



Desempeño de una película foto-biodegradable para acolchado de suelo en el cultivo de calabacita.

Field Performance of a Foto-biodegradable Film for Soil Mulching in Zucchini crop

López-Tolentino, G.¹, Cárdenas-Flores, A.^{1*}, Ibarra-Jiménez, L.¹, Guerrero-Santos, R.²

¹Departamento de Plásticos en la Agricultura. ²Departamento de Síntesis de Polímeros. Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA). C.P. 25294. Septiembre de 2015, Saltillo, Coahuila, México. *correspondencia: antonio.cardenas@ciqa.edu.mx

Innovación tecnológica: Película de acolchado plástico foto-biodegradable para cultivos agrícolas.

Área de aplicación industrial: Formulación y elaboración de películas plásticas foto-biodegradables.

Recibido: 29 de octubre 2015

Aceptado: 22 de febrero 2016

Resumen

El desarrollo y utilización de películas degradables para acolchado de suelo es una tendencia que busca reemplazar a las películas de polietileno de baja densidad (LDPE) ya que posterior a la cosecha son un serio problema debido a que se deben recolectar y disponer de alguna forma para evitar la contaminación de los suelos y medio ambiente. En este estudio se evaluó una película color negro semi-opaca con características foto-biodegradables (Crown1) para su aplicación en el cultivo de calabacita. El cultivo se realizó bajo agricultura convencional y con cuatro tratamientos. Se cuantificó en cada tratamiento la tasa fotosintética, peso seco de planta, concentración de clorofila y rendimiento total, variables que resultaron estadísticamente similares entre tratamientos. Además se evaluaron la tensión máxima y resistencia a la elongación de la película Crown 1 para medir su integridad durante el desarrollo del cultivo, y el contenido de Fe (detonador de foto-degradación). La película Crown 1 se degradó más aceleradamente en la parte expuesta al sol, (94%) que en la parte cubierta por el suelo (10%) que fijó la película. Estos resultados indican que las películas se desintegraron evitando el problema de recolección y disposición. Sin embargo, aunque la película Crown 1 tiene potencial para

emplearse en cultivo en condiciones de agricultura convencional es recomendable disminuir el contenido de los agente oxo-degradantes Fe (0.49%) y Ca (0.52%) para ralentizar su foto-degradación.

Palabras clave: Acolchado, *Cucurbita pepo* L., foto-biodegradable, polietileno, propiedades mecánicas.

Abstract

The development and utilization of degradable films for soil plastic mulching is a global tendency in the quest of an environmentally friendly technology which replaces the low density polyethylene (LDPE) films. Therefore, the aim of this study was to assess a photo-biodegradable soil mulching film (Crown 1) applied to zucchini crop. The culture was established in soil beds mulched with four different treatments. The photosynthetic rate, plant dry weight, chlorophyll content and total yield were evaluated in the crop, showing no statistical differences between treatments. Besides, maximum tension and elongation resistance of the Crown 1 film were determined to measure its integrity along the crop. Additionally, the Fe (degradation trigger) content in Crown 1 was also measured. The Crown 1 film degraded faster where it was exposed to the sunlight than in the parts covered with soil on the sides of the beds. The same exposed part degraded up to 94% while unexposed parts degraded only in 10%. The Crown 1 film has a good potential to be used in open field crops but it is suggested that its Fe (0.49%) or Ca (0.52%) content has to be reduced to diminish its photodegrading rate.

Keywords: *Cucurbita pepo* L., mechanical properties, photo-biodegradable, polyethylene, starch.

I. Introducción

El constante cambio climatológico causado por el uso excesivo de plásticos y químicos, se ha impulsado el desarrollo de la agricultura protegida [1]. Una de las técnicas de agroplasticultura es el acolchado plástico que consiste en cubrir los surcos con películas plásticas el cual se le atribuyen grandes beneficios como el incremento del rendimiento y calidad de las cosechas, uso eficiente de agua y fertilizantes [2]. Otros beneficios que se han encontrado con el uso de acolchado incluyen adelanto de las cosechas y menor competencia de los cultivos con las malezas [3].

El uso masivo de materiales plásticos tradicionales de acolchado como el polietileno de baja densidad (LDPE) ha generado una preocupante acumulación en los campos agrícolas debido a diversas razones tales como la resistencia ante las condiciones ambientales, que en mucho dependen de la variación de estos ambientes, según Feuilloley *et al.* [4] puede

tomar hasta 300 años la degradación total del polietileno de 60 micras de espesor sin aditivos. En los Estados Unidos, tan solo en el año 2006 se cubrieron con acolchado plástico 160,000 hectáreas de suelo para uso agrícola [5]. La recolección de estos residuos puede generar costos de hasta 250 dólares*ha⁻¹ [6]. Existen empresas que reciclan estos materiales para reutilizarlos, sin embargo el costo de reprocesado sigue siendo una limitante debido a que se requieren lavados especiales por la contaminación con suelo que muestran, además se deben usar aditivos para mantener las propiedades de los materiales durante el reprocesado [7].

El uso de materiales biodegradables es una técnica de interés en agricultura ecológica e integrada para sustituir al LDPE. Los nuevos plásticos basados en biopolímeros representan una oportunidad para sustituir los hidrocarburos habitualmente utilizados para la elaboración de los plásticos convencionales [8]. Previamente, se han realizado varios estudios para probar los efectos de los acolchados biodegradables sobre

el rendimiento y calidad de las cosechas [9]. Ensayos realizados con acolchado biodegradable han demostrado que funcionan tan bien como la película de polietileno convencional ofreciendo la ventaja de ser incorporado al suelo inmediatamente después de la cosecha, para integrarse al suelo enriqueciéndolo con el carbono resultante de su degradación [10]. Estos materiales funcionan como una alternativa muy prometedora ya que se degradan en el campo disminuyendo la cantidad de desechos [11].

Recientemente, la película foto-biodegradable Crown 1 (con base de almidón) fue probada con éxito en Washington (EE.UU) sugiriendo ser una película adecuada para el acolchado plástico [12] no obstante, el sitio donde se estudió es una región donde la temperatura máxima se presenta de julio a agosto y oscila entre 20 y 23 °C, y las condiciones de radiación solar son las propias de latitudes alrededor de los 48° N. Por lo tanto, nuestra investigación tuvo como objetivo caracterizar este mismo material experimentalmente en cuanto su desempeño y degradación, bajo condiciones climáticas más severas que las del norte de Estados Unidos, ya que en la mayor parte de México la temperatura del aire y del suelo, así como la intensidad de la radiación son más altas.

II. Materiales y equipos.

Los equipos que se utilizaron en esta investigación fueron: Analizador Infra Rojo de Gases (LI-COR 6400XT) para determinar intercambio gaseoso en fotosíntesis; Medidor de índice de clorofila (SPAD, Minolta ®); datalogger (CR 850; Campbell Scientific ®, Logan, Utah, USA) conectado a un multiplexor (AM25T; Campbell Scientific ®) para registrar temperaturas de suelo. Además se utilizaron un microscopio electrónico de barrido TOP-CON SM-510 con detector de energía dispersiva de rayos X, un espectrofotómetro de plasma ICP (IRIS Advantage ® 14034000 ICP Thermo Jarrel Ash) para cuantificar el oxo catalizador de

hierro de la película Crown 1 y un probador universal (Universal Tester) Instron 4301®.

III. Métodos experimentales

Este ensayo se realizó en los meses de junio-julio del año 2015 en el cultivo de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) en el rancho Las Encinas, municipio de Ramos Arizpe, Coahuila a una altura de 1,192 msnm con temperaturas media y máxima de 24 y 35 °C, respectivamente. En este sitio se cuenta con agua de pozo profundo que contiene carbonatos, pH ligeramente alcalino y es adecuada para su uso en riego de hortalizas.

El cultivo se estableció en surcos de 16 metros de longitud y a 1.80 metros de ancho entre centros de cama, las unidades experimentales fueron de 5 metros de longitud. La distancia entre plantas fue de 0.30 metros, lo cual se ajustó a las distancias de las perforaciones del acolchado plástico convencional disponible, resultando una densidad de población de 18,315 plantas ha⁻¹. La fertilización se ajustó a la fórmula 260-180-260 de N-P-K, el fósforo se ajustó con ácido fosfórico y las aplicaciones fueron a través del riego por goteo utilizando cintilla Aqua Traxx PC (Toro ®, EUA) con emisores con gasto de 1 L h⁻¹ (10 PSI) con una separación entre goteros de 0.30 metros.

El diseño experimental fue de bloques al azar con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Las evaluaciones y toma de datos en campo se realizaron periódicamente, la cosecha se inició a los 42 días después de la siembra (dds) y la toma final de datos de la degradación se realizó una vez retirada las plantas de la parcela.

Los tratamientos fueron: a) Acolchado convencional (LDPE), b) Acolchado foto-biodegradable Crown 1 c) Acolchado con dos capas: LDPE (capa superior, expuesta al sol) + Crown 1 (capa inferior, en contacto con el suelo protegida del sol), d) Cuatro capas del mismo acolchado foto-biodegradable Crown 1.

Los primeros dos tratamientos de una sola capa de polietileno comercial y foto-biodegradable respectivamente, fueron para hacer comparación en la aportación de los beneficios de un acolchado plástico, sin embargo, pruebas preliminares a esta investigación indicaron que la transmitancia (T) de la película Crown 1 estaba por debajo (29%) de los estándares comerciales ($T \approx 15\%$). Por lo tanto, con el tratamiento de dos capas y cuatro capas llevamos la T a cero mediante el uso de una capa opaca (tratamiento c) o incrementando del espesor (tratamiento d), para evitar el desarrollo de malezas.

Las variables evaluadas fueron: degradación de la película (inicial, 25, 40 y 55 dds) y degradación final una vez retiradas las plantas de los surcos (término de cosecha), contenido de clorofila a los 25, 40 y 55 dds, peso seco de planta a los 25, 40 y 55 dds; Fotosíntesis a los 25, 40 y 55 dds, medida *in situ* entre 12:00 y 13:00 horas de los días mencionados; la temperatura media de suelo y temperatura media del aire solamente se midieron durante las primeras tres semanas de desarrollo del cultivo ya que la película biodegradable solamente duró intacta los diez primeros días desde su instalación, posteriormente se fue agrietando rápidamente, Rendimiento total de fruto (a partir de los 40 dds). La evaluación visual de la degradación se estimó en porcentaje en una escala de 0-100, donde 0 (cero) significa degradación nula y 100 degradación total.

También se realizaron pruebas de resistencia a elongación y tensión máxima a la película foto-biodegradable, en el Laboratorio Central de Instrumentación Analítica del CIQA, a muestras de la película biodegradable para observar las pérdidas de dichas propiedades a consecuencia de la degradación. La temperatura de suelo se midió a 10 cm de profundidad con el equipo datalogger conectado a un multiplexor. Aunado a las pruebas mecánicas, se realizó un análisis para determinar el porcentaje de fierro en la formulación de la película foto-biodegradable con el fin de ponerlo como referencia a los resultados extraídos del campo experimental.

IV. Discusión de resultados

Para el contenido de clorofila a los 25 dds, el tratamiento con acolchado convencional superó estadísticamente ($p \leq 0.05$) al tratamiento con acolchado foto-biodegradable solo o combinado, mientras que a los 40 y 55 el acolchado biodegradable solo o combinado tuvo un comportamiento similar ($p \leq 0.05$) al acolchado convencional. En peso seco de planta a los 25, 40 y 55 dds, el acolchado foto-biodegradable solo o combinado se comportó estadísticamente similar ($p \leq 0.05$) al acolchado convencional (Tabla 1), estos resultados difieren a los encontrados por Solís *et al.* [13] en Chile jalapeño con acolchado plástico.

Tabla 1. Concentración promedio de clorofila y promedio de peso seco de planta, evaluados a los 25, 40 y 55 dds en el cultivo de calabacita en rancho Las Encinas, Ramos Arizpe, Coahuila, México.

Tratamiento	Contenido de clorofila (SPAD)			Peso seco de planta (g planta^{-1})		
	25 dds	40 dds	55 dds	25 dds	40 dds	55 dds
PEC	46.0 \pm 0.6 a	46.9 \pm 0.7 ab	46.9 \pm 0.8 ab	2.6 \pm 0.3 a	45.4 \pm 5.2 a	117.7 \pm 7.2 b
ABIO	42.5 \pm 0.5 b	49.6 \pm 1.1 a	47.6 \pm 0.4 a	2.2 \pm 0.3 a	47.9 \pm 1.4 a	113.1 \pm 12.3 b
ABIO-PEC	43.5 \pm 1.4 b	44.2 \pm 1.4 b	43.7 \pm 0.9 b	2.2 \pm 0.1a	41.2 \pm 11.5 a	131.4 \pm 23.1 ab
ABIO-4	41.8 \pm 0.7 b	49.1 \pm 0.5 a	46.9 \pm 1.9 a	1.9 \pm 0.05 a	38.4 \pm 11.13 a	176.1 \pm 9.0 a
Error	0.92	1.23	0.88	0.15	2.12	14.37
CV	2.79	3.57	3.10	23.27	35.93	20.62

PEC= Polietileno convencional, ABIO= Acolchado biodegradable, ABIO-PEC= Acolchado biodegradable más Polietileno convencional, ABIO-4= Acolchado biodegradable con cuatro capas. dds=días después de siembra.

El acolchado foto-biodegradable solo o combinado no mostró diferencia estadística ($p \leq 0.05$) al acolchado convencional para la fotosíntesis en los 25, 40 y 55 dds reflejándose directamente en el rendimiento final de fruto (Tabla 2), ya que la fotosíntesis tiene relación directa con el rendimiento. Resultados análogos fueron demostrados por Santos *et al.* [14] en el cultivo de pimiento morrón al utilizar diferentes tipos de acolchado. De manera general, la tasa fotosintética del cultivo presentó una tendencia a disminuir a través del tiempo probablemente causada por el cambio fenológico del cultivo (Figura 1). Demostrado también por Moreno-Moreno, [15] en el cultivo de papa.

Tabla 2. Tasa fotosintética promedio a los 25, 40 y 55 dds del cultivo de calabacita, medida entre 12 y 13 h, en rancho Las Encinas, Ramos Arizpe, Coahuila.

Tratamientos	Fotosíntesis ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)		
	25 dds	40 dds	55 dds
PEC	39.2 \pm 1.4 a	32.4 \pm 2.2 a	22.2 \pm 2.3 a
ABIO	36.4 \pm 1.2 a	33.2 \pm 3.1 a	18.3 \pm 3.4 a
ABIO-PEC	36.0 \pm 0.8 a	34.3 \pm 2.1 a	17.9 \pm 2.4 a
ABIO-4	38.1 \pm 0.8 a	35.3 \pm 0.6 a	18.3 \pm 5.9 a
Error	0.75	0.64	2.03
CV	5.39	12.50	26.97

PEC= Polietileno convencional, ABIO= Acolchado biodegradable, ABIO-PEC= Acolchado biodegradable más polietileno convencional, ABIO-4= Acolchado biodegradable con cuatro capas. dds=días después de siembra. Promedios \pm el error estándar de la media.

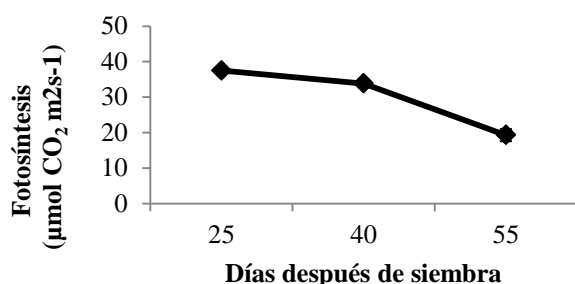


Figura 1. Actividad fotosintética promedio (\pm el error estándar de la media) del cultivo de calabacita entre las 12 y 13 horas a los 25, 40 y 55 días después de siembra.

En relación a la temperatura media de suelo registrada en las primeras tres semanas (Figura 2), el acolchado convencional superó al acolchado foto-biodegradable solo o combinado, solamente en la segunda semana el foto-

biodegradable una sola capa fue similar al acolchado convencional. La temperatura ambiente en ese mismo periodo, se mantuvo entre 22 y 23 °C. Estos resultados también fueron demostrados por Ngouajio *et al.* [16] en el cultivo de tomate utilizando acolchados biodegradables y polietileno comercial.

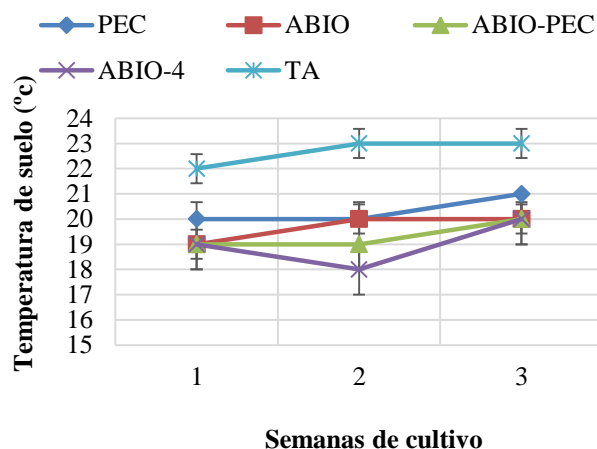


Figura 2. Temperatura de suelo (PEC= Polietileno convencional, ABIO= Acolchado biodegradable, ABIO-PEC= Acolchado biodegradable más polietileno convencional, ABIO-4= Acolchado biodegradable con cuatro capas) y temperatura ambiente (TA) \pm el error estándar de la media, registradas durante las primeras tres semanas del cultivo.

La degradación de la película foto-biodegradable de una capa se dio a partir de los 10 días después de su instalación, iniciando por la parte del centro donde se realizaron las horadaciones para sembrar las semillas, y debido al viento que entraba por ese punto, la ruptura se fue acelerando cada vez más y a la primera evaluación, mostraba un deterioro del 70% y una degradación final de un 94%. En el tratamiento con dos capas la degradación fue muy poca, provocada probablemente solo por los microorganismos ya que estaba protegido contra la radiación y contra la fuerza del viento por la capa superior de LDPE. El tratamiento con cuatro capas inició la degradación en la capa exterior, al paso del tiempo, la oxodegradación avanzó con la segunda capa, la última capa solo tuvo un 10% de deterioro, ya que en casi todo el tiempo estuvo protegida por

las tres capas superiores (Tabla 3). Estos resultados son similares a los mostrados Moreno-Moreno, [15] en cultivo de tomate. En el rendimiento de calabacita, los tratamientos con acolchado biodegradable no mostraron diferencia estadística ($p \leq 0.05$) al acolchado

negro comercial, y debido a estos resultados, se logra uno de los objetivos planteados en este estudio. Resultados similares fueron obtenidos por Cenobio *et al.* [17] en el cultivo de sandía con acolchados y por Díaz-Pérez, [18] en el cultivo de brócoli.

Tabla 3. Medias de la degradación de película foto-biodegradable y rendimiento de fruto en el cultivo de calabacita en rancho Las Encinas, Ramos Arizpe, Coahuila, México.

Tratamientos	Degradación (%)				Rendimiento (t ha ⁻¹)
	25 dds	40 dds	55 dds	Degradación Final	
PEC	0.0 b	0.0 c	0.0 c	0.0 d	28.7 a
ABIO	70.0 a	81.6 a	88.3 a	94.3 a	30.6 a
ABIO-PEC	0.0 b	4.0 b	6.3 b	8.6 c	35.1 a
ABIO-4	0.0 b	4.6 b	7.0 b	10.6 b	31.2 a
Error	35	39.42	42.05	44.19	2.69
CV	24.74	7.27	11.71	3.16	14.91

PEC= Polietileno convencional, ABIO= Acolchado biodegradable, ABIO-PEC= Acolchado biodegradable más polietileno convencional, ABIO-4= Acolchado biodegradable con cuatro capas. dds=días después de siembra Promedios \pm el error estándar de la media.

Las pruebas de resistencia a tensión máxima (Figura 3a) y elongación (Figura 3b) realizadas a la película Crown 1 demuestran que éstas van disminuyendo a través del tiempo, la primera tiene un valor inicial de 2015.5 hasta llegar a 622 PSI a los 55 dds y para elongación tiene una capacidad de estiramiento inicial de 340 hasta llegar a 25% a los 55 dds. La pérdida de estas propiedades es el resultado de la degradación

que sufre la película al estar en contacto con el suelo sufriendo un cambio en su estructura que hace que las cadenas del polímero se vayan debilitando. Estos resultados son similares a los obtenidos por Bilck *et al.* [19] al evaluar películas biodegradables en el cultivo de fresa, así como Kijchavengkul *et al.* [20] también reportaron resultados similares en acolchados biodegradables con cultivo de tomate.

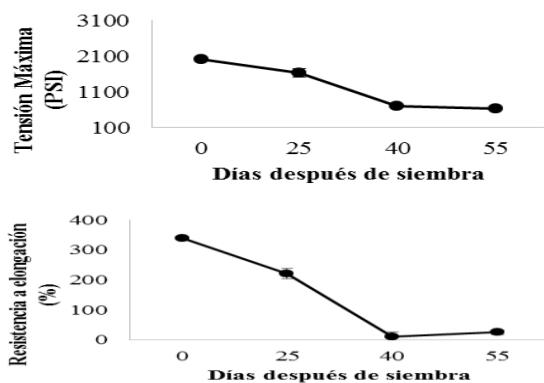


Figura 3. Resistencia a tensión máxima (a) y elongación (b) de muestras de la película foto-biodegradable Crown 1 (promedios \pm el error estándar de la media) respecto del tiempo después de instalación en campo.

Finalmente, el contenido de hierro en una película de acolchado modula significativamente el proceso de foto-degradación. La tabla 4 muestra el contenido de hierro de la película Crown 1 foto-biodegradable el cual se considera que fue una concentración alta [21] para las condiciones de radiación a la que se sometió, lo que provocó una foto-degradación acelerada de la película. También contiene otros contaminantes que bien pudieron ser utilizados como catalizadores durante el proceso de extrusión, sin embargo, no alcanzaron a desintegrarse y esto provocó que las propiedades mecánicas iniciales de las películas fueran un poco bajas ya que por

ejemplo, el calcio es un agente que desencadena la oxo-degradación de polímeros [22].

Tabla 4. Concentración de elementos en la película foto-biodegradable.

Concentración (%)			
Calcio (Ca)	Bario (Ba)	Magnesio (Mg)	Fierro (Fe)
0.521	0.001	0.079	0.497

V. Conclusiones

La degradación en la parte expuesta de la película foto-biodegradable Crown 1 comenzó desde la primera semana de su instalación, lo cual se aceleró por el efecto del viento alcanzando un 81% a 40 días de su colocación. La biodegradación en la parte cubierta con suelo fue más lenta alcanzando solamente un 10% al finalizar la cosecha (70 días). La mejor respuesta del cultivo de calabacita se mostró en el acolchado negro convencional, siendo el acolchado foto-biodegradable el que manifestó valores inferiores en la mayoría de las variables evaluadas. Con estos resultados se concluye que la película foto-biodegradable Crown 1, no es recomendable su uso en regiones de México con alta incidencia de radiación solar y elevadas temperaturas.

Por último, como perspectivas extraídas a partir del comportamiento de la película Crown 1 respecto de las condiciones y películas para acolchado prevalecientes en México (importadas de EUA), se sugiere elaborar películas de 1.22 a 1.52 metros de ancho [23] y con horadaciones elaboradas ya que la degradación de la película Crown 1 en la parte expuesta inició donde se aplicó calor para realizar las perforaciones de siembra-emergencia de la planta; finalmente, para la concentración de fierro (0.49%), sería óptimo disminuirla hasta que caiga en un rango de 0.03-0.05% de concentración, así como disminuir el calcio presente, con el fin de ser aplicado a las regiones con incidencias de radiación elevada. Se recomienda entonces realizar experimentación bajo las mismas condiciones climatológicas consideradas en este estudio con

la película Crown 1 una vez mejoradas sus propiedades.

VI. Agradecimientos

Los autores agradecen al técnico M.C. Federico Cerda Ramírez por su apoyo en el establecimiento del ensayo en campo; también agradecen el apoyo otorgado por la Dra. Silvia G. Solís Rosales (Laboratorio Central de Instrumentación Analítica, CIQA) para realizar los análisis físicos de la película Crown 1. Finalmente, también agradecen los puntos de vista aportados por el Dr. Adrián Méndez Prieto (Depto. de Procesos de Transformación de Plásticos, CIQA) sobre el contenido de Fe de la película Crown 1.

VII. Referencias

- 1) Gómez, P.G. (2008). Pros y contras de la agricultura protegida. II Symposium Internacional de Invernaderos. Asociación Mexicana de Construcción de Invernaderos (AMCI). Toluca, Estado de México.
- 2) Kasperbauer, M.J. (2000). Strawberry yield over red versus black plastic mulch. *Crop Science*, 40: 171–174.
- 3) 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.
- 4) Feuilleley, P., César, G., Benguigui, L., Grohens, Y. (2003). Biodégradation des films de paillage en polyéthylène: Conjecture ou réalité?. *Colloque international: Produits biodegradable et environnement*. Rouen, Francia.
- 5) Miles, C., Wallace, R., Wszelaki, A., Martin, J., Cowan, J., Walters, T., Inglis, D. (2012). *Deterioration of potentially*

- biodegradable alternatives to black plastic mulch in three tomato production regions*. Hort Science. 47:1270–1277.
- 6) Shogren, R.L., Hochmuth, R.C. (2004). Field evaluation of watermelon grown on paper-polymerized vegetable oil mulches. Hort Science 39:1588–1591.
 - 7) Olsen, J.K., Gounder, R.K. (2001). Alternatives to polyethylene mulch film: A field assessment of transported materials in capsicum (*Capsicum annum* L.). Australian Journal of Experimental Agriculture. 41:93–103.
 - 8) Kaplan, D.I. (1998). Introduction to biopolymers from renewable resources. En: Biopolymers from renewable resources. Springer, Berlin. Pp. 1–29.
 - 9) Armendáriz, R., Macua, J.I., Lahoz, I., Santos, A., Calvillo, S. (2006). *The use of different plastic mulches on processing tomatoes*. In: Ashcroft WJ (ed) Proc. 9th IS on the processing tomato. Acta Horticulturae. 724, pp 199–202.
 - 10) Anon, (2004). Degradable Plastics-Breaking news Down Under. Australian Government Department of the Environment and Heritage, News letter, Issue 2:1–5.
 - 11) Kijchavengkul, T., Auras, R., Rubino, M., Ngouajio, M., Fernandez, R.T. (2008). Assessment of aliphatic–aromatic copolyester biodegradable mulch films. Part I: Field study. Chemosphere. 71(5): 942–953
 - 12) Cowan, J.S., Inglis, D.A., Miles, C.A. (2013). Deterioration of three potentially biodegradable plastic mulches before and after soil incorporation in a broccoli field production system in northwestern Washington. HortTechnology. 23(6): 849–858.
 - 13) Solís, A.C., Ibarra, M.I., Moreno, S.M., Cohen, I.S. y López, A.R. (2007). Different plastic mulches and drip irrigation. Chapingo. 6: 67–75.
 - 14) Santos, C.M., Segura, A.M., Núñez, L.C. (2010). Análisis de crecimiento y relación fuente-demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia). Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín. 63: 5253–5266.
 - 15) Moreno, M.M., Moreno, A. (2008). Effect of different biodegradable and polyethylene mulches on soil properties and production in a tomato crop. Scientia Horticulture. 116(3): 256–263.
 - 16) Ngouajio, M., Auras, R., Fernández, R.T., Rubino, M., Counts, J.W., Kijchavengkul, T. (2008). Field performance of aliphatic-aromatic polyester biodegradable mulch films in a fresh market tomato production system. Hort Technology. 18(4): 605–610.
 - 17) 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.
 - 18) Diaz-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.
 - 19) Bilck, A.P., Grossmann, M.V., Yamashita, F. (2010). Biodegradable mulch films for strawberry production. Polymer Testing. 29(4): 471–476.
 - 20) Kijchavengkul, T., Auras, R., Rubino, M., Ngouajic, M., Fernandez, R.T. (2008). Assessment of aliphatic–

- aromatic copolyester biodegradable mulch films. Part I: field study. *Chemosphere*. 71(5): 942–953.
- 21) Nguyen, T.-A.; Gregersen, Ø., Männle, F. (2015). Thermal oxidation of polyolefins by mild pro-oxidant additives based on iron carboxylates and lipophilic amines: Degradability in the absence of light and effect on the adhesion to paperboard. *Polymers* 7: 1522–1540.
- 22) Abrusci, C., Pablos, J. L., Corrales, T., Lopez-Marin, J., Marin, L., *et al.* (2011) Biodegradation of photo-degraded mulching films based on polyethylene and stearates of calcium and iron as pro-oxidant additives. *Int Biodeterior Biodegradation*. 65: 451–459.
- 23) Lamont, W. J. (2005). Plastics: Modifying the microclimate for the production of vegetable crops. *HortTechnology*. 15(3), 477–481.