

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



**PELÍCULAS NANOESTRUCTURADAS PARA INVERNADERO Y
ACOLCHADO DE SUELOS EN AGROPLASTICULTURA**

CASO DE ESTUDIO

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL DIPLOMA DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA

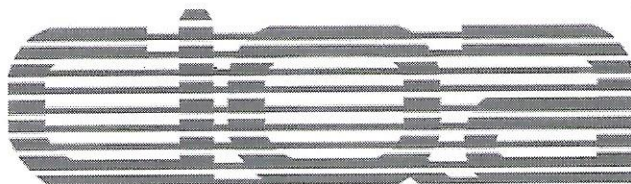
PRESENTA:

JOSÉ ALFREDO RODRÍGUEZ CASTRO

SALTILLO, COAHUILA

AGOSTO 2016

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



PELÍCULAS NANOESTRUCTURADAS PARA INVERNADERO Y
ACOLCHADO DE SUELOS EN AGROPLASTICULTURA

CASO DE ESTUDIO

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL DIPLOMA DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA

PRESENTA:

JOSÉ ALFREDO RODRÍGUEZ CASTRO

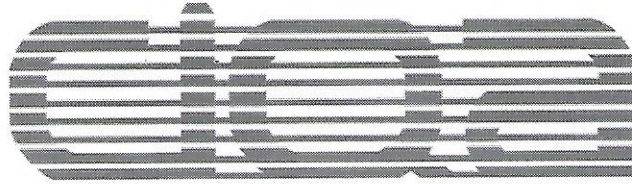
ASESOR:

DR. JUAN P. MUNGUÍA LÓPEZ

SALTILLO, COAHUILA

AGOSTO 2016

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



PELÍCULAS NANOESTRUCTURADAS PARA INVERNADERO Y
ACOLCHADO DE SUELOS EN AGROPLASTICULTURA

CASO DE ESTUDIO

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL DIPLOMA DE:

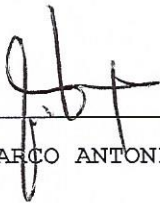
ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

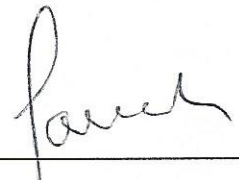
OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA

PRESENTA:

JOSÉ ALFREDO RODRÍGUEZ CASTRO

EVALUADORES:


DR. MARCO ANTONIO CASTILLO CAMPOHERMOSO


M.C. SANTIAGO SÁNCHEZ LÓPEZ

SALTILLO, COAHUILA

AGOSTO 2016

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	iii
RESUMEN	iv
1.- INTRODUCCIÓN	1
1.1 Los materiales plásticos	1
1.2 Situación mundial de los plásticos	2
1.3 Situación en México de los plásticos	3
1.4 Usos de los plásticos en la agricultura	4
1.5 Importancia económica de la horticultura protegida en México	6
1.6 Importancia de la Nanotecnología en la agricultura ..	7
1.7 Objetivo general	8
1.7.1 Objetivos específicos	9
2.- REVISIÓN DE LITERATURA	10
2.1 Inicio de las modificaciones de las películas plásticas	10
2.2 Características de las películas para acolchado de suelo: ventajas y desventajas	11
2.3 Principales aditivos para modificar las propiedades mecánicas	13
2.4 Principales aditivos para modificar las propiedades radiométricas	15

2.5 Otros aditivos para efectos especiales.....	17
2.6 Ventajas de las películas nanoestructuradas en los cultivos protegidos.....	18
2.7 Desventajas de las películas nanoestructuradas en los cultivos protegidos.....	18
2.8 Efecto de las películas nanoestructuradas en los cultivos protegidos.....	19
3.- ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO.....	20
4.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	25
5.- ÁREAS DE OPORTUNIDAD.....	26
6.- REFERENCIAS.....	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Desarrollo de la producción mundial de plásticos en millones de toneladas, desde 1950 a 2014. Adaptada de (PlasticsEurope, 2015).....	3
---	---

RESUMEN

La agroplasticultura se basa en la aplicación de diversos materiales plásticos, ya sean películas para cubiertas de invernadero y túneles, acolchado de suelo, contenedores, mangueras y tuberías para los sistemas de riegos, entre otras aplicaciones.

La agricultura protegida juega un papel importante para el desarrollo económico del país, por lo que es vital que se desarrollen nuevas películas plásticas para contrarrestar las condiciones medio ambientales a las que están expuestos los cultivos bajo invernadero.

La nanotecnología ha contribuido a la resolución de algunos inconvenientes de los cultivos protegidos al crear nuevos aditivos como las NP's o NC's, los cuales al ser mezclados en la matriz polimérica le confieren a las películas plásticas mejores propiedades mecánicas y radiométricas. Actualmente el empleo de NP's de óxido de zinc, de titanio y de silicio, nanotubos de carbono y nanoarcillas son los principales aditivos nanométricos utilizados en la extrusión de películas plásticas.

1.- INTRODUCCIÓN

1.1 Los materiales plásticos

Los plásticos son materiales duraderos, ligeros y económicos; pueden ser usados para ser moldeados en una amplia variedad de productos los que a su vez son utilizados en gran número de aplicaciones (Hopewell *et al.*, 2009).

El empleo de los plásticos como material ha tenido un incremento importante; prueba de su versatilidad es que son usados en un rango amplio de formas y tipos, en los que se incluyen los polímeros naturales, polímeros naturales modificados, plásticos termoformados, termoplásticos y más recientemente los plásticos biodegradables. Los plásticos tienen un rango de propiedades únicas: pueden ser usados en aplicaciones con rangos altos de temperaturas, condiciones químicas y de radiaciones lumínicas, son duros pero a la vez flexibles, pero pueden ser fácilmente manipulables a altas temperaturas de mezclado (PlasticsEurope, 2008).

Aunque literalmente existan cientos de materiales plásticos disponibles para su venta, sólo unos pocos de tienen las cualidades como termoplásticos accesibles en términos de sus altos volúmenes de producción y su precio relativamente bajo. Estos plásticos son los que se consumen principalmente y en orden de importancia destacando el Polietileno de Baja Densidad (LDPE), Polietileno de Alta Densidad (HDPE), Polipropileno (PP), Cloruro de polivinil (PVC), Poliestireno (PS), Acetato de vinil etilen (EVA) y Poli tereftalato de etileno (PET) (Andrady and Neal, 2009).

1.2 Situación mundial de los plásticos

Las aplicaciones de los materiales plásticos son muy diversas, incluso año tras año se estudian nuevas aplicaciones de materiales poliméricos, que serán de gran utilidad para la vida futura, entre éstas aplicaciones destacan las que van enfocadas a nuevos avances de la medicina y la tecnología, la generación de energía a partir de fuentes renovables; para el uso en la agricultura destaca la formulación de nuevas películas plásticas, tales como cubiertas para invernaderos o acolchados plásticos (Andrady and Neal, 2009).

En nuestros días, se ha vuelto indispensable el uso de productos plásticos, por ejemplo en la construcción, las telecomunicaciones, en la fabricación de ropa y calzado, así como material de empaque de alimentos y bebidas (Andrady and Neal, 2009; PlasticsEurope, 2015).

La producción mundial de los diversos materiales plásticos se ha incrementado con el paso del tiempo, pasando de 0.5 millones de toneladas las que se producían en 1950 hasta las casi 300 millones de toneladas que se produjeron en 2014 (PlasticsEurope, 2015).

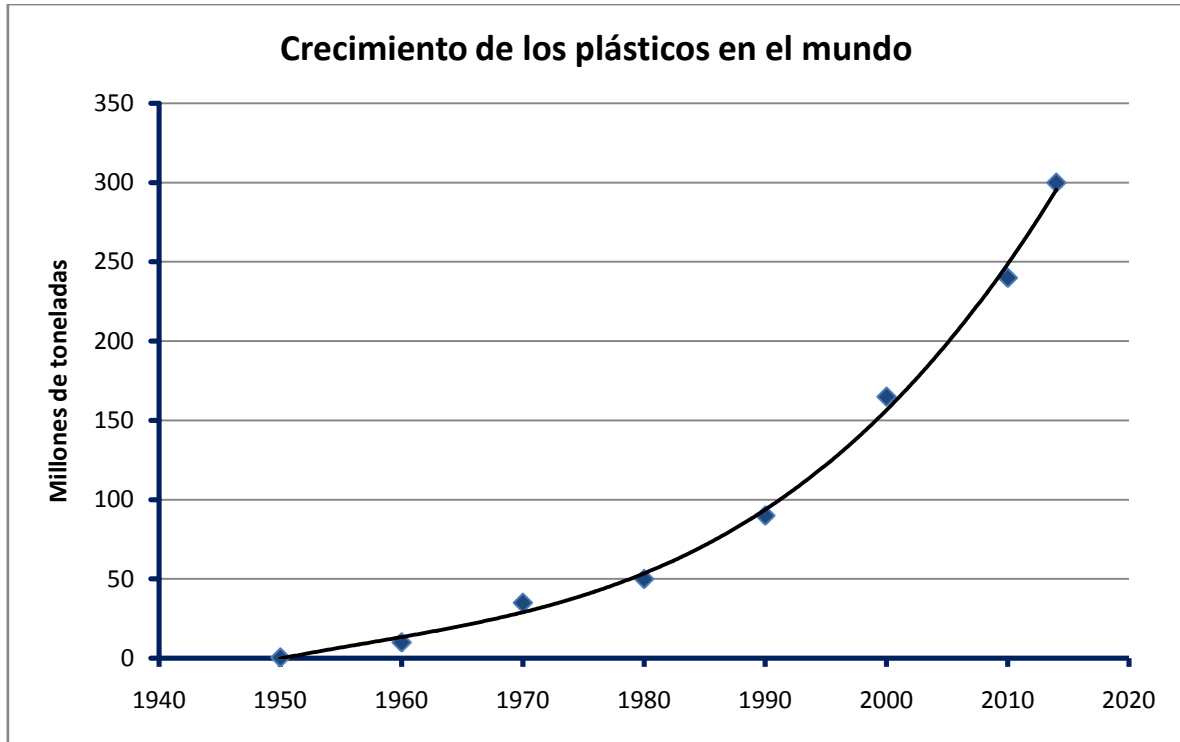


Figura 1. Desarrollo de la producción mundial de plásticos en millones de toneladas, desde 1950 a 2014. Adaptada de PlasticsEurope, 2015).

1.3 Situación en México de los plásticos

La situación del consumo de plásticos en México presenta una mayor tendencia a la importación de plásticos. Para el año 2012 se importaba, el 55.2% del consumo total de plásticos lo cual representa una cifra de 2.92 millones de toneladas. Para ese año se reportaba que la capacidad productiva de las empresas mexicanas rondaba las 3.6 Millones de toneladas, del total de esa producción se exportaba el 33.6% de la producción. Dando por consiguiente un consumo aparente de 5.3 Millones de toneladas. El segmento de agrícola se estima que consume 220,000 toneladas por año, incluida todas las aplicaciones de los plásticos para uso agrícola: plásticos para acolchado de suelo, cintas de riego, tuberías para sistemas de riego,

películas para cubiertas de invernaderos y macrotúneles, mallas agrícolas, entre otras aplicaciones (Conde, 2012).

La superficie de invernaderos que se tiene registrado es de 12 000 hectáreas aproximadamente (AMPHAC, 2015), las cuales se estima que cada año se renueva entre un 25 a 30 % de la cubierta, generando así un consumo aparente de 23 mil toneladas de plástico destinado a cubiertas para invernadero.

1.4 Usos de los plásticos en la agricultura

Las aplicaciones más importantes de las películas plásticas en la agricultura son en cubiertas de invernaderos, macrotúneles y microtúneles y para el acolchado de suelos. Entre los materiales plásticos más utilizados se encuentran el HDPE, EVA, en el caso de cubiertas para estructuras, y el Polietileno Lineal de Baja Densidad (LLDPE) como polímero principal para la fabricación de películas para acolchado de suelos (Espí *et al.*, 2006; Briassoulis *et al.*, 2013). Las propiedades claves deseadas en las películas plásticas son la durabilidad, propiedades ópticas (Radiación ultravioleta (UV), radiación fotosintéticamente activa (PAR), radiación infrarroja cercana (NIR) y radiación infrarroja media (MIR) (Picuno, 2014), el efecto antigoteo. Desarrollos recientes en la formulación de las películas, buscan el bloqueo de la radiación UV, NIR; y el efecto de fluorescencia y películas ultratérmicas (Espejo *et al.*, 2012; Paul *et al.*, 2005).

Las películas para invernadero y macrotúneles usualmente se utilizan espesores de 80-220 micras y anchos de hasta veinte metros. Se pueden encontrar en el mercado películas monocapa, tricapas y pentacapas, esto tomando en consideración el nivel

de tecnología disponible en el país (Espí et al., 2006; Laverde, 2002). Con propiedades físicas y ópticas muy particulares según el tipo de aditivos utilizados, que le confieren resistencias mecánicas, opacidad a la radiación infrarroja (IR), efecto antigoteo, fotoselectividad (bloqueo específico de algún rango del espectro de radiación) y bloqueo de la radiación UV (Gulrez et al, 2013; Grigoriadou et al., 2013).

Las películas para acolchado son la segunda aplicación más importante después de las películas para cubierta de invernadero y túneles. El acolchado plástico consiste en la colocación de una película plástica delgada, previamente perforada, sobre la cama de cultivo donde posteriormente se trasplantará o se sembrará directamente una semilla. Con dicha técnica se busca mantener la temperatura y humedad del suelo, minimizando el tiempo de emergencia de las semillas y favorecer la precocidad, calidad y cantidad de producto cosechado. Los acolchados plásticos pueden ser de colores o pigmentados: negros, aluminizados o blancos; sin embargo también pueden usarse otro tipo de colores como el café, rojo, verde o azul, que reflejan cierta longitud de onda del espectro, que afecta la morfogénesis de las plantas o tienen cierto efecto repelente de plagas. Los espesores utilizados en los acolchados plásticos varían según la región o el país; por ejemplo en china, Japón e Israel donde se utilizan espesores de 12 a 18 micras, caso contrario de otros países que se utilizan espesores que van desde las 18 micras hasta las 35 micras (Espí et al., 2006).

Otras aplicaciones de los plásticos en la agricultura incluye producción de cinta riego y tubos para sistemas de riego; bolsas, contenedores y demás accesorios para sistemas hidropónicos, geomembranas, bolsas para ensilaje de granos o

forrajes, películas para empaque y protección de frutos y fabricación de mallas agrícolas (Laverde, 2002; Briassoulis et al., 2013).

1.5 Importancia económica de la horticultura protegida en México

La agricultura protegida se realiza bajo diversas estructuras, los cuales protegen a los cultivos, al minimizar las restricciones y efectos adversos que imponen las condiciones climáticas que imperan a campo abierto; es un sistema de producción que intensifica la producción de alimentos y genera múltiples ventajas, entre las que destacan las económicas que son las que más benefician a los productores (Moreno et al., 2011). Entre las técnicas usadas en la agricultura protegida se encuentran los invernaderos y las casa sombras, así como los macrotúneles.

México participa con el 4% en la producción de alimentos en el mundo con 29 millones de toneladas, con un potencial enorme (AMHPAC, 2015). Teniendo el séptimo lugar en superficie dedicada a la agricultura protegida con 23 251 has (SIAP, 2015). Resaltando que el 98% de la producción bajo cubierta en México se destina a la horticultura siendo el tomate, pimiento y pepino los principales cultivos, teniendo una participación del 70, 16 y 10% respectivamente.

De las 23 251 has que se tienen registradas para el año 2015, se generaron alrededor de 240 mil empleos directos y otros 300 mil de manera indirecta generando con esto ingresos estimados en poco más de 1155 Millones de Dólares (AMHPAC, 2015).

1.6 Importancia de la Nanotecnología en la agricultura

La nanotecnología es definida como aquella tecnología que está relacionada con los nuevos materiales cuya escala se encuentra entre los 10 y 100 nanómetros (nm). Las propiedades y efectos de las partículas y materiales a nanoescala difieren considerablemente de las partículas más grandes con igual composición química. Las nanopartículas (NP's) pueden tener una mayor reactividad química y ser más bioactivas que las partículas más grandes, éstas propiedades ofrecen una gran diversidad de nuevas aplicaciones en casi todas las áreas de la industria (Hevia *et al.*, 2009).

Es importante aclarar los términos nanopartículas (NP's) y nanocompuesto (NC). El primer término se refiere a la todas aquellas partículas con un tamaño menor a 100 nm, dichas partículas tienen (una o más) dimensiones de 100 nm o menos, con propiedades físicas y químicas diferentes a las del material original esto debido a su tamaño nanométrico. Para el caso de los NC's, estos se definen como materiales compuestos, que combinan uno o más componentes que le confieren mejoras a sus propiedades, por lo que al menos una de las dimensiones de las partículas que conforman el NC debe presentar un tamaño nanométrico (Kumar *et al.*, 2009).

La nanotecnología tiene aplicación en sistemas de alimentación y agricultura sustentable, mientras que los nanomateriales ofrecen innovación de productos a la industria de alimentos, en forma de colorantes, saborizantes, aditivos nutricionales e ingredientes antibacterianos para el envasado, así como agroquímicos y fertilizantes más potentes (Rakesh *et al.*, 2015). Por ejemplo, compuestos de nanoarcilla (plásticos a los que se les ha agregado plaquetas de arcilla nanoscópicas) tanto

en el envasado de alimentos y bebidas como en plásticos de uso agrícola que permiten la liberación controlada de herbicidas; también se está estudiando su empleo como revestimientos de fertilizantes de liberación controlada. (Medina *et al.*, 2011; Khot *et al.*, 2014; De Oliveira *et al.*, 2014; Singh and Rattanpal, 2014).

La nanotecnología está presente en varios desarrollos tecnológicos que son utilizados en la agricultura; un ejemplo estas aplicaciones son los componentes electrónicos que son usados en los sistemas GPS (que son incorporados a la maquinaria agrícola) y los sistemas de monitoreo como sensores climatológicos; los cuales pueden incluir nanotubos, nanofibras y/o NP's. En la formulación de nuevos materiales plásticos que serán utilizados los pellets obtenidos, se encuentra presente la nanotecnología, ya que se incorporan aditivos, como el óxido de zinc, dióxido de titanio, dióxido de silicio, arcillas entre otros compuestos, en tamaños nanométricos que le confieren propiedades especiales a las películas que se fabrican y que pueden ser utilizadas como cubiertas para invernadero o acolchado de suelo según la naturaleza de los aditivos utilizados, dando lugar a las películas denominadas nanoestructuradas (Joseph and Morrison, 2006; Grigoriadou *et al.*, 2011; Ali *et al.*, 2014; Ditta, 2012; Huang *et al.*, 2014;).

Los acontecimientos recientes en la ciencia y la tecnología de los materiales llevaron a la adopción de una amplia gama de innovaciones en la producción de nuevos materiales de cubierta de invernadero. Las posibilidades de una mejora en el diseño técnico de la película de plástico agrícola, en cuanto a resistencia mecánica, propiedades radiométricas y una mejor aptitud del material para su posterior reciclaje, están conectados con un vínculo más estrecho entre su formulación

química y el rendimiento de ingeniería del material. Dichos avances se centran en utilización de NP's (Liang *et al.*, 2013; Espejo *et al.*, 2012; Chinkamonthong *et al.*, 2012; Grigoriadou *et al.*, 2013), nanotubos (Gorrasi *et al.*, 2013), nanocelulosa (Baheti and Militky, 2013), nanoarcillas (Grigoriadou *et al.*, 2011; Dintcheva *et al.*, 2012), nanoalmidón, entre muchos otros recursos tecnológicos que modifican las propiedades de las películas para una aplicación muy especial, creando así una nueva generación películas plásticas NC's.

1.7 Objetivo General

Realizar una revisión de los nuevos materiales poliméricos nanoestructurados con aplicación en la agroplasticultura

1.7.1 Objetivos específicos

Realizar una revisión de los materiales poliméricos nanoestructurados con aplicación en el acolchado de suelos.

Realizar una revisión de los materiales poliméricos nanoestructurados con aplicación en invernaderos.

2.- REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Inicio de las modificaciones de las películas plásticas

El uso de materiales plásticos en la agricultura se ha incrementado en las últimas décadas gracias a los beneficios que proveen en la producción agrícola. Este aumento es debido a que los plásticos contribuyen a incrementos en los rendimientos, precocidad a la cosecha, menor uso de herbicidas y pesticidas, mayor protección a los cultivos y mayor eficiencia en el uso del agua (Briassoulis *et al.*, 2013).

Las películas plásticas son ampliamente utilizadas para cubrir invernaderos, micro y macrotúneles así como para el acolchado de suelos; si son empleadas como material de cubierta para la protección de los cultivos, juegan un papel importante ya que protegen a los cultivos de condiciones adversas del clima y a su vez mejoran las condiciones del microclima lo que favorece el desarrollo de los cultivos (Alsadon *et al.*, 2016).

Para mejorar las propiedades de los plásticos se comenzó a utilizar aditivos que estabilizaban la película plástica a la radiación UV. Conforme el paso del tiempo nuevas investigaciones centraron su atención en la modificación de las propiedades radiométricas (Gulrez *et al.*, 2013; Lamnatou and Chemisana, 2013).

Los comienzos de las modificaciones de los plásticos usando la nanotecnología son a partir de la década de 1950. La primer modificación con aplicación comercial fue la utilizada por la compañía Toyota en 1989, la cual modificó la estructura de nylon (PA 6,6) al combinarlo con arcilla montmorillonita de

tamaño nanométrico, mejorando con ello sus propiedades mecánicas (Maniar, 2004).

Desde el surgimiento de la nanotecnología como ciencia, ha sido una herramienta muy valiosa donde las diversas ciencias se han apoyado para reforzar sus investigaciones. La microbiología y la medicina ha estudiado los compuestos existentes pero en escala nanométrica para el tratamiento de diversas enfermedades bacterianas. La agronomía ha experimentado con fertilizantes y pesticidas con formulaciones a partir de NC's (Rakesh *et al.*, 2015).

Los polímeros de mayor importancia como el polietileno, polipropileno, las poliamidas y policarbonatos son los materiales que han sido objeto de investigaciones para modificar sus propiedades mecánicas y radiométricas usando la nanotecnología.

Las películas para uso agrícola tanto las cubiertas para invernadero y túnel, así como las películas para acolchado de suelos han mejorado las propiedades mecánicas y radiométricas por efecto de la adición de NP's y/o NC's durante su proceso de fabricación como lo concluyen Baheti and Militky (2013), Chrissafis *et al.* (2009), El-Bashir *et al.* (2016), Espejo *et al.* (2012), Grigoriadou *et al.* (2011; 2013).

2.2 Características de las películas para acolchado de suelo: ventajas y desventajas

El término acolchado del suelo ("mulching") hace referencia a cualquier cubierta protectora que se extiende sobre el suelo y que constituye una barrera más o menos efectiva a la transferencia de calor y de vapor de agua. En cuanto al

material, espesor y color, se utilizan diferentes tipos de láminas de plástico que varían dependiendo del objetivo de su uso, del cultivo y de la región. El PE es uno de los materiales plásticos más utilizados debido a que es fácil de procesar, tiene excelente resistencia física y química, alta durabilidad, flexibilidad y es inodoro en comparación con otros polímeros. El PE es el plástico por excelencia para usos agrícolas debido a lo favorable de su relación beneficio/precio comparado con las relaciones correspondientes de otros plásticos más costosos. Una de sus principales características es la menor densidad que posee, es decir que es el que pesa menos por unidad de superficie de suelo que se cubre (Lamont, 1993).

Entre las propiedades mecánicas que se esperan que tengan las películas para acolchado son calibre (grosor) uniforme y exacto, tener las resistencias físicas apropiadas, tales como la resistencia al impacto, resistencia a la tensión, porcentaje de estiramiento tanto en dirección largo como ancho y resistencia al rasgado; también son importante las propiedades radiométricas como la reflectancia y la transmitancia de películas fotoselectivas ya que se pueden ver afectadas por diversos factores (condensación del agua, procesos oxidativos inducidos por el envejecimiento) (Schettini *et al.*, 2007).

El uso de películas para acolchado de suelos se ha incrementado en los últimos años, debido a los múltiples ventajas que brindan a los cultivos como lo es el incremento de la temperatura del suelo, reducción de malezas, conservación de la humedad del suelo, reducción en la población de ciertos insectos plaga, el incremento en los rendimientos de las cosechas y la eficiencia en el uso de los nutrientes del suelo. El uso de acolchado plástico también presenta algunas desventajas que son principalmente las relacionadas con la

disposición final de los residuos después de haberse utilizado en los cultivos; así como el encarecimiento de costos de producción (Lamont, 2005).

La tendencia de las investigaciones respecto al acolchado de suelo va en caminata a formulación de películas degradables mediante la incorporación de aditivos cuya función es la promover la degradación de la película trascurrido un cierto tiempo bajo condiciones específicas. Recientemente se involucrado la nanotecnología para la creación de nuevas formulaciones plásticas a partir de la mezcla de polímeros de naturaleza renovable con NP's o NC's, esto con el fin de mejorar las propiedades mecánicas de los polímeros como el almidón y ácido poli láctico (PLA) (Baheti and Militky, 2013; Gorrasi *et al.*, 2013).

2.3 Principales aditivos para modificar las propiedades mecánicas.

Los aditivos se incorporan en el proceso de fabricación de los plásticos a fin de aportar determinadas cualidades o de mejorar las características existentes, sin afectar a la estructura molecular del polímero. Los aditivos pueden ser de procesado (que faciliten el proceso de transformación) o funcionales (que aportan determinadas cualidades al plástico), pudiendo llegar a alcanzar hasta el 10% del peso final del producto (Díaz *et al.*, 2001).

Díaz *et al.* (2001) menciona que los Aditivos funcionales más importantes son los fotoestabilizadores, los antiácidos, los bloqueadores de la radiación infrarroja larga (rango 7 a 14 micras), los modificadores de la tensión superficial, los

bloqueadores de la radiación infrarroja corta y los aditivos de luminiscencia.

Los fotoestabilizadores tienen como finalidad retrasar el envejecimiento de las películas agrícolas, derivado de la degradación del polímero por la acción de la radiación UV. Entre los fotoestabilizadores cabe citar: los complejos de níquel (quencher), y diversos compuestos orgánicos, entre los que están los derivados de la benzofenona y las benzotriazinas, y los HALS (acrónimo del inglés Hindered Amine Light Stabilizers), así como sus mezclas (Díaz *et al.*, 2001).

Los aditivos antiácidos mejoran la resistencia de los HALS, alargando su efecto fotoestabilizador, entre otras funciones. El óxido de zinc, empleado como antiácido, tiene también un efecto difusor de la luz (Castilla, 2005).

Las características mecánicas de la película dependen tanto de los factores intrínsecos (tipo de materia prima), como de las condiciones de su transformación en película (homogeneidad de reparto de aditivos, espesor adecuado y uniforme). La acción degradante de la radiación solar altera estas propiedades en función principalmente del tiempo de exposición (Castilla, 2005).

Desde el Punto de vista del horticultor, las propiedades mecánicas más relevantes son: la resistencia a la tracción, al rasgado y al impacto. La resistencia a la tracción, que valora la capacidad de la película para soportar esfuerzos de tracción, es importante durante el montaje de la película en el invernadero y para resistir vientos fuertes. La resistencia al rasgado es importante para evitar desgarros por cortes accidentales de la película. La resistencia al impacto es

relevante para que la película resista al granizo y a los vientos (Briassoulis *et al.*, 1997).

En un estudio realizado por Gorrasi *et al.* (2013) en películas para acolchado, logró reforzar la matriz polimérica de PLA con usar un NC de arcilla-tubos de carbono, mejoraron consigo algunas propiedades mecánicas como la resistencia a la tracción y al rasgado. Dintcheva *et al* (2012), utilizó NP's de arcilla para mejorar las propiedades mecánicas de películas de LDPE, a su vez también se disminuyeron los efectos de la fotodegradación. El uso de nanocelulosa se utilizó para reforzar películas para acolchado de suelos de PVA, mejoran las propiedades mecánicas cuando se utiliza un 5% de nanocelulosa, sin afectar las condiciones de fabricación (Baheti and Militky, 2013). Por su parte Chrissafis *et al* (2009), evaluaron películas de HDPE NC con dióxido de silicio, donde reportaron que se mejoraron las propiedades mecánicas como la resistencia a la tensión y al rasgado.

2.4 Principales aditivos para modificar las propiedades radiométricas.

En relación con su utilización en invernaderos, las propiedades radiométricas más importantes de las películas plásticas son su transmisividad a la radiación solar en sus diversas bandas (UV, PAR y NIR; y a la radiación IR larga) así como la reflectancia (fracción de radiación incidente reflejada por una superficie) y absorbancia (cantidad de luz que ésta es capaz de absorber) (Castilla, 2005).

Los bloqueadores de la radiación IR han permitido la formulación de películas de PE con mejores propiedades

térmicas. Estos productos pueden ser cargas minerales de muy diversos tipos: silicatos naturales o sintéticos, hidróxido de magnesio, entre otros (Díaz *et al.*, 2001).

Verloot and Verchaeren (2000) mencionan que los bloqueadores de la radiación NIR, cuando son incorporados a una película plástica colocada en un invernadero, evitan la entrada de radiación calorífica, limitando el calentamiento del invernadero.

Los aditivos de luminiscencia (fluorescentes o fosforescentes) permiten alterar la calidad de la radiación transmitida a través de las películas que los contienen. Estos aditivos absorben las longitudes de onda menos aprovechables por los cultivos transformándolas en otras más efectivas para la fotosíntesis. Normalmente este efecto se consigue reconvirtiendo la radiación UV (que es absorbida) en radiación visible o reconvirtiendo radiación verde en roja, que es más eficiente para el proceso fotosintético (De Salvador *et al.*, 2008)

El empleo de NP's de óxido de zinc se utiliza para mejorar las propiedades radiométricas como el bloqueo de radiación UV sin afectar la transmisión de la radiación PAR (Espejo *et al.*, 2012; El-Bashir *et al.*, 2006).

Las películas NC a base de NP's de óxido de silicio se recomiendan para cubrir invernaderos en zonas templadas, debido que tienen buena transmisión de la radiación IR y evitan la pérdida de calor ya que no deja que se escape la radiación FIR (El-Bashir *et al.*, 2006).

2.5 Otros aditivos para efectos especiales.

El efecto antigoteo y antiplaga son propiedades específicas, para condiciones medio ambientales particulares. También es posible encontrar películas para cubierta con acción anti-bloqueo, evitando que la película se pegue entre sí al estar en contacto.

Las películas con aditivos antigoteo están modificadas superficialmente para aumentar la capacidad de absorber humedad, condensando el agua en forma de lámina continua transparente y no en forma de gotas aisladas. Aumentan la transmisión de la radiación PAR hasta en un 30%, por lo que su efecto es generalmente positivo para la mayoría de los cultivos, a su vez favorecen el bloqueo de la radiación MIR (Espí, 2012).

Se utilizan diferentes estrategias para lograr el efecto anti-bloqueo, una de éstas estrategias es el aumento de rugosidad para disminuir el área de contacto entre las capas mediante la adición de partículas minerales en el polímero o el uso de aditivos de deslizamiento que permite que las hojas se deslizen fácilmente uno contra el otro por moléculas orgánicas que se difunden a la superficie (Zilles, 2014).

Las películas con efecto antiplaga basan su modo de acción en el bloqueo de la transmisión de radiación ultravioleta (290-380 nm) al interior del invernadero. Este proceso dificulta, ralentiza o disminuye el desarrollo de plagas o enfermedades causadas por hongos o por virus transmitidos por insectos que por algún motivo sean sensibles a la disminución o ausencia de este tipo de radiación (Espí, 2012).

2.6 Ventajas de las películas nanoestructuradas en los cultivos protegidos.

La cantidad de experimentos sobre el comportamiento de cultivos bajo condiciones protegidas donde se evalúen películas para cubierta nanoestructuradas y/o nanocompuesta son escasos.

Contreras *et al* (2012), concluyen que la adición del 0.1% de nanopartículas de óxido de zinc y pigmentos difusores durante la fabricación de cubierta de PE para invernadero, mejoran el microclima y el rendimiento del cultivo de pepino.

2.7 Desventajas de las películas nanoestructuradas en los cultivos protegidos.

El uso de NC's o de NP's en la fabricación de cubiertas plásticas con aplicación en invernaderos y túneles, encarece los costos de inversión, debido a que los aditivos para mejorar las propiedades mecánicas o radiométricas de las películas utilizan procesos demasiado complejos y además de que la cantidad de materia prima utilizada puede ser hasta de un 1.5% del peso total de la película ya manufacturada.

La utilización de nanopartículas de óxido de zinc y de aminas impedidas (HALS) para la mejorar la propiedades radiométricas del LDPE, cómo lo es la transmisión de la radiación PAR, presenta un efecto negativo sobre el rendimiento del cultivo de pepino, a pesar de presentar un 80% de transmisión (Contreras *et al*, 2012).

Una cuestión importante de mencionar es el reciclado de las películas nanoestructuradas, debido a que el comportamiento de las NP's con el medio ambiente son totalmente diferentes a las

condiciones de invernadero; para ello es necesario hacer pruebas para ver el impacto de estas películas en el medio ambiente (Nowack, 2012).

2.8 Efecto de las películas nanoestructuradas en los cultivos hortícolas.

El uso de nano óxido de antimonio y estaño presenta buenas propiedades como bloqueador de la radiación NIR. Esta tecnología permite que la temperatura durante el día no sea tan extrema, lo cual puede afectar los procesos fisiológicos de los cultivos; además de que presenta una buena transmisión de la radiación PAR, lo que se refleja en los rendimientos de los cultivos. Los nanos óxidos de antimonio y estaño se pueden utilizar como dispersores de otros aditivos como carbonato de calcio, óxido de bario, entre otros; esto con el fin de distribuir mejor dichos aditivos (Van Aken, 2012).

La mezcla de NP's de óxido de zinc con pigmentos difusores influyen positivamente en el rendimiento del cultivo de pepino, como resultado de mejorar las condiciones micro climáticas dentro del invernadero (Contreras et al., 2012).

3.- Estado actual del conocimiento

Baheti and Militky (2013) proponen el uso de nanocelulosa para el refuerzo de películas para acolchado de suelos, teniendo efectos benéficos sobre las propiedades térmicas. Dichas propiedades son la baja transición de la temperatura en la película ya fabricada, y que además la temperatura de mezclado de los pellets y las NP's no se ve afectada; Mejorando consigo las propiedades mecánicas debido a la formación de puentes de hidrogeno con la matriz de Alcohol Polivinílico (PVA) por efecto de la adicción de 5% de nanocelulosa a la mezcla.

El utilizar nanocompuestos a base de nanotubos de carbono (MWCNT's) como aditivos para la estabilizar las películas de HDPE a la radiación UV, además de impedir dicha degradación, mejora las propiedades mecánicas como la resistencia a la tensión y al esfuerzo; caso contrario de la poca estabilidad a la radiación UV que ofrecen la nanocompuestos de óxido de silicio y nanoarcilla (Grigoriadou et al., 2011).

Los NC's de poliacrilamida dopados con dióxido de titanio son útiles para formular películas plásticas de LDPE para acolchado de suelo, debido a que éste nanocompuesto se degrada con el paso del tiempo por efecto de la radiación UV particularmente en el espectro de los 387 nm, debido a que el dióxido de titanio produce electrones y protones que provocan un proceso foto catalítico de degradación que hace que el agua que es atraída por la poliacrilamida se disocie en especies reactivas como el ión oxígeno e hidroxilos. El beneficio del uso de estos NC's, es que acorta las cadenas de los polímeros, convirtiéndolos en pequeñas cadenas no ramificadas que pueden ser asimiladas por los microorganismos (Liang et al., 2013).

El empleo de NP's de dióxido de titanio, óxido de zinc y óxido de silicio para la formulación de películas para invernadero nanoestructuradas a base de LLDPE y EBA son útiles para aplicaciones especiales bajo condiciones particulares medio ambientales de la región donde se establezcan los invernaderos o macrotúneles. Las películas NC's con dióxido de titanio son las más efectivas para bloquear la radiación UV pero presentan el inconveniente de la dispersión de las NP's en la matriz del LLDPE debido a su tamaño, por lo que impide la transmisión de la radiación visible, volviendo opacas las películas; los óxidos de silicio proveen buena transmisión de PAR pero no son útiles para bloquear la radiación UV; siendo el óxido de zinc el que reúne ambas características de bloqueo de radiación UV sin afectar la transmisión de la otra parte del espectro radiación visible (Espejo et al., 2012).

El dióxido de titanio nanoestructurado en forma de tubos es utilizado como descontaminante de p-nitrofenol, el cual presenta efectos significativos sobre la degradación de dicho contaminante a productos que no representan un peligro al medio ambiente. El uso potencial de nanotubos de dióxido de titanio sería en la fabricación de películas para invernadero, en el cual su función sería evitar la degradación de la película por el uso continuo de pesticidas dentro del invernadero (López et al., 2011).

El desarrollo de películas NC's con acción antimicrobiana fueron estudiados por Chinkamonthong et al. (2012), cuyo trabajo sugiere que al utilizar NP's de plata en la mezcla con pellets de LLDPE Y PVC para la extrusión de películas, se presenta un efecto antimicrobiano sobre *E. coli*, teniendo los mejores resultados las películas a base de PVC debido que reducen hasta en un 99.9% las poblaciones de *E. coli*, además de

que no se ven afectadas las propiedades ópticas de la película por efecto de las nanopartículas de plata, pero si sus propiedades mecánicas ya que se vuelven más frágiles.

Las películas para invernadero con acción fotoselectiva son de gran importancia para incrementar la transmisión PAR y que además proporciona un bloqueo del espectro radiativo que los cultivos no necesitan para su proceso fotosintético o simplemente para evitar daños por exceso de radiación. Para este fin se utilizan colorantes o pigmentos master-batch de tamaños nanométricos para asegurar una distribución uniforme en la matriz polimérica del plástico, mejorando así las propiedades ópticas de la película (Russo *et al.*, 2013).

Las películas NC's con diferentes nanoóxidos fueron evaluadas por El-Bashir *et al.* (2006), para ver su comportamiento en el espectro radiativo, teniendo como resultados que las NP's de óxido de zinc ofrecen las mejores propiedades espectrales ya son totalmente transparentes a la PAR y que además presentan buena resistencia a la fotodegradación y termodegradación, siendo una buena opción como aditivo para la fabricación de películas para cubrir invernaderos en regiones calurosas. También concluyeron que las películas NC's con óxidos de silicio se recomiendan para cubrir invernaderos en zonas templadas, debido que tienen buena transmisión del Infrarrojo (IR) y evitan la pérdida de calor ya que no deja que se escape la radiación Infrarroja Lejana (FAR).

El uso de NP's de arcilla para la fabricación de películas NC's de LDPE, son de gran utilidad debido a que disminuyen los efectos de la fotodegradación y además mejoran las propiedades mecánicas como la resistencia a la tensión sin afectar las

propiedades ópticas que ofrece una película tradicional de LPDE (Dintcheva *et al.*, 2012).

Un NC de arcilla-con nanotubos de carbono fue probado por Gorrasi *et al.* (2013) en películas de de Poli ácido láctico (PLA), para mejorar la resistencia a la fotodegradación por efecto de la radiación UV, a la vez se mejoraron las propiedades mecánicas, térmicas y eléctricas de las películas en comparación con la película de PLA normal sin aditivos. La utilidad de este ensayo va encaminado al desarrollo de acolchados fotodegradables de larga duración, los cuales pueden ser útiles por más ciclos de cultivo.

La adicción de NP's de Cobre a la mezcla para fabricar películas NC de HDPE, mejoran sus propiedades mecánicas y de estabilización a la radiación UV. Este efecto se consigue gracias a que las NP's de Cobre se mezclan con la matriz polimérica del HDPE, disminuyendo la formación de radicales libres por efecto de la radiación UV que afectan la estructura de la película (Grigariadou *et al.*, 2013). Este avance tecnológico podría permitir que las películas para invernadero sean más resistentes a la fotodegradación, también tiene un uso potencial en la fabricación de componentes de sistemas de riego, como las mangueras, recipientes hidropónicos, goteros, entre muchos otros que están expuestos a la radiación UV.

La tendencia de las modificaciones de las películas para invernadero se enfoca en la mejora de las propiedades mecánicas y radiométricas. Se busca que las películas presenten mejor resistencia al rasgado y a la tensión, y también que sean más duraderas para se investigan nuevas formulaciones capaz de proteger a las películas de los efectos de la radiación UV. También se estudia el comportamiento de la adicción de NP's

sobre modificación del espectro de luz que incide sobre los cultivos, ejemplo de ello es el bloqueo de la radiación UV pero sin afectar la transmitancia de la radiación PAR mediante el empleo de NP's de óxido de zinc.

Respecto a los acolchados plásticos las investigaciones más recientes se encaminan a la formulación de películas degradables mediante el empleo de algunos NC's como la nanocelulosa y los MCWNT's, los cuales son adicionados en una matriz polimérica de origen natural o renovable.

4.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El desarrollo de esta revisión va enfocado a la búsqueda de nuevos desarrollos nanotecnológicos en los materiales plásticos con aplicación en el ámbito de la agricultura protegida, para optimizar los rendimientos y la calidad de los frutos y así obtener mayores ingresos económicos.

El avance en nuevas formulaciones de películas plásticas con apoyo de la nanotecnología, han hecho posible el mejorar las propiedades mecánicas y radiométricas de las películas utilizadas como cubiertas de invernaderos y túneles.

El uso de nuevas películas nanoestructuradas estaría en el camino para hacer la agricultura protegida más sustentable, debido a que con la inclusión de NP's o NC's es posible utilizar menos insumos para producir películas con propiedades mecánicas y radiométricas mejores en comparación a las tradicionales. Con ello se busca que el tiempo de uso de las películas se incremente, a la vez que se optimiza el uso de materiales plásticos.

Se recomienda estudiar las condiciones medio ambientales existentes en la zona donde se establecerá el cultivo, tales como temperatura, humedad relativa, precipitación anual, velocidad del viento, latitud, altitud cantidad de radiación solar, entre otros; para tomar la mejor decisión para elegir cuales serán los aditivos (de preferencia NP's o NC's) que serán necesarios que estén en la matriz del película.

El buen desarrollo de los cultivos estará en función de la correcta elección de la estructura y la cubierta plástica, para ello es importante revisar las condiciones de la zona para así obtener el mayor rendimiento posible de nuestro cultivo.

5.- ÁREAS DE OPORTUNIDAD

El desarrollo de nuevas películas plásticas con aplicación en la agricultura, teniendo como base tecnológica el uso de NP's o NC's las cuales al ser utilizadas mejoran las propiedades mecánicas o radiométricas de las películas tradicionales optimizando con esto el uso de los materiales plásticos.

Implementación de películas nanoestructuradas con aplicaciones específicas en función de las condiciones medio ambientales predominantes en una región específica. Con ello se buscará utilizar formulaciones plásticas para contrarrestar los efectos de las condiciones de la zona agrícola de importancia.

Las áreas del país con horticultura protegida de importancia económica serían las zonas donde se buscaría implementar este tipo de desarrollos tecnológicos, para después migrar a otras zonas de México con potencial para el desarrollo de la horticultura protegida.

Es importante tomar en cuenta los desarrollos tecnológicos que se han hecho para la formulación de nuevas películas plásticas con aplicación en invernaderos y acolchado de suelos. Ya que estos inventos pueden ser de gran utilidad para incrementar la productividad de los cultivos hortícolas.

6. - REFERENCIAS

- Ali M., Rehman I., Rehman I., Iqbal A., Din S., Rao A., Latif A., Samiullah T., Azam S. and Husnain T (2014). Nanotechnology, a new frontier in Agriculture. International Journal Advancements in Life Sciences. 1(3). Pp. 129-138.
- Alsadon A., Al Helal I., Ibrahim A., Abdel-Ghany A., Al-Zaharani S. and Ashour T (2016). The effects of plastic greenhose covering on cucumber (*Cucumis sativus* L.) growth. Ecological engineering. 87. Pp. 305-312.
- Andrady L.A and Neal M. A (2009). Applications and societal benefits of plastics. Philosophical Transactions of The Royal Society B. 364. Pp 1977-1984.
- Baheti V. and Militky J (2013). Reinforcement of wet milled jute nano/micro particles in polyvinyl alcohol films. Fiber and polymers. 14(1). Pp 133-137
- Briassoulis D., Babou E., Hiskakis M., Scarascia G., Picuno P., Guardie D. and Dejean C (2013). Review, mapping and analysis of the agricultural plastic waste generation and consolidation in Europe. Waste Management and Research. 31(12). Pp 1262-1278.
- Briassoulis O., Waaijenberg D., Grataud J. and Von Elsner B (1997). Mechanical properties of covering materials for greenhouse. Part 2: Quality Assesment. Journal Agricultural Engineering Research. 67. Pp 171-217.
- Castilla N (2005). Invernaderos de plástico, tecnología y manejo. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España.

- Chinkamonthong R., Kositchaiyong A. and Sombatsompop N (2012). Effects of thermal and UV aging on antibacterial properties of linear low-density polyethylene and poly(vinyl chloride) films containing nano-silver colloid. *Journal of Plastic Film & Sheeting*. 29(2). Pp 44-162.
- Chrissafis K., Praskevopoulos K., Pavlidou E. and Bikaris D (2009). Thermal degradation mechanism of HDPE nanocomposites containing fumed silica nanoparticles. *Thermochimica Acta*. 485. Pp. 65-71.
- Contreras A., Arellano-García M., Quezada M., Morales G. and Munguía-López J (2012). Formulation of Nano-Structured Films for Greenhouse and Their Effect on Microclimate and Cucumber (*Cucumis sativus* L.) Development and Productivity. In: *Proceedings of the International CIPA Conference 2012 on Plasticulture for a Green Planet*. ISBN 978 94 6261 000 2.
- De Oliveira J. L., Ramos E. V., Bakshi M., Abhilash P. C. and Fernandes L (2014). Application of nanotechnology for the encapsulation of botanical insecticides for sustainable agriculture: Prospects and promises. *Biotechnology Advances*. 32. Pp. 1550-1561.
- De salvador F., Scarascia G., Vox G., Schettini E., Mastrorilli M. and Bou Juadé M (2008). Innovative Photosensitive and Photoluminescent Plastic Films for Protected Cultivation. *Acta Horticulturae*. 80. Pp 115-121.
- Díaz T., Espí E., Fontecha A., Jiménez J. C., López J, y Salmeron A (2001). *Los filmes plásticos en la producción agrícola*. Editorial Repsol. Mundi-Prensa. Madrid, España
- Dintcheva N., Alessi S., Arrigo R., Przybytniak G. and Spadaro G (2012). Influence Of the e-beam irradiation and photo-

oxidation aging on the structure and properties of LDPE-OMMT nanocomposite films. Radiation Physics and Chemistry. 81. Pp.432-435.

Ditta A (2012). How helpful is nanotechnology in agriculture?. Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology. 3. 10 p.

El-Bashir S.M., Al-Harbi F. F., Elburaih H., Al-Faifi F., Yahia L. S (2016). Red photoluminescent PMMA nanohybrid films for modifying the spectral distribution of solar radiation inside greenhouses. Renewable energy. 85. Pp 928-938

Espejo C., Arribas A., Monzó F. and Díez P.P (2012). Nanocomposites films with enhanced radiometric properties for greenhouse covering applications. Journal of Plastic Film & Sheeting. 28(4). Pp.356-350.

Espí E (2012). Materiales de cubierta para invernaderos. In: CUADERNOS DE ESTUDIOS AGROALIMENTARIOS. Pp. 71-88. ISSN 2173-756.

Espí E., Salmerón A., Fontecha A., García Y. and Real A. I (2006).Plastics films for agricultural applications. Journal of plastic Film & sheeting. 22. Pp.85-102.

Gorrasi G., Milone C., Piperopoulos E., Lanza M. and Sorrentino A (2013). Hybrid clay mineral-carbon nanotube-PLA nanocomposite films; Preparation and photodegradation effect on their mechanical, thermal and electrical properties. Applied Clay Science. 71. 49-54.

Grigoriadou I., Paraskevopoulos K. M., Chrissafis K., Pavlidou E., Stamkopoulos T. G. and Bikiaris D (2011). Effect of

different nanoparticles on HDPE UV stability. *Polymer Degradation and Stability*. 96. Pp 151-163

Grigoriadou I., Paraskevopoulos K. M., Karavasili M., Karagiannis G., Vasileiou A. and Bikiaris D (2013). HDPE/CU-nanofiber nanocomposites with enhanced mechanical and UV stability properties. *Composites: Part B*. 55. Pp 407-420.

Gulrez S., Abdel-Ghany A. M., Al-Helal I. M, Al-Zaharani S. M. and Alsadon A. A (2013). Evaluation of PE Films Having NIR-Reflective Additives for Greenhouse Applications in Arid Regions. *Advances in Materials Science and Engineering*. 8 p.

Hevia R., Pérez R., Hernández A y Céspedes A (2009). Nanotecnología: desarrollo y estado actual del conocimiento. *Anuario Científico CECMED*. Pp 5-15.

Hopewell J., Dvorak R. and Koisor E (2009). Plastics recycling: challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of The Royal Society B*. 364. Pp 2115-2126

Huang S., Wang L., Liu L., Hou Y. and Li L. (2014). Nanotechnology in agricultura, livestock, and aquaculture in China. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 35(2). Pp 369-400.

Joseph T. and Morrison M (2006). Nanotechnology in agriculature and food. In: *Nanoforum of European Nanotechnology Gateway 2006*. Institute of Nanotechnology. www.nanoforum.org

Khot L. R., Sankaran S., Maja J. M., Ehsani R. and Schuster E. W (2012). Applications of nanomaterials in agricultural production and crop protection: a review. *Crop Protection*.35. pp 64-70.

- Kumar A. P., Depan D., Tomer N. S. and Singh R. P (2009). Nanoscale particles for polymer degradation and stabilization-trends and future perspectives. *Progress in Polymer Science*. 34. Pp 479-515
- Lamnatou C. and Chemisana D (2013). Solar radiation manipulations and their role in greenhouse claddings: Fresnel lenses, NIR and U-blocking materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 18. Pp. 271-287.
- Lamont, W (1993). Plastic mulches for the production of vegetable crops. *HortTechnology*. 3. Pp. 35-39.
- Lamont W (2005). Plastics: modifying the microclimate for the production of vegetable crops. *HortTechnology*. 15. Pp. 477-481.
- Laverde G (2002). Agricultural films: types and applications. *Journal of Plastic film & sheeting*. 18. Pp 269-277.
- Liang W., Luo Y., Song S., Dong X. and You X (2013). High photocatalytic degradation activity of polyethylene containing polyacrylamide grafted TiO₂. *Polymer Degradation and Stability*. 98. Pp 1754-1761
- López D., Lozada W., Blanco S., Durán G., Madriz L. y Vargas R (2011). Fotocatálisis de p-nitrofenol sobre películas de TiO₂ nanoestructurado. *Avances en Ciencias e Ingeniería*. 2(4). Pp. 47-58.
- Maniar K (2004). Polymeric Nanocomposites: A Review. *Polymer Plastics Technology and Engineering*. 43(2). Pp 427-443.
- Medina E., García C. y Ruelas R (2011). NANOTECNOLOGÍA Y NANOENCAPSULACIÓN DE PLAGUICIDAS. *Revista de sociedad, cultura y desarrollo sustentable*. 6 (1). Pp 63-67.

- Moreno A., Aguilar J. and Luévano A (2011). Características de la agricultura protegida y su entorno en México. Revista Mexicana de Agronegocios. 15 (29). Pp. 763-774.
- Nowack B (2012). Potential scenarios for nanomaterials release and subsequent alterations in the environment. Environmental Toxicology and Chemistry. 31(1). Pp. 50-59.
- Paul N., Jacobson R. J., Taylor A., Wargent J. J. and Moore J. P (2005). The use of wavelength-selective plastic cladding materials in horticulture: understanding of crop and fungal responses through the assessment of biological spectral weighting functions. Photochemistry and Photobiology. 81. Pp 1052-1060.
- Picuno P (2014). Innovative material and improved technical design for a sustainable exploitation of agricultural plastic film. Polymer Plastics Technology and Engineering. 53. Pp. 1000-1011.
- PlasticsEurope 2008. The compelling facts about plastics, analysis of plastics production, demand and recovery for 2006 in Europe, January 2008. Belgium: PlasticsEurope.
- PlasticsEurope (2015). PlasticsEurope, 23 de Octubre de 2015. www.plasticseurope.org/
- Rakesh M., Dlvya T. N., Vishal T. and Shallnl K (2015). Applications of nanotechnology. Journal of Nanomedicine & Biotherapeutic Discovery. 5(1). 5p.
- Russo P., Acierno D., Marinucci L., Greco A. and Frigione M (2013). Influence of natural and accelerated weathering on performances of photoselective greenhouse films. Journal of Applied Polymer Science. 127. Pp. 2213-2219.

Schettini E, Vox G, Lucia BD (2007). Effects of the radiometric properties of innovative biodegradable mulching materials on snapdragon cultivation. *Sci Hortic.* 112. Pp. 456-461.

Singh G. and Rattanpal H. S (2014). Use of nanotechnology in Horticulture: A review. *International Journal of Agricultural Sciences and Veterinarinary Medicine.* 2(1). Pp. 34-45.

Van Aken L (2012). Evaluation on Infra-Red Thermal Additives for Greenhouse Film. In: *Proceedings of the International CIPA Conference 2012 on Plasticulture for a Green Planet.* ISBN 978 94 6261 000 2.

Verlodt I. y Verchaeren P (2000). New interference dilm for climate control. *Acta Horticulturae.* 514. Pp 139-146.

Zilles J (2014). Anti-Block Additives. In: *Encyclopedia od Polymers and Composites.* Springer-Verlag. 11 p.

Páginas web consultadas

AMHPAC (2015). www.amhpac.org Consultado el 10 de abril del 2016.

Conde M (2012). Presente-Futuro de la industria del Plástico en México. Pemex Petroquímica. Consultado 28 abril del 2016. <http://www.ptq.pemex.gob.mx/>

SIAP (2015). Atlas Agroalimentario SIAP. Consultado el 10 de Abril del 2016.