como se muestra en la figura 2.

Tabla 4. Medias de área foliar de los muestreos realizados a los 25, 35, 45 y 55 dds en el cultivo de pepino en los campos experimentales CIQA y Las Encinas.

Tratamientos	cm <sup>2</sup> planta <sup>-1</sup>				Promedio
	25 dds	35 dds	45 dds	55 dds	
<b>CIQA</b>					
TEST	131.3 e	779.8 d	2354.0 cd	4613.0 e	2310.0 c
AN	312.0 ab	1589.6 c	5255.5 a	5173.3 d	2872.0 ab
AR8	218.0 d	2712.9 a	4820.8 ab	10517.7 a	4291.7 a
AR12	355.3 ab	1793.8 cd	3012.5 c	4097.3 f	2741.5 b
AA8	366.0 a	1773.4 bc	2955.6 c	5010.0 de	2637.2 b
AA12	296.3 c	2099.7 b	5053.4 ab	5682.0 c	3605.5 ab
AV8	269.3 cd	1784.9 bc	2078.4 d	5314.3 cd	2811.4 ab
AV12	326.0 ab	1784.9 bc	4195.7 b	7991.0 ab	3490.1 ab
<b>Media</b>	<b>272.3</b>	<b>1705.4</b>	<b>3516.8</b>	<b>5778.6</b>	<b>3039.4</b>
P	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.1251
CV (%)	11.2	14.0	11.6	4.7	25.5
<b>Las Encinas</b>					
TEST	202.9 f	580.2 c	1172.7 c	2716.8 ab	1151.5 b
AN	256.0 e	797.8 cb	2051.7 ab	2746.9 ab	1471.0 ab
AR8	323.6 a	893.0 bc	2395.5 a	2423.7 b	1499.8 ab
AR12	298.4 b	1144.4 b	1598.1 bc	2440.6 b	1377.8 b
AA8	290.8 bc	858.5 bc	1662.5 bc	4930.4 a	1936.9 ab
AA12	269.4 de	815.6 bc	1751.3 ab	3282.8 ab	1545.7 ab
AV8	276.9 cd	1250.3 ab	1395.5 a	3089.0 ab	1759.1 ab
AV12	288.3 bc	1697.1 a	2020.4 ab	3179.7 ab	2243.9 a
<b>Media</b>	<b>273.6</b>	<b>956.9</b>	<b>1717.2</b>	<b>3025.4</b>	<b>1592.5</b>
P	0.0001	0.0073	0.0149	0.2862	0.1234
CV (%)	2.99	28.02	19.56	38.30	25.8

Tratamientos con la misma letra no difieren entre sí, Duncan  $P \leq 0.05$

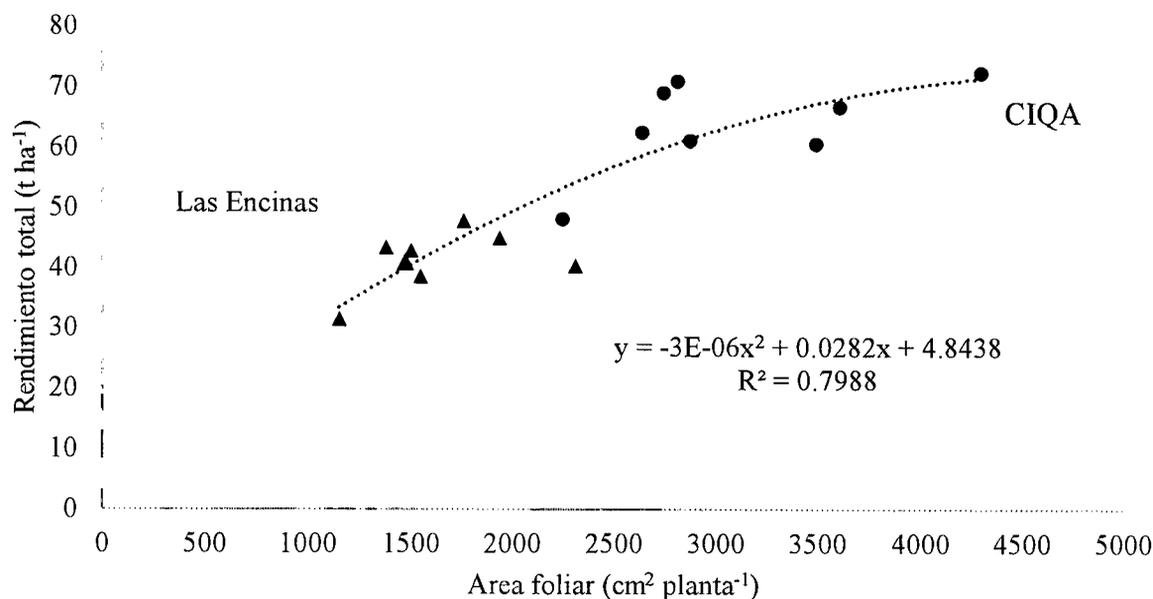


Figura 2. Relación combinada de dos localidades (Ciqá y Las Encinas) entre área foliar y rendimiento total en el cultivo de pepino.

**Peso seco planta:** Los valores de peso seco de planta (PSP) obtenidos en la localidad CIQA superaron a los obtenidos en Las Encinas, excepto en el primer muestreo (Tabla 5). En la localidad CIQA en el primer muestreo el AN fue similar a los acolchados degradables y superaron al testigo, a los 35 días el AN fue superior y similar a AA8 y AA12, a los 45 días el AN fue superior y similar ( $p \leq 0.05$ ) a AR8, AA8, AA12 y AV12 y a los 55 días, solamente el AR8 superó ( $p \leq 0.05$ ) al resto de los tratamientos, respecto al promedio no se muestra diferencia entre tratamientos. En la localidad las Encinas, en el primer y segundo muestreo solamente el AV12 superó ( $p \leq 0.05$ ) a todos los tratamientos incluyendo al acolchado negro, para el tercer y cuarto muestreo el AN tuvo un comportamiento similar a los acolchados degradables y a la vez superiores al testigo, en cuanto al promedio no se mostro diferencia ( $p \leq 0.05$ ) entre los tratamientos. En general en este estudio el acolchado plástico respondió favorablemente al PSP sin importar si el acolchado es convencional o fotodegradable, lo cual puede ser explicado por la modificación del balance de la energía en la superficie del suelo y el cambio en el microclima en el entorno de la planta lo que resultó en plantas más vigorosas (Tarara, 2000). Solís *et al* (2007) evaluaron peso seco aéreo de plantas en el cultivo de chile jalapeño con acolchado de colores y un acolchado plástico negro, además de un testigo encontrando variación

en el resultado entre los acolchados plásticos durante cuatro muestreos realizados siendo mejor el acolchado negro solamente en el tercer muestreo (75 días después del trasplante), aunque los valores mostrados fueron siempre superiores a los mostrados en el suelo desnudo. Otro de los beneficios que proporciona el AN es el incremento en el peso seco de planta relacionándose con el incremento en el rendimiento de fruto, en la figura 3 se muestra una relación combinada entre las dos localidades donde los valores superiores tanto de peso seco de planta, así como de rendimiento total de fruto se presentó en la localidad CIQA.

Tabla 5. Medias de peso seco aéreo de planta de los muestreos realizados a los 25, 35, 45 y 55 dds en el cultivo de pepino en los campos experimentales CIQA y Las Encinas.

Tratamientos	g planta <sup>-1</sup>				
	25 dds	35 dds	45 dds	55 dds	promedio
<b>CIQA</b>					
TEST	1.4 c	10.8 c	15.1 c	27.6 e	18.6 a
AN	2.0 ab	16.9 a	27.6 a	31.0 cd	20.4 a
AR8	2.2 a	11.0 bc	25.3 ab	56.0 a	26.3 a
AR12	2.3 a	12.7 bc	20.8 b	29.6 e	21.3 a
AA8	2.2 a	14.6 ab	24.3 ab	27.3 e	18.7 a
AA12	2.0 ab	13.6 ab	26.6 a	41.6 b	24.7 a
AV8	1.9 b	12.3 bc	20.2 b	33.0 cd	18.9 a
AV12	2.2 a	12.5 bc	23.3 ab	35.8 c	24.8 a
<b>Media</b>	<b>2.0</b>	<b>12.9</b>	<b>22.5</b>	<b>34.27</b>	<b>18.2</b>
P	0.0003	0.0378	0.0033	0.0001	0.2299
CV (%)	8.0	14.5	12.0	7.5	20.0
<b>Las Encinas</b>					
TEST	2.5 c	3.6 c	10.0 c	21.2 a	9.3 a
AN	4.2 bc	6.0 bc	16.5 ab	32.0 a	14.7 a
AR8	4.9 bc	7.1 bc	18.0 ab	22.5 a	13.1 a
AR12	5.8 b	8.4 b	12.0 bc	20.2 a	11.6 a
AA8	4.1 bc	5.9 bc	14.6 bc	33.5 a	14.5 a
AA12	4.1 bc	5.9 bc	13.8 bc	27.5 a	12.8 a
AV8	6.3 b	9.1 b	18.9 a	24.5 a	14.7 a
AV12	8.8 a	12.7 a	15.1 bc	27.3 a	15.9 a
<b>Media</b>	<b>4.79</b>	<b>6.90</b>	<b>14.59</b>	<b>25.69</b>	<b>13.3</b>
P	0.0018	0.0018	0.0974	0.7572	0.2508
CV (%)	26.02	25.99	23.21	42.42	22.6

Tratamientos con la misma letra no difieren entre sí, Duncan  $P \leq 0.05$

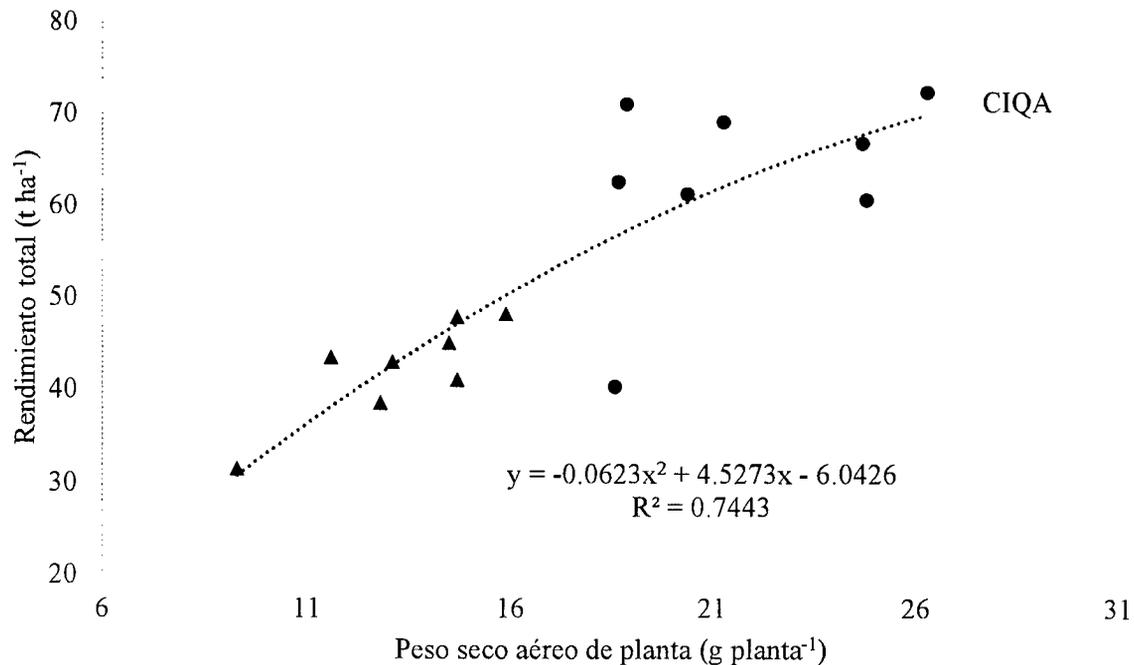


Figura 3. Relación combinada de las dos localidades (CIQA y Las Encinas) entre rendimiento total de fruto y peso seco de plantas.

**Fotosíntesis neta, conductancia estomática y transpiración:** La fotosíntesis neta, la conductancia estomática y la transpiración tuvieron un comportamiento estadísticamente similar ( $p \leq 0.05$ ) en los tratamientos acolchados y en el testigo en las dos fechas de muestreo (Tabla 6). Análogas semejanzas en fotosíntesis neta son reportadas por Díaz-Pérez (2010) en el cultivo de pimiento morrón al usar acolchado plástico de diferentes colores. Sin embargo, en la segunda fecha de medición se observa un incremento para estas variables con una diferencia de  $4.6 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ,  $0.2 \text{ cm s}^{-1}$  y  $4.7 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , respecto a la primera fecha, análogas semejanzas al usar acolchado en diferentes fechas en el cultivo de pimiento morrón son reportadas por Canul, (2013). Existen datos que mencionan que la fotosíntesis tiene cierta relación con el rendimiento de los cultivos, Rodríguez *et al.* (2005) encontraron una relación lineal en el cultivo de trigo entre el rendimiento y la fotosíntesis y conductancia estomática con un valor de  $r^2 = 0.83$  y  $0.72$ , respectivamente, resultado diferente fue encontrado en este estudio.

Tabla 6. Medias de fotosíntesis, conductancia estomática y transpiración a los 35 y 55 dds en el cultivo de pepino en el campo experimental CIQA.

Tratamientos	Fotosíntesis ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	Conductancia estomática ( $\text{cm s}^{-1}$ )	Transpiración ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )
35 dds			
TEST	17.5 a	0.55 a	14.4 a
AN	16.5 a	0.55 a	13.8 a
AR8	15.4 a	0.50 a	13.3 a
AR12	15.1 a	0.48 a	12.5 a
AA8	16.0 a	0.47 a	13.4 a
AA12	15.4 a	0.45 a	12.8 a
AV8	16.6 a	0.49 a	14.8 a
AV12	16.2 a	0.47 a	12.3 a
<b>Promedio</b>	<b>16.1</b>	<b>0.5</b>	<b>13.4</b>
P	0.4869	0.3135	0.5001
CV (%)	14.1	32.8	14.8
55 dds			
TEST	19.5 a	0.73 a	18.4 a
AN	21.8 a	0.60 a	17.0 a
AR8	22.2 a	0.81 a	19.0 a
AR12	21.3 a	0.54 a	17.0 a
AA8	20.0 a	0.69 a	17.9 a
AA12	20.5 a	0.66 a	18.8 a
AV8	21.8 a	0.70 a	18.6 a
AV12	18.7 a	0.76 a	18.8 a
<b>Promedio</b>	<b>20.7</b>	<b>0.7</b>	<b>18.1</b>
P	0.2297	0.5459	0.4272
CV (%)	11.3	29.4	11.9

Tratamientos con la misma letra no difieren entre sí, Duncan  $P \leq 0.05$

**Rendimiento:** El rendimiento precoz en la localidad CIQA solamente el tratamiento AR12 fue superior ( $p \leq 0.05$ ) a todos los tratamientos incluyendo al testigo y AN, para rendimiento rezaga, comercial y total, el AN no mostro diferencia estadística a los acolchados degradables en el cual se incluye también al testigo. En la localidad las Encinas el AN para el rendimiento precoz no mostro diferencia estadística entre los degradables, solamente fue superado por el AV8, para rendimiento rezaga solamente el AA8 supero a todos los tratamientos en estudio incluyendo al AN y al testigo, para rendimiento comercial y total el AN no mostro diferencia estadística con los acolchados degradables, el testigo mostro los rendimientos más bajos. Estudios previos muestran que el acolchado plástico incrementa el rendimiento, Cantamuto *et al.* (2001) en melón y no se mostró diferencia entre los diferentes acolchados utilizados; Solís *et al.* (2007) en chile jalapeño con acolchado de colores encontraron que casi todos los acolchados de diferente color superaron al acolchado negro; Ortiz *et al.* (2011) en

cultivo de melón encontraron que los tratamientos con acolchado de colores superaron al acolchado negro convencional; Cenobio *et al.* (2006) en cultivo de sandía encontraron que ningún tratamiento con acolchado de colores superó al acolchado negro convencional. Recientemente, Torres *et al.* (2014) trabajando con tomate de cáscara demostraron que los tratamientos con acolchado superaron al suelo desnudo. Macua *et al.* (2009) trabajando con tomate bajo acolchado biodegradable y polietileno convencional, además de un testigo, encontraron diferencia estadística entre los tratamientos, aunque está claro que los tratamientos con acolchado superaron al testigo en rendimiento de fruto.

Tabla 7. Medias de rendimiento de fruto de las cosechas llevadas a cabo a partir de los 55 dds en el cultivo de pepino en los campos experimentales CIQA y Las Encinas.

Tratamientos	t ha <sup>-1</sup>			
	Precoz	Rezaga	Comercial	Total
<b>CIQA</b>				
TEST	19.3 h	4.8 b	33.9 b	40.3 b
AN	26.6 d	8.5 ab	52.8 ab	61.3 ab
AR8	24.6 e	12.3 ab	60.3 a	72.5 a
AR12	29.9 a	11.2 ab	58.0 a	69.2 a
AA8	27.5 b	10.2 ab	52.4 ab	62.6 ab
AA12	27.2 c	15.9 a	51.1 ab	66.9 ab
AV8	19.5 g	9.7 ab	61.4 a	71.1 a
AV12	19.9 f	12.1 ab	48.6 ab	60.7 ab
<b>Promedio</b>	<b>23.9</b>	<b>10.1</b>	<b>51.6</b>	<b>62.2</b>
P	0.0001	0.3441	0.0075	0.0299
CV (%)	1.5	42.0	12.8	15.0
<b>Las Encinas</b>				
TEST	18.8 c	5.7 b	25.7 b	31.4 c
AN	24.7 bc	4.5 b	36.5 a	41.0 ab
AR8	25.5 bc	6.0 b	36.9 a	42.9 ab
AR12	23.9 bc	5.3 b	38.0 a	43.4 ab
AA8	24.5 bc	8.2 a	36.8 a	45.0 ab
AA12	22.1 bc	4.1 b	34.3 a	38.5 bc
AV8	31.1 a	5.6 b	42.2 a	47.8 a
AV12	28.3 ab	5.7 b	42.5 a	48.2 a
<b>Promedio</b>	<b>24.6</b>	<b>5.5</b>	<b>36.2</b>	<b>41.9</b>
P	0.0770	0.0105	0.0189	0.0121
CV (%)	16.7	18.3	12.9	11.1

Tratamientos con la misma letra no difieren entre sí, Duncan  $P \leq 0.05$

**Temperatura de suelo:** En temperatura máxima solo el AN superó al testigo en las dos localidades de estudio, el resto de los tratamientos mostró un comportamiento similar al testigo (Tabla 8). En la localidad CIQA los tratamientos AN, AR8, AA8 y AV8 superaron en temperatura mínima al testigo y en la localidad las Encinas todos los tratamientos superaron al testigo. En cuanto a temperatura media para ambas localidades, el AN supero a los acolchados degradables incluyendo al testigo. Cenobio *et al.* (2006) trabajando con el cultivo de sandía con acolchado de colores muestran que las temperaturas más altas se presentaron en el acolchado negro seguido por otros colores de acolchado. Resultados similares encontró Díaz-Pérez (2009) en el cultivo de brócoli con acolchado, Orozco *et al.* (2002) en el cultivo de melón y Zribi *et al.* (2011) en nectarina temprana. Otro de los beneficios que nos proporciona el uso de acolchado es el incremento de la temperatura de suelo lo cual se observa una relación con el incremento de rendimiento total de fruto, esto se muestra en la figura 4 con una combinación de datos entre las dos localidades.

Tabla 8. Medias de temperatura de suelo registradas durante el desarrollo del cultivo de pepino en las localidades de CIQA y Las Encinas.

Tratamientos	°C		
	Máxima	Mínima	Media
CIQA			
TEST	26.7 b	20.7 c	23.5 c
AN	31.6 a	23.5 a	27.4 a
AR8	29.8 ab	22.4 ab	25.0 bc
AR12	27.9 b	21.9 bc	24.7 c
AA8	29.0 ab	22.5 ab	25.6 b
AA12	28.4 b	21.5 bc	24.4 cd
AV8	28.1 b	22.3 ab	25.1 bc
AV12	27.7 b	21.5 bc	24.3 cd
<b>Promedio</b>	<b>25.2</b>	<b>22.4</b>	<b>25</b>
P	0.0099	0.0001	0.0017
CV (%)	2.6	0.8	1.4
Las Encinas			
TEST	28.2 bc	20.8 b	21.1 c
AN	31.8 a	24.3 a	23.7 a
AR8	27.6 bc	23.0 a	21.5 c
AR12	27.6 bc	23.0 a	21.3 c
AA8	28.4 b	23.9 a	22.2 b
AA12	27.5 bc	23.2 a	21.2 c
AV8	27.9 bc	23.5 a	21.8 bc
AV12	27.4 c	23.4 a	21.5 bc
<b>Promedio</b>	<b>28.3</b>	<b>21.8</b>	<b>23.1</b>
P	0.0001	0.0008	0.0483
PV (%)	1.3	1.4	3.1

Tratamientos con la misma letra no difieren entre sí, Duncan  $P \leq 0.05$

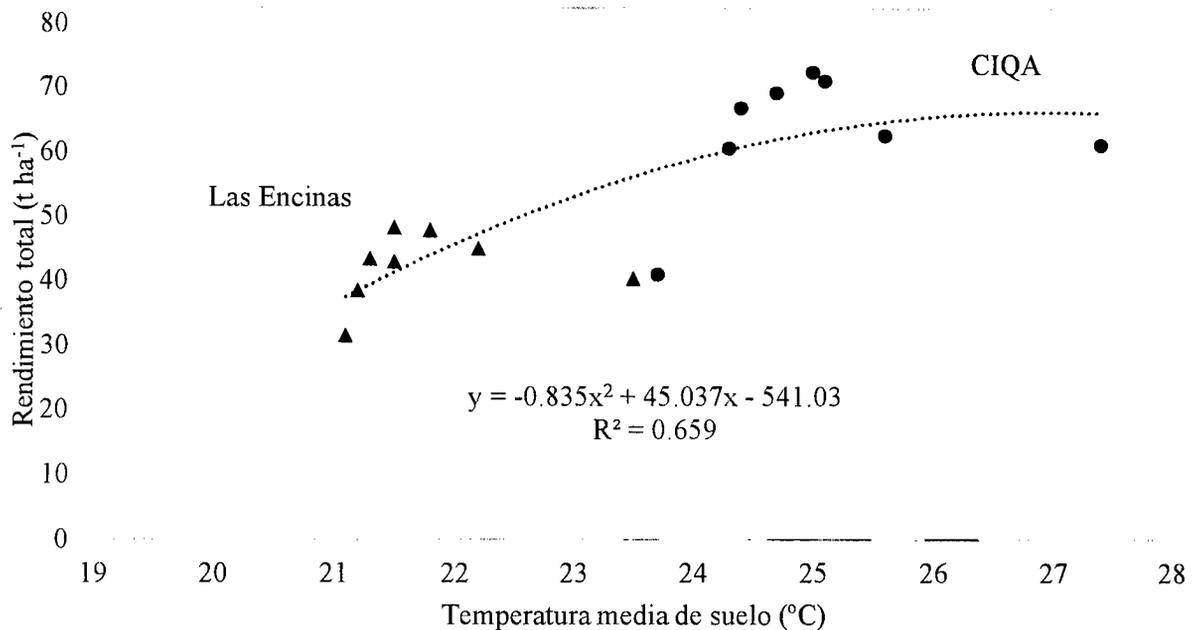


Figura 4. Relación combinada de las localidades (Ciqa y Las Encinas) entre la temperatura media de suelo y rendimiento total.

**Degradación:** Todos los tratamientos de acolchados foto-oxodegradables desde el primer muestreo mostraron porcentajes de degradación superiores al acolchado convencional, que no mostró degradación alguna en las dos localidades de estudio. El mayor porcentaje de degradación en ambas localidades se presentó con los mayores contenidos de pigmento, excepto con el color rojo en la localidad CIQA.

El % de degradación se midió bajo un criterio visual y con una escala de 0-100. Al finalizar el ciclo vegetativo los mayores valores de degradación en las dos localidades de estudio se registraron con los tratamientos foto-oxodegradables. Cirujeda *et al.* (2008) encontraron que los acolchados oxo-biodegradables en cultivo con tomate en dos localidades, mostraron variación en el índice de degradación siendo mejor en la primer localidad, ya que en la segunda localidad la degradación solo se dio en un 50%, además se presentó al final del ciclo de cultivo. En la figura 5 se muestran dos registros de degradación (25 y 75 dds) de la localidad Ciqa y figura 6 en los mismos periodos de evaluación de la localidad Las Encinas, ya que en el resto de las observaciones no es posible mostrar en imágenes por cubrimiento total de los surcos acolchados por parte de las plantas de pepino.

Tabla 9. Porcentaje de degradación de los acolchados plásticos en estudio registrada a los 25, 35, 45, 55 y 75 dds en el cultivo de pepino en las localidades de CIQA y Las Encinas.

Tratamientos	Degradación %					promedio
	25 dds	35 dds	45 dds	55 dds	75 dds	
<b>CIQA</b>						
AN	0.0 c	0.0 d	0.0 c	0.0 b	0.0 b	0.0 c
AR8	38.3 a	55.0 ab	63.3 ab	75.0 a	86.6 a	63.6 a
AR12	20.6 b	45.0 ab	60.0 ab	70.0 a	91.6 a	57.4 a
AA8	30.0 ab	43.3 bc	50.0 b	68.3 a	87.6 a	55.8 ab
AA12	38.3 a	58.3 ab	63.3 ab	73.3 a	89.3 a	64.5 a
AV8	21.6 b	38.3 c	46.6 b	71.6 a	88.3 a	53.3 bc
AV12	33.3 ab	60.0 a	73.3 a	78.3 a	95.6 a	68.7 a
<b>Promedio</b>	<b>30.35</b>	<b>50.0</b>	<b>49.4</b>	<b>72.8</b>	<b>89.8</b>	<b>60.6</b>
P	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0008
PV (%)	24.7	14.1	18.0	11.6	5.9	32.5
<b>Las Encinas</b>						
AN	0.0 c	0.0 c	0.0	0.0 c	0.0 c	0.0 c
AR8	24.3 a	35.0 a	48.3 ab	58.3 ab	73.3 a	47.8 a
AR12	36.0 a	51.7 a	75.0 a	73.3 a	78.3 a	62.9 a
AA8	22.0 ab	31.7 ab	41.7 b	50.0 ab	58.3 ab	40.7 ab
AA12	27.7 a	40.0 a	48.3 ab	60.0 a	68.3 a	48.9 a
AV8	5.7 bc	8.3 bc	15.0 c	28.3 bc	35.0 b	18.5 bc
AV12	31.3 a	45.0 a	51.7 ab	56.7 ab	68.3 a	50.6 a
<b>Promedio</b>	<b>24.5</b>	<b>35.3</b>	<b>46.7</b>	<b>54.4</b>	<b>63.6</b>	<b>44.9</b>
P	0.0046	0.0046	0.0007	0.0020	0.0002	0.0008
CV (%)	45.3	45.3	35.8	34.3	25.6	32.5

Tratamientos con la misma letra no difieren entre sí, Duncan  $P \leq 0.05$

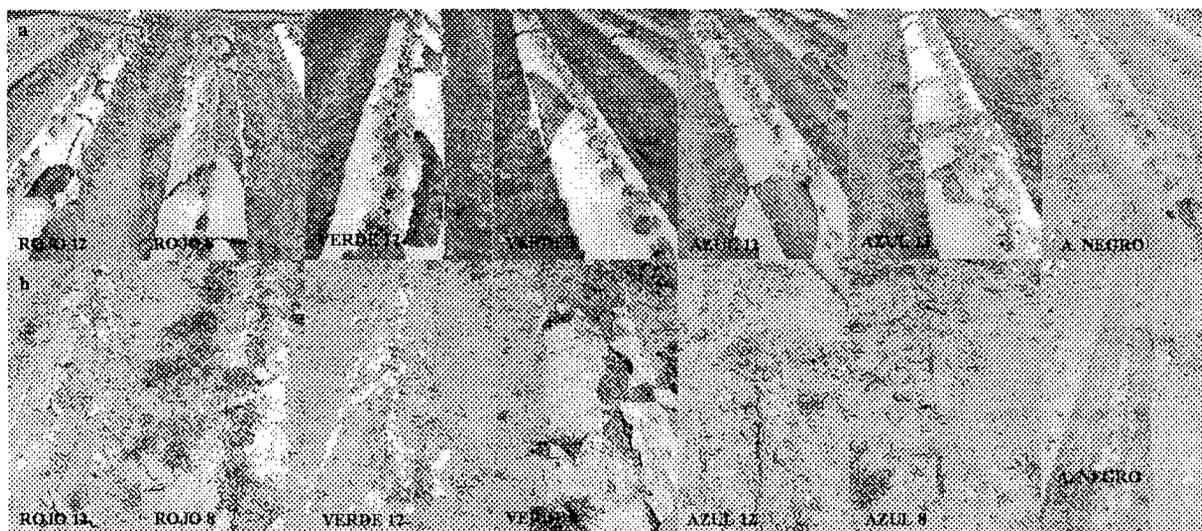


Figura 5. Representación visual del % de degradación de las películas plásticas foto-oxodegradables en la localidad CIQA en dos fechas de evaluación: a) 25 dds y b) 75 dds

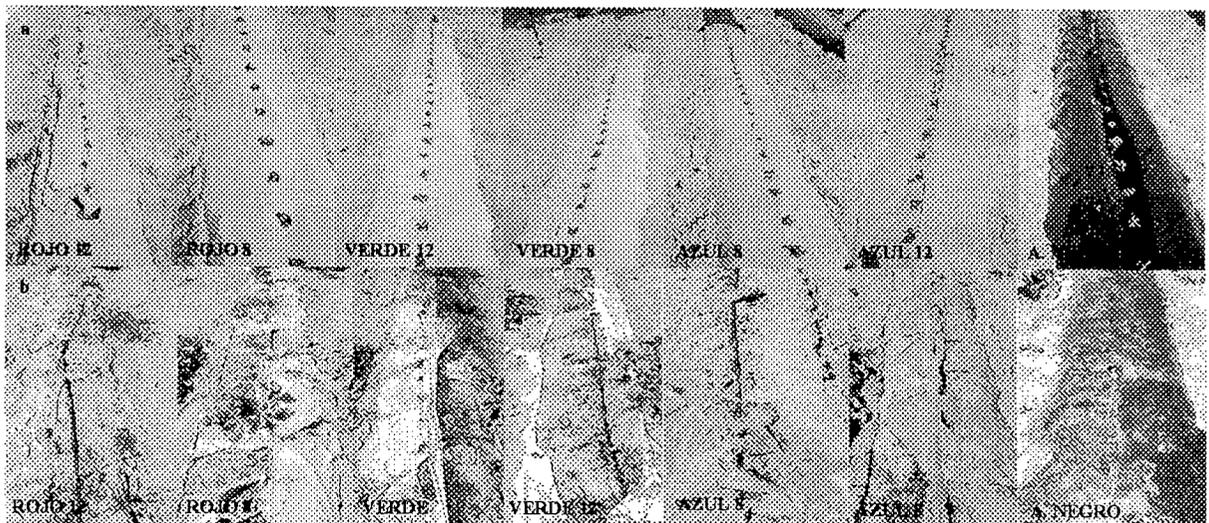


Figura 6. Representación visual del % de degradación de las películas plásticas foto-oxodegradables en rancho Las Encinas en dos fechas de evaluación: a) 25 días después de la instalación y b) 75 días después de la instalación

**Índice Carbonilo:** La figura 7 muestra los resultados de la formación de carbonilos en Cámara QUV. El inciso (a) muestra los valores de las películas con 8% de concentración de pigmento, donde los colores rojo y azul tuvieron la mayor formación de carbonilos seguidos por el verde hasta los 23 días de evaluación. El color negro se evaluó durante 47 días y la formación de carbonilos fue insignificante. El inciso (b) muestra los resultados de los acolchados con 12% de concentración de pigmento, lográndose una mayor formación de carbonilos que en los de 8% de concentración, solamente en el color rojo se obtuvo el valor más bajo para los acolchados foto-oxodegradables; el incremento de carbonilos para el color negro no fue significativo. Los resultados aquí mostrados, a excepción de color rojo, son similares a los obtenidos por Ávila *et al.* (2011), que reportan que la formación de carbonilos incrementa en las formulaciones de mayor contenido de aditivo pro-oxidante. En cuanto al acolchado negro, Contreras *et al.* (2011) encontraron que la película convencional evaluada hasta los 45 días tuvo una formación de carbonilo de 0.06 contra 0.02 que se obtuvo en este ensayo, lo que hace suponer que la película utilizada en esta prueba contenía algún protector UV.

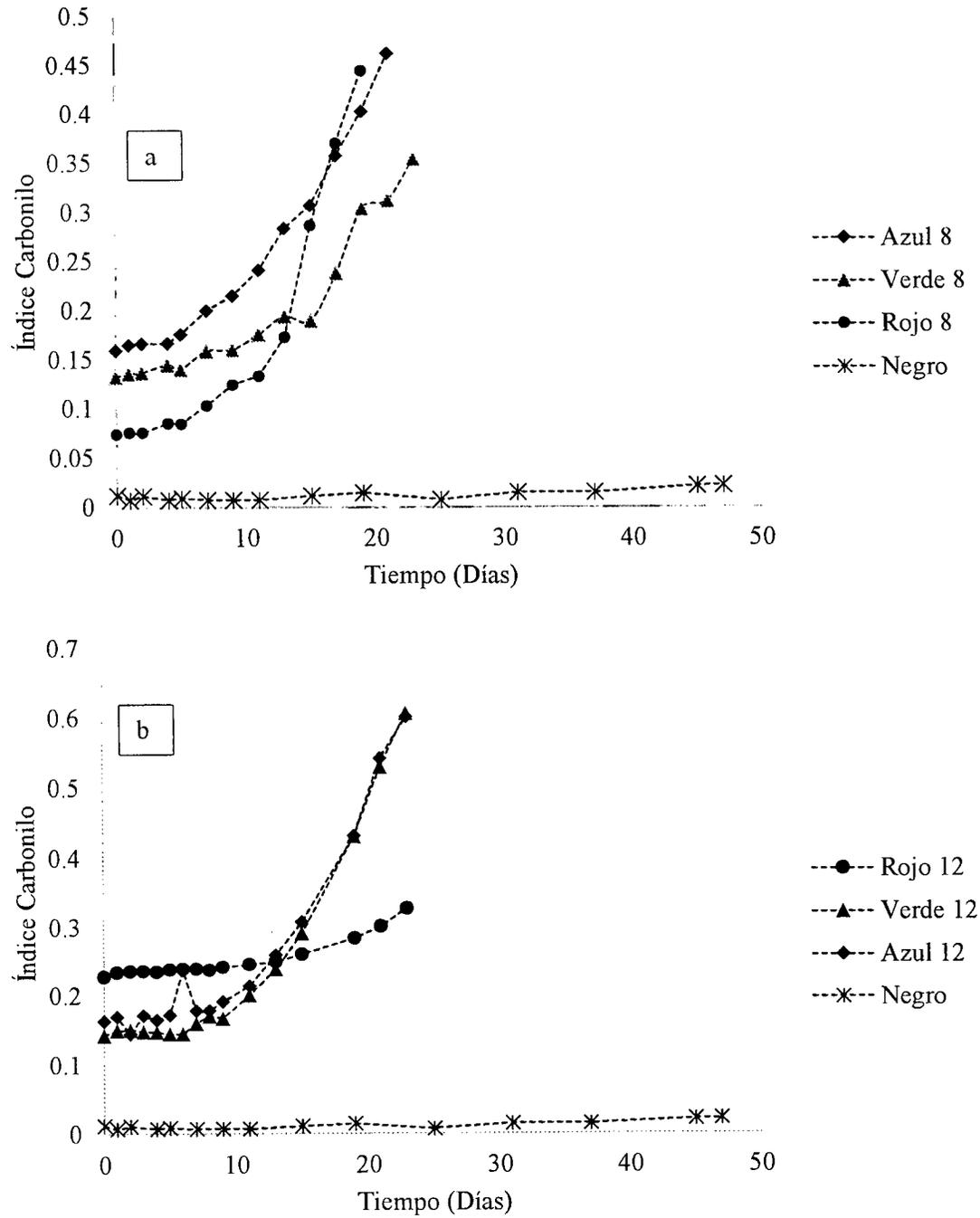
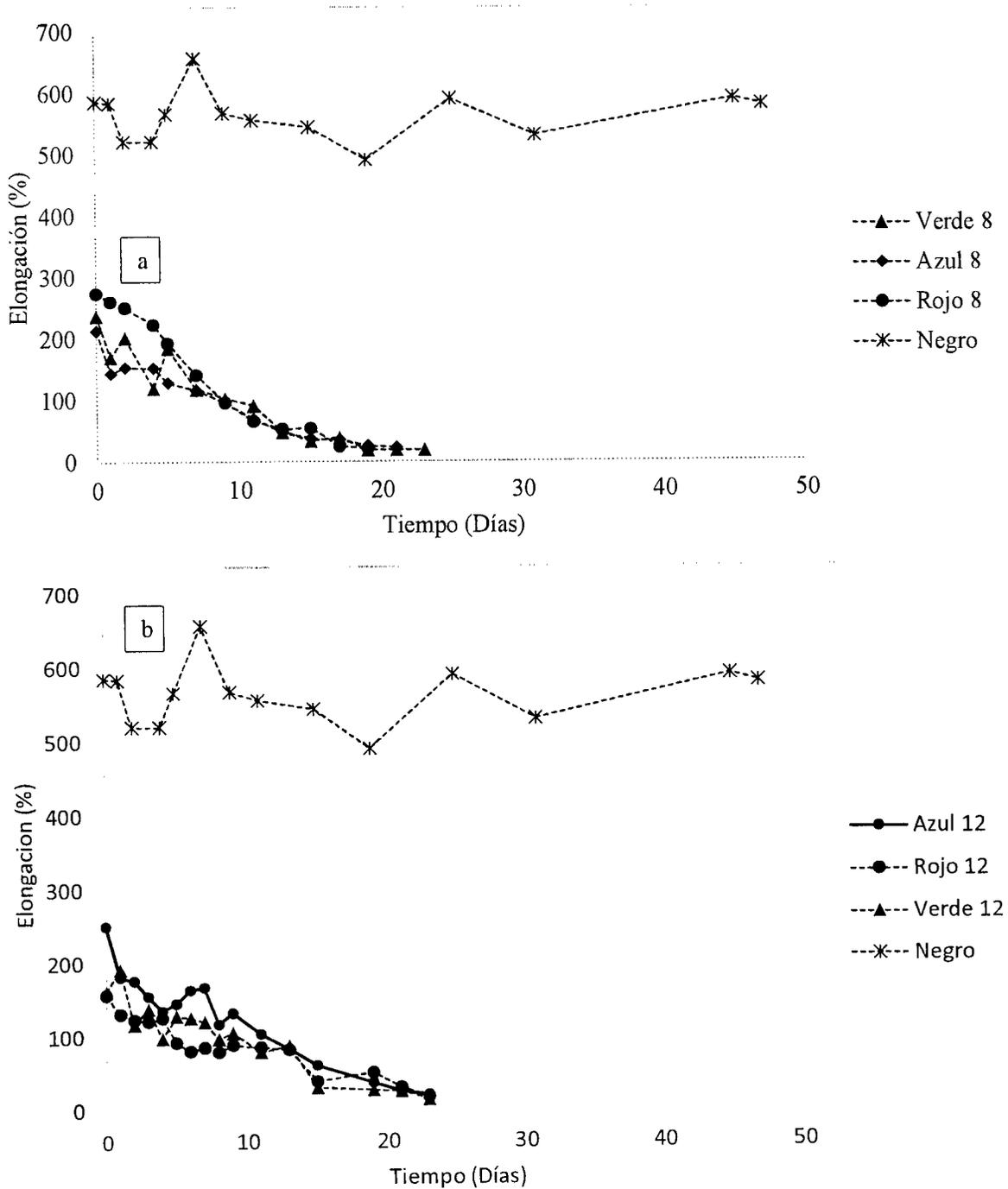


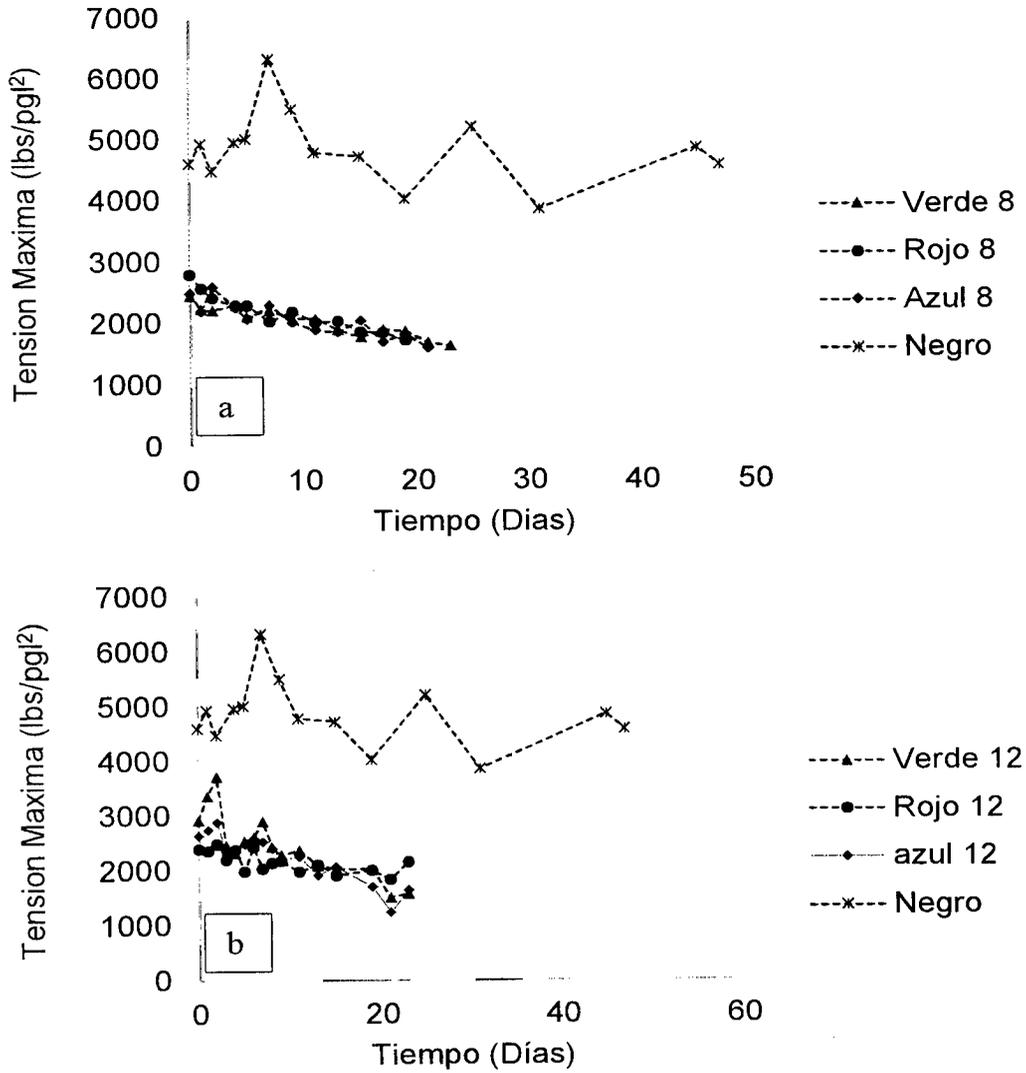
Figura 7. Índice carbonilo de las películas foto-oxodegradables evaluadas en cámara QUV en dos concentraciones de pigmento, a) 8% de concentración de pigmento y una película color negro convencional y b) 12% concentración de pigmento y una película color negro convencional.

**Resistencia a Elongación:** La figura 8 muestra los resultados de resistencia a elongación de las películas foto-oxodegradables. El inciso (a) muestra los valores de los acolchados con 8% de pigmento mostrando que en los tres colores existe variación durante los primeros 10 días de evaluación, posteriormente y hasta los 23 días, la tendencia es similar para los tres colores, el color negro mostró una resistencia superior a 300% más que las películas foto-oxodegradables. El inciso (b) muestra el comportamiento de las películas con 12% de concentración de pigmento y se observa que el color azul mostró mayor resistencia durante los primeros 17 días de evaluación, posteriormente y hasta los 23 días mostró los valores más bajos para esta evaluación. La película color negro comercial mostró un porcentaje promedio entre 500-600%. Estos resultados difieren a los obtenidos por Contreras *et al.* (2011) que durante el mismo periodo de evaluación mantuvo una resistencia entre 213 y 237%, es posible que el material utilizado en este ensayo contenía algún protector UV. En otro ensayo realizado por López *et al.* (2007) muestra que el polietileno convencional presentó poca disminución en la pérdida de resistencia a elongación cuando el valor inicial fue de 482% y el final de 464%.



**Figura 8.** Tendencia de la pérdida de la resistencia a elongación de películas para acolchado en dos concentraciones de pigmento a) 8% de concentración de pigmento y una película color negro convencional y b) 12% de concentración de pigmento y una película color negro convencional.

**Tensión Máxima:** La Figura 9 muestra los resultados de resistencia a la tensión máxima para las películas de acolchado evaluadas en cámara QUV. El inciso (a) muestra los resultados de las películas con concentraciones del 8% de pigmento. Las seis películas foto-oxodegradables evaluadas mostraron variaciones durante el periodo de evaluación, sin embargo mantuvieron la misma tendencia en la pérdida de resistencia a la tensión máxima. El inciso (b) muestra las películas con las concentraciones de 12% de pigmento. Entre las propiedades mecánicas evaluadas a las películas en estudio se menciona también la resistencia a la tensión en la cual se aprecia que el plástico negro convencional mantuvo una tensión máxima entre 4000-6300 psi reiteradamente superior a los plásticos degradables en estudio, como se observan en la Figura 6. En el inciso a) se observa la comparación de los tratamientos con concentraciones del 8% de pigmento y el resultado es que existe una diferencia entre 1850-2400 psi, este diferencial va disminuyendo al paso de los días terminando de 1600-1700 psi y de manera general se puede decir que la degradación tuvo cierto efecto en la resistencia a la tensión máxima de las películas evaluadas. En el inciso b) se compara la tensión máxima de los tratamientos con concentraciones del 12% de pigmento, los resultados muestran que existe mucha diferencia entre los tratamientos para este parámetro de medición, los que manifiestan una tendencia de mayor a menor con base a los días de exposición en cámara son el rojo verde, solamente en el color rojo en que no se observa mucho efecto de la degradación sobre la tensión máxima. Con estos resultados podemos deducir que el pigmento utilizado con un contenido del 1% de pigmento fue suficiente para inducir y acelerar la fragmentación de las películas, el diferencial que se mostro entre las dos localidades fue por la disponibilidad de humedad en el suelo, ya que este factor también afecta



**Figura 9.** Tendencia de la pérdida de resistencia a tensión máxima de películas para acolchado foto-oxodegradables en dos concentraciones de pigmento, a) 8% de concentración de pigmento y una película color negro convencional y b) 12% de concentración de pigmento y una película color negro convencional.

## V. CONCLUSIONES

De acuerdo a la hipótesis, los objetivos planteados y los resultados obtenidos, se deducen las siguientes conclusiones:

- La respuesta al crecimiento y rendimiento del cultivo de pepino establecido en los acolchados degradables fue similar al establecido en el acolchado convencional y al mismo tiempo superaron al testigo.
- El índice de degradación mostrado por las películas foto-oxodegradables fue superior en los tratamientos con mayor concentración de pigmento lo cual se demostró en la mayoría de los tratamientos de las dos localidades, asimismo fue demostrado en cámara de envejecimiento acelerado.
- El pigmento utilizado como pro-degradante reacciono con la radiación solar promoviendo la degradación de las películas plásticas foto-oxodegradables.
- En cuanto a los colores utilizados, no influyo en la degradación de las películas, puesto que las diferencias se presentaron en el porcentaje de concentración de pigmento.
- Para rendimiento, el color que mostro claro dominio fue el verde en sus dos concentraciones de pigmento solamente en la localidad Ciqq, ya que en la segunda localidad los resultados fueron diferentes, mostrando valores superiores en el color rojo en sus dos concentraciones de pigmento.

## VI. LITERATURA REVISADA

- Audoin, L., Gueguen, V., Tchaktchi, A., Verdu, J. 1995. "Closed loop" mechanistic schemes for hydrocarbon polymer oxidation, *Journal of Polymer Science, Part A: Polymer Chemistry*, 33: 921-927.
- Ávila, M.N., Gallo, A.G., Arnal, M.L., Sánchez, J.J., Müller, A.J. 2011. Influencia de la incorporación de un aditivo "oxo" en un polietileno lineal de baja densidad grado película. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 50-51.
- Briassoulis, D. 2006. Mechanical behaviour of biodegradable agricultural films under real field conditions. *Polymer Degradation and Stability*, 91(6): 1256-1272.
- Briassoulis, D., Aristopoulou, A., Bonora, M., Verloot, I. 2004. Degradation characterisation of agricultural low-density polyethylene films. *Biosystems engineering*, 88 (2): 131-143.
- Cano, B.M., Aragón, G.G., León, A.G., Osada, O.V., Rabell, M.C., Vázquez, A.M. 2011. Construcción de una cámara de intemperismo acelerado UV para evaluación de la degradación de plásticos en el ambiente, 507-513.
- Cantamutto, M., Ayastuy, M., KroegeR, I., Elisei, V., Marinangel, P. 2001. Efecto del sistema de iniciación y del acolchado del suelo sobre la producción de melón en el sur de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 104 (2):157-162.
- Canul, T.C. E. 2013. Pimiento (*Capsicum annuum* L.) cultivado sobre películas de acolchado plástico de colores en condiciones de casa sombra: Efectos sobre el crecimiento, absorción de nutrientes y rendimiento de frutos. Tesis de Maestría. Centro de Investigación en Química Aplicada. Saltillo, Coahuila.
- Casaca, A.D. 2005. Guías tecnológicas de frutas y vegetales. Proyecto de modernización de los servicios de tecnología agrícola, ([agrifoodgateway.com/sites/default/files/articles/El\\_Cultivo\\_del\\_Pepino.pdf](http://agrifoodgateway.com/sites/default/files/articles/El_Cultivo_del_Pepino.pdf), Consultado el 06 de junio del 2014).
- Cenobio-Pedro, G., Inzunza-Ibarra, M. A., Mendoza-Moreno, S. F., Sánchez-Cohen, I., Román-López, A. 2006. Acolchado plástico de color en sandía con riego por goteo. *Terra Latinoamericana*, 24(4): 515-520.

- Cirujeda, A., Aibar, J., Zaragoza, C., Anzalone, A., Gutiérrez, M., Fernández-Cavada, S., Macua, J.I. 2008. Evaluación de acolchados para el control de la flora arvense en un cultivo de tomate: dos años de resultados.
- Contreras, F., García, J., González, B.A., López, J., y Varó, P. 2004. Estudio económico sobre alternativas al acolchado tradicional de polietileno (PE) en el cultivo de melón en la región de Murcia. *Agrícola Vergel*, 80-86.
- Contreras, M.F.R., Morillas, A.V., Valdemar, M.E., Villavicencio, M.B., Velázquez, M.H.O., Filio, J.U.G. 2011. Estudio de Factibilidad de biodegradación de plásticos mediante composteo. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29 (3): 127-133.
- Díaz-Pérez, J.C. 2009. Root zone temperature, plant growth and yield of broccoli (*Brassica oleracea*) (Plenck) var. Itálica as affected by plastic film mulches. *Scientia Horticulturae*, 123 (2): 156-163.
- Díaz-Pérez, J.C. 2010. Bell pepper (*Capsicum annum* L.) grown on plastic film mulches: effects on crop microenvironment, physiological attributes, and fruit yield. *HortScience*, 45 (8): 1196-1204.
- Dong, Z.Y., Qian, B.F. 2002. Field investigation on effects of wheat-straw/corn-stalk mulch on ecological environment of upland crop farmland. *Journal of Zhejiang University Science*, 3(2): 209-215.
- Enciclopedia del plástico. 2000. Centro Empresarial Del Plástico. México, p. 41-158. (<http://cdigital.uv.mx/bitstream/12345678/938/1/Miriam%20Vazquez%20Escobar.pdf>, Consultado el 07 de junio del 2014)
- Erenstein, O. 2002. Crop residue mulching in tropical and semi-tropical countries: An evaluation of residue availability and other technological implications. *Soil and Tillage Research*, 67 (2): 115-133.
- Flores, C.E. 2009. Polímeros vs. Plásticos. *Revista Electrónica*, 14.
- Fraïsse, F., Kumar, A., Commereuc, S., Verney, V. 2006. Photo-oxidation of polymers: Validation of oxygen uptake and relationship with extent of hydroperoxidation, *Journal of applied polymer science*, 99 (5): 2238-2244.
- Greer, L., Dole, J.M. 2003. Aluminum Foil, Aluminium-painted, Plastic, and Degradable Mulches Increase Yields and Decrease Insect vectored Viral Diseases of Vegetables. *HortTechnology*, 13 (2): 276-284.

- Haddad, R., Villagrán, V. 1988. Uso de acolchado plástico en plantaciones de frutillas. Chile Agrícola, 13 (134): 128-130.
- Hamid, S. H., Amin, M. B., & Maadhah, A. G. Handbook of Polymer Degradation, 1992. Marcel Dekker, New York, 0, 8247(8671), 8.
- Hamid, S.H., Maadhah, A.G., Amin, M.B., 1992. Weathering degradation of polyethylene. In: Hamid,S.H., Maadhah, A.G., Amin, M.B. (Eds.), Handbook of Polymer Degradation Marcel Dekker, New York, USA, pp. 219-259.
- Inzunza, I.M.A., Mendoza, M.S.F., Catalán, V.E.A., Villa, C.M.M., Sánchez, C.I. Román, L. A. 2007. Productividad del chile jalapeño en condiciones de riego por goteo y acolchado plástico. Revista Fitotecnia Mexicana, 30: 429-436.
- Jin, C., Christensen, P.A., Egerton, T.A., Lawson, E.J., White, J.R. 2006. Rapid measurement of polymer photo-degradation by FTIR spectrometry of evolved carbon dioxide. Polymer degradation and stability, 91(5): 1086-1096.
- Kalpakjian, S. Schmid, S. 2002. Manufactura, Ingeniería y Tecnología. México: Pearson Educación, p. 177-198.
- Kasirajan, S., Ngouajio, M. 2012. Polyethylene and biodegradable mulches for agricultural applications: a review. Agronomy for Sustainable Development, 32 (2): 501-529.
- Kelly, T.C., Lu, Y.C., Abdul-Baki, A.A., Teasdale, J.R. 1995. Economics of hairy vetch mulch system for producing fresh-market tomatoes in the mid-atlantic region. Journal of the American Society for Horticultural Science, 120: 854-860.
- Kluitenberg, G.J., Ham, J.M., Lamont, W.J, Xu, L., Schlup, J.R. 1993. The importance of long wave optical properties in the performance of plastic mulches. Proceedings of the 24th National conference. Agriculture Plastic Congress, pp 255-263.
- Kraub, N. 2003. Mechanisms for photosystems I and II. Current opinion in chemical biology, 7 (5): 540-550.
- Lamont, W.J. 1993. Plastic mulches for the production of vegetable crops. HortTechnology, 3 (1): 35-39.
- López-López, R., Arteaga-Ramírez, R., Vázquez-Peña, M.A., López-Cruz, I.L., Sánchez-Cohen, I. 2009. Producción de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) basado en láminas de riego y acolchado plástico. Revista Chapingo Serie Horticultura, 15 (1): 83-89.

- López-Marin, J., González, A., Gálvez, A., Rodríguez, C.M., Fernández, J.A. 2007. Valoración de acolchados biodegradables en un cultivo de brócoli, 593-597.
- Macua, J.I., Lahoz, I., Santos, A., Zabaleta, J., Calvillo, S., 2009. Tomate de industria. Navarra Agraria, España, 178: 17-25.
- Miyagawa, E., Tokumitsu, K., Tanaka, A., Nitta, K.H. 2007. Mechanical property and molecular weight distribution changes with photo-and chemical-degradation on LDPE films. *Polymer Degradation and Stability*, 92 (10): 1948-1956.
- Munguía, L.J., Quezada, M.R., De la Rosa, M., Cedeño, R.B. 2000. Effect of plastic mulch on growth of melo *Cucumis melo* L., "Laguna" hybrid, *PHYTON. International Journal of Experimental Botany*, 69: 37-44.
- Novoa, S.A., Villagran, A. 2002. Evaluación de un instrumento medidor de clorofila en la determinación de niveles de nitrógeno foliar en maíz. *Agricultura Técnica*, 62 (1): 166-171.
- Orozco-Santos, F.L.J., López-Aguirre, J.G. 2002. Evaluación de coberturas plásticas para el manejo de plagas en el occidente de México. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología, Costa Rica* 64, p. 48-54.
- Ortiz, N.P., Ibarra, M.I., Ávila, J.A., Arriaga, O.E., García, G. 2011. Efecto de la coloración del acolchado plástico y riego por cintilla sobre la producción de melón (*Cucumis melo* L.). *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 10: 1-17.
- Osawa, Z., Kurisu, N., Nagashima, K., Nakano, K. 1979. The effect of transition metal stearates on the photodegradation of polyethylene. *Journal of Applied Polymer Science*, 23 (12): 3583-3590.
- Pérez, R.A., Torres, A., y Candal, M.V. 2013. Efecto de las variables del proceso de extrusión sobre la relación estructura-propiedades de películas tubulares de PEBD. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 14 (6): 257-274.
- Pérez-Urria Carril, E. 2011. Fotosíntesis: Aspectos Básicos. *REDUCA (Biología) Serie Fisiología Vegetal*, 2 (3): 1-47.
- Pospíšil, J., Pilař, J., Billingham, N. C., Marek, A., Horak, Z., Nešpůrek, S. 2006. Factors affecting accelerated testing of polymer photostability. *Polymer Degradation and Stability*, 91(3): 417-422.

- Quezada-Martín, M.R., Munguía-López, J., Ibarra-Jiménez, L., García, M. A.A., Valdez-Aguilar, L.A., Cedeño-Ruvalcaba, B. 2011. Fisiología y producción de pimiento morrón cultivado con diferentes colores de acolchado. *Terra Latinoamericana*, 29(4): 421-430.
- Rajapakse, N.C., Young, R.E., McMahon, M.J., Oi, R. 1999. Plant height control by photosensitive filters: current status and future prospects. *HortTechnology*, 9(4): 618-624.
- Rincon, C.A y Ligarreto, G.A. 2010. Relación entre nitrógeno foliar y el contenido de clorofila en maíz asociado con pastos en el Piedemonte Llanero colombiano. *Revista Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 11: 122-128.
- Roy, P.K., Hakkarainen, M., Varma, I.K., Albertsson, A.C. 2011. Degradable polyethylene: fantasy or reality. *Environmental Science and Technology*, 45 (10): 4217-4227.
- Roy, P.K., Surekha, P., Rajagopal, C., Chatterjee, S.N., Choudhary, V. 2006. Accelerated aging of LDPE films containing cobalt complexes as prooxidants. *Polymer degradation and stability*, 91(8):1791-1799.
- Roy, P.K., Surekha, P., Rajagopal, C., Choudhary, V. 2007. Thermal degradation studies of LDPE containing cobalt stearate as pro-oxidant. *Express Polymer. Letters*, 1(4), 208-216.
- San Andrés, M., de la Roja, J. M., Chercoles, R., Gómez, M., Baonza, V. G. 2010. Envejecimiento con radiación UV de una variedad de cartón pluma neutro: Estudio de su evolución cromática y composición óptica pura y aplicada, 43 (4): 219-227.
- Segura, D., Noguez, R., Espín, G. 2007. Contaminación ambiental y bacterias productoras de plásticos biodegradables. *Biotecnología*, 14: 361-372.
- Smets, T., Poesen, J. 2009. Impacts of soil tilt on the effectiveness of biological geotextiles in reducing runoff and interrill erosion. *Soil and Tillage Research*, 103 (2): 356-363.
- Solis, A. C., Ibarra, M. I., Moreno, S. M., Cohen, I. S., & López, A. R. 2007. Different Plastic mulches and drip irrigation. *Chapingo*, 6, 67-75.
- Solis, A. C., Ibarra, M. I., Moreno, S. M., Cohen, I. S., & López, A. R. 2007. different plastic mulches and drip irrigation. *chapingo*, 6, 67-75.
- Sperry, J.S., Adler, F.R., Campbell, G.S., Comstock, J.P. 1998. Limitation of plant water use by rhizosphere and xylem conductance: results from a model. *Plant, Cell and Environment*, 21(4): 347-359.

- Squeo, F.A. Cardemil, L. 2007. Transpiración. Fisiología Vegetal. Ediciones Universidad la Serena, Chile, 3: 67-84.
- Takakura, T., Fang, W., 2002. Climate Under Cover. Kluwer Academic Publishers, 190.
- Tarara, J.M. 2000. Microclimate modification with plastic mulch. HortScience, 35 (2): 169-180.
- Teasdale, J. 2003. Principles and practices of using cover crops in weed management systems En: Weed management for developing countries, R. Food and Agriculture Organization of the United Nations, p.169-178.
- Thuwall, M., Boldizar, A., Rigdahl, M. 2006. Extrusion processing of high amylose potato starch materials. Carbohydrate Polymers, 65 (4): 441-446.
- Tidjani, A., Arnaud, R. 1993. Photo-oxidation of linear low density polyethylene: A comparison of photoproducts formation under natural and accelerated exposure. Polymer degradation and stability, 39 (3): 285-292.
- Torres, R.E.P., Martínez, N.B., Sánchez, J.L.C., Hernández, M.A.S., Torres, B.M.J., Aguilar, J.F.S. 2014. Observaciones sobre acolchado plástico, imidacloprid y herramientas de identificación de *melanagromyza tomaterae steyskal* (diptera: agromyzidae) sobre *physalis ixocarpa* brot. (solanaceae). Acta Zoológica Mexicana, 30 (1): 61-73.
- Warnick, J.P., Chase, C.A., Roskopf, E.N., Simonne, E.H., Scholberg, J.M., Koenig, R.L., Roe, N.E. 2006. Weed suppression with hydramulch, a biodegradable liquid paper mulch in development. Renewable Agriculture and Food Systems, 21(04): 216-223.
- Wien, H.C., Minotti, P.L., Grubinger, V.P. 1993. Polyethylene mulch stimulates early root growth and nutrient uptake of transplanted tomatoes. Journal of the American Society for Horticultural Science, 118: 207-211.
- Wiles, D.M., Scott, G. 2006. Polyolefins with controlled environmental degradability. Polymer Degradation and Stability, 91 (7): 1581-1592.
- Yang, Y.M., Liu, X.J., Li, W.Q., Li, C.Z. 2006. Effect of different mulch materials on winter wheat production in desalinized soil in Heilonggang region of North China. Journal of Zhejiang University Science B, 7 (11): 858-867.
- Zribi, W., Faci González, J. M., and Aragüés Lafarga, R. (2011). Mulching effects on moisture, temperature, structure and salinity of agricultural soils. Información técnica económica agraria (ITEA), 107(2), 148-162.