CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

MATERIALES PLASTICOS PARA PELICULAS DE ACOLCHADO

CASO DE ESTUDIO

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA

PRESENTA:

GUADALUPE GONZALEZ BACA

SALTILLO, COAHUILA **AGOSTO 2008**

CENTRO DE INFORMACIÓN
03 OCT 2008
RECIBIDO

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

HACE CONSTAR QUE EL CASO DE ESTUDIO TITULADO:

MATERIALES PLASTICOS PARA PELICULAS DE ACOLCHADO

PRESENTADO POR:

ING. GUADALUPE GONZALEZ BACA

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA

HA SIDO DIRIGIDO POR:

M.C SANTIAGO SANCHEZ LOPEZ

SALTILLO, COAHUILA **AGOSTO 2008**

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

HACE CONSTAR QUE EL CASO DE ESTUDIO TITULADO:

MATERIALES PLASTICOS PARA PELICULAS DE ACOLCHADO

QUE PRESENTA:

ING. GUADALUPE GONZALEZ BACA

HA SIDO ACEPTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA

Dr. Guillermo Martínez Colunga
Presidente

M.C. Boanerges Cedeno Rubalcava
Vocal

SALTILLO, COAHUILA 27 DE AGOSTO 2008

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
ÍNDICE DE FIGURAS	i
ÍNDICE DE CUADROS	iii
1. RESUMEN	1
2. INTRODUCCION	3
Objetivo	4
3. PLASTICULTURA	5
Plasticultura en el mundo	5
Principales regiones en donde se usa la plasticultura	6
Consumo y disponibilidad de los plásticos para uso agrícola	6
Historia del plástico	7
4. ACOLCHADO	8
Características y funciones del acolchado	9
Ventajas del acolchado	11
Instalación y requerimiento de la cubierta	13
¿Qué es un plástico?	14
Propiedades Básicas	15
5. MATERIALES UTILIZADOS	17
Polietileno	17
Obtención del Polietileno	17
Clasificación del Polietileno	18
Copolímeros EVA	19
Efecto del contenido AV en las propiedades del copolímero EVA	19
Policloruro de vinilo (PVC)	20
Clasificación del PVC	20
Propiedades del PVC	20
Tipos de Películas	21
Películas Convencionales	21
Películas de Liberación Controlada de Nutrientes	25
Película de Látex	25
Películas Fotoselectivas	26
Películas plásticas Grabadas	29
Acolchado UV Azul	29
Acolchado UV Rojo	30
Acolchado XL Negro (Larga Duración)	30

Acolchado Blanco UV..... 30
Acolchado Metalizado..... 31
Acolchado Bicapa..... 31
Plata/Negro..... 31
Blanco/Negro..... 32
6.PROPIEDADES DE LOS ACOLCHADOS..... 32
Propiedades Radiométricas..... 32
Propiedades ópticas..... 34
Propiedades mecánicas..... 35
Duración..... 35
7. ADITIVOS UTILIZADOS EN LOS PLASTICOS AGRICOLAS..... 37
Aditivos de procesado..... 37
Antioxidantes..... 37
Lubricantes..... 40
Ayudantes de procesado..... 41
Aditivos funcionales..... 41
Estabilizadores UV..... 41
Tipos de estabilizadores UV..... 42
Pigmentos apantallantes de UV..... 43
Desactivadores de estado excitado..... 48
Fotoestabilizantes antioxidantes: Aminas Impedidas..... 49
8. FABRICACION DE PELICULAS..... 51
Extrusión y generalidades..... 51
Maquinas de extrusión..... 51
Cilindro..... 53
Características del husillo..... 53
Huesillos especiales..... 56
Características geométricas de husillo..... 57
Extrusión de película tubular 58
Cabezales de extrusión de películas..... 60
Cabezales de alimentación central..... 61
Cabezales de alimentación lateral..... 62
Cabezales para extruir a dos colores..... 62
9. PLASTICOS DEGRADABLES..... 63
Biodegradable..... 63
Ventajas de un plástico biodegradable..... 64

Beneficios de películas de acolchado degradables con Ciba ENVIROCARE..... 65
Oxo-degradables..... 66
Foto-degradables..... 68
10. RECICLADO DE PLASTICOS..... 68
Tecnología de reciclado..... 69
ESTADO ACTUAL DEL ARTE..... 71
AREAS DE OPORTUNIDAD..... 73
CONCLUSIONES..... 74
RECOMENDACIONES..... 75
BIBLIOGRAFIA..... 76
WEB CITADA..... 79

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Acolchado de esparrago blanco con polímero EVA..... 10

Figura 2. El acolchado de la fresa es una técnica muy extendida y un factor muy importante a la hora de obtener mejores calidades comerciales..... 11

Figura 3. Técnicas de Acolchado..... 13

Figura 4. Estructura del monómero etileno y del polímero (polietileno) resultado de la combinación de "n" monómeros..... 14

Figura 5. Estructura del copolímero EVA resultado de la unión de monómeros de etileno y de acetato de vinilo..... 15

Figura 6. Índice de Fluidez..... 16

Figura 7. Película de Acoclado Negro..... 22

Figura 8. Película de Acolchado Transparente..... 23

Figura 9. Efecto de Solarización..... 24

Figura 10. Película de Acolchado Verde (fotoselectiva)..... 26

Figura 11. Película de Acolchado Rojo con Producción de fresas..... 27

Figura 12. Película de Acolchado Blanco..... 28

Figura 13. Película de Acolchado Metalizado..... 31

Figura 14. Película de Acolchado Bicapa color Blanco/Negro..... 32

Figura 15. Grafica de sensibilidad de las plantas a la fotosíntesis..... 33

Figura 16. Espectro de la radiación solar y efecto sobre el cultivo..... 34

Figura 17. Antioxidantes tipo fosito..... 39

Figura 18. Fotografías de las películas plásticas usadas en el experimento..... 44

Figura 19. Mecanismo de transferencia protónica en el estado excitado de los fotoestabilizantes basados en 1- hidroxibenzofena..... 45

Figura 20. Fotodescomposición de las hidroxibenzofenonas cuando se producen enlaces de hidrógeno intermoleculares..... 46

Figura 21. Estructura de los fotoestabilizantes basados en benzotriazol..... 47

Figura 22. Estructura genérica de los fotoestabilizantes basados en triazina..... 47

Figura 23. Estructura del fotoestabilizante complejo de níquel comercial: Cyasbord UV 1084 (Cytec) o Lowilite Q84 Great Lakes..... 48

Figura 24. Estructura de aminas impedidas (HALS)..... 50

Figura 25. Mecanismo general de actuación de los HALS..... 51

Figura 26. Componentes de una maquina de coextrusion..... 52

Figura 27. Husillo de tres zonas..... 54
Figura 28. Segunda zona de compresión muy corta y la zona de dosificación..... 56
Figura 29. Husillos combinados de diseño especial..... 56
Figura30. Maquina de extrusión para película tubular..... 59
Figura 31. Cabezales de extrusión de películas..... 61

ÍNDECE DE TABLAS

Pág.

Tabla 5.1. Aplicaciones de las distintas láminas de polietileno utilizado para acolchado.. 28

Tabla 5.2 Datos de interés sobre las distintas láminas de polietileno utilizadas para acolchado..... 29

Tabla 6.1. Valores de resistencias mecánicas que deben de tener las películas para acolchado antes de instalarse)..... 35

Tabla 6.2 Factores que influyen en la duración de los plásticos..... 36

Tabla 7.1. Influencia de dióxido de titanio en la fotoestabilidad de una película de polietileno agrícola de baja densidad..... 44

Tabla 8.1. Características generales de las extrusoras para fabricación de película tubular..... 59

1. RESUMEN

El acolchado consiste en la colocación de una lámina plástica sobre el suelo, la ventaja de esta técnica sirve para ahorrar agua, obtener cosechas más precoces y de mayor rendimiento así como de mejor calidad.

La historia de la agricultura intensiva ha estado ligada durante las últimas décadas a los avances de la industria química, tanto en materia de estructuras poliméricas, que mejoran las propiedades mecánicas y ópticas de las películas. Así como en el área de aditivos, que aportan mayores duraciones y permiten combinaciones que satisfacen las necesidades especificas de cada aplicación agrícola.

La evolución de la plasticultura a lo largo de la historia se ha llevado a cabo gracias a las investigaciones que simultáneamente han desarrollado diferentes grupos académicos. Inicialmente se encontraron con un problema fundamental como es la corta vida de los materiales plásticos, gracias a los trabajos de investigación se han mejorado la duración de las películas para acolchado.

En el acolchado se utiliza mayoritariamente películas de polietileno lineal de baja densidad (LLDPE), polietileno de baja densidad (LDPE) y para determinados cultivos de alto valor añadido, copolímero EVA.

Aproximadamente un 80% del acolchado mundial se lleva a cabo con polietilenos lineales del tipo octenos, hexenos y butenos. Ya que cada tipo presenta diferentes características. Los espesores a utilizar en las películas de acolchado varían dependiendo de la región y el tipo de cultivo, así como el uso de diferentes colores en el acolchado

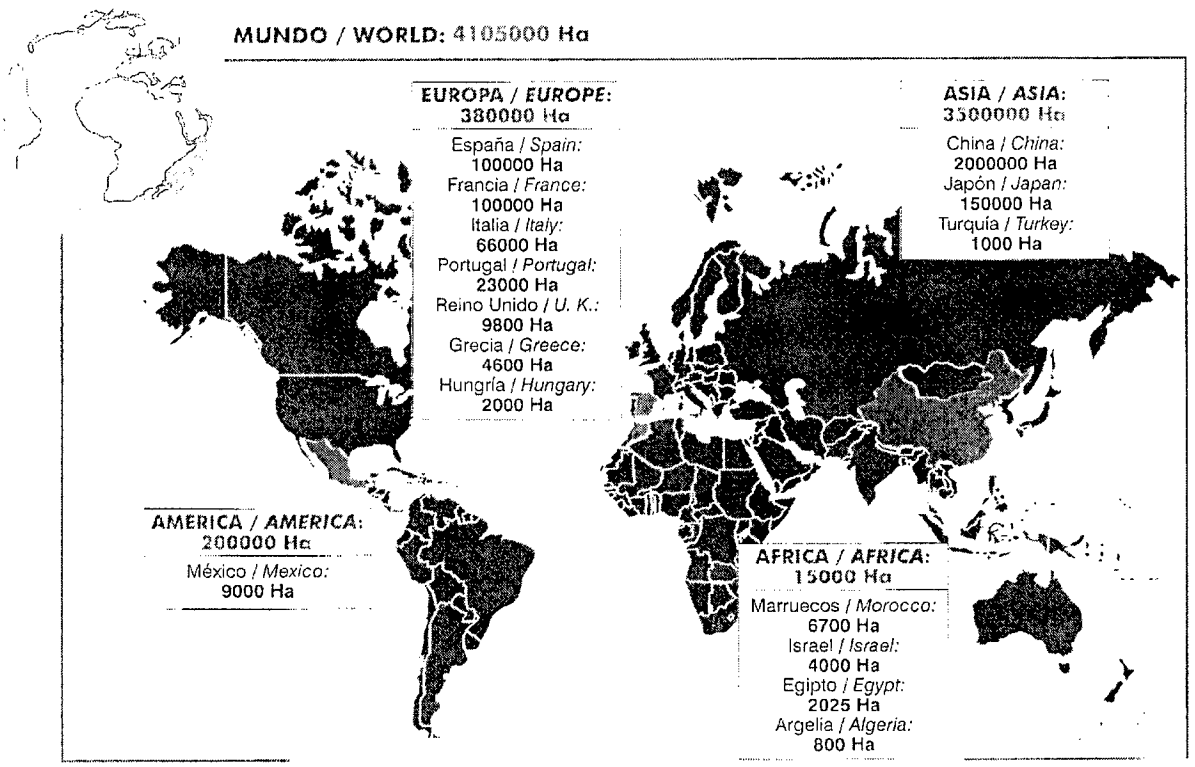
En la década de los ochenta trae consigo una mejora importante en las técnicas de transformación de película introduciendo maquinaria más sofisticada que permite obtener películas multicapa gracias a la coextrusion.

Los plásticos utilizados habitualmente en la industria e incluso en la vida cotidiana son productos con una muy limitada capacidad de autodestrucción, y en consecuencia

quedan durante muchos años como residuos, con la contaminación que ello produce. La mayoría de los plásticos se obtienen a partir de derivados del petróleo, un producto cada vez más caro y escaso. En consecuencia, cada día es más claro que es necesaria la recuperación de los restos plásticos por dos razones principales: La contaminación que provocan y el valor económico que representan.

2. INTRODUCCION

Las explotaciones agrícolas utilizan la técnica de acolchado para ahorrar agua, obtener cosechas más precoces y mayores, de mejor aspecto comercial y estado sanitario (Papaseit, 1997).



El Plástico ha contribuido de manera significativa a la viabilidad económica de los agricultores en todo el mundo, y en 1999 casi 12.14 hectáreas en todo el mundo estaban cubiertos con plástico, con más de 185,000 hectáreas de esos en los Estados Unidos (Takakura, 2004).

Posteriormente, con el uso de plástico en la agricultura, el acolchado de suelos volvió a cobrar auge debido a sus efectos positivos, mayores a los que se obtenían con la utilización de materiales orgánicos. Los plásticos que se emplean para el acolchado de suelos son el polietileno (PE) y el policloruro de vinilo (PVC)

En México, un gran interés ha venido teniendo el acolchado con plásticos hechos a base de PE. El interés tendría que ir en aumento debido a la creciente necesidad de optimizar los recursos agua, suelo, planta, nutrientes, etc., conseguible mediante la cobertura plástica del suelo.

La técnica del acolchado con materiales plásticos tuvo un desarrollo paralelo al de la horticultura protegida en la Argentina. Comenzó en la década del 70 y actualmente está generalizado su uso. En nuestro país se han realizado estudios sobre el efecto de los acolchados plásticos con respecto a las temperaturas en la productividad de melón, en maíz dulce y tomate, encontrándose en todos estos casos ventajosos su uso, en términos de productividad agronómica en época fría, por mayor precocidad y rendimiento.

Objetivo:

- Recopilar información de los materiales plásticos utilizados para acolchado así como los beneficios agronómicos que se pueden obtener mediante esta técnica.

3. Plasticultura

La plasticultura se define como un conjunto de tecnologías de avanzada que se concretan en la utilización de materiales plásticos en la agricultura, algunas estimaciones a nivel mundial realizadas por Jean Pierre Jounet y su equipo de París confirman que la mayor parte de plástico se usa en invernaderos, acolchado y microtúneles, (CIDAPA, 2002).

El descubrimiento y desarrollo de las poliolefinas a finales de los años 30, y su introducción en los 50 en el sector agrícola utilizándose como tutores, acolchados, cubiertas flotantes, invernaderos y en los sistemas de riego, revolucionaron la producción de diferentes cultivos y dio comienzo a la llamada "plasticultura"(López *et al.*, 2007).

La plasticultura, permite al agricultor controlar las distintas variables ambientales (temperatura, humedad, vientos, disponibilidad de agua, radiación solar, plagas, etc.) que inciden sobre los cultivos. Con ello el agricultor puede ofrecer productos de excelente calidad a precios competitivos en cualquier época del año. Sin embargo esta técnica presenta una serie de desventajas ecológicas, es por eso que hoy en día existe una solución adecuada para el aprovechamiento y/o eliminación de materiales plásticos generados tras cada cosecha mediante el reciclado y la elaboración de películas especiales para degradarse en el tiempo que tarda el ciclo del cultivo (López *et al.*, 2007).

Plasticultura en el Mundo

No es ninguna exageración afirmar que la proliferación del uso de materiales plásticos ha sido espectacular, en todos los países de la tierra, desde inicios de los años sesenta. Puede afirmarse asimismo, sin riesgo de error, que todos los sectores productivos se vienen beneficiando del mejor conocimiento y del desarrollo de técnicas relacionadas con los plásticos. No podía ser menos el sector agrario, donde su uso generalizado ha justificado que llegue a acuñarse un nuevo término, el de *plasticultura*, para hacer referencia a la aplicación de los plásticos a las diversas prácticas agrícolas. A título de ejemplo, considérese cómo los plásticos están sustituyendo a otros materiales que

anteriormente eran casi universalmente empleados en las redes de distribución de agua, en las cañerías para avenamiento y desalinización de suelos, y en la impermeabilización de canales y embalses. También, es un hecho que los procesos de post-recolección y de post-cosecha han experimentado notables reformas, tanto cualitativas como cuantitativas, gracias a la disponibilidad de materiales plásticos (López *et al.*, 2007).

El desarrollo del sector agrícola, y en particular del hortícola, se basa en su carácter intensivo, en el aumento de los rendimientos y en la tecnología aplicada. Las principales técnicas de agroplasticultura que se utilizan en México son el acolchado de suelos, invernaderos y riego por goteo, adicionando el fertirriego en todas las técnicas.

Principales regiones en donde se usa la Plasticultura

En México la región que utiliza la mayor área de acolchado de suelos es la del Pacífico Norte, con cultivos hortícolas, donde sobresalen el tomate, el melón, los chiles y los pepinos; en esta región se estima una superficie de 15,000 a 20,000 hectáreas, seguido por la región del bajío en los estados de Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Colima y Morelos.

La superficie total de acolchado en México se estima en 50,000 a 60,000 hectáreas, principalmente en los cultivos hortícolas. Los beneficios más importantes del acolchado son: incremento de un 20 a 100% en los rendimientos, dependiendo del cultivo y la región, ahorro de agua entre un 30 a 70%, control total de malezas en la parte acolchada y precocidad de hasta 15 días a inicio de cosecha, entre otros.

Por otro lado, el uso de invernaderos se dio inicialmente para la producción de flores. Las principales entidades federativas en donde existen invernaderos para la producción de flores son: Estado de México, Morelos, Puebla, Michoacán y Colima. (Quezada, 2005)

Consumo y disponibilidad de los plásticos para uso agrícola

El volumen mayor de plástico usado en las técnicas de agroplasticultura en México es en la cinta de riego por goteo y accesorios para riego, seguido por el plástico para

acolchado de suelos, y después el plástico para cubierta de invernadero, utilizándose miles de toneladas por año principalmente de polietileno de baja y alta densidad (LDPE y HDPE).

Sin embargo, un porcentaje muy alto de estos materiales no son formulados ni procesados en México, y de los que son procesados aquí, parte de la materia prima no es de origen nacional.

Esto es por varias causas, entre ellas, la industria nacional no tiene tecnologías propias de procesos y productos, la calidad de la materia prima (resina de polietileno de baja densidad y lineal) y de los materiales procesados, no es la adecuada o no se dispone de ellos, además de que las normas de calidad para los diferentes materiales no se han modificado, aunque actualmente ANIPAC (Asociación Nacional de Industrias del Plástico A.C.) ha estado trabajando en la revisión y adecuación de las normas para varios materiales para uso agrícola.

Es necesario que la industria del plástico agrícola en México invierta definitivamente en investigación y desarrollo de tecnología propia, de nuevos productos y procesos, y haga lo necesario para ganar mercado y sustituir importaciones (Quezada, 2005).

Historia del plástico

En el siglo XIX se usaban materiales plásticos de origen natural, como el látex y el caucho. También se obtenía plástico a partir de celulosa de algodón, cáscara de avena, semillas y derivados del almidón y carbón. Estas materias primas se extraían de la naturaleza, pero el suministro era limitado, por lo que fue necesario buscar nuevos materiales.

Los plásticos sintéticos aparecieron en 1863, en los Estados Unidos, cuando la empresa fabricante de bolas de billar Pheland y Collander ofreció una recompensa de 10,000 dólares a quien encontrara un material que permitiera fabricar bolas de billar más ligeras que las de marfil. El inventor John Wesley Hyatt propuso un tipo de plástico

elaborado con nitrato de celulosa, alcohol y alcanfor, material que patentó con el nombre de celuloide. Hyatt no ganó el premio, pero su plástico se utilizó para hacer placas dentales y cuellos de camisas. Este episodio inició la carrera por obtener un material plástico sintético con mejores propiedades.

Leo Hendrik Baekeland desarrolló en 1906 una resina sintética a partir de fenol y formaldehído, que patentó con el nombre de baquelita. En 1920, el químico alemán Hermann Staudinger demostró que los plásticos se componían de moléculas gigantes, a las que se llamó macromoléculas. A partir de entonces se iniciaron numerosas investigaciones dedicadas a encontrar nuevos materiales para elaborar plásticos, lo que permitió grandes avances en esta área.

Entre 1920 y 1930 se producen nuevos plásticos como el etanoato de celulosa, utilizado para producir resinas y fibras; el cloruro de polivinilo (PVC), empleado en tuberías y recubrimientos de vinilo, y el plexiglás, usado para elaborar gafas y cubiertas para focos del alumbrado público. En esta década surge también el famoso nylon empleado, entre otras cosas, en la fabricación de medias femeninas. El polietileno fue desarrollado en 1953 por el químico alemán Karl Ziegler. Un año después el italiano Giulio Natta sintetizó el polipropileno, ambos plásticos se usan mucho en la actualidad para fabricar bolsas y envolturas (Medina, 2005).

4. ACOLCHADO

La técnica del acolchado consiste en la colocación de una lámina plástica sobre el suelo. Estas películas plásticas proporcionan numerosas ventajas, que influyen notoriamente en:

- Mantenimiento de la humedad del suelo, al disminuir la evaporación desde el mismo.
- Mejora las condiciones térmicas del sistema radicular de la planta.

- Reducción del lavado de elementos fertilizantes del suelo tan necesarios para el desarrollo vegetativo de las plantas, ayudando a una mayor optimación de los abonos utilizados.
- Protección de los frutos del contacto con el suelo aumentando con ello su calidad comercial (Relf y McDaniel, 2004).

Características y Funciones del Acolchado

La instalación de una cubierta plástica sobre el suelo va a influir de diversas formas en el cultivo.

1. *Efectos sobre la humedad del suelo:* Las poliolefinas son materiales impermeables al vapor de agua. Este hecho impide la evaporación del agua del suelo, beneficiándose las plantas de una alimentación constante y regular independientemente de la climatología externa. Gracias a esta técnica se aprovecha de manera eficiente el agua de riego y la utilización de abonos. Tierras que eran tradicionalmente de secano se han podido reconvertir gracias al acolchado en explotaciones productivas de regadío.

   Si además se utiliza una lámina de plástico negro u opaco para realizar el acolchado, la falta de radiación solar evitara el desarrollo de malas hierbas en el terreno. Estas no compiten así por los recursos hídricos con el cultivo y éste se beneficia de toda el agua aportada.

   Cuando se utiliza un plástico perforado para acolchado se pierde ligeramente agua por evaporación. Estas pérdidas son, de cualquier forma, en la mayoría de los casos compensadas por la entrada de agua de lluvia al suelo.

2. Efecto sobre la estructura del suelo: El suelo acolchado facilita que las raíces de las plantas encuentren la humedad suficiente a poca profundidad y un suelo bien mullido. De esta forma su sistema radicular se desarrolla más lateralmente que si tuvieran que buscar a mayores profundidades. Con el aumento de raíces se asegura una mayor absorción de agua y nutrientes por la planta que, a su vez, ayudará a obtener mayores rendimientos.

3. Efecto sobre la temperatura del suelo: La mayoría de los plásticos empleados en acolchados consiguen incrementar la temperatura del suelo durante el día. Si además el plástico es transparente, aumentará considerablemente la cantidad de temperatura en el suelo la cual provoca que las plantas tengan una mayor precocidad y desarrollo (fig. 1). La excepción a este hecho la proporciona el plástico blanco y el aluminizado que reflejan la luz. Estos plásticos son utilizados en zonas de radiación solar fuerte y temperaturas elevadas (países tropicales y ecuatoriales). El calentamiento del suelo durante el día se produce porque el plástico transmite a la superficie las calorías recibidas del sol produciendo el ya conocido efecto invernadero. Durante la noche la película detiene en cierto grado la salida de radiación infrarroja larga que irradia la superficie terrestre. Esta salida nocturna de calor será mayor o menor según el tipo de plástico utilizado. Así, el plástico negro es el que peor retiene el calor

Figura 1

4. Efecto sobre el crecimiento de malas hierbas: El desarrollo de malas hierbas bajo la lámina de plástico dependerá del color de la cubierta plástica utilizada. Así, si la cubierta es opaca a las radiaciones solares se puede evitar totalmente el crecimiento de éstas. En cualquier caso, el acolchado, independientemente del color de plástico que se utilice, ayuda a disminuir las hierbas ya que, aunque éstas aparezcan, el plástico acaba por sofocarlas a consecuencia de las altas temperaturas que se originan bajo el mismo. Es aconsejable, no obstante, cuando se emplean plásticos permeables a la luz solar, realizar una limpieza previa del terreno antes de instalar el plástico.

5. Efecto sobre la fertilidad de la tierra: La nitrificación del suelo se ve favorecida por el aumento de su temperatura y humedad. Al encontrarse el suelo más nitrificado la absorción de nitrógeno por la planta es también mayor. Además al estar protegida la superficie por láminas plásticas impermeables al agua, la lluvia no lavará los nutrientes de la tierra.

6. Efecto sobre la calidad de los frutos: El plástico en el acolchado actúa como barrera entre el fruto y la tierra obteniendo así los frutos un aspecto comercial mejor. Es especialmente recomendable la técnica del acolchado para aquellas plantas de frutos rastreros como pueden ser la fresa, el melón, la sandia, etc. (Fig. 2).La técnica del acolchado puede aplicarse a todo tipo de cultivos: de hortalizas, como son el tomate o la berenjena; en plantaciones industriales, como es el algodón o el tabaco; en frutales, como puede ser el parral; en cultivos ornamentales, como la rosa; y en viveros de todo tipo de plantas para asegurar la nascencia de las semillas. (Díaz *et al.*, 2003).

Figura 2

Ventajas económicas del acolchado

Los beneficios del acolchado de suelos con películas plásticas son:

- Producción de cosechas tempranas
- Altas producciones
- Supresión de labores culturales (aporques, deshierbes, etc.)

Producción de cosechas tempranas

Un elemento de gran interés respecto al acolchado con plástico es su uso para adelantar el desarrollo y madurez de cultivos, que pueden ser introducidos al mercado antes que los productos no acolchados. Existen dos ventajas en las cosechas tempranas: que pueden atraer un mejor precio que el usualmente ofrecido por ser producidas antes que la principal estación empiece en el mercado, y en segundo lugar que esto continuamente puede ser considerado de importancia económica por los productores, asegurando su contacto con el comprador y la venta de sus productos en el mercado.

En resumen, la anticipación a cosecha en el plástico varía desde 3 hasta 28 días promedio, dependiendo del cultivo y de la estación de crecimiento (Ibarra y Rodríguez, 1991).

Producción de altos rendimientos

En algunos cultivos el ciclo vegetativo determina el grado de desarrollo de la planta y finalmente el rendimiento producido. Cuando el acolchado plástico es usado en plantaciones tempranas para acelerar el grado de desarrollo de los cultivos, pueden observarse altos rendimientos; en estos casos el rendimiento extra producirá costos extras de labores de cosecha, de empaque, de transporte y acarreo, pero la producción adicional amortizara los costos de inversión (Ibarra, 2001).

Supresión de labores (aporques, deshierbes)

Con la aplicación del acolchado se logran suprimir labores como las escardas y los aporques. Si los objetivos de estas prácticas son la eliminación de las malas hierbas presentes en el cultivo, así como remover la capa superficial del suelo además de acercar tierra a las plantas para contribuir a la aireación del suelo y conservar la humedad, con la barrera que presentan los acolchados plásticos, la maleza no se desarrolla o lo hace en poca medida y al mismo tiempo al evitar la evaporación del agua de riego permite conservar la humedad del suelo evitando que se formen las costras que impiden el buen desarrollo de las raíces (Ilic,1992).

Instalación y requerimientos de la cubierta.

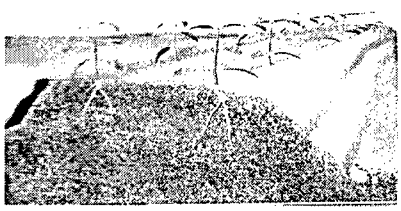
En la instalación de la lámina destinada a acolchado se dispone de diversas técnicas que a su vez se combinan con una amplia gama de plásticos disponibles en el mercado.

El acolchado puede realizarse, dependiendo de las funciones que se busquen en el mismo, como un sistema sin cámara o con cámara tal y como se muestra en la figura 3.

Además, esta técnica se puede aplicar en las modalidades de acolchado total o parcial dependiendo del porcentaje de superficie acolchada. En el caso del acolchado total se suele acolchar toda la superficie, incluidos los caballones de separación entre líneas del cultivo. Así la parcela de cultivo queda totalmente cubierta. En el acolchado parcial se pueden encontrar distintas formas de realizar el recubrimiento del terreno según el acolchado que se realice con o sin cámara.

Sistema sin cámara

- Película opaca sobre el suelo.
- Ausencia de hierbas
- Calentamiento de raíces.
- Retirada problemática
- Adecuado en maíz, fresa, esparrago y hortícolas.
- Sembradoras costosas



Sistema con cámara

- Película transparente que forma una cámara.
- Calentamiento de planta
- Fácil retirada
- Adecuado en algodón, maíz y remolacha.
- Sembradora tradicional
- Solo primeros estadios

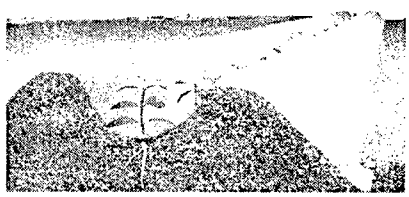


Figura 3

La colocación de los plásticos de acolchado puede realizarse manual o mecánicamente. En la actualidad la modalidad más corriente es la instalación mecánica. Además, en numerosos cultivos se aprovecha la labor de colocación del plástico para

abonar y sembrar el terreno. Así se disminuyen el número de pasadas de maquinaria (Díaz *et al.*, 2003).

En el caso del cultivo de la fresa según la variedad y época del año se requiere un acolchado anterior o posterior a la siembra. En general conviene que el suelo a acolchar se encuentre bien provisto de agua y caliente. Con este fin el terreno se prepara normalmente dándoles las labores profundas y superficiales que precise el tipo de cultivo a sembrar.

En la actualidad existen máquinas que vienen ya preparadas para unificar las tareas de colocación de la película para acolchado, el riego, el abono e incluso sembrar las semillas o plantones (Díaz *et al.*, 2003).

¿Qué es un plástico?

Son materiales sintéticos generalmente compuestos por moléculas orgánicas con un elevado peso molecular conocido como monómeros. Los monómeros reaccionan entre ellos en un proceso llamado polimerización como resultado del cual se obtienen los polímeros, también llamados plásticos.

Teniendo en cuenta el comportamiento de los plásticos, los polímeros se pueden agrupar en dos tipos principales:

- *termofijos*, son polímeros que permiten una sola transformación. Después del ciclo térmico durante el cual se somete el plástico a altas temperaturas y posteriormente se enfría, el plástico adquiere una forma fija que ya no se puede modificar. Este efecto es debido a la transición química que se produce. Algunos ejemplos de Termo fijos son las resinas de Bakelita y Urea.

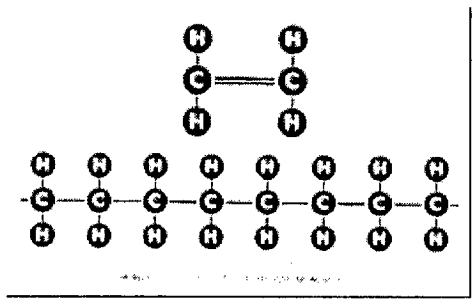


Figura 4

- *Termoplásticos*, son polímeros que pueden ser sometidos a varios ciclos térmicos, así pues se pueden fundir y solidificar tantas veces como se crea conveniente. La mayoría de plásticos agrícolas se encuentran dentro del grupo de las Poliolefinas, son termoplásticos basados en monómeros como por ejemplo el etileno, propileno y el acetato de vinilo (figura 4).

La polimerización de monómeros idénticos da como resultado un homopolímero como por ejemplo el polietileno y el polipropileno.

La polimerización de monómeros distintos da como resultado un copolímero como por ejemplo los EVA, figura 5 (Papaseit *et al.*, 1997).

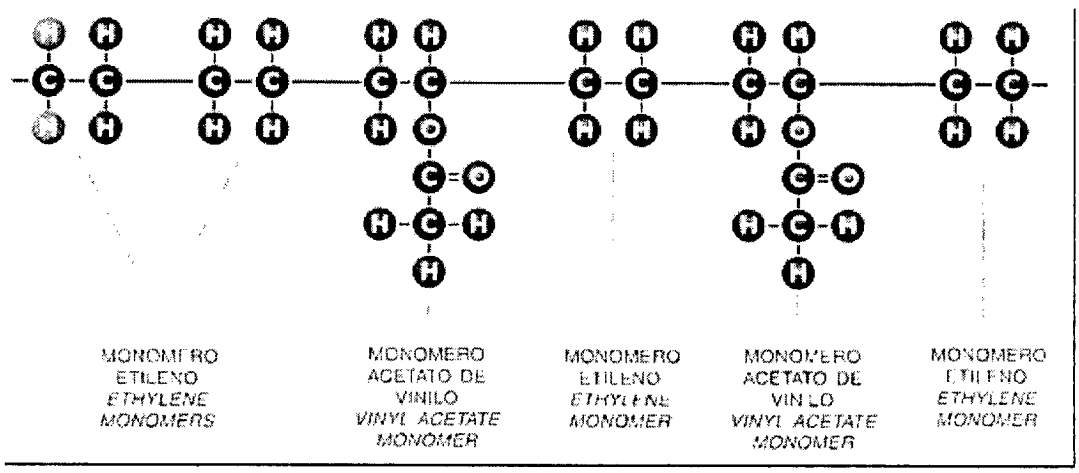


Figura 5

Propiedades Básicas

Las poliolefinas y particularmente el polietileno se caracterizan en función de cuatro parámetros principales:

1. Índice de fluidez
2. Densidad
3. Peso molecular
4. Tipo y contenido en comonómeros

1. ***Índice de fluidez***

El índice de fluidez es una medida de la viscosidad del plástico sometido a unas condiciones estándar. El índice de fluidez de un polietileno está íntimamente relacionado con su peso molecular que corresponde a una alta viscosidad y por tanto a un bajo índice de fluidez.

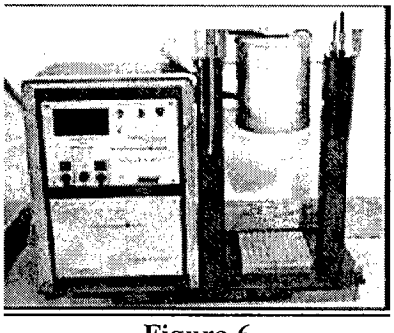


Figura 6

El índice de fluidez es la cantidad del polímero expresado en gramos que pasa por un orificio calibrado bajo unas condiciones específicas de presión y temperatura durante diez minutos. Este índice informa de la procesabilidad del polímero, así como de las futuras propiedades mecánicas y ópticas.

2. ***Densidad***

La densidad corresponde a una valoración de la cristalinidad de los polímeros. La cristalinidad de los polímeros se ve influenciada por el número y longitud de ramificaciones en la cadena del polímero. Cuanto mayor es la cristalinidad del polímero, mayor es también la densidad. La cristalinidad tiene influencia sobre la flexibilidad, permeabilidad y propiedades térmicas del polímero.

3. ***Distribución del Peso Molecular***

La distribución del peso molecular de una indicación de la amplitud de pesos moleculares de las cadenas que constituyen el polímero. Una distribución de pesos moleculares estrecha significa que el polímero está formado por cadenas de longitud muy similar. Una distribución ancha indica que las cadenas son de longitudes diferentes.

4. *Tipo y Contenido en Comonómeros*

Junto al etileno se pueden polimerizar distintos comonómeros. El más frecuente es el acetato de vinilo con el fin de conseguir un copolímero EVA. El contenido de los distintos monómeros a menudo se expresa en porcentaje del peso total, en el caso de los EVA puede llegar a contener un 40% de acetato de vinilo. El contenido en comonómeros afecta a las propiedades mecánicas, ópticas y de soldadura (Papaseit *et a.l,* 1997).

5. MATERIALES UTILIZADOS

Se encuentra en el mercado una amplia gama de películas plásticas o láminas de plástico que son utilizados para el acolchado de suelos. La principal característica diferente de los mismos es su color. Según el color de la película plástica se obtendrán efectos diferentes en los cultivos (López *et al.*, 2007).

Polietileno

El polietileno es una resina termoplástica, semicristalina, perteneciente a la familia de la poliolefinas, que provienen de los hidrocarburos simples. En su estructura contienen átomos de carbono e hidrogeno con dobles enlaces en los carbonos.

Los polietilenos poseen excelentes propiedades eléctricas, una muy buena resistencia química. Son materiales translúcidos, de peso ligero, resistente y flexible. Pueden ser fácilmente distinguidos de otros plásticos debido a que flotan en el agua.

Obtención del polietileno

El polietileno es producido mediante procesos de alta y baja presión usando diversos sistemas catalíticos complejos. Obteniendo como resultados varias familias de polímeros, cada uno con características diferentes de comportamiento y cualidades técnicas.

Clasificación del polietileno

- Polietileno de Baja Densidad (LDPE)
- Polietileno de Alta Densidad (HDPE)
- Polietileno Lineal de Baja Densidad (LLDPE)

Polietileno de Baja Densidad (Low Density Polyethylene, LDPE)

También llamado polietileno ramificado, debido a que algunas veces los carbonos en lugar de tener hidrógenos unidos tienen largas cadenas de polietileno. Este material ofrece una buena resistencia a la corrosión y baja permeabilidad, puede ser usado en aplicaciones donde la resistencia a la corrosión es importante, pero la rigidez, altas temperaturas y fuerza estructural no.

Polietileno de Alta Densidad (High Density polyethylene, HDPE)

Es un material termoplástico parcialmente amorfo y parcialmente cristalino. El grado de cristalinidad depende del peso molecular, de la cantidad de monómero presente y del tratamiento térmico aplicado. El HDPE, representa la parte más amplia de aplicaciones del polietileno. El HDPE ofrece una excelente resistencia al impacto, peso ligero, baja absorción a la humedad y alta fuerza extensible, además de que no es toxico. El proceso de obtención del HDPE se hace mediante la polimerización del etileno a baja presión.

Polietileno Lineal de Baja Densidad (Linear Low Density Polyethylene, LLDPE)

Es un copolímero de etileno/δ-olefina, con una estructura molecular lineal. Es considerado como un material termoplástico duro y resistente que consiste en un soporte lineal con ramificaciones laterales cortas. Las propiedades del LLDPE en el estado fundido y en la parte terminada son funciones del peso molecular, la distribución de pesos moleculares, DPM y de la densidad de la resina. Las resinas lineales de baja densidad, son el crecimiento más rápido de los polietilenos, debido a su penetración el mercado de las películas ofreciendo un balance de rigidez y resistencia. El LLDPE es usado puro en una mezcla rica con LDPE en equipos de extrusión diseñados para optimizar la salida (Enciclopedia del Plástico, 2000).

Sus propiedades mecánicas son superiores a las del LDPE, por lo que se pueden fabricar películas de menores espesores. Sin embargo, su procesabilidad es difícil de moldear, lo que impide la fabricación de grandes anchos estas características hacen que su aplicación en la agricultura se centre en películas para acolchado o en mezclas y coextrusiones con LDPE y EVA como mejorador de propiedades mecánicas (Peacock, 2000).

Copolímeros EVA

Entre los copolímeros de etileno con monómeros polares cabe destacar los copolímeros etileno-acetato de vinilo (EVA) por su utilización en los plásticos agrícolas, aunque también se utilizan otros en menor medida como los etileno-acrilato de butilo (EBA). Los copolímeros EVA utilizados en películas agrícolas suelen presentar contenidos de acetato de vinilo (AV) entre 4% y 18% en peso y son copolímeros al azar.

Efecto del contenido de AV en las propiedades del copolímero EVA

— Reduce la cristalinidad, por lo que

Aumenta:

- La transparencia
- La flexibilidad a bajas temperaturas
- La resistencia al impacto y al desgarro
- La fluencia (creep)
- El coeficiente de fricción
- La permeabilidad a los gases
- La compatibilidad con otros polímeros

Disminuye :

- La turbidez
- La dureza
- La rigidez
- La temperatura de reblandecimiento

— Incrementa la polaridad, por lo que

Aumenta:

- La compatibilidad con aditivos orgánicos y cargas minerales
- La adhesión a substratos polares
- La retención al polvo

Disminuye:

- La resistencia química

En los plásticos agrícolas, el EVA se utiliza en aquellos casos en los que se busca flexibilidad, resistencia al desgarre, mucha transmisión de luz y baja turbidez, pero tiene como limitación la perdida de propiedades mecánicas a altas temperaturas, por lo que es

especialmente apreciado en climas fríos y con poca insolación. Sin embargo, es su efecto termoaislante el que mayor interés despierta (Vasile, 2000).

Policloruro de vinilo (PVC)

El Policloruro de Vinilo (PVC) es un polímero termoplástico resultante de la asociación molecular del monómero Cloruro de Vinilo. Por sí solo es el más inestable de los termoplásticos, pero con aditivos es el más versátil y puede ser sometido a variados procesos para su transformación, lo que le ha hecho ocupar, por su consumo, el segundo lugar mundial detrás del Polietileno.

El PVC puede clasificarse de la siguiente manera:

- ***Por su método de producción:*** Suspensión, Dispersión, Masa, Solución
- ***Peso Molecular:*** Alto, Medio y Bajo
- ***Tipo de monómeros:*** Homopolímeros y Copolímeros
- ***Formulación:*** Rígido y Flexible

Propiedades del PVC

El PVC es un material esencialmente amorfo con porciones sidiotácticas que no constituyen más de 20% del total, generalmente cuenta con grados de cristalinidad menores. La gran polaridad que imparte el átomo de cloro transforma al PVC en un material rígido. Algunos de sus grados aceptan fácilmente diversos plastificantes, modificándolo en flexible y elástico. Esto explica la gran versatilidad que caracteriza a este polímero, empleado para fabricar artículo de gran rigidez y accesorios para tubería, productos semiflexibles como perfiles para persianas y otros muy flexibles como sandalias y películas. El PVC es un polvo blanco, inodoro e insípido, fisiológicamente inofensivo. Tiene un contenido teórico de 57% de cloro, difícilmente inflamable, no arde por sí mismo. La estructura de la partícula a veces es similar a la de una bola de algodón.

El diámetro de la partícula varía dependiendo del proceso de polimerización. Del proceso de suspensión y masa, se obtienen partículas de 80 a 200 micras, por dispersión de 0.2 a 4 micras y por solución de 0.2 micras. La configuración de las partículas de PVC, varía desde esferas no porosas y lisas hasta partículas irregulares y porosas.

El PVC especial para compuestos flexibles, debe poseer suficiente y uniforme porosidad para absorber los plastificantes rápidamente. Para compuestos rígidos, la porosidad es menos importante, debido a que a menor rango se obtiene mayor densidad aparente. Para formular un compuesto de PVC, se requiere escoger la resina conforme a los requerimientos en propiedades físicas finales, como flexibilidad, procesabilidad y aplicación para un producto determinado. La estructura del PVC puede ser comparada con la del Polietileno.

La diferencia radica en que un átomo de hidrógeno de la cadena del Polietileno es sustituido por un átomo de cloro en la molécula de PVC. Este átomo aumenta la atracción entre las cadenas polivinílicas, dando como resultado un polímero rígido y duro (Enciclopedia del Plástico, 2000).

Tipos de Películas

Películas convencionales

Las películas comúnmente utilizadas para acolchar son las negro opaco y las transparentes o incoloras.

a) ***películas negro-opaco.-*** absorben todas las radiaciones solares, luminosas y térmicas, transmitiendo solo parte de estas últimas por conducción a la capa superficial del terreno y por la noche el calor emerge del terreno acolchado más lentamente que cuando se ha recubierto con película transparente o cuando el suelo está desnudo. Debe tenerse en cuenta que en algunos casos la película negra se sobrecalienta debido a que absorbe rayos infrarrojos cortos y el excesivo calor puede quemar las partes vegetales que están en contacto con las películas, así como también una irradiación excesiva puede dañar a las plantas jóvenes recién transplantadas. El efecto más importante que proporciona este tipo de plástico, es la eliminación casi total de malezas debido a su opacidad con respeto a las radiaciones visibles (entre los 300 y 800 nanómetros, nm) impide el crecimiento de malezas, lo que impide una competencia con la planta por agua y nutrimentos (Ibarra y Rodríguez; 1991). Otra ventaja de este plástico es que como la temperatura del suelo durante el día es menor que la causada por el plástico transparente, se

restringe el movimiento ascendente de sales, permitiendo su utilización en zonas con problemas de aguas salinas, su inconveniente es que, como el suelo se calienta poco en el día, durante la noche es mínima la aportación de calor a la planta, exponiéndola mas a los efectos de heladas ya que reduce el calor a la raíz. Entre las propiedades espectrales con que cuenta esta película son: 3.5 % de reflexión, 0.7 % de transmisión y un 95.8% de absorción de la radiación solar (García, 1996).

Figura 7

b) ***<u>película transparente.-</u>*** deja pasar todos los rayos solares de la banda visible y los rayos infrarrojos cortos son absorbida por el terreno, el cual se calienta. El fuerte calentamiento del terreno producido durante el día, se contrasta con un enfriamiento bastante rápido durante la noche o en periodos nublados, esta variación térmica bastante marcada puede influir negativamente sobre la producción. Cuando la radiación solar es fuerte, causa una considerable evaporación del agua del suelo, creándose una condensación en la cara inferior del plástico lo que provoca una disminución en la radiación solar reflejada. El paso de los rayos visibles permite también un desarrollo excesivo de malezas, que cuando son controladas debidamente, la película puede ser utilizada con éxito en todos los tipos de cultivo. Como la película transparente no absorbe más que una mínima parte, no se corre el riesgo de quemar las partes de la planta que entren en contacto con ella (Guariento, 1983). El plástico transparente es el que proporciona mayor precocidad en los cultivos y también el que puede evitar los daños de helada producidos por temperatura criticas, esto es debido a que permite el paso de la radiación (más del 80%) por lo que , durante el día, el suelo y la parte radical de las plantas se calientan

mas, existe una evaporación constante y en la pared interna del plástico se produce el fenómeno de condensación, con lo que se logra tener una pantalla y el suelo no se enfría rápidamente por la noche, lo que contribuye a proteger a la planta contra las bajas temperaturas debido a las aportaciones de calor que éstas reciben del suelo el inconveniente que presenta el plástico transparente es el favorecer el crecimiento de malezas, mismas que pueden levantar la película causando daños al cultivo, además de competir con éste por agua y nutrimentos, otro inconveniente es que al conseguirse una evaporación constante se provoca un ritmo rápido de circulación en el suelo acolchado y en cada flujo se depositan sales en la superficie del suelo, por lo que se recomienda efectuar la plantación a los lados del surco (Ibarra y Rodríguez, 1991). Entre los principales objetivos del acolchado incoloro es que se utiliza para aumentar el calor a la raíz, para solarizar, que es un calentamiento del suelo para controlar nemátodos, hongos y malezas, para lo cual se requiere que el plástico transparente tenga aditivos infrarrojos. Este tipo de plástico tiene un 10.6% de reflexión, 84.5% de transmisión y un 4.9% de absorción de la radiación solar (García, 1996).

Figura 8

Solarización

Esta técnica utiliza la energía solar para aumentar la temperatura del suelo consiguiendo así la eliminación de patógenos. La temperatura del suelo es el resultado de un balance entre las pérdidas y ganancias del calor del mismo. El calentamiento del suelo

durante la solarización gracias al concurso de los plásticos se produce por la concurrencia de varios factores (Fig.9).

- El plástico impide la evaporación del agua del suelo a la atmosfera, por lo que las gotas de agua de la cara interna se condensan y caen al suelo evitándose la perdida de calor latente.
- Sobre el plástico incide la radiación de onda corta que calienta el suelo. Dependiendo del tipo de plástico ésta se reflejará en mayor o menor medida.
- La termicidad del plástico impide la perdida de radiación infrarroja larga de la Tierra de la atmosfera.

Esta reducción en las pérdidas de calor compensa la disminución de radiación incidente y aumenta el calor disponible para su transmisión al suelo. Además, esta transmisión se ve favorecida por una mejora en las propiedades térmicas del suelo. La capacidad calorífica y la conductividad térmica del suelo se incrementan.

La temperatura letal, así como el tiempo que ésta debe actuar, dependen de cada patógeno. En el caso de utilización del polietileno normal será necesario de mes y medio a dos meses para una solarización con garantía.

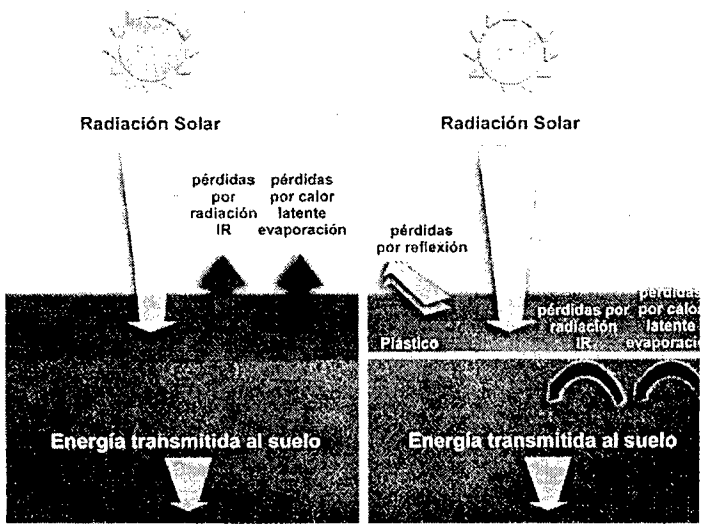


Figura 9

Temperatura y tiempo son inversamente proporcionales en la solarización. Así, a una mayor temperatura es necesario un menor tiempo de aplicación para alcanzar la misma eficacia (por ejemplo, el *Vericillium dahiae* es eliminado tras media hora a 50^0C y entre 26 y 29 días a 37^0C (Espí, 1997).

Películas de Liberación Controlada de Nutrimentos

Se ha desarrollado un tipo de película para acolchado en plástico plurilaminar que tiene propiedades únicas, dado que contiene dentro de la estructura del plástico los nutrimentos básicos de las plantas. El nitrógeno (N), fosforo (P) y potasio (K) almacenado de esta forma se distribuye en forma controlada mediante diversos mecanismos. La película se compone de una resina hidrosoluble de diferentes pesos moleculares para que se disuelva en tiempos diferentes. Las láminas de esta resina están revestidas de materiales a base polímeros resistentes al agua con el objeto de retrasar la degradación y el ritmo de suministro, tanto de la matriz del polímero como de sus componentes. La película ha sido creada para suministrar las cantidades de N, P y K que precisan las plantas durante sus diversas fases de crecimiento. Las películas se pueden diseñar a medida para los diferentes cultivos con necesidades diferentes de N, P_2O_5 y K_2O a lo largo de sus etapas de crecimiento y cuyas exigencias son también diferentes al comparar unos cultivos con otros (Lahalih, 1992).

Película de Látex

Este sistema fue desarrollado por Mr. Pole y David Carnell y ofrece a los agricultores beneficios específicos, ya que es de fácil manejo, no es toxico para el usuario ni par el ambiente y no es muy costoso. En regiones de clima frío o templado se le incorpora a la resina (estireno-butadieno) un pigmento negro para que mantenga el calor del suelo y se logre una buena germinación y crecimiento de las plantas, por el contrario, en climas calientes, a este acolchado se le incorpora un pigmento blanco que evita que las temperaturas del suelo sean demasiado altas, pero si favorables para la buena germinación y crecimiento de las plantas.

Al exponerse a la luz ultravioleta durante la estación de crecimiento, el acolchado empieza a desintegrarse, con lo que se evitan los problemas de removerlo, almacenarlo o

destruirlo, que es lo que tienen que realizar los agricultores cuando utilizan otros tipos de acolchado que no sean degradables. Este sistema de acolchado es aplicable a frutas y vegetales como esparrago, calabacitas, tomates, brócoli, maíz, apio, pepino, lechuga, melones, cebollas y fresas (Edge, 1984).

Películas fotoselectivas

En los últimos años las tendencias en investigación con materiales plásticos para la agricultura se enfocan a la búsqueda de mayores rendimientos, así como a la eficientizacion de los recursos disponibles, por lo que con las películas fotoselectivas se aprovecha el efecto favorable que ciertas regiones de longitud de onda del espectro electromagnético (ciertos colores) promueven en la planta, la influencia de ciertas longitudes de onda fomentan cierta influencia en actividades vitales de la planta como son efectos en la fotosíntesis, morfogenéticos y de fotoperiodismo entre otros (Ibarra y Rodríguez, 1991).

a) ***Película verde*** (fotoselectivo), ideal para cultivos tempranos, mantiene temperatura en el surco igual que a la intemperie, controla eficazmente malezas, aumenta calor en la raíz, mantiene el fruto limpio y fuera del contacto con la tierra figura 10.

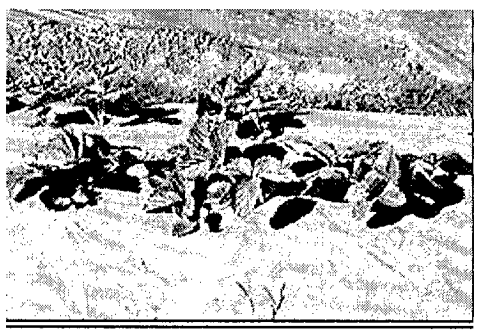


Figura 10

b) ***Película roja*** Desarrollado y patentado por científicos con el Servicio de Investigación Agrícola y la Universidad de Clemson, el acolchado rojo incrementa los rendimientos de tomate en parcelas de investigación hasta un 20 por ciento, conservando el agua y el control de malezas. El plástico rojo refleja en las plantas superiores determinadas cantidades que fomentan el crecimiento

ondas de la luz solar. En 3 años de ARS (Agricultural Research Service) hizo ensayos en campo, el acolchado rojo incremento el tamaño del tomate y el peso creciente de la planta de crecimiento por encima del suelo especialmente en el sector de frutas. Los científicos dicen que este acolchado puede mejorar el sabor de la fresa y cambiar la química de la fruta. Un colega que trabajó con Kasperbauer se encuentra actualmente analizando los azúcares y ácidos orgánicos de las fresas. Científicos de la ARS dicen que su investigación se ha centrado en dos componentes de color de la luz reflejada para mejorar el crecimiento de la planta, el porcentaje de azul y la proporción de la medida de color rojo a rojo. El acolchado rojo tiene un bajo componente de color azul y un alta medida de proporción color rojo-lejano (Relf y McDaniel 2004).

Figura 11

Película Blanca

Estas películas transmiten al suelo del 40 al 70% de la luz recibida, por lo tanto, tienen la propiedad de calentar el suelo más que el negro y menos que el transparente. Se recomienda su uso para meses templados.

Figura 12

Tabla 5.1 Aplicaciones de las distintas láminas de polietileno utilizados para Acolchados

Transparente	Negro opaco	Gris humo, Verde Marrón Claro	Blanco y Negro de coextrusión
• Cultivos estacionales • Bajos espesores: melón, algodón...	• Cultivos de 1 a 3 años	• Cultivos estacionales • Cultivos de 1 a 2 años	• Cultivos herbáceos estacionales • Cultivos leñosos (frutales)
• Terrenos limpios de malas hierbas, tratados con herbicida o previamente desinfectados	• Terrenos infectados de malas hierbas	• Terrenos poco infectados de malas hierbas	• Terrenos infectados de malas hierbas
• Zonas frías con riesgos de heladas	• Zonas cálidas sin riesgos de heladas	• Zonas frías y cálidas pero sin riesgos de fuertes heladas	• Zonas cálidas sin riesgo de heladas, sobre todo implantaciones de verano
• Cuando se pretende mas precocidad del cultivo que aumento del rendimiento	• Cuando se pretende principalmente el aumento del rendimiento	• Cuando se busquen aumentos de rendimiento y precocidad en los cultivos	• Cuando se busque aumento de luminosidad

Fuente: los plásticos y la agricultura, 1997

Tabla 5.2 Datos de interés sobre las distintas láminas de polietileno utilizadas para acolchado

	Transparente	Negro	Gris Humo	Verde o Marrón claro	Blanco y Negro
-Transmisión de radiación total	80 %	Nula	53 %	65 %	Nula
-Crecimiento malas hierbas	Elevado	Ninguno	Poco	Menor que con el transparente	Ninguno
-Absorción de calor	Baja	Elevada	Regular	Baja	Regular
-Duración del plástico	Corta	Larga	Regular	Corta pero mayor que con el transparente	Bastante larga
-Defensas contra bajas temperaturas	Buena	Regular	Mediana	Regular	Mala
-Rendimiento de cosechas	Menor que con el negro	Alto	Alto mejor que con el negro	Similar al transparente	Alto, mejor que con el negro
-Precocidad	Elevada	Mediana	Regular	Elevada	Elevada

Fuente: los plásticos y la agricultura, 1997

Películas plásticas grabadas

Son películas que tienen mayor elasticidad y se pueden adherir en la superficie donde se van a colocar.

Acolchado UV Azul

La clave es la cromaticidad: pruebas en campo mostraron un incremento significativo en la cosecha de cucurbitáceas.

- Disponible en grabado
- De 1 a 1.25 milésimas de pulgadas.
- Esta película tiene excelentes propiedades en barrera de vapor.
- Calienta la tierra rápidamente incrementa la temperatura hasta 5 grados más que las películas negras.
- Excelentes resultados con cucurbitáceas.
- Provee excelente control de plagas, opacidad y bloque UV.
- Fácil aplicación y eliminación.

Acolchado UV Rojo

Colorfast: permanece rojo por más tiempo.

- Disponible en grabado
- De 1 a 1.25 milésimas de pulgada
- Esta película tiene excelentes propiedades en barrera de vapor.
- Calienta la tierra más rápido que la película negra.
- Provee excelente control de plagas, opacidad y bloque UV.
- Fácil aplicación y eliminación.

Acolchado XL Negro (Larga Duración)

Diseñado para ayudar a los agricultores a reducir los costos totales de mano de obra.

- Disponible en grabado
- De 1.0 a 1.25 milésimas de pulgada para brindar excelentes propiedades de barrera de vapor.
- Estas película cumple con los requerimientos del Departamento de Regulación de Pesticidas de California para aplicación en tendido y no tendido en cuanto a la permeabilidad de "Alta Barrera" al Bromuro de Metilo.
- Formulado con HALS UV, esta película provee excelente control de plagas y está diseñada para múltiples cosechas.
- Fácil aplicación y eliminación.

Acolchado Blanco UV

- Brillante y más reflejante que otros materiales.
- Disponible en tafeta o grabado.
- De 1 a 1.5 milésimas de pulgada para brindar excelentes propiedades de barrera de vapor.
- Altamente reflectivo con alta opacidad para el control de plagas. Nuestra fórmula es de 4 a 8 grados más fría que el blanco sobre negro y 12 grados más frío que las películas negras convencionales.
- Fácil aplicación y eliminación (www.pliantcorp.com).

Película metalizada

Metalizado para la reflectividad que necesita.

Mejor que los productos impresos o coextruidos.

- De 0.75 a 1.25 milésimas de pulgada para obtener mejores propiedades de barrera de vapor.
- Estas película cumple con los requerimientos del Departamento de Regulación de Pesticidas de California para aplicación en tendido y no tendido en cuanto a la permeabilidad de "Alta Barrera" al Bromuro de Metilo.
- Use metalizado en blanco o negro para reflejar la luz, lo que permitirá controlar insectos y otras pestes dañinas.
- El Acolchado Negro también está disponible con una franja negra de 8" para calentar la tierra alrededor de la planta.
- Este producto se oxidará con el tiempo y perderá reflectividad durante su ciclo de vida.
- El producto provee excelente control de plagas.
- Fácil aplicación y eliminación

Figura 13

Acolchados Bicapa

Plata- Negro

Tiene gran reflexión fotosintética hacia el follaje de la planta, incrementando el proceso de fotosíntesis y ahuyentando a los insectos. La transmisión de luz al suelo es mínima, por lo tanto, evita el calentamiento excesivo del suelo y el desarrollo de malezas

debajo de la película. Esta película absorbe en gran medida la energía calorífica recibida, debido a esto, puede provocar quemaduras en la parte aérea de los cultivos jóvenes (www.olefinas.com).

Blanco- Negro

Esta película bicolor, está fabricada a base de LDPE y LLDPE con espesores a partir de 25 micras, la cual evita el riesgo de quemaduras en la parte aérea de la planta en contacto con la película, ya que éste se caliente menos que la película negra (www.tgrok.com).

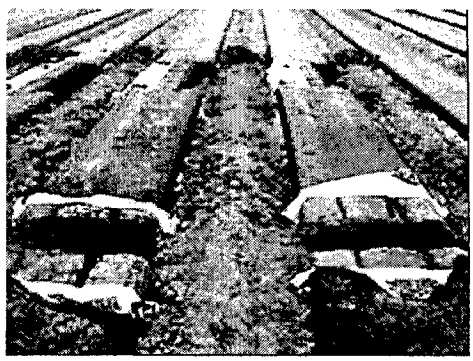


Figura 14

6. PROPIEDADES DE LOS ACOLCHADOS

Propiedades Radiométricas

La radiación solar

La mayoría de los plásticos usados en agricultura se encuentran agrupados bajo el término de láminas flexibles. Las características relativas a la transmisión de luz, termicidad y el coeficiente global de transmisión calorífica, son características deseadas para una mayor y más precoz producción, junto a una mayor calidad.

La luz solar llega a nuestro entorno en un amplio espectro de longitudes de onda. El ojo humano tan solo aprecia una estrecha banda que incluye los colores del arco iris. Como los humanos, las plantas son más receptivas a ciertas longitudes de onda. La mayor parte de absorción de la radiación se sitúa en los colores rojos y azul. Los aditivos fotoselectivos

pueden influir en la fisiología de las plantas, tan solo variando la proporción de colores en el espectro visible. Cuando los aditivos fotoselectivos actúan en la banda del ultravioleta, se ha detectado que tienen cierto efecto positivo contra el desarrollo de algunas enfermedades.

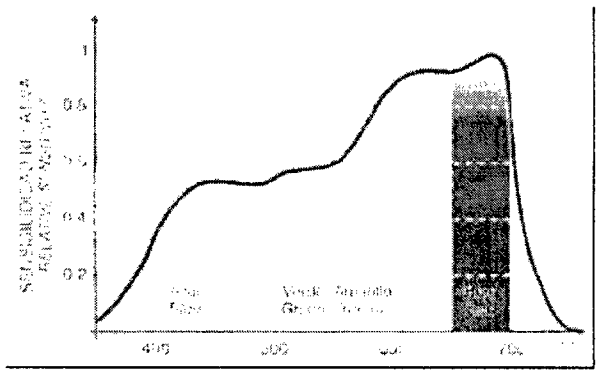


Figura 15

La radiación ultravioleta es suficientemente energética como para romper los enlaces entre las moléculas del plástico. El uso del plástico sin protección frente al ultravioleta acaba resultando en una menor durabilidad.

El primer síntoma de la degradación del plástico es la disminución de la radiación que llega al cultivo. Teniendo en cuenta que la productividad está íntimamente relacionada con la cantidad de luz que llega al cultivo, cabe pensar que una pequeña reducción de luz disponible causa una disminución de la producción.

Las dos propiedades de mayor interés para los agricultores son la transmisión de la luz y la termicidad de la película (Papaseit, 1997).

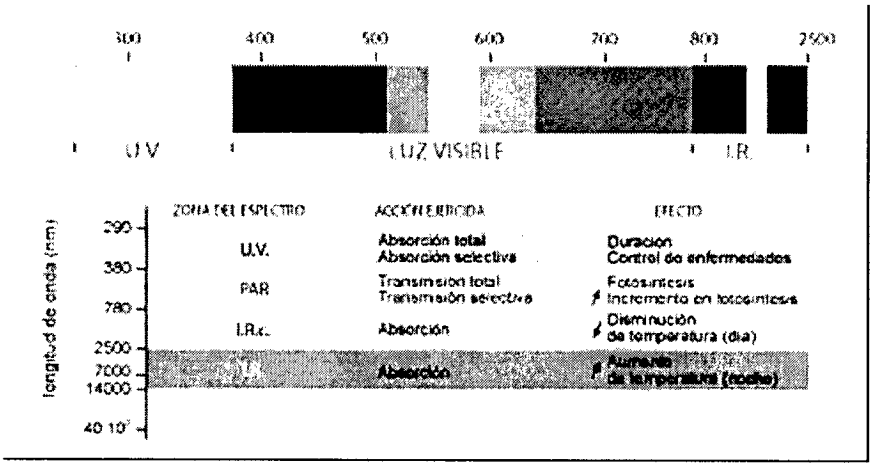


Figura 16

Propiedades ópticas

La transparencia es la propiedad que tiene un material de dejar pasar la mayor cantidad posible de radiaciones solares (visibles y no visibles), para los plásticos de acolchado es bueno que tengan cierta permeabilidad a las radiaciones emitidas por el suelo y las plantas, con el objeto de aportar calor a la parte aérea de estás durante la noche.

Esta luz que llega a un material puede ser reflejada, absorbida, transmitida o dispersada. La ***reflexión*** son los rayos que no atraviesan el plástico sino que reflejan hacia el exterior según el ángulo de incidencia y la propiedad reflectante del material de que se trate. La ***absorbancia*** es la propiedad que tienen los materiales para absorber un mayor o menor porcentaje de radiaciones, mientras que la ***transmitancia*** es la propiedad que tienen los materiales para difundir las radiaciones que pasan a través de un material obteniéndose como consecuencia una mejor repartición o difusión de la luz (Serrano, 1990).

Las propiedades ópticas tales como la reflectancia y la transmitancia de películas fotoselectivas pueden verse afectadas por diversos factores como son la condensación del agua, la presencia de materias extrañas y también los procesos fotooxidativos indicados por el envejecimiento también influyen sobre las propiedades ópticas.

La reflectancia de las películas fotoselectivas puede no ser afectada por los cambios estructurales en el polímero, debido a que la reflexión se lleva a cabo en la superficie del

material por medio de múltiples reflexiones internas, de tal forma que la luz no penetra a través de la película. Sin embargo la luz transmitida si podría sufrir cambios debido a reacomodos en la estructura del polímero (Orona, 1994).

Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas definen el comportamiento de los plásticos ante la imposición de un esfuerzo o una deformación, con el objetivo de predecir su comportamiento en servicio (Swallowe, 2000).

Entre las propiedades mecánicas que se esperan que tengan las películas son, entre otras, que tengan un 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 (Orona, 1994). La siguiente tabla muestra los valores de resistencia mecánica que deben tener las películas para acolchado para que los aditivos contra los rayos ultravioleta puedan proporcionar la cantidad la durabilidad esperada. Por lo general ésta deberá de ser de 6 meses o más.

Tabla 6.1. Valores de resistencias mecánicas que deben de tener las películas para acolchado (antes de instalarse)

Prueba	Método ASTM*	Unidad	Valor mínimo
Tensión a lo largo	D-822	lb pulg^2	2,200
Tensión a lo ancho	D-822	lb pulg^2	1,800
Elongación a lo largo	D-822	%	450
Elongación a lo ancho	D-822	%	600
Rasgado a lo largo	D-1922	Gramos	450
Rasgado a lo ancho	D-1922	Gramos	700
Impacto del dardo	D-1709	Gramos (a 50% de ruptura)	250

*ASTM. American Estándar

Duración

En términos generales, se puede entender por duración de una película agrícola el tiempo de vida útil durante el que es capaz de mantener sus propiedades (mecánicas, radiométricas, etc.). Más concretamente, se suele entender por duración, el tiempo en que la película mantiene su integridad física, es decir, sus propiedades mecánicas (al menos un

50% de las iníciales). En la norma EN 13206 se considera que una película ha terminado su vida útil cuando ha perdido un 50% de su alargamiento a rotura inicial en tracción (DM) (Repsol-YPF, 2001).

Asi como también la norma NMX-161-1993 esta norma mexicana establece las especificaciones que debe cumplir la película de polietileno de baja densidad lineal (PE-BD), para acolchado de suelos en cultivos agrícolas (Secretaria de Comercio y Fomento Industrial, 1993).

Tabla 6.2. Factores que influyen en la duración de los plásticos

Factores intrínsecos	• Polímero base (LDPE, LLDPE, EVA) • Tipo de película (mono o multicapa) • Espesor de la película • Estabilización
Factores externos previos a su utilización	• Condiciones de fabricación • Condiciones de almacenamiento • Colocación • Cultivo
Factores externos durante su utilización	• Agroquímicos • Condiciones climáticas (radiación, temperatura, viento, lluvia, nieve...) • Protección de la superficie de contacto, diseño, fijación del filme

Entre las causas más comunes que pueden afectar la duración del acolchado se encuentran los factores internos que están relacionados directamente con la fabricación de la película plástica y el equipo que se utiliza para mezclar las resinas, los pigmentos y los aditivos. Las películas para acolchado deben incluir los registros y las normas de calidad que garanticen la dispersión uniforme, el calibre y la tensión de la película plástica. Entre los factores externos podemos mencionar el almacenamiento inadecuado (a la intemperie), la mala aplicación del equipo, ya que los jalones y el estiramiento excesivo reducen la resistencia y provocan el rasgado de la película, así como también la aplicación de productos químicos que afectan de diferente manera a los acolchados, cabe mencionar que entre más alta sea la temperatura durante la aplicación de éstos, los daños pueden resultar mayores (García, 1996).

7. ADITIVOS UTILIZADOS EN LOS PLASTICOS AGRICOLAS

La clasificación más general de los aditivos para plásticos se suele hacer según su función y no en relación con su estructura química. Las funciones principales son las que se indican a continuación:

- Facilitar o posibilitar el proceso de transformación: plastificantes, lubricantes, ayudantes de procesado, agentes de deslizamiento, antibloqueo, de expulsión, etc.
- Mejorar la combinación de componentes: compatibilizadores, agentes de acoplamiento, de curado, etc.
- Aumentar la resistencia a la degradación durante el proceso de transformación o la aplicación: estabilizadores térmicos, estabilizadores frente a la luz, etc.
- Mejorar las propiedades mecánicas: cargas minerales, refuerzos, modificadores de impacto, etc.
- Modificar la apariencia del producto: pigmentos, colorantes, agentes nucleantes, etc.
- Mejorar el comportamiento del producto final: Biocidas, agentes Antigoteo, Antiniebla, Antiestáticos, para retardar la llama, para suprimir el humo, etc.

Aditivos de procesado

Son los aditivos que se utilizan para facilitar o permitir el proceso de transformación. Los más importantes en el campo de los plásticos agrícolas son los siguientes: antioxidantes, lubricantes, deslizantes, antibloqueo y ayudante de procesado (Pauquet, 1998).

Antioxidantes

Todos los polímeros sufren reacciones de degradación en presencia de oxigeno, particularmente a temperaturas altas durante la polimerización, pero sobre todo en los procesos de transformación y también durante su almacenamiento y uso. La degradación puede acelerarse por los esfuerzos mecánicos en la transformación y también por la acción de la luz solar.

Para proteger a los polímeros contra la Termo-oxidación, se emplean aditivos llamados ***antioxidantes*** y para evitar que se degraden por la luz, se les agregan ***estabilizadores UV*** o fotoprotectores.

Los síntomas de la termodegradación en los polímeros son:

- Cambios en el color, sobre todo amarillamiento.
- Cambio en la superficie: pérdida de brillo, endurecimiento, fisuración.
- Perdida de transparencia.
- Deterioro en las propiedades mecánicas como por ejemplo: resistencia a la flexión, resistencia tensil y elongación.
- Cambio en fluidez.

Estos cambios físicos se deben a cambios químicos en la estructura del polímero, como los siguientes:

- Aumento en peso molecular
- Disminución en peso molecular

Es muy común que durante la degradación ocurre una diminución en peso molecular debido a ruptura de cadenas moleculares, mientras que en un aumento en peso molecular se debe a la formación de geles ocasionado por el entrecruzamiento de cadenas. Para proteger a los polímeros de la termo-oxidación, lo que se hace es agregar sustancias químicas conocidas como antioxidantes, los cuales se dividen en:

Antioxidantes { Primarios / Secundarios }

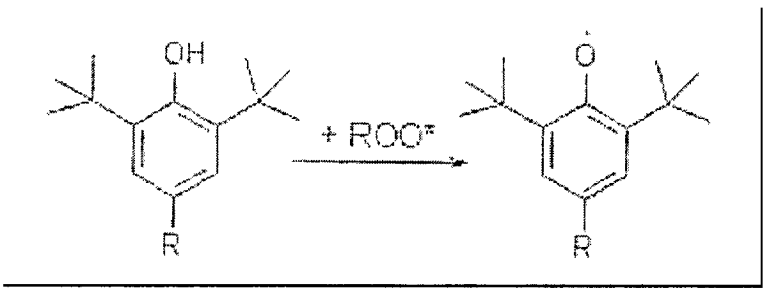
Antioxidantes Primarios

Existen varios tipos de antioxidantes primarios, que cumplen con la función de atrapar radicales libres, los cuales son dañinos para los materiales plásticos. Siendo los más comunes los siguientes:

- BTH
- Fenólicos
- Aminas aromáticas

- Aminas impedidas (HAS)
- Lactonas

Los más comunes son los fenólicos y existen muchos productos comerciales disponibles por diversos proveedores. Estos antioxidantes funcionan en la siguiente forma: los radicales libres lo atacan quitándole el átomo de hidrógeno del (OH), para producir un radical fenólico



Este radical fenólico es MENOS REACTIVO y ya no ataca al polímero. Esto se debe a dos circunstancias:

- Los seis grupos metilo (CH_3) que rodean al oxigeno constituyen un gran estorbo para que el radical ataque a otras moléculas.
- El electrón en realidad no está localizado en el oxigeno, sino disperso en la estructura, debido a RESONANCIA.

Antioxidantes secundarios

Los antioxidantes secundarios destruyen los hidroperóxidos, los antioxidantes secundarios que más se usan son: ***Fosifitos y Tioesteres.*** (Sánchez, 2006).

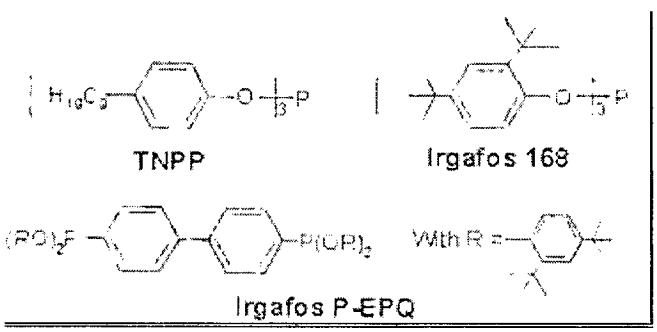


Figura 17

Lubricantes

Son aditivos que facilitan el procesado de los plásticos, mejorando sus propiedades de flujo y reduciendo la fricción entre partículas de polímero, entre éstas y las partes de las maquinas entre las moléculas mismas de los polímeros.

Además de estas funciones, algunos lubricantes también actúan como desmoldantes o como agentes de antibloqueo.

Los lubricantes son compuestos orgánicos, algunos derivados del petróleo, de las grasas animales o vegetales y otros son sintéticos, como los polietilenos de bajo peso molecular y los derivados fluorados.

Los lubricantes se clasifican en ***internos y externos***

Lubricantes internos

Reducen la fricción entre las moléculas de los polímeros y para realizar esta función, deben ser muy compatibles con el polímero.

Lubricantes externos

Reducen la fricción entre los gránulos (pelets) también entre ellos y las partes del equipo. Además, reducen la fricción entre el material fundido y las partes de las máquinas.

Esta clasificación no es absoluta, porque un lubricante puede ser interno para un polímero y externo para otro, dependiendo de la compatibilidad polímero/lubricante.

Los lubricantes se clasifican en:

- *Hidrocarburos:* aceite mineral, parafinas, polietileno de bajo peso molecular.
- *Carboxílicos y ácidos carboxílicos:* esteratos metálicos y algunos ricinoleatos.
- *Esteres:* ceras naturales, monogliceridos y triglicéridos.
- *Compuestos hidroxilados* alcoholes grasos principalmente.
- *Amidas:* estearamidas, erucamidas.
- *Misceláneos:* silicones, grafito, sulfuro de molibdeno, ésteres del ácido fosfórico.

Ayudantes de procesado

El polímero base que se utiliza mayoritariamente en la fabricación de películas para acolchado es el polietileno lineal de baja densidad (LLDPE). Este material posee una excelente resistencia, superior a la del polietileno de baja densidad (LDPE), pero presenta algunas dificultades en el proceso de transformación, al igual que le ocurre al polietileno hecho con catalizadores metalocenos. Para reducirlas o eliminarlas se emplean ayudantes de procesado, que son aditivos basados en fluoro-polímeros. Su misión es eliminar o reducir significativamente problemas como la formación de geles, de "piel de tiburón *(shark-skin)*" u otras formas de fractura del fundido, la concentración en la parte interna de la boquilla *(diebuild-up)* y la acumulación de depósitos en ella durante la extrusión de la película por soplado (Pritchard, 1998).

Aditivos funcionales

Según las principales funciones que deben cumplir los aditivos que se emplean en las películas para aplicaciones agrícolas. Se ha tratado de cubrir desde las funciones que se consideran más importantes, si no decisivas, para disponer de una buena película (respeto a la duración, lo referente a la estabilización; bloqueo de la radiación infrarroja de onda larga para conseguir termicidad y efecto invernadero, etc.) hasta las más recientes que aportan efectos adicionales que pueden ser beneficiosos para los cultivos (bloqueo de la radiación infrarroja de onda corta para películas antitérmicos, conversión de unas longitudes de onda en otras beneficiosas para la fotosíntesis, o modificación de la relación rojo / rojo lejano para actuar sobre la fotomorfogénesis de las plantas) (Lelli *et al.*, 2000).

Estabilizadores UV

La luz y el oxigeno provocan reacciones de degradación en los polímeros, las cuales no sólo afectan la apariencia superficial sino que puede influir negativamente en numerosas propiedades físicas y mecánicas del producto terminado

La inhibición de esas reacciones es un aspecto importante desde el punto de vista técnico y económico, ya que de otra manera las posibles aplicaciones de los polímeros se reducirían considerablemente.

Con el desarrollo de nuevos polímeros es necesario estudiar la forma de prevenir o al menos reducir el daño causado por agentes externos (principalmente la radiación ultravioleta de la luz solar). Esto puede lograrse mediante el uso de aditivos estabilizadores de luz ultravioleta, conocidos como estabilizadores UV, que son capaces de actuar en los procesos físicos y químicos de la degradación.

Los estabilizadores más importantes son: 2-hidroxibenzofenonas, 2-hidroxifenil benzotriazoles, aminas con impedimento estérico y compuestos orgánicos de níquel; también se utilizan salicilatos, derivados de cinamato, oxaniluros, p-hidroxibenzoatos, etc. Las aminas con impedimento estérico (HALS) representan la última innovación en este campo.

Los estabilizadores UV se utilizan en concentraciones de entre 0.005 y 2%, dependiendo del tipo de resina, la aplicación y los otros aditivos de la formulación (Sánchez, 2006).

Fotodegradación

La fotoxidación de la mayoría de los polímeros se produce por un mecanismo de radicales libres como el propuesto por Bolland, que comprende los diferentes pasos para los procesos de cadena: iniciación, propagación, posible ramificación y terminación. Aunque existen diferencias importantes entre la iniciación de la degradación termoxidativa y la degradación fotoxidativa, se supone que los pasos de propagación, ramificación y terminación son similares en ambos tipos de degradación.

Tipos de estabilizadores UV

Los estabilizadores UV se incorporan al polímero para protegerlo de la luz UV, ya sea absorbiendo la radiación, disipando energía o destruyendo estados excitados, grupos cromóforos, radicales libres o combinaciones de esos procesos.

La primera posibilidad de protección contra la luz UV es prevenir la absorción de la luz UV o reducir la cantidad de la luz absorbida por los cromóforos. La segunda consiste en

reducir la velocidad de iniciación a través de la desactivación de los estados excitados de los grupos cromóforos.

La tercera incluye la transformación de hidroperóxidos en compuestos más estables, sin generar radicales libres. La cuarta posibilidad de detener la degradación fotoxidativa consiste en destruir los radicales libres tan pronto como sea posible.

Los estabilizadores UV más comunes son: absorbedores UV, desactivadores, destructores de hidroperóxidos y destructores de radicales (Sánchez, 2006).

Pigmentos apantallantes de UV

Dentro del tipo de fotoestabilizantes pigmentos apantallantes de luz, en la aplicación agrícola, se emplean frecuentemente: el pigmento blanco basado en dióxido de titanio y el pigmento negro basado en negro de carbono. Figura 18 se muestran fotografías del empleo de estas películas. Las películas de color negro se usan frecuentemente en acolchado, ya que absorben eficientemente la radiación solar y disipan la mayor parte de la energía absorbida en forma de calor. Existen numerosos grados de negro de carbono en el mercado y en general alargan la vida de los materiales por la presencia de funcionalidades químicas fotoestabilizantes que tienen externamente las estructuras de anillos aromáticos condensados que constituyen las partículas de pigmento.

Las películas blancas con dióxido de titanio también se emplean en acolchado, se aprovecha así la luz reflejada por las películas para iluminar la parte baja de las plantas. Si se desean propiedades fotoestabilizantes con el pigmento blanco, de dióxido de titanio, hay que seleccionar adecuadamente el tipo de producto a emplear, pues hay muchos grados que producen el efecto contrario pro-degradante. En la tabla 7.1 se muestra el efecto fotoestabilizante y el pro-degradante del dióxido de titanio.

Los datos de la tabla 7.1, se ponen de manifiesto la importancia del tipo de dióxido de titanio en la fotoestabilidad de la película. También se emplean otros tipos de pigmentos y en todos los casos hay que estudiar y poner especial cuidado en evitar el efecto pro-degradante que los pigmentos presenten en sí mismos y en su interacción con otros aditivos de la formulación (Catalina, 2002).

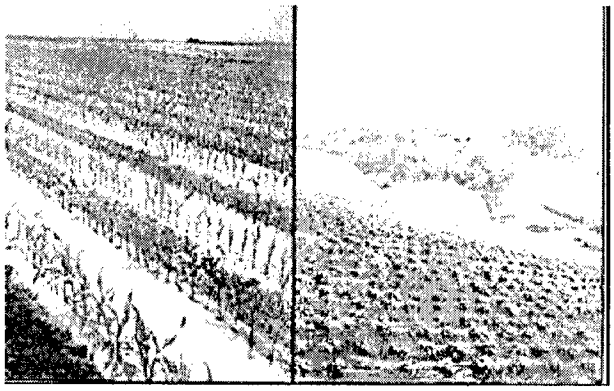


Figura 18

Tabla 7.1. Influencia del tipo de dióxido de titanio en la fotoestabilidad de un filme de polietileno agrícola de baja densidad

Pigmento blanco TiO2 (2%) (A)	E_{50}(kLy) (B)
Sin pigmento	220
Rutilo, tratado superficialmente (C) y estabilizado (proceso del sulfato)	380
Rutilo, tratado superficialmente y estabilizado (proceso del cloruro)	420
Rutilo, sin tratar superficialmente y sin estabilizar	70
Rutilo, tratado superficialmente y sin estabilizar	60
Anatasa, tratado superficialmente y estabilizado	150

(A) Filme de 150 micras de polietileno de baja densidad, con 0.2% de HALS

(B) Exposición a la intemperie en Florida (USA), E50 – valor de la energía (en kilo Langleys) para que el alargamiento a la rotura disminuya al 50%

(C) Recubrimiento de silicona

(D) Estabilización por modificación superficial con tratamiento A1203/Si02

Absorbedores UV

La incorporación de los absorbedores UV en las películas agrícolas está muy generalizada. Los productos que se emplean tienen que cumplir tres importantes requisitos: 1. Poseer elevados coeficientes de absorción en la zona ultravioleta del espectro, 2. Disipar la energía absorbida de forma espontánea con desprendimiento de calor sin dar lugar a reacciones o procesos perjudiciales para el polímero y, 3. Permanecer en el material durante todo el transcurso de la aplicación. En la agricultura se emplean fundamentalmente tres familias comerciales de productos: Benzofenonas, Benzotriazoles y Triazinas.

Las ***Benzofenonas*** que se emplean como fotoestabilizantes contienen en la posición 1 de su estructura un grupo hidroxilo y, generalmente además, sustitución en la posición 4 de la estructura.

También hay otros sustituyentes en posiciones diferentes que tienen interés comercial para la aplicación agrícola. Los derivados ms sencillos tienen sus máximos de absorción en torno a los 285nm con coeficiente de absorción de 15.000mol^{-1}/cm^{-1}, de manera que la absorción se prolonga hasta el ultravioleta próximo y así, por ejemplo, a 325nm el coeficiente de absorción es del orden de 10.000mol^{-1}/cm^{-1}.

Los derivados dihidroxilados en las posiciones 1,1´tienen fuertes absorciones hasta los 350nm. De esta forma las hidroxibenzofenonas cumplen el primer requisito mencionado anteriormente y la disposición de la energía absorbida tiene lugar mediante transferencia protónica intramolecular en el estado excitado (ESIPT) entre el hidroxilo y el grupo carbonilo es su estado excitado. Dicho proceso se muestra en la figura 19.

Un problema de los absorbedores ultravioleta y en general de todos los fotoestabilizantes es la pérdida de producto por migración en el material, dando lugar a un exudado. Esto se manifiesta durante la aplicación de los filmes agrícolas y puede observarse como en la superficie de las películas aparecen cristales de los aditivos (Catalina, 2002)

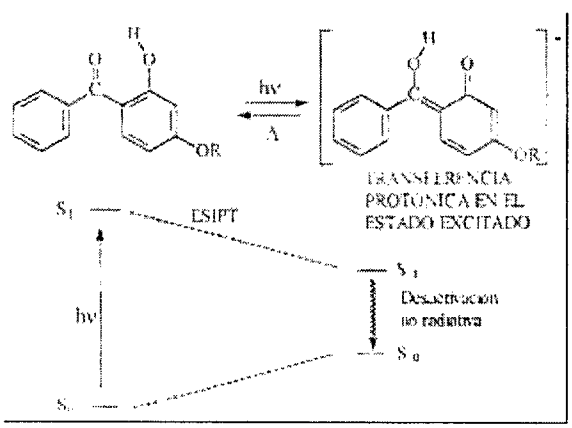


Figura 19

Este proceso se incrementa con la degradación del material. Esta pérdida de aditivo produce una disminución en la eficiencia de la fotoestabilización. Se emplean por tanto fotoestabilizantes de muy alto peso molecular, o como se verá más delante, de tipo polimérico para evitar esta pérdida física del producto. Billingham ha estimado que la benzofenona comercial mencionada anteriormente, 1-hidroxi-8-octoxibenzofenona, se puede perder por migración hacia la superficie en menos de un año en una película de 100 micrómetros de espesor (Catalina, 2002).

Las variables que controlan este proceso son la compatibilidad del aditivo en la matriz de polímero, su coeficiente de difusión, su presión de vapor y su solubilidad en agua.

Además de esta pérdida física general de los aditivos de bajo peso molecular, las hidroxibenzofenonas experimentan una fotooxidación, que conduce a la degradación del aditivo. Esta fotorreacción se produce cuando la degradación de la poliolefina ha llegado a un cierto nivel y hay suficientes especies de oxidación presentes en el material para formar enlaces de hidrógeno con la hidroxibenzofenona. La fotoxidación del fotoestabilizante se muestra en la figura 20.

La formación de enlaces de hidrógeno con el polímero degradado favorece la formación del estado excitado triplete a partir del cual se produce en α al grupo carbonilo y la posterior fotooxidación a ácido benzoico. Además de esta fotorreacción también se ha observado la pérdida de hidroxibenzofenona por reacción con radicales libres producidos en el polímero durante su degradación.

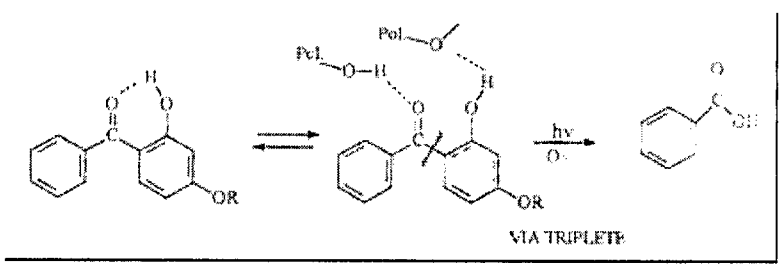


Figura 20

Los ***benzotriazoles*** fotoestabilizantes comerciales son derivados del 2 fenilbenzoatriazol que también tienen en su estructura un grupo hidroxilo en posición 2´del

sustituyente fenilo, lo que permite disipar la energía absorbida, del mismo modo que las hidroxibenzofenonas, por un proceso de transferencia protónica en el estado excitado entre el grupo hidroxilo y el nitrógeno del triazol mas próximo a éste. En la figura 21 se muestra una estructura genérica de 2´-hidroxifenil-benzotriazol, mostrando las posiciones de los sustituyentes presentes en los fotoestabilizantes comerciales.

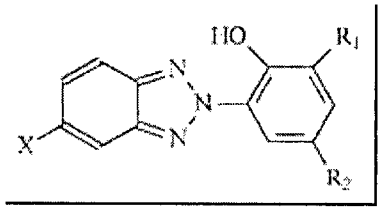


Figura 21

La tercera familia de absorbentes UV que se emplean en la agricultura es la de las ***triazinas*** que, aunque han sido objeto de numerosos estudios se han comercializado muy recientemente. La estructura genérica de estos productos se muestra en la figura 22

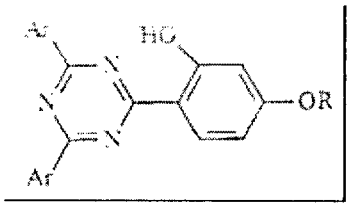


Figura 22

Los absorbentes UV basados en triazina siempre incluyen en su estructura una función hidroxilo en la posición 2´y un sustituyente éter en la posición 4´del anillo de fenilo. Los grupos arilo (AR- en la estructura) frecuentemente son 2,4-dimetilfenil como en el caso del Cyasorb UV-1164 (Cytec)

Estos productos tienen su máximo de absorción en 290nm con un coeficiente de absorción muy elevado 43.000$mol^{-1}/\cdot cm^{-1}$ y mantienen su fuerte absorción hasta el ultravioleta próximo. Por ejemplo, a 340nm tienen coeficientes de absorción aproximadamente del orden de 23.000$mol^{-1}/\cdot cm^{-1}$.

Desactivadores de estados excitados

Los desactivadores de estados excitados comerciales están basados en complejos de metales, siendo los más estudiados y empleados los de níquel. Además de actuar como desactivadores de estados excitados, algunos de ellos son excelentes antioxidantes, atrapadores de radicales y descomponedores de hidroperóxidos.

En la aplicación agrícola, prácticamente de forma exclusiva, se usa un complejo de níquel cuya estructura se muestra en la figura 23. Los fotoestabilizantes de Ni (II) desactivan por interacción bimolecular los estados excitados de grupos carbonilo que se forman en el proceso de degradación comentado anteriormente.

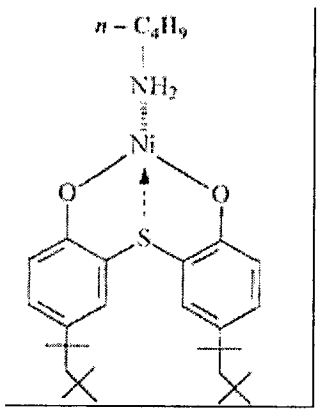


Figura 23

En general, estos complejos de níquel, desactivadores de estados excitados se emplean casi exclusivamente en poliolefinas, y en las películas agrícolas imparten un color amarillo-verdoso que es muy frecuente ver en los invernaderos del sur de España. En principio, se prevé que el uso de los complejos de níquel vaya disminuyendo progresivamente por las consideraciones medioambientales que se refieren a la presencia de metales pesados en el ambiente, en este caso las sales de níquel. Actualmente, su aplicación no está creciendo, mientras que si lo hace el empleo de los fotoantioxidantes basados en aminas impedidas, HAS o HALS que se verán en la siguiente sección.

Fotoestabilizantes antioxidantes: Aminas Impedidas

Las aminas impedidas constituyen la familia de fotoestabilizantes más eficiente del mercado. Se emplean en los filmes de larga duración y en general tienen un elevado precio. Se les denomina por las siglas HALS "Hindered Amine Light Stabiliser" aunque también se las nombra como HAS sin hacer referencia específica a la estabilización a la luz. Ello es debido a su excelente actuación por el mecanismo antioxidante, es decir atrapadores de radicales libres y descomponedores de hidroperóxidos, que es muy eficaz también frente a la degradación térmica.

La evolución estructural de los productos pertenecientes a esta familia ha estado motivada por la búsqueda de productos más eficientes y duraderos en las condiciones de uso. En la aplicación agrícola los agentes de degradación son especialmente severos, ya no solo por la exposición prolongada a la intemperie, sino también por el empleo de productos agroquímicos como los pesticidas.

Algunas de las estructuras más generales presentes en el mercado se muestran en la figura 24. La evolución de los HALS ha consistido en sustituir el grupo N-H, por N-R y, recientemente por NOR. Dentro de cada tipo, en primer lugar, aparecieron en el mercado los de bajo peso molecular y después los peso molecular más alto, productos oligómeros. En la elección del tipo de producto hay que equilibrar el balance prestaciones / precio pues este último es elevado en general.

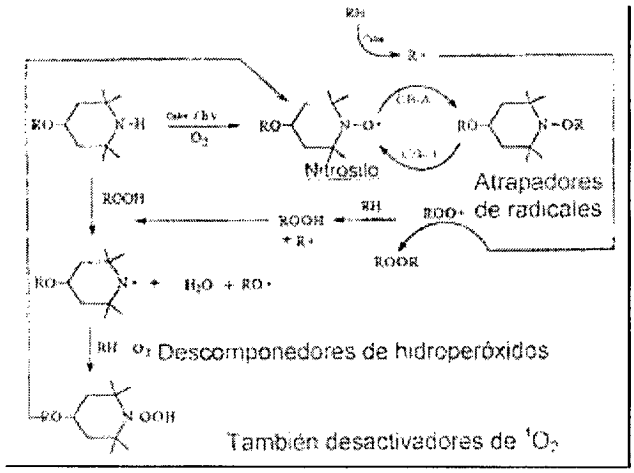


Figura 25

8. FABRICACION DE PELICULAS

Extrusión generalidades

Básicamente la extrusión es un proceso por el cual el PE es forzado a fluir de forma continua a través de una boquilla (en estado fundido), al aplicarle presión y temperatura.

El calentamiento está íntimamente ligado al proceso, a través del cual el PE se ablanda y fluye sin cambiar prácticamente sus propiedades cuando se trabaja a presión y flujo uniforme. A la salida de la boquilla el PE ya conformado es recogido por un sistema de arrastre con velocidad variable, en donde adquiere algunas de sus propiedades finales.

La extrusión se emplea normalmente para producir película, tubo, artículos huecos, recubrimiento de cable, lamina, etc...., utilizándose el PE en forma de granos o polvo que lleva ya incorporándolos aditivos correspondientes. (UERT, 2001)

Máquinas de extrusión

Esquemáticamente una máquina de extrusión consta de un cilindro en cuyo interior se encuentra alojado un husillo de diseño especial, el cual al girar obliga al avance de los granos de PE que cae continuamente a través de la tolva de carga, fig.26 la fuerza necesaria

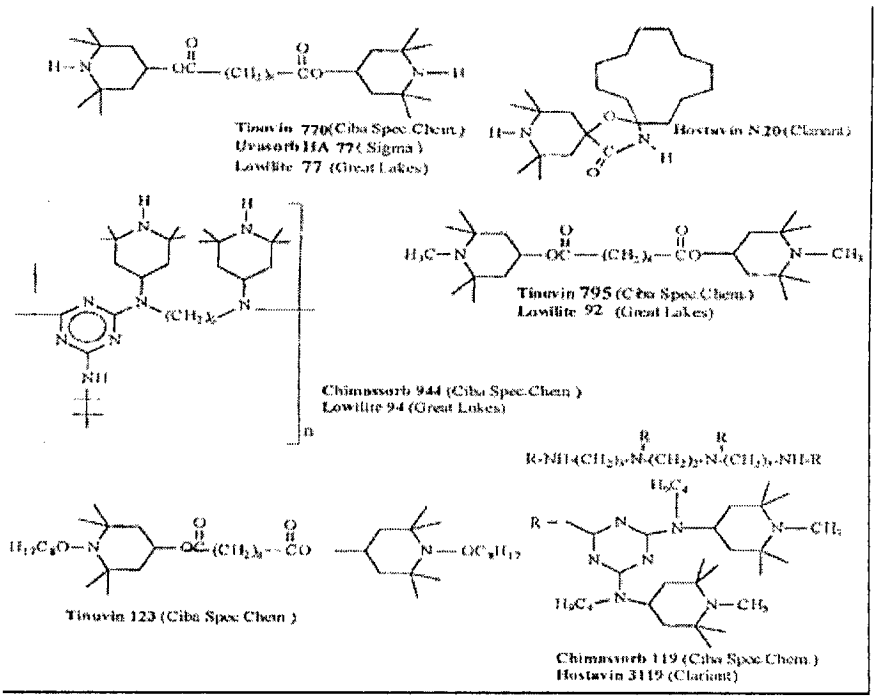


Figura 24

El mecanismo general de actuación de esta familia de fotoestabilizantes se muestra en la figura 25. Estos productos por acción del calor, la luz y el oxigeno dan lugar al radical nitrosilo (N-O·) que es un radical estable debido a la presencia de los metilos en los carbonos adyacentes del anillo de piperidina. La estructura en forma de nitrosilo es la especie estabilizante que actúa, muy eficientemente, por los mecanismos antioxidantes, atrapando radicales, aceptando y donando a su vez radicales en un ciclo cerrado de reacción y, también por el otro mecanismo de los antioxidantes, como es el de descomposición de hidroperóxidos. Además, las aminas impedidas son unos excelentes desactivadores de estados excitados y en particular del oxígeno singlete. (Catalina, 2002).

que acciona el husillo, procede normalmente de un motor eléctrico de corriente alterna y velocidad variable acoplado a un cambio de velocidades, o bien un motor de corriente continúa.

Los conocimientos que se tienen acerca del PE en estado fundido, permiten predecir con exactitud su comportamiento al ser transformado. Si se conocen por un lado las dimensiones de la boquilla y por otro lado las propiedades reológicas, térmicas y la densidad aparente del PE, es posible calcular a priori las dimensiones del husillo y en consecuencia el rendimiento de la extrusora.

Durante el movimiento de rotación, el material se mezcla íntimamente al fundir por efecto del calor procedente de calefacción del cilindro y el debido a las fuerzas internas de rozamiento, como consecuencia del trabajo de masticación y compresión a lo largo de las distintas zonas del husillo. Durante este trabajo de masticación, aparecen unas fuerzas de empuje hacia atrás, que son absorbidas por un juego de cojinetes axiales.

Hay, sin embargo, maquinas que trabajan en régimen prácticamente adiabático, en las cuales el calor tiene su origen en el trabajo mecánico desarrollado (UERT, 2001).

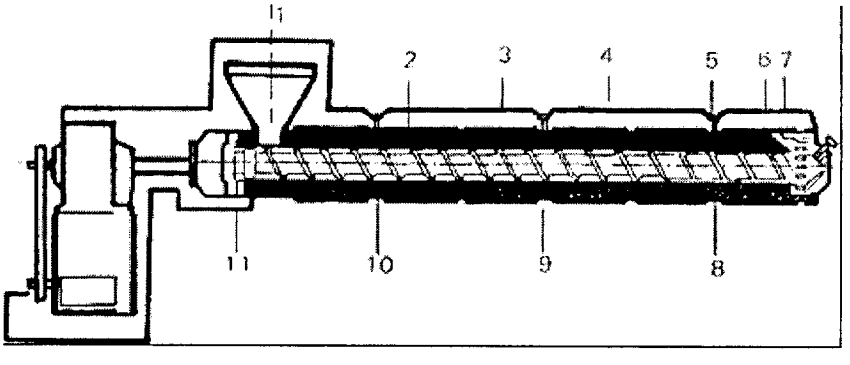


Figura 26

1.- Tolva de carga
2.- Cilindro
3.- Zona de calefacción
4.- Husillo
5.- Termopar
6.- Filtro
7.- Plato rompedor
8.- Zona de dosificación
9.- Zona de compresión
10.- Zona de alimentación
11.- Cojinetes axiales

Cilindro

Este suele ser de acero de alta resistencia nitrurado interiormente, de tal forma que pueda soportar las presiones elevadas que se desarrollan en su interior, al mismo tiempo que ser resistente a las altas temperaturas, a la corrosión y al desgaste.

El diámetro interno del cilindro varía generalmente entre 45 y 200 mm., y la longitud está comprendido entre 20 y 35 veces el diámetro. Es evidente que al ser mayor la longitud de éste, se consigue una mayor homogeneidad de la masa PE fundido.

El cilindro está dividido en varias zonas en donde van instalado los dispositivos de calefacción y refrigeración. Cada una de estas zonas es completamente autónoma, estando conectadas independientemente a ambos sistemas, de tal forma que el control y la regulación de la temperatura se lleva a cabo de forma automática.

Al depender el proceso de extrusión de un perfil adecuado de temperaturas, no hay que olvidar la importancia que tiene el mantener un estricto control de las mismas a lo largo del cilindro, ya que la viscosidad del PE varía sensiblemente al fluctuar la temperatura.

Características del husillo

El husillo se encuentra alojado en el interior del cilindro dentro del cual gira libremente, caracterizándose principalmente por el diámetro del mismo (L/D). Es además importante tener en cuenta la velocidad de giro, relación de compresión, tipo de perfil, profundidad y anchura del canal, etc.

Para que el husillo presente un coeficiente de fricción lo más bajo posible, es necesario mecanizar cuidadosamente la superficie ya que su eficacia de transporte depende del coeficiente de fricción entre el PE y las superficies del husillo y cilindro (UERT, 2001).

El perfil del husillo está dividido como mínimo en tres zonas perfectamente determinadas de acuerdo con sus funciones, figura 27.

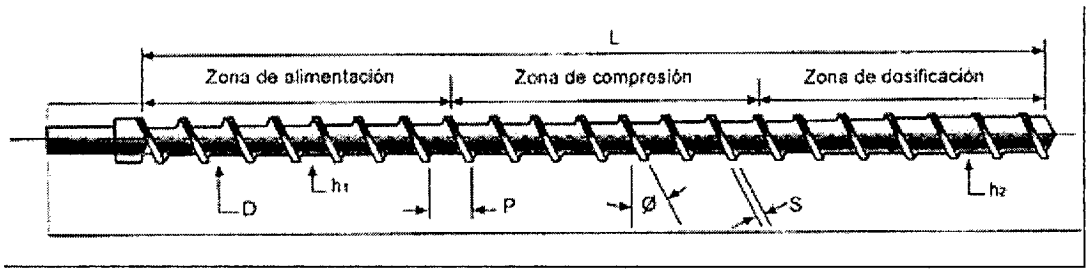


Figura 27

L = longitud del husillo
D =Diámetro del husillo
h_1= Profundidad del canal
Φ = Angulo de hélice
P = paso de hilera
S = Ancho del filete
h_2= Profundidad del canal zona de dosificación

Zona de alimentación

La función de esta zona es conducir el material frio desde la tolva enviándolo parcialmente caliente y a una presión suficientemente moderada, para asegurar el propio funcionamiento de la zona de compresión, no existiendo prácticamente acción de cizalla alguna, sino que, por el contrario, el propio material se comporta como una especie de tapón elástico, al ocupar enteramente la cavidad del canal.

Esta zona del husillo suele ser por lo general cilíndrica con una longitud del orden de 5 a 6 diámetros y una profundidad de canal, unas tres veces la de la zona de dosificación, teniendo por lo tanto una gran capacidad de transporte. Si la relación entre la profundidad del canal de ambas zonas es pequeña, la zona de dosificación recibe menos material que el que puede transportar la zona de alimentación, produciéndose en consecuencia una descarga intermitente; por el contrario si aquella relación es demasiado alta, la última zona trabajará muy forzada y la extrusión del polietileno se produce en oleadas.

Zona de compresión

Esta sección del husillo recibe el material todavía en forma granular procedente de la zona de alimentación, convirtiéndolo en un fundido de temperatura y viscosidad uniforme para enviarlo a la zona de dosificación, por un proceso combinado de flujo laminar con cizalladura.

La compactación o compresión del material se favorece por un decrecimiento gradual de la profundidad del husillo a lo largo de esta zona, estando su longitud comprendida entre 12 y 14 diámetros.

En la práctica la menor profundidad en la zona de compresión debe ser igual a la profundidad uniforme de la zona de dosificación y a la cual está unida directamente. Para el diseño de esta zona hay que tener en cuenta muy especialmente la densidad aparente y las condiciones del PE en estado fundido.

Zona de dosificación

Es la zona que tiene por misión actuar como bomba de dosificación, proporcionando a la cabeza de la extrusora una presión y un flujo constante. Teóricamente la diferencia global de presión que se produce a lo largo de todo el husillo y que se manifiesta como un flujo de presión, tiene su origen dentro de esta zona.

La zona de dosificación suele ser cilíndrica con una longitud de unos 10 diámetros y como consecuencia de su menor profundidad de perfil, la velocidad de desplazamiento es más alta y la mezcla más íntima.

Relación de compresión

En las relaciones que existe entre los volúmenes teóricos de la materia comprendida en un paso del husillo, considerando a las zonas de alimentación y dosificación. Por tanto, la relación de compresión está en razón directa a la altura del filete en las respectivas zonas de entrada y salida.

Para el caso de PE, los mejores resultados se obtienen con relaciones del orden de 3 a 3,5, obteniendo presente que estos valores son los que corresponden a las relaciones de compresión real que son siempre inferiores a la teórica.

Relaciones longitud-diámetro

En todo husillo la relación L/D tiene una especial importancia, dependiendo de este valor la correcta homogenización del material, de tal forma que aumentando su longitud se

puede mejorar por un lado la uniformidad del material para una velocidad determinada o bien conseguir producciones más elevadas manteniendo el mismo grado de plastificación.

Hay que considerar como necesario un mínimo de 20 D para obtener una plastificación adecuada y producciones mínimas aceptables. Así mismo es recomendable trabajar con relaciones L/D más bien holgadas, lo que proporciona mayor flexibilidad de trabajo en las más diversas condiciones de extrusión (UERT, 2001).

Husillos especiales

Existen otros tipos de diseño de husillos en dos etapas, los cuales además de las zonas ya descritas tienen una zona de descompresión cilíndrica, segunda zona de compresión muy corta y la zona de dosificación, fig. 28, hay veces que se necesita obtener una plastificación muy intensa y entonces se utilizan husillos combinados de diseño especial, fig. 29, en los cuales hay unos elementos de mezclado, del tipo representado en la figura, que pueden estar situados en el extremo posterior del husillo o bien al final de la zona de compresión, es decir, intercalado entre esta zona y la de dosificación.

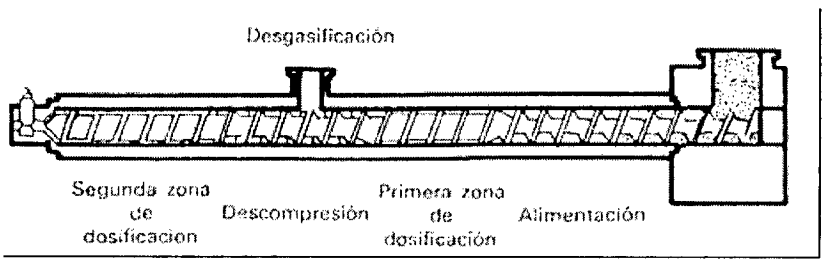


Figura 28

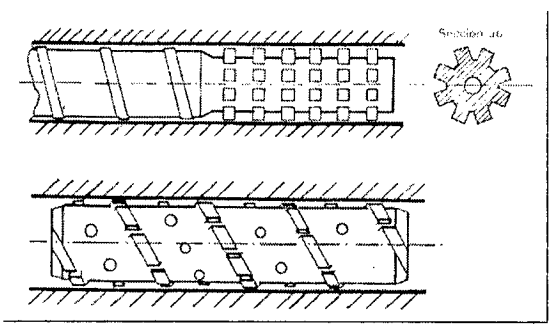


Figura 29

Características geométricas del husillo

Hay una serie característica del husillo, adicionales a las ya reseñadas, que tienen una gran importancia en el proceso de extrusión, mereciendo cada uno de ellos un comentario independiente.

Paso de husillo

La eficacia relativa de un husillo en lo que respecta a su capacidad de transporte, depende del ángulo de la hélice cuyo valor más aproximado se encuentra entre 17 y 18 grados, así como del paso de la misma que debe ser prácticamente igual al diámetro del husillo, siendo el más favorable para conseguir una buena alimentación, aunque a veces este valor puede ser ligeramente mayor para el caso de maquinas pequeñas.

Ancho del filete

Para husillos con diámetro superior o igual a 60 mm., el ancho del filete tiene un valor aproximadamente igual a 1/10 del diámetro, para los de inferior tamaño este valor puede ser ligeramente mayor. A veces, este ancho se aumenta hasta un 30 % en la parte final del husillo, con lo que se consigue un aumento de la relación de compresión, que para el caso de una maquina de 60 mm puede llegar a ser del orden del 5 al 8 %.

Tolerancia radial cilindro-husillo

En todo proceso de extrusión se originan en el interior del cilindro dos tipos de flujo del material. El "flujo directo" que se produce a lo largo del canal helicoidal del husillo y que corresponde, al desplazamiento positivo de la materia plástica que ocupan los espacios libres comprendidos entre aquel y el cilindro. De forma paralela y como resultante a la compresión del husillo en la zona de dosificación aparece un "flujo inverso" por el cual el PE en estado fundido, es obligado a desplazarse en sentido contrario forzado por la presión existente en la boquilla. Este flujo es función de la geometría del husillo, de la viscosidad del PE y de la diferencia de presión entre la entrada y salida en la zona de dosificación.

Existe un tercer flujo llamado "flujo de perdidas", el cual se produce por efecto de las fugas del material a través de la Tolerancia Radial existente entre la cresta del filete y la

superficie interior del cilindro. Este efecto tiende como es lógico a producir perturbaciones en el flujo del material, disminuyendo así la velocidad del husillo, de tal forma que su rendimiento es siempre inferior al teórico. En consecuencia es recomendable utilizar la menor tolerancia radial posible para disminuir este efecto, cuyos valores deben ser para las extrusoras de 60 y 90 mm., del orden de 0,2/0,3 mm., respectivamente (UERT, 2001).

Extrusión de película tubular

La película tubular se obtiene en una instalación según el esquema de la fig. 30, y de acuerdo con la tabla 5 que corresponde en esencia a una extrusora con el cabezal correspondiente e hilera de tipo anular, anillo de enfriamiento, estructura metálica que soporta la calandra de arrastre situada en la parte más alta y por último los rodillos recogedores.

A la salida de la hilera, la burbuja se conforma al pasar a través del anillo de enfriamiento, al mismo tiempo que se insufla aire a presión por el orificio central del mandril, hasta conseguir que el tubo tenga las dimensiones adecuadas. Alcanzado el diámetro preciso, se cierra el suministro de aire y el espesor se regula ajustando la velocidad de tirado.

El tubo extruido avanza a través de los rodillos de arrastre, pasando seguidamente a la calandra de enrollado donde se recoge la bobina. Entre los rodillos de tirado y la calandra de recogida, suelen estar situados por rejillas generales los sistemas de tratamiento, eliminación de cargas estáticas, etc.

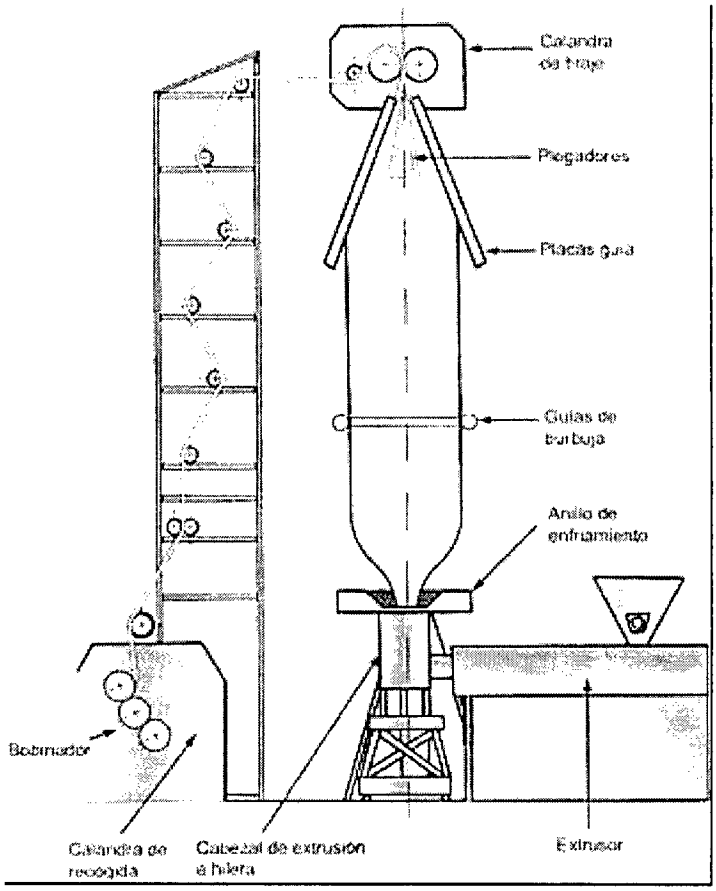


Figura 30

Tabla 8.1. Características generales de las extrusoras para fabricación de película tubular

Φ Extrusora mm	Velocidad de rotación r.p.m		Capacidad de producción Kg/h	
	Media	Máxima	Media	Máxima
45	80	100	20	30
60	90	180	65	130
75	90	150	80	150
90	80	150	135	225
170	70	100	280	400
150	70	100	370	530
200	90	-	990	-

Cabezales de extrusión de películas

Constan como es usual en éstos casos de varias piezas sólidamente ajustadas, que corresponden a un núcleo interno con dos zonas, una inferior situada sobre la parte baja de la carcasa y una superior con una o varias zonas de estrangulamiento, al objeto de que el flujo de material sea homogéneo fig. 31.

Debido a las altas presiones de trabajo que soportan los cabezales de extrusión, del orden de 19.61-29.42 MPa, es necesario que una de sus características más fundamentales sea la robustez. Así todas las piezas deben estar suficientemente dimensionadas, para que no sufran deformaciones por efecto de las presiones elevadas. Para evitar estos inconvenientes y darle al cabezal la suficiente resistencia mecánica, deben fabricarse a base de aceros duros especiales, siendo necesario que aquellas superficies que estén en contacto con el material fundido se las someta a una mecanización más fina.

La unión entre el cabezal y el cilindro se lleva a cabo a través de una pieza de acoplamiento, la cual se fija directamente sobre la placa porta cabezales por media de una abrazadera o tornillos de sujeción. En el interior de ésta pieza va alojado un torpedo de laminado, cuya función consiste en homogenizar las temperaturas del material fundido, evitándose que una heterogeneidad de viscosidades, pueda perjudicar posteriormente las características ópticas de la película.

Independientemente del tipo de alimentación del cabezal, este debe proporcionar unas condiciones de flujo que permitan conseguir espesores de películas uniformes, a tal efecto para eliminar los posibles defectos superficiales, se sitúan las zonas de compresión que mejoran las características de flujo y en consecuencia la calidad de la producción. De forma paralela es también necesario que la hilera, tenga una longitud que sea como mínimo la mitad de su diámetro (UERT, 2001).

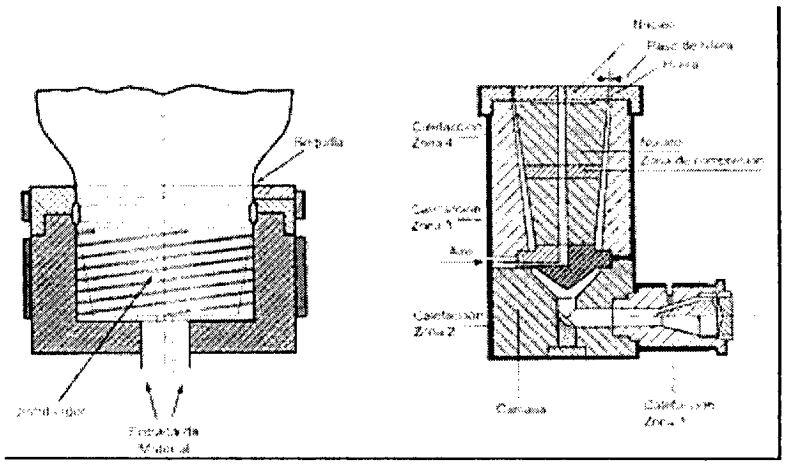


Figura 31

Especial importancia tiene el "paso de hilera", espacio comprendido entre la parte interior de la misma y el núcleo en su extremo final, cuyas dimensiones suelen estar comprendidas entre 0,5 y 1,4 mm. Así mismo el tramo recto final de aquella, si es demasiado corto produce una distribución de presión deficiente a la salida, siendo difícil de obtener un film de espesor regular, mientras que si aquél es demasiado largo se consiguen producciones bajas. Por regla general su dimensión correcta debe ser de 20 a 30 veces el paso de hilera que corresponde en la práctica a unos 20 mm. Finalmente la calefacción del cabezal debe tener una distribución uniforme si se quiere conseguir una regularidad de extrusión, siendo necesario un mínimo de 4 zonas de calentamiento, situadas:

- En la pieza de unión
- A la altura del codo
- A la altura del torpedo
- AI nivel de la hilera.

Cabezales de alimentación central

La alimentación al cabezal se efectúa mediante un aporte de materia, que llega a través del canal de alimentación fig. 32 y se reparte alrededor del núcleo por intermedio de la pieza porta-núcleo llamada torpedo, el cual no debe confundirse en ningún caso con el torpedo de laminado, que se encuentra en la pieza de unión. Las características de esta pieza se ajustan a diversos tipos de diseños según las distintas casas constructoras.

Las ventajas que presenta este tipo de alimentación son las siguientes:

- El film tubular no presenta línea de soldadura.
- Buen control de espesor de película.
- Reglaje relativamente fácil.
- Rápida limpieza del cabezal.

Cabezas de alimentación lateral

En este caso la materia fundida llega a la base del porta-núcleo, lateralmente a través de un canal circular y se reparte alrededor del mismo. Este sistema obliga al material a recorrer una trayectoria demasiado larga hasta alcanzar el punto opuesto al de entrada, para disminuir este inconveniente, existen las variantes siguientes:

- **Alimentación sobre el núcleo,** en el que el canal de alimentación tiene forma de corazón.

- **Alimentación tangencial,** en donde la materia se reparte por media de un canal de distribución alrededor del porta-núcleo. Estos tipos de cabezales presentan algunos inconvenientes tales como:

- Aparición de una línea de soldadura, que produce fragilidad del film a lo largo de la misma.
- Tiempos de purga muy largos especialmente cuando se trabaja con colores.

Cabezales para extruir a dos colores

Este es un tipo de cabezal clasico de doble alimentación lateral, el cual se conecta a dos extrusoras situadas en sentido opuesto que utilizan granza de diferente color.

Cuando la velocidad de alimentación de ambas maquinas es idéntica, los dos flujos de materia fundida se unen en la hilera originando dos generatrices en la bobina, sin embargo, al trabajar a velocidades diferentes se obtienen bandas de diferente color y ancho regulable. Si se desea conseguir una delimitación muy neta de colores, el ancho de la banda coloreada puede a veces variar sensiblemente a lo largo de la fabricación.

9. PLASTICOS DEGRADABLES

Con la finalidad de entender el rol de los plásticos degradables en el sistema de gestión de los residuos sólidos, es importante conocer las diferentes clases de materiales degradables para relacionarlos con las aplicaciones específicas. Los plásticos degradables son primariamente biodegradables ó fotodegradables y han sido clasificados en las siguientes categorías:

Biodegradables

Materiales capaces de desarrollar una descomposición aeróbica ó anaeróbica por acción de microorganismos tales como bacterias, hongos y algas bajo condiciones que naturalmente ocurren en la biosfera. Son degradados por acción enzimática de los microorganismos bajo condiciones normales del medio ambiente.

Son obtenidos usualmente por vía fermentativa y se los denomina también Biopolímeros. Como ejemplos tenemos el BiopolTM poliésteres copolímeros del tipo polihidroxibutirato (PHB)/polihidroxivalerato(PHV), el Pululano (que es un polisacárido), el PLA (Acido poliláctico), etc.

Este último (PLA) es uno de los más conocidos y está basado 100% en el almidón obtenido del maíz, trigo ó papas. El almidón es transformado biológicamente (fermentación) mediante microorganismos en ácido láctico que es el monómero básico, que mediante un proceso químico se polimeriza transformándolo en largas cadenas moleculares denominadas acido poliláctico. Puede ser extrudado, inyectado, soplado, termoformado, impreso y sellado por calor para producir blister, bandejas y películas. Tiene también usos médicos en suturas, implantes y sistemas de liberación de drogas.

Existen también bioplásticos producidos directamente por las bacterias que desarrollan gránulos de un plástico llamado Polyhydroxyalkanoate (PHA) dentro de la célula misma. La bacteria se desarrolla y reproduce en un cultivo y el material plástico luego se separa y purifica.

Existen polímeros biodegradables de origen petroquímico como la Policaprolactona (PCL) que es un poliéster alifático que es verdaderamente biodegradable sin el requerimiento previo de la fotodegradación. En ambiente de compost la policaprolactona es asimilada totalmente por los microorganismos y la velocidad de degradación depende de varios factores tales como espesor de la muestra, humedad, temperatura, oxigeno, etc. Se usa entre otras aplicaciones como reemplazo del yeso en aplicaciones ortopédicas. Existen también en el mercado mezclas de PCL con almidón tales como el Mater-biTM que se usa para producir películas, artículos inyectados, productos termoformados, etc. (CIT, 2007).

Ventajas de los plásticos Biodegradable

- Permite eliminar los costes generados tanto por la retirada de la película plástica del campo como por su posterior gestión como residuo
- El proceso de Biodegradación es rápido, ya que este se activa y acelera en el momento deseado.
- Actúa como cualquier película convencional (www.plastico.com).

Ciba ENVIROCARE permite la degradación controlada de películas de acolchado después de su vida útil.

Se trata de una alternativa ecológica y económica cuando la recogida y el reciclado no son viables. Las películas de acolchado degradable con **Ciba ENVIROCARE** ® ayuda a hacer del campo eficiente, ecológico y rentable.

Beneficios de películas de acolchados degradables con Ciba ENVIROCARE

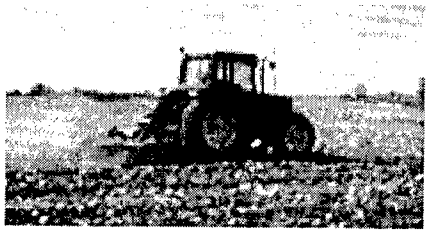
Ciba ENVIROCARE ® proporciona las mismas prestaciones que las películas de acolchado convencional así como mejor rendimiento, control de malezas, reducción del consumo de herbicidas y el ahorro del agua. Además, ofrece:

- Fácil manejo, fácil instalación y fácil laboreo del suelo después de la cosecha.
- No hay necesidad de recoger y reciclar después de su vida útil, para un importante ahorro de costos en comparación con los acolchados de películas tradicionales.

Maíz con ENVIROCARE película de acolchado degradable (a la izquierda) muestra un mejor desarrollo del maíz sin película de acolchado (a la derecha)

¿Cómo trabaja la película de acolchado degradable con ciba ENVIROCARE?

La película de acolchado degradable protege los cultivos durante la temporada de crecimiento. Después de su vida útil la película de acolchado se convierte en quebradizo y se rompe.



Después de la cosecha, los rastrojos de la película son frágiles y degradados de manera que el suelo es fácilmente cultivado sin interferencias.

Las películas de acolchado degradable con ciba ENVIROCARE no dejan residuos nocivos. El campo está listo para la próxima cosecha

¿Donde se puede utilizar las películas de acolchado con ciba ENVIROCARE para una controlada degradación?

La película ciba ENVIROCARE se adapta a las necesidades específicas del productor, como la zona de uso, la temporada y el tipo de cultivo. ENVIROCARE ha sido utilizado con éxito en cultivos como tomates, melón, maíz, lechugas y algodón. Las películas de acolchado ENVIROCARE son fáciles de demandar, ecológicas y económicas (cibasc.com).

Oxo-degradable

También denominados oxo-biodegradable, son materiales que desarrollan la descomposición vía un proceso de etapas múltiples usando aditivos químicos para iniciar la degradación. La primera etapa de degradación puede ser iniciada por la luz ultravioleta (UV) de la radiación solar, calor y/ó tensión mecánica que inician el proceso de degradación por oxidación. De ésta manera se reduce el peso molecular del polímero debido a la rotura de las cadenas moleculares quedando un remanente con suficientemente bajo peso molecular que sería susceptible de desarrollar un proceso de biodegradación con el tiempo.

Aunque esta tecnología y sus productos no son nuevos, desde su aparición en el mercado en los años 80 han surgido muchas dudas con respecto a si son verdaderamente biodegradables según las normas internacionales de biodegradación que se describen más adelante. Asimismo existen dudas de que los residuos que quedan luego de la degradación tengan efectos tóxicos para el medio ambiente provocado por residuos metálicos con potencial toxicidad. Otra desventaja adicional de los polímeros oxo-biodegradeable es que si se reciclan mezclados con polímeros comunes éstos se tornan degradables con lo que se impide su reciclado a usos de larga duración como tubos, cables, postes, etc.

Métodos para medir la biodegradación

Existen normas internacionales que regulan y miden la velocidad de los procesos de degradación y de biodegradación tanto en Estados Unidos como en Europa. Las más conocidas son:

- **Estados Unidos:** ASTM D6400-99 "Especificación Standard para los plásticos compostables" que es una norma que establece los requisitos y la norma ASTM D5338-98 "Método de ensayo standard para la determinación de la degradación aeróbica de los materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje" que es una norma de procedimiento para medir la degradación aeróbica.

- **Europa:** EN 13432 "Requisitos de los envases y embalajes valorizables mediante compostaje y biodegradación" y la norma EN 14855 "Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final y desintegración de materiales plásticos en condiciones de compostaje controladas" que es la norma que describe el procedimiento del análisis.

El objetivo de estas normas es especificar los plásticos y los productos fabricados con plásticos que son designados como compostables en instalaciones municipales ó industriales de compostaje aeróbico; así como los requerimientos para que productos para envasado puedan llevar la inscripción ó etiqueta "Compostable en instalaciones industriales ó municipales". Además las propiedades de estas especificaciones son las requeridas para determinar si los productos fabricados con los plásticos se compostan adecuadamente incluyendo la biodegradación a una velocidad compatible con materiales

que normalmente se someten al proceso de compostaje (por ejemplo restos de comestibles). Así mismo las propiedades requeridas en las normas son las necesarias para determinar que el proceso de degradación de estos materiales no disminuya la calidad y el valor del compost resultante (CIT, 2007).

Foto-degradable

Materiales que se degradan por la acción de los rayos ultravioleta de la radiación solar de tal manera que pierden resistencia y se fragmentan en partículas diminutas. Todos los plásticos de uso comercial en envasado son fotodegradables por naturaleza misma del polímero, en mayor o menor grado. Este proceso se basa en que la energía de la luz ultravioleta procedente de la luz solar es mayor que la energía de unión de los enlaces moleculares C-C y C-H y por lo tanto rompen las cadenas moleculares reduciendo su peso molecular y propiedades mecánicas.

Como ejemplo práctico tenemos que una película de polietileno común con un espesor medio se degrada completamente (se desintegra) al estar sometida continuamente a la luz solar durante los meses máxima radiación, primavera, verano y otoño. Cabe señalar que desde la década del 70 existen patentes de aditivos que agregados al polietileno aceleran la fotodegradación considerablemente, reduciendo el período de degradación a solo semanas de exposición al sol. (CIT, 2007).

10. RECICLADO DE PLASTICOS

Los plásticos contenidos en los residuos sólidos urbanos (RSU) son mayoritariamente polietileno (PE) y polipropileno (PP) (alrededor del 60%) y en menor proporción están el poliestireno (PS), cloruro de polivinilo (PVC), polietilentereftalato (PET), poliestireno butadieno (PS-BD), poli(metacrilato de metilo) (PMMA), etc.

Los plásticos, por su composición y su origen derivado del petróleo y por tanto de una materia prima agotable, son un residuo de alto valor, relativamente fácil de recuperar y abundante (tanto o más que el vidrio en los residuos domésticos y creciente entre los residuos industriales). Paradójicamente no ha sido objeto de una recogida selectiva y

prácticamente la mayoría del que se ha recuperado procede de las plantas de tratamiento de residuos domésticos. En conjunto, el porcentaje de recuperación del plástico utilizado en diferentes sectores industriales es muy bajo.

Tecnologías de reciclado

Existen diversos métodos en el tratamiento del reciclado de los plásticos, denominados: Primario, secundario, terciario y cuaternario.

El *tratamiento primario* consiste en operaciones mecánicas para obtener un producto de similares características que el producto original. Este reciclado se aplica para el aprovechamiento de recortes de las plantas de producción y transformación, y corresponde a un porcentaje muy reducido de los denominados residuos plásticos.

En el *tratamiento secundario*, consistente en la fusión, los desechos son convertidos en productos de diferentes formas y con mayor espectro de aplicaciones, las cuales son diferentes a las del plástico original, en un proceso evolutivo "en cascada" hacia prestaciones inferiores. Esta es la tecnología más usada hasta ahora, particularmente en la industria del automóvil, y se estima en sólo el 20% los plásticos que pueden ser reciclados de esta forma.

El *reciclado terciario*, o "reciclado químico", persiguen el aprovechamiento integral de los elementos constitutivos del plástico, por transformación del mismo en hidrocarburos, los cuales pueden ser materias primas integrables bien nuevamente en la ruta de obtención de plásticos o en otras rutas de la industria petroquímica. Los métodos pueden ser químicos o térmicos, dependiendo del tipo de polímero.

El *reciclado cuaternario* consiste en el calentamiento del plástico con el objeto de usar la energía térmica liberada de este proceso para llevar a cabo otros procesos, es decir el plástico es usado como combustible para reciclar energía. Las ventajas: mucho menos espacio ocupado en los rellenos sanitarios, la recuperación de metales y el manejo de diferentes cantidades de desechos. Sin embargo, algunas de las desventajas son la generación de contaminantes gaseosos.

La ruta química de reciclado terciario es la solvólisis o descomposición química, la cual se puede realizar por diferentes vías: metanólisis, glicólisis, hidrólisis y aminólisis.

La solvólisis, o descomposición química, ruta más desarrollada industrialmente que la térmica, es aplicable solamente a polímeros de condensación (poliésteres, nylon y poliuretanos), los cuales tienen grupos funcionales unidos por enlaces débiles que son susceptibles de disociación por ataque con determinados agentes químicos. Según el agente utilizado las vías de tratamiento son: Metanólisis, glicólisis e hidrólisis.

Es de destacar que los procesos de metanólisis (con metanol) y glicólisis (con etilenglicol) eliminan impurezas de los plásticos y los compuestos obtenidos se pueden dedicar a la fabricación de artículos con restricciones de calidad como los de envasado de alimentos (Arandes *et al.*, 2004).

ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

En la actualidad, el desarrollo de nuevas formulaciones de películas de acolchado tiene un gran auge industrial, debido a la demanda tanto de calidad, cantidad y presentación del producto, es por eso que se ha tenido que implementar nuevas técnicas para la producción de cultivos con acolchado.

Se han desarrollado películas con mayor duración y resistentes a los agentes agresivos externos que pueden perjudicar las películas.

Las películas con aditivos estabilizadores UV, son empleadas en películas para acolchado para evitar la degradación acelerada de la misma por diferentes factores que influyen en la vida de la película de acolchado, lo que hace que su duración sea más prolongada, con respecto a las películas de PE normal, empleada principalmente para la producción de cultivos hortícolas flores y frutales, tanto a nivel nacional como nivel mundial.

Las películas térmicas son utilizadas en aquellas áreas en donde la incidencia de energía solar es muy corta (zonas frías o lugares con poca radiación solar), para que sea aprovechada la energía solar y evitar la pérdida de esta, optimizando las condiciones que posibilitan el desarrollo de los cultivos, siendo utilizada en lugares de producción hortícola y de frutal.

Las películas termocontroladas, también son conocidas como películas enfriantes, son empleadas para cultivos que requieren menor luminosidad, debido a que modifican la cantidad de radiación incidente en el interior de la película de acolchado. Por lo que la radiación y temperatura alteran el crecimiento y desarrollo del cultivo.

Las películas fotoselectivas han demostrado ser buenos productos para combatir cierto tipo de plagas reduciendo la aplicación y consumo de fitosanitarios además, pueden ser empleadas de acuerdo a las necesidades del productor, debido a que la luz es de suma importancia para el crecimiento y desarrollo vegetativo del cultivo ya que el tipo de

película utilizada modifica la cantidad y la calidad de radiación requerida por el tipo de cultivo.

Desarrollos actuales en diferentes colores de películas permiten el control de plagas perjudiciales disminuyendo y hasta evitando el uso de pesticidas, con el consiguiente beneficio en la preservación del medio ambiente y evitando los riesgos de intoxicación de los operadores de estos productos.

Las películas biodegradables fabricadas a partir de biopolímeros, fueron especialmente fabricadas para evitar los problemas de residuos de plásticos en los suelos de cultivo así como los costos para recoger la película después de la plantación. Esta película biodegradable es comparable a los resultados obtenidos con un acolchado tradicional de polietileno, en igual de condiciones ambientales.

AREAS DE OPORTUNIDAD

Con los avances en aditivos, resinas y tecnologías de procesamiento, los plásticos tienen cada vez más qué ofrecerle al agro. Así mismo, macro tendencias como la globalización y los tratados de libre comercio impulsan a los agricultores a buscar en los plásticos aliados para competir e incrementar la productividad.

Una interesante tendencia es el uso de aditivos que ayuden a la degradación del plástico agrícola, ya que en esta forma se ahorran costos de recogida y se disminuye el impacto ambiental.

En cuanto a las principales oportunidades de desarrollo, a corto plazo la horticultura puede ser el sector de mayor crecimiento: "Cultivos como la papa pueden verse beneficiados con producciones mayores y con calidades de exportación, y tienen agremiaciones que pueden ayudar a difundir el uso de estos materiales".

En su concepto la aplicación de plásticos puede propagarse aún más hacia cultivos de frutales como el banano y el melón. "De igual forma, su uso en plantas aromáticas que pueden mostrar una tendencia alta mediante el uso de estos materiales plásticos"

Las películas para aplicaciones agrícolas siguen presentando desafíos especiales debido a las prácticas de reducción de calibre y al uso creciente de químicos agrícolas agresivos. "Un sistema efectivo de estabilización de luz debería ofrecer máxima transmisión de luz visible, una vida de servicio casi permanente, efecto de bloqueo UV para ciertas cosechas y una resistencia química máxima. Y por supuesto, el costo desempeño debe ser muy atractivo para los usuarios finales".

CONCLUSIONES

El uso de plásticos en agricultura responde a la necesidad de lograr incrementos tanto de calidad como de cantidad en la producción agraria. Su uso favorece una disminución del consumo de agua y consigue un microclima en la zona de crecimiento de las plantas, con lo que se incrementa la productividad.

En el acolchado se utilizan películas de polietileno de baja densidad lineal (LLDPE), polietileno de baja densidad (LDPE) y para determinados cultivos de alto valor añadido, copolímero EVA, los cuales al ser utilizados nos aumentan la calidad del producto final modificando la fisiología del cultivo dándole un valor agregado al producto.

La preocupación por la preservación medioambiental cobra cada vez más peso, con más intensidad en el sector agrícola cuya producción plantea un problema al final de la vida útil de la película plástica, es por eso que el sector agrícola busco soluciones a este problema utilizando programas como el uso del reciclado de materiales plásticos (películas de acolchado), y así poder evitar contaminar el medio ambiente

RECOMENDACIONES

Es importante que el productor tenga una adecuada información para seleccionar las películas idóneas para el tipo de cultivo, en cuanto al tipo de polímero, aditivos y diseño de las capas de las películas.

También deben considerarse el uso de películas con menos espesores, con excelentes resistencias mecánicas a un precio accesible para el productor.

Además debemos tener en cuenta el tipo de cultivo, los tipos de colores de las películas para acolchado, las condiciones climáticas, en la selección de la película

Se necesita un programa integral entre agricultores e industriales para la recuperación, reutilización de las películas y procesamiento para obtener un reciclado eficiente.

LITERATURA CITADA

1. Arandes M. J.; Bilbao, J.; Danilo, L. V.; 2004, Reciclado de Residuos Plásticos Revista Iberoamericana de Polímeros, Volumen 5(1) p. 1-6
2. Catalina F.; Salmerón A.; García Y.; Espí E.;2002 Revista Plásticos Modernos, Volumen 83, Numero 547 Enero, p.57-66
3. CIDAPA 2002 Revista Plasticulture II Época, Volumen 3 Ediciones de Horticultura S.L N^0 121
4. CIT, 2007 (Centro de Información Técnica Gerencia Técnica), Degradación de los Materiales Plásticos, Boletín Técnico Informativo No 21, Septiembre, Plastivida, Argentina p. 4-8
5. Díaz S.T.; Espí G.E.; Fontecha.R.A; Jiménez G.J. C.; López G.J.; Salmerón C.A.; 2003 Los filmes Plásticos en la Producción Agrícola, Repsol YPF, Mundi-Prensa, p.276-278
6. Díaz S.T.; Espí G.E.; Fontecha.R.A; Jiménez G.J. C.; López G.J.; Salmerón C.A.; 2003 Los filmes Plásticos en la Producción Agrícola, Repsol YPF, Mundi-Prensa, p.27-280
7. Edge, S.J.; Gerber, J.M. 1988. The Agric. Plastics Cong. 18:84-93.
8. Enciclopedia del Plástico 2000,Ttomo 1, Editorial Centro Empresarial del Plástico Segunda Edición p. 321-327
9. Espí E. , 1997 Revista de Plásticos Modernos Volumen 73, Numero 489 p. 240-247
10 García de A., J.; 1996 Manual de Acolchados Primera Parte, Revista Productores de Hortalizas, Año 5 No 4 Abril, México
10. Gurianto, M.1983 el acolchado en diversas situaciones agroclimáticas IX congreso internacional de agricultura con plásticos del 6-12 de Noviembre, Guadalajara, Jalisco
11. Ibarra J. L.; 2001 Manual de Acolchado de Suelos, Centro de Investigación en Química Aplicada
12. Ibarra J., L. y A. Rodríguez 1991 Acolchado de Suelos con Películas Plásticas, 1ª Edición, Editorial Limusa, S.A. de C.V. México

13. Ilic P.; 1992 Control Efectivo de Malezas en el Valle de San Joaquín, Revista Hortalizas, Frutas y Flores, No 2 febrero 28

14 Lahalih M., S. 1992 Película para Acolchado Plástico Plurilaminar Degradable y con Dispensador Regulable de Nutrientes CEPLA (Comité Español de Plásticos en Agricultura) XII Congreso Internacional de Plásticos en Agricultura 3-8 de Mayo, Granada ,España

15 Lahalih M.S; 1992 Película para Acolchado Plástico Plorilaminar Degradable y con dispensador regulable de Nutrientes. CEPLA (Comité Español de Plásticos en la Agricultura) XII Congreso Internacional de Plásticos en Agricultura del 3 la 8 de Mayo, Granada, España.

16 Lelli, N.; Landuzzi, A.; Guo, M.; Tan. K.H 2000 Proceedings of the 15th International Congress for Plastics in Agricultura, Hersey, Pensilvania, EEUU, p.386-39

17 López M.J.; Catalina. C.; Fenoll. J.; González. A.; 2007 Revista de Plásticos Modernos, Vol. 94, Núm. 617 Noviembre p. 417- 421.

18 Medina T.R., 2005 Plásticos Biodegradables, p.23

19 Orona, V.; 1994 Efecto de Pigmentos Sobre la Fotoxidación de Películas de PELBD/PEBD. Tesis Maestría, Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de Ciencias Químicas. Saltillo, Coahuila

20 Papaseit, P.; Babiola .J.; Armengol. E. 1997 Los Plásticos y la Agricultura (Plastics and Agriculture) Ediciones de Horticultura, S.L Revs. p. 12-60

21 Pauquet, J.R.; 1998 Plastic, Ruben and Composites Processing and Applications 27(1), p.19-24

22 Peacock, A.J.;2000 Handbook of Polyethylene :Structures, Properties and Applications, Marcel Dekker: Nueva York, p.18-30

23 Pritchard, G., 1998 Ed. Plastics Additives. An A-Z Reference; Chapman & hall; Londres

24 Quezada M. R.; 2005 Agricultura en México su Potencial Revista Ambiente Plastico.Num.11,Marzo/abril

25 Relf, D.; McDaniel, A.; 2004 Mulching For a Healthy Landscape, Virginia Cooperative, p. 426-326

26. Repsol-YPF 2001 Duración de Películas para Acolchado compuestos de Repsol-YPF, versión 3.0, Madrid
27. Sánchez L.,S; 2006 Aditivos para Plásticos, Centro de Investigación en Química Aplicada p.5-65
28. Serrano, C., Z. 1990 Técnicas de Invernadero. PAO Suministros Gráficos, S.A: Sevilla, España
29. Swallowe, G.M., 2000 Mechamical Propierties and testing of Polymers; An A-Z references, Klower Academic Publishers Dordrecht p. 302-515
30. Swallowe, G.M.; 2000 Mechanical Properties and Testing of Polymers: An A-Z Reference; Kluwer Academic Publishers: Dordrecht
31. UERT, 2001(UNION EXPLOSIVOS RIO TINTO, S.A. ERT. S.) El Polietileno de Baja Densidad (Técnicas de Transformación) Tarragona- España p. 33-55
32. Vasile, C.;2000 Handbook of Polyolefins; Marcel Dekker: Nueva York p. 12-45

Web Citadas

- www.pliantcorp.com/prodmkt/pm_agricultural/images/Pelicula_Plastica_Grabada_Mulch
- www.olefinas.com/es/productos/sector-agropecuario/acolchados-de-suelo.html - 18k -
- www.tgrok.com
- www.plastico.com/tp/secciones/TP/ES/MAIN/IN/ARTICULOS/doc_57870_HTML.html?idDocumento=57870 - 67k –
- cibasc.com/index/ind-index/ind-agr/ind-agr-effects-2/ind-agr-eff-safety-and-environment/envirocare - 24k