

300618



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE QUIMICA
INCORPORADA A LA U.N.A.M.

**"ANALISIS DE LAS ALTERNATIVAS DE POLIMEROS
BIODEGRADABLES EN CUBIERTAS PARA LA
AGRICULTURA".**

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

PRESENTAN:

JAIME AGUIRRE TAPIA
RODOLFO MARTINEZ PARRA

Director de Tesis :I.Q. Gerardo Mugica Z

MEXICO, D.F.

1995



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

300618



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE QUIMICA
INCORPORADA A LA U.N.A.M.

"ANALISIS DE LAS ALTERNATIVAS DE POLIMEROS
BIODEGRADABLES EN CUBIERTAS PARA LA
AGRICULTURA".

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO

PRESENTAN:

JAIMÉ AGUIRRE TAPIA
RÓDOLFO MARTÍNEZ PARRA

Director de Tesis: I.Q. Gerardo Mugica Z

MEXICO, D.F.

1995

A MIS PADRES:

Por compartir logros y tropiezos.
Por su gran amor y comprensión,
dedico este trabajo como muestra
de agradecimiento.

A MIS HERMANOS:

Miguel Angel, Aida y Arturo.
Con cariño y respeto.

A JUVE:

Por su ejemplo de bondad e
integridad.
Por enseñarme a soñar.
Gracias.

"Cada hombre es un camino hacia sí mismo, el ensayo de un camino, el boceto de un sendero."

JAIME AGUIRRE T.

A MIS PADRES:

A quienes debo lo que soy.
Por haberme infundido el sentido
de responsabilidad y honradez.
Por todo el cariño y apoyo
recibido en cada momento de mi
vida.

Gracias

A MIS HERMANAS:

Paty y Lilly.

Gracias por su ejemplo de
estudio y dedicación.

A MARTHA:

Por el apoyo, cariño, confianza y
amor que me has brindado y me
motiva a ser mejor en todo lo que
hago.

Por compartir grandes momentos
conmigo.

Gracias por tu amor.

A MIS AMIGOS:

Por compartir tantos años de
incondicional amistad.

"Si puedes imaginarlo, es que puede existir"

RODOLFO MARTINEZ P.

AGRADECIMIENTOS

Queremos ofrecer un agradecimiento especial a todas aquellas personas, que de alguna u otra manera estuvieron involucradas tanto en el transcurso de nuestros estudios, como en la realización de este trabajo, como lo son todos nuestros profesores que además de habernos dado una preparación académica, nos brindaron su apoyo y formación profesional.

INDICE

CAPITULO 1:	
INTRODUCCION	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 OBJETIVOS DE DESARROLLO	2
CAPITULO 2:	
GENERALIDADES DE POLIMEROS	4
2.1 CLASIFICACION	4
2.2 COMPORTAMIENTO DE POLIMEROS ANTE LA TEMPERATURA	12
2.3 COMPORTAMIENTO MECANICO DE LOS POLIMEROS	13
2.4 COMPORTAMIENTO DE POLIMEROS A FACTORES AMBIENTALES	14
2.5 RESISTENCIA DE POLIMEROS A SOLVENTES	15
2.6 METODOS DE FABRICACION	15
2.7 PROCESOS DE TRANSFORMACION	16
CAPITULO 3:	
CARACTERÍSTICAS DEL POLIETILENO	24
3.1 PROPIEDADES	24
3.2 CARACTERISTICAS DEL POLIETILENO LINEAL DE BAJA DENSIDAD CON CARGA DE ALMIDON	29

CAPÍTULO 4:
TIPOS DE DEGRADACION Y RECICLADO 33
CARACTERÍSTICAS DE LA BIODEGRADACION

4.1 FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA DEGRADACION DE UN POLIMERO	34
4.2 TIPOS DE DEGRADACION	35
4.3 BIODEGRADACION	43
4.4 IMPORTANCIA DE LA DEGRADACION DE LOS PLASTICOS	51
4.5 PROCESOS PARA EL RECICLADO	52
4.5.1 RECICLADO PRIMARIO	52
4.5.2 RECICLADO SECUNDARIO	64
4.5.3 RECICLADO TERCARIO	68
4.5.4 RECICLADO CUATERNARIO	70

CAPÍTULO 5:
ANÁLISIS EXPERIMENTAL PARA VALORAR LA 72
BIODEGRADACION Y FOTODEGRADACION DE UNA
PELICULA DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD
CON CARGA DE ALMIDON

5.1 PROCESO EXPERIMENTAL PARA LA FOTODEGRADACION DEL POLIMERO	73
5.1.1 METODOLOGIA	73
5.1.2 RESULTADOS EN LA FOTODEGRADACION	74
5.2 PROCESO EXPERIMENTAL PARA LA BIODEGRADACION DEL POLIMERO	75
5.2.1 METODOLOGIA	75
5.2.2 RESULTADOS EN LA BIODEGRADACION	76

5.3 DISCUSION DE RESULTADOS	76
5.3.1 DISCUSION DE RESULTADOS EN EL PROCESO DE FOTODEGRADACION	76
5.3.2 DISCUSION DE RESULTADOS EN EL PROCESO DE BIODEGRADACION	77
CAPITULO 6 : COMPARACION ENTRE RECICLADO Y BIODEGRADABILIDAD APLICADO A PELICULAS DE POLIETILENO EN LA AGRICULTURA	80
6.1 ANTECEDENTES	80
6.2 LOS CICLOS DE LA NATURALEZA	82
6.3 LOS CICLOS INDUSTRIALES	84
6.4 EL CICLO DE LOS PLASTICOS	85
6.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE CADA PROCESO	88
6.5.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL RECICLADO	89
6.5.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL POLIMERO DEGRADABLE	90
6.6 COMPARACION ECONOMICA	91
CAPITULO 7 : APLICACION DE LAS PELICULAS DE POLIETIETILENO EN LA AGRICULTURA	95
7.1 CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DE POLIETILENOS USADOS COMO PELICULAS	95
7.2 TIPOS DE PELICULA DE POLIETILENO	113
7.3 EFECTOS DEL ACOLCHADO	120
7.3.1 ACCION DEL ACOLCHADO SOBRE LA TEMPERATURA	120

7.3.2 ACCION DEL ACOLCHADO SOBRE LA HUMEDAD DEL SUELO	121
7.3.3 ACCION DEL ACOLCHADO SOBRE LA ESTRUCTURA DEL SUELO	123
7.3.4 ACCION DEL ACOLCHADO SOBRE EL CONTENIDO DE NITROGENO Y ANHIDRIDO CARBONICO EN EL SUELO, Y SOBRE LA PROTECCION DE LA ACTIVIDAD QUIMICA, BIOQUIMICA Y MICROBIOLOGICA.	123
7.3.5 ACCION DEL ACOLCHADO SOBREL EL DESARROLLO DE LAS RAICES Y SOBRE SU DISTRIBUCION EN EL SUELO	125
7.3.6 ACCION DEL ACOLCHADO SOBRE LAS HIERBAS INFESTANTES	126
7.3.7 EFECTO EN LA SALINIDAD DEL SUELO	127
7.4 ELECCION DE LA PELICULA DE PLASTICO	128
7.4.1 TIPOS DE ACOLCHAMIENTO	130
7.4.2 EL TOMATE EN LA AGROPLASTICULTURA	142
CONCLUSIONES	152
BIBLIOGRAFIA	154

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1	HOMOPOLIMERO	6
FIGURA 2	COPOLIMERO DE BLOQUE ALTERNADO	6
FIGURA 3	COPOLIMERO DE BOLQUE AL AZAR	6
FIGURA 4	INJERTO	6
FIGURA 5	ESTRUCTURA DE TERMOPLASTICOS NO RAMIFICADA	8
FIGURA 6	ESTRUCTURA DE TERMOPLASTICOS RAMIFICADA	8
FIGURA 7	ESTRUCTURA DE PLASTICOS TERMOFIJOS	9
FIGURA 8	PROCESOS DE TRANSFORMACION TERMOPLASTICOS Y TERMOFIJOS	18
FIGURA 9	PROCESOS DE TRANSFORMACION DEL POLIETILENO	19
FIGURA 10	EXTRUSORA DE PLASTICOS	21
FIGURA 11	PROCESO DE FABRICACION DE PEBD POR BAJA PRESION	28
FIGURA 12	ESPECTRO VISIBLE DE LA ENERGIA SOLAR RECIBIDA EN LA SUPERFICIE DE LA TIERRA	98
FIGURA 13	PERMEABILIDAD DE DIFERENTES TIPOS DE POLIETILENO A LA LUZ	104

FIGURA 14	PERMEABILIDAD DE DIFERENTES TIPOS DE PELÍCULAS DE POLIETILENO A LA LUZ	105
FIGURA 15	HIDROXIBENZOFENONA CHIMASSORB 81	111
FIGURA 16	HIDROXIBENZOTIAZOLES TINUVIN 328	111
FIGURA 17	NI QUENCHER CHIMASSORB N705	112

INDICE DE TABLAS

TABLA 1	CONSUMO DE PLASTICOS	4
TABLA 2	POLIMEROS TERMOPLASTICOS	10
TABLA 3	POLIMEROS TERMOFIJOS	11
TABLA 4	POLIMEROS ELASTOMEROS	11
TABLA 5	METODO EN SOLUCION	16
TABLA 6	PROPIEDADES MOLECULARES BASICAS DE PEBD Y PEAD	25
TABLA 7	EFFECTOS EN LA DENSIDAD Y EL PESO MOLECULAR EN ALGUNAS PROPIEDADES	26
TABLA 8	PROPIEDADES DE PE CON CARGA DE ALMIDON	29
TABLA 9	VARIACION DE LA DEGRADACION DEL LDPE RESPECTO A LA CONCENTRACION	39
TABLA 10	RESULTADO EXPERIMENTAL DE LA FOTODEGRADACION	74
TABLA 11	COMPOSICIONES DE MATERIALES PLASTICOS	87
TABLA 12	COSTOS DE TRANSFORMACION	92
TABLA 13	COMPARATIVO DE COSTOS	93

TABLA 14	PROPIEDADES DE DIVERSOS TIPOS DE FILMES DE PE. VALORES COMPARATIVOS	96
TABLA 15	TRANSPARENCIA A LAS RADIACIONES SOLARES	99
TABLA 16	PORCENTAJE DE TRANSMISION DE RADIACION SOLAR Y TERMICA	100
TABLA 17	TRANSPARENCIA DE FILMES A LAS RADIACIONES NOCTURNAS	102
TABLA 18	FACTORES TOTALES DE TRANSMISION Y ABSORCION DE ALGUNOS MATERIALES	103
TABLA 19	TIPOS DE PELICULAS DE ACOLCHADO	119
TABLA 20	FERTILIZACION	139
TABLA 21	COSTOS DE PRODUCCION, COSECHA Y EXPORTACION CON PE DE PRIMERA	146
TABLA 22	COSTOS DE PRODUCCION, COSECHA Y EXPORTACION CON PE RECICLADO	147
TABLA 23	COSTOS DE PRODUCCION, COSECHA Y EXPORTACION CON PE BIODEGRADABLE	148

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes.

Explorando las razones del desarrollo espectacular de la agricultura en otras áreas del mundo y sus consecuencias económicas y analizando las influencias del plástico como el más reciente insumo incorporado a la agricultura, se origina la convergencia de dos estrategias, la de los alimentos y la de petroquímicos.

Durante décadas pasadas hubo en México una incipiente divulgación y desarrollo de estas tecnologías, pero ante lo contundente de los resultados alcanzados en productividad en otras regiones del mundo surgió el interés de llevar a cabo un proyecto de plásticos en la agricultura, cuyos principales objetivos son:

- a) Mejorar la calidad e incrementar la variedad de productos elaborados por la industria plástica destinados a la agricultura.
- b) Desarrollar estrategias regionales para incrementar la producción agrícola e industrial mediante la contribución de los plásticos.
- c) Contribuir al incremento del consumo de la creciente producción petroquímica de polímeros.

La necesidad de un proyecto de esta índole surgió de la creciente dependencia del exterior en materia de alimentos, así como del constante crecimiento de la población, lo cual lanzó a la búsqueda de una alternativa más a las ya existentes, para lograr aumentos de producción agrícola tanto en las zonas actualmente en operación, como en aquellas que

potencialmente lo son si se tecnifican adecuadamente, para el uso racional de los escasos recursos naturales que presenta.

Un factor determinante es el hecho de que México está en condiciones de contar con los insumos petroquímicos necesarios para la producción de los plásticos destinados a la agricultura.

El uso más eficiente de las zonas agrícolas con que se cuenta, aumentando su productividad, la incorporación de tierras potencialmente productivas y la liberación de tierras cultivables destinadas a la ganadería haciendo a ésta intensiva mediante el uso de los plásticos, así como la ampliación de la frontera agrícola permite considerar una mayor producción.

Ambas acciones inciden de una manera significativa en la economía y la problemática social del país ya que, por una parte, el aumento de producción incide en menores importaciones de granos y mayores exportaciones de hortalizas y por la otra, el aumento de la frontera agrícola genera una mayor capacidad de empleo rural permanente ya que el uso de los plásticos, así como la ampliación de la frontera agrícola permite el uso de la tierra en forma prácticamente constante.

El avance en la autosuficiencia alimentaria y la generación de excedentes exportables mediante la práctica de la plasticultura, nos obliga a no crear una nueva dependencia con respecto a los materiales y tecnologías utilizadas.

1.2 OBJETIVOS DE DESARROLLO

Comparar los procesos de biodegradación y reciclado en un agroplástico y su integración al ciclo de la naturaleza.

Fomentar la educación para la utilización de los plásticos en cuanto a su recolección, reutilización y biodegradación se refiere.

Orientar la utilización de plásticos en agricultura, para que mediante la contribución de éstos, se coopere en el logro de:

- * La autosuficiencia alimentaria.
- * El aumento de exportaciones agrícolas.

Se pretende realizar un estudio de la factibilidad de utilizar una película de polietileno con una carga de almidón para el uso como acolchado en cultivo de jitomates. Este estudio estará dividido en una parte teórica en la cual se hablará del polietileno y sus características, ventajas y desventajas de reciclar éste polímero respecto a su degradación apoyado con una técnica experimental donde se pondrán a prueba las propiedades de un polímero con carga de almidón y uno sin carga de almidón para estudiar su resistencia a la luz ultravioleta (fotodegradación) y a microorganismos (biodegradación).

En base a lo anterior se realizará un estudio económico para las exportaciones del jitomate utilizando este agroplástico, ya que un agricultor lo que requiere es tener una cosecha abundante con la menor inversión posible para que le redunde en ganancias atractivas que le permitan repetir el ciclo con excelentes productos.

CAPÍTULO 2 GENERALIDADES DE POLÍMEROS

2.1 CLASIFICACION

El consumo de los polímeros a través de los años se ha ido incrementando, como se puede constatar a través de la siguiente Tabla:

TABLA 1.⁽¹⁾
Consumo de plásticos.

PAIS	1950	1970	1988	2000
ALEMANIA	6	75	120	200
USA	5	55	75	130
JAPON	3	50	90	150
BRASIL	0.1	6	20	50
MEXICO	1	6	12	20

Nota: Cientos de miles de toneladas

Este aumento en el consumo se debe primordialmente a las ventajas de los polímeros con respecto a los materiales tradicionales esto es, pueden transformarse en de variables como son la temperatura y la presión, y la ventaja de que conservan la forma obtenida.

Los plásticos son moléculas cuyo origen puede ser de tipo natural o sintético y abarca una extensa variedad de materiales con propiedades

(1) Tomada de la referencias bibliográfica 58

físicas, químicas y biológicas muy distintas entre sí, que van desde proteínas, polisacáridos y ácidos nucleicos que tienen funciones específicas en diversas formas de vida, hasta polietileno y elastómeros que se utilizan para diferentes industrias.

Los polímeros sintéticos a través de la investigación y nuevos desarrollos han encontrado aplicación en una extensa variedad de campos de la tecnología, ya que por sus propiedades han venido a desplazar a materiales como pieles, algodón, cerámica, madera, etc. debido a que presentan grandes ventajas como pueden ser su durabilidad, ligereza, apariencia etc.. Esta gran variedad de adaptación se debe primordialmente a que la tecnología de los polímeros ofrece desarrollos específicos para diferentes necesidades y que van desde compuestos de alta dureza hasta materiales con comportamiento elástico.

Los polímeros pueden estar formados con un tipo de monómero o una mezcla de dos o más, lo cual permite modificar las características de los polímeros en base a las necesidades requeridas del polímero.

a) Homopolímeros: Polímeros obtenidos de un monómero único por medio de agentes iniciadores. Ver Figura 1.

b) Copolímeros: Polímeros obtenidos de dos o más monómeros de diferentes tipos, dando por resultado mejores propiedades. Estos copolímeros pueden ser de bloque alternado o de bloque al azar.

Polímero de bloque alternado.-Las moléculas toman lugar por grupos bien definidos. Ver Figura 2.

Polímero de bloque al azar.-Las moléculas no presentan una secuencia. Ver Figura 3.

Injerto.-Cuando se tiene una cadena principal con monómeros del mismo tipo, en donde se injertan pequeñas cadenas de otro monómero, como el polietileno de bajo peso molecular.

TIPOS DE MONOMEROS

FIGURA 1 HOMOPOLIMERO



FIGURA 2 COPOLIMERO DE BLOQUE ALTERNADO



FIGURA 3 COPOLIMERO DE BLOQUE AL AZAR

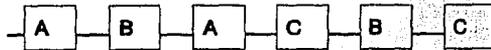
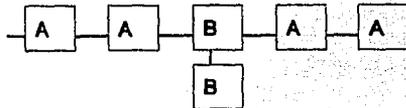


FIGURA 4 INJERTO



En base a su comportamiento y características al calor los polímeros son clasificados en tres grupos:

1.- Termoplásticos : Estos polímeros presentan un comportamiento similar a la cera frente al calor ya que se reblandecen y fluyen al calentarse, lo que permite que estos materiales puedan fundirse y volver a ser utilizados ininidad de veces. En cuanto a su estructura lineal se refiere presentan 2 tipos. Ver Figuras 5 y 6.

Es debido a esta estructura que los termoplásticos presentan uniones muy débiles y cuando se les aplica calor fluyen fácilmente.

2.- Termofijos : Su comportamiento frente al calor es similar a un huevo duro ya que se carbonizan completamente, es decir no se reblandecen frente al calor y se destruyen por lo que sólo pueden ser utilizados una vez.

Presentan uniones fuertes entre moléculas y ésta es la razón por lo cual no fluyen al aplicarles calor, presentando cadenas entrecruzadas. Ver Figura 7.

3.- Elastómeros : Son también llamados polímeros elásticos y están constituidos por la goma natural y todas las gomas sintéticas que se caracterizan por un alargamiento de ruptura muy elevado. La propiedad elástica de la goma natural y sintética alcanza su valor máximo después de un tratamiento de vulcanización con azufre, cambiando la estructura molecular de la goma. Estos polímeros no están en función del calor sólo se puede procesar en un rango limitado y relativamente estrecho de temperaturas. Si se continua calentando se carboniza sin fundirse.

Otra clasificación que se puede utilizar se basa en el acomodo de las moléculas en el polímero, es decir CRISTALINIDAD :

1.- Amorfos (transparentes) : Presentan sus moléculas en completo desorden, por lo que dejan pasar la luz entre los huecos que se forman y son transparentes.

FIGURA 5 ESTRUCTURA NO RAMIFICADA

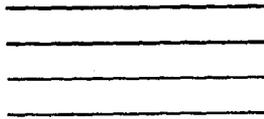


FIGURA 6 ESTRUCTURA RAMIFICADA

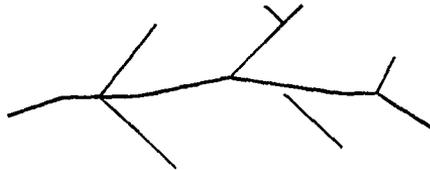
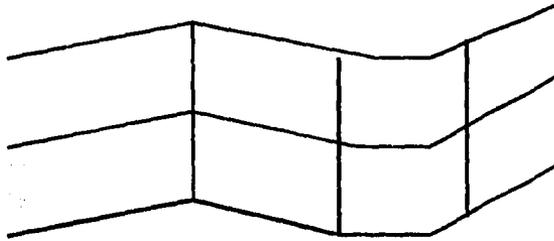


FIGURA 7
ESTRUCTURA CON CADENAS ENTRECruzADAS



2.-Cristalinos (opacos) : Presentan moléculas parcialmente ordenadas por lo que el paso de la luz a través de este tipo de conformación se dificulta, dando por resultado polímeros opacos.

A continuación se presenta una Tabla con los principales plásticos y sus abreviaturas:

TABLA 2⁽²⁾
POLÍMEROS TERMOPLÁSTICOS

NOMBRE QUÍMICO	ABREVIATURA
POLIETILENO	PE
POLIPROPILENO	PP
POLIESTIRENO	PS
CLORURO DE POLIVINILO	PVC
POLIACETAL	POM
ACRILICO	PMMA
POLIAMIDA	PA
POLICARBONATO	PC
POLIETILENTEREFTALATO	PET
POLIBUTILENTEREFTALATO	PBT
ACRILONITRILIO-ESTIRENO- BUTADIENO	ABS
POLITETRAFLUOROETILENO	PTFE
ACETATO DE CELULOSA	CA
NITRATO DE CELULOSA	CN
POLISULFONA	PPS
POLIMETILPENTENO	TPX
OXIDO DE POLIFENILO	PPO
POLIVINILACETATO	PVA
POLIAMIDA	PI

⁽²⁾ Tomada de la referencia bibliográfica 58

TABLA 3⁽³⁾
POLÍMEROS TERMOFIJOS

NOMBRE QUÍMICO	ABREVIATURA
RESINAS EPOXI	EP
MELAMINA-FORMALDEHIDO	MF
UREA-FORMALDEHIDO	UF
FENOLICAS(BAQUELITA)	PF
ALQUIDICAS	-
POLIESTER INSATURADO	UP
POLIURETANO	PUR
SILICON	SI

TABLA 4⁽⁴⁾
POLÍMEROS ELASTOMEROS

NOMBRE QUÍMICO	ABREVIATURA
HULE NATURAL	NR
HULE ESTIRENO BUTADIENO	SBR
POLIBUTADIENO	PB
HULE BUTILO	IBR
POLICLOROPRENO	CR
POLIISOPRENO SINTETICO	IR
HULE NITRILO	NBR
HULE DE SILICON	-
HULES DE ETILENO-PROPILENO	EPN/EPDM

En cuanto a las propiedades de los polímeros en general, se puede mencionar que son estimadas en base a su peso molecular y a su estructura. A mayor peso molecular, mayor longitud de la cadena y mayor resistencia. Estas propiedades son las siguientes:

- Dureza
- Resistencia
- Flujo melt index
- Brillo

(3) Tomada de la referencia bibliográfica 58

(4) Tomada de la referencia bibliográfica 58

2.2 COMPORTAMIENTO DE POLÍMEROS ANTE LA TEMPERATURA

El movimiento acelerado que presentan las moléculas por el calor está limitado por la magnitud de las fuerzas de atracción entre las cadenas en lo que a termoplásticos se refiere y por entrecruzamientos intermoleculares, en el caso de termofijos.

Los termoplásticos en estado sólido pueden ser trabajados en forma normal por torneado, fresado, taladrado, etc. y pueden pegarse y ser soldados por medio de ultrasonido.

En el estado termoelástico, las fuerzas intermoleculares de unión son débiles y dichos materiales se encuentran reblandecidos, pudiendo ser transformados por doblado, estirado y termoformado.

Una vez que los polímeros se encuentran en estado líquido, los polímeros termoplásticos pueden ser inyectados, extruidos, calandreados, etc..

Como los polímeros termofijos se encuentran formados por moléculas que durante el procesamiento, (e.j. compresión, inyección, etc.), reaccionan químicamente para formar una red tridimensional con enlaces de tipo primario y no es posible que haya cambios en el material por el aumento de la temperatura hasta ciertos rangos de ésta, ya que pasando éste rango de temperatura se presenta una destrucción en la estructura.

Los polímeros elastómeros presentan un comportamiento muy similar a los termofijos ya que tampoco se funden con el calor y presentan un límite de rango más estrecho de temperatura antes de fundirse que los termofijos.

2.3 COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LOS POLÍMEROS

Ante la presencia de aditivos los polímeros se comportan de manera diferente que los metales debido a las distintas estructuras químicas que presentan. Como se ha visto la temperatura juega un papel muy importante en los polímeros y en cuanto a las propiedades mecánicas no es la excepción ya que se encuentra dependiendo de ésta.

Los polímeros termoplásticos sujetos a resistencia, como puede ser tensión y flexión no cumplen con la Ley de Hooke que nos indica el comportamiento de un sólido perfectamente elástico. A determinada temperatura y cuando se somete a una carga constante, la sustancia fluirá y presentará una deformación constante durante determinado período aún a pesar de que desaparezca la carga. A temperaturas elevadas la resistencia mecánica de los polímeros disminuye grandemente. Esto es debido a factores que afectan las propiedades mecánicas así como la estabilidad dimensional, entre las que podemos mencionar:

- *Tensiones generadas durante el moldeo de la pieza.
- *Duración y tipo de carga o fuerza que se encuentra sometida la pieza.
- *Degradación provocada por el medio ambiente o de tipo químico.
- *Variaciones en la temperatura de trabajo y absorción de humedad.

Es importante hacer notar que los aditivos mejoran las propiedades de los polímeros y es lo que nos permite mejorar las características requeridas en los materiales tradicionales como puede ser el vidrio, el metal, piel, etc..

Debido a la estructura de los polímeros termofijos, que es reticulada

presentan un comportamiento mecánico distinto a los polímeros termoplásticos. Con los polímeros termofijos se puede trabajar a temperaturas muy elevadas ya que presentan un módulo de elasticidad alto.

En lo que a elastómeros se refiere presentan una deformación instantánea cuando se les aplica una determinada carga y dependiendo del tamaño de esta será la deformación que puede ser reversible o irreversible.

2.4 COMPORTAMIENTO DE POLÍMEROS ANTE FACTORES AMBIENTALES

Los polímeros pueden ser afectados por diversos agentes de tipo atmosférico como radiación solar (rayos ultravioleta), temperaturas, etc., y se presentan en forma de pérdidas de propiedades tanto químicas como físicas y se le conoce como degradación. La resistencia a los agentes químicos está determinada por el tipo de enlace de la cadena y por las cargas que contenga el polímero.

Los polímeros lineales, que poseen enlaces C - C y grupos como flúor y cloro, son más resistentes a los agentes químicos. Sin embargo, los polímeros ramificados son susceptibles a la oxidación por lo que es necesario añadirles agentes antioxidantes. Los polímeros sufren una degradación debido al ataque de la luz ultravioleta, es por esto que para aumentar la resistencia a la luz ultravioleta se requieren de cargas que sirvan como estabilizadores y absorbentes.

2.5 RESISTENCIA DE POLÍMEROS A SOLVENTES

Los polímeros lineales son fácilmente solubles con solventes específicos ya que éstos actúan entre las cadenas separándolas y disolviéndolas. Los polímeros entrecruzados son más resistentes al ataque de solventes y su resistencia es proporcional al grado de entrecruzamiento. Sólo rompiendo las uniones entrecruzadas es posible la disolución.

Según su consumo los polímeros se clasifican en:

- * *Commodities* que son de alto consumo.
- * Técnicos o versátiles que son de consumo medio.
- * Ingenieriles que son de bajo consumo.

2.6 METODOS DE FABRICACION

Para efectos del presente trabajo no se pretende profundizar en lo procesos de fabricación y solamente se dará una breve explicación de éstos.

1.- *Método en solución*: El monómero y el diluyente son miscibles, la ventaja del diluyente es que elimina el calor de polimerización al elevar la temperatura y vaporizarse. Resulta costoso al no poder recuperarse el diluyente y se le utiliza cuando no se desean materiales sólidos sino soluciones como adhesivos líquidos. Se divide según el número de fases:

TABLA 5⁽³⁾

MONÓMERO/DILUYENTE	SOL.	SOL.	SOL.	SOL.
INICIADOR	SOL.	INSOL.	INSOL.	SOL.
POLÍMERO	SOL.	SOL.	INSOL.	INSOL.

2.- *Método directo* : El monómero se hace reaccionar con aditivos y son mezclados en un reactor con agitación. Es así como se obtienen polímeros de excelente calidad y con las propiedades del polímero puro. Este método se usa generalmente para reacciones por condensación, ya que el calor que desprenden bajo y la reacción es controlable. Se utiliza para polímeros de alta calidad y el polímero es obtenido como bloque.

3.- *Método por emulsión* : El monómero se emulsiona generalmente en agua o en algún otro líquido dispersante utilizando agentes emulsificantes como el jabón que disminuye el tamaño de la partícula con lo que pueden obtenerse polímeros de mayor peso molecular.

4.- *Método por suspensión* : El monómero y el iniciador se mezclan dispersándose en agua mediante la agitación para mantener la suspensión y la temperatura. Una vez finalizada la reacción el polímero es separado y se obtiene en forma de pequeñas perlas.

2.7 PROCESOS DE TRANSFORMACION

Existen actualmente una gran cantidad de métodos para transformación de polímeros y la gran mayoría se basan en la extrusión en el que se logra el *pellet*. (El *pellet* es la forma más utilizada debido a su manejo y

⁽³⁾ Tomada de la referencia bibliográfica 58

procesabilidad).

A través de los años se ha logrado un gran desarrollo en los procesos debido primordialmente a los equipos de transformación que se han innovado y modificado según sea el material o pieza deseada, ya sea por necesidad o aprovechamiento del material.

De acuerdo al tipo de polímero ya sea termoplástico o termofijo existe una clasificación, como se observa en la Figura 8 y Figura 9.

FIGURA 8 PROCESOS DE TRANSFORMACION

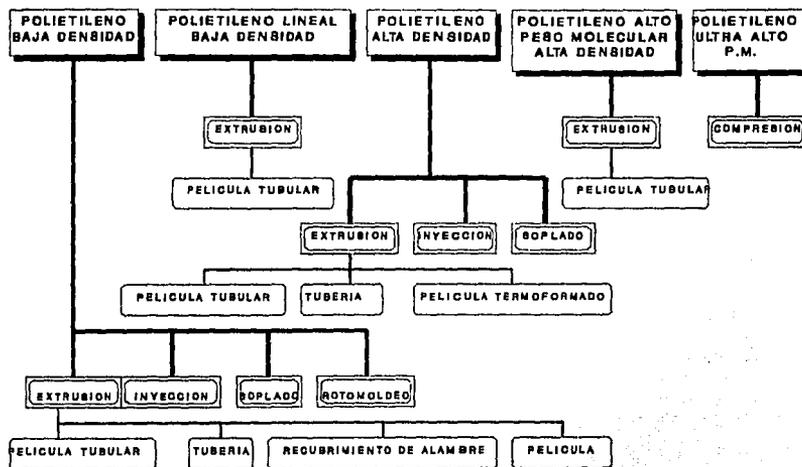
TERMOPLASTICOS



TERMOFIJOS



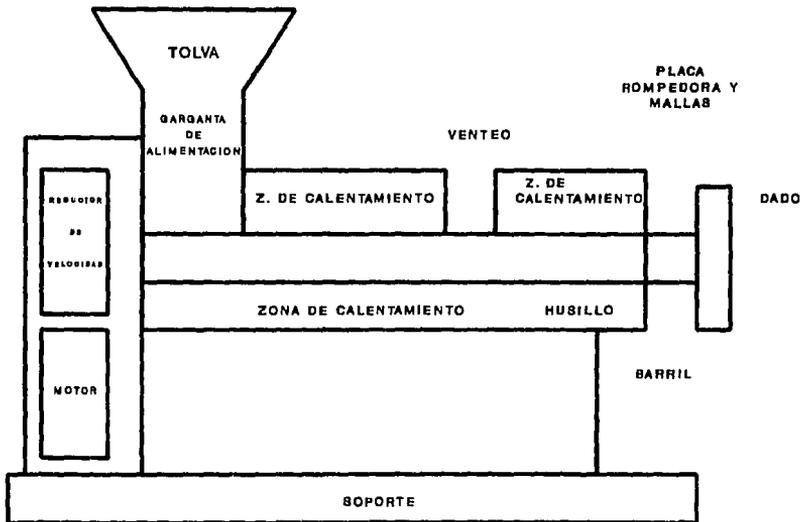
FIGURA 9
PROCESOS DE TRANSFORMACION DEL POLIETILENO



Para el polietileno se utilizan básicamente los siguientes métodos para su transformación:

1.- *Extrusión* : El polímero base con los aditivos se lleva a un silo de almacenamiento, luego es llevado a pesar en tolvas, se agita en un mezclador y se vacía en una tolva de pre-extrusión también llamada zona de alimentación donde se transporta, se compacta y se empieza a plastificar por medio de un husillo que proporciona calor, posteriormente pasa a la zona de compresión donde se funde completamente y se mezcla homogéneamente para pasar después a la zona de bombeo donde se encuentra perfectamente fundido y homogéneo donde se comporta como un líquido viscoso, a continuación se lleva a cabo un venteo donde se extraen los volátiles que acarrea para pasar después por una placa rompedora donde se crea un flujo en línea recta para continuar por una serie de mallas que retienen a las impurezas, permitiendo que el polímero fundido pase al dado donde adquiere su forma final. Luego ya convertida en tira se sumerge en un baño de agua, se seca y se corta para formar un flamante *pellet*. Ver Figura 10

FIGURA 10 EXTRUSORA



TOMADO DE REFERENCIA BIBLIOGRAFICA No 98

2.- *Inyección* : Se introduce plástico fundido en un molde cerrado y frío, donde se solidifica para dar el producto, la pieza moldeada se recupera abriendo el molde. La máquina cuenta con una unidad de inyección y una unidad de cierre o prensa, que contiene el molde. La unidad de inyección es prácticamente igual al proceso de extrusión y es ésta parte la que plastifica al material y consta de una tolva, un husillo dosificador y un barril calentado. La diferencia principal con respecto al proceso de extrusión es que el husillo avanza como un pistón dentro del barril durante la fase de inyección. La unidad de cierre consiste generalmente en una prensa, que se cierra por medio de un sistema mecánico. La fuerza de cierre debe ser lo suficientemente grande como para resistir la fuerza del fundido mientras es inyectado. El molde se ajusta mecánicamente, por medio de pernos, a la unidad de cierre y es intercambiable para permitir que diferentes productos sean moldeados. Las partes principales de un molde son la cavidad que es la que forma al producto, los canales por donde fluye el material fundido al ser inyectado, los canales de enfriamiento donde a través de los cuales se bombea agua para remover el calor del fundido y los pernos inyectores para retirar la pieza de la cavidad y que actúan automáticamente conforme el molde se abre. El ciclo de moldeo se describe a continuación: el molde se encuentra cerrado y vacío, un tiro de material fundido está lista en la unidad de inyección, cuando la inyección ocurre, la válvula se abre y el husillo, que actúa como un pistón, obliga al material fundido a pasar a través de la boquilla a llegar al molde donde viene la etapa de sostenimiento que consiste en que la presión se mantiene en los primeros momentos del enfriamiento para contrarrestar la contracción y una vez que empiece la solidificación se puede retirar la presión, la válvula cierra y empieza la rotación del husillo, mientras tanto

la inyección en el molde se ha enfriado; cuando está lista, la prensa y el molde se abren y se retira la pieza, el molde cierra de nuevo y el ciclo se repite.

CAPÍTULO 3

CARACTERÍSTICAS DEL POLIETILENO

3.1 PROPIEDADES

El polietileno es un polímero termoplástico, esto es que al contacto con calor se funde y cuando está frío se endurece, pudiéndose repetir este ciclo cuantas veces sea necesario. Es por esto que se dice que tiene un comportamiento similar a la de la cera. La viscosidad es inversamente proporcional al calor, ya que a menor calor la viscosidad es mayor y a mayor calor la viscosidad es menor.

Según su consumo este polímero es considerado *commodity* ya que es usado ampliamente en la industria. Lo que lo hace atractivo está en función del precio y la clave de esto es agregar al polímero aditivos que puedan dar utilidades en función a las necesidades.

La polimerización del polietileno se verifica por radicales libres lo cual permite por velocidades altas de reacción una formación de cadenas largas, traduciéndose esto en una velocidad de reacción de mayor peso molecular de cadena y viceversa.

Se manejan principalmente dos tipos de polietileno de baja densidad (PEBD) y de alta densidad (PEAD), con las siguientes características:

TABLA 6^{va}

PROPIEDADES MOLECULARES BÁSICAS DEL PEBD Y
PEAD

POLÍMERO	DENSIDAD (g/cm ³)	PM
PEBD	0.910 - 0.925	100,000 - 200,000
PEAD	0.945 - 0.970	300,000 - 500,000

Algunas características del polietileno en general son:

- * Bajo peso.
- * Resistencia a golpes.
- * Resistencia a la tensión.
- * Alta flexibilidad.
- * Excelente resistencia química.
- * No se puede disolver.
- * No se puede imprimir, cromar.
- * Buen aislante eléctrico.
- * Puede estar en contacto con los alimentos sin contaminar.
- * Bajo costo.
- * Facilidad de proceso.
- * Baja resistencia a la temperatura.
- * Fácil de rayar.

Algunas propiedades de estos polímeros se afectan por densidad y peso molecular como se muestra a continuación:

(1) Tomada de la referencia bibliográfica 58

TABLA 7⁽¹⁾

EFFECTOS DE LA DENSIDAD Y DEL PESO MOLECULAR EN
ALGUNAS PROPIEDADES

RESISTENCIA:	SI AUMENTA DENSIDAD	SI AUMENTA PM
AL IMPACTO	MENOR	MAYOR
A LA TENSION MAXIMA	MAYOR	MAYOR
AL ESTIRAMIENTO	MAYOR	MAYOR
AMBIENTAL (ESCR)	MENOR	MAYOR

PROPIEDADES	SI AUMENTA DENSIDAD	SI AUMENTA PM
TRANSPARENCIA	MAYOR (*)	MENOR (*)
BRILLO	MAYOR	MENOR
PERMEABILIDAD	MENOR	MENOR
T. DE ABLANDAMIENTO	MAYOR	MAYOR
VISCOSIDAD	MAYOR	MAYOR
RIGIDEZ A LA FLEXION	MAYOR	MAYOR
DUREZA	MAYOR	MAYOR
ALARGAMIENTO	MENOR	MAYOR
T. FRAGILIDAD	MAYOR	MENOR

(1) EN PELICULA DE BAJA DENSIDAD

Estos efectos, no son directamente proporcionales y pueden verse modificados por la combinación de variación de las dos propiedades. Cada uno de los tipos de polietileno que existen presenta diferentes características, lo que limita su procesamiento a determinados métodos de transformación de acuerdo a la facilidad o dificultad que presenten para ello y también de acuerdo al artículo que se desee obtener. Estos diferentes tipos de polietilenos son:

(1) Tomada de la referencia bibliográfica 38

Polietileno de baja densidad:

- * Extrusión: Película tubular, tubería, recubrimiento de alambre y película.
- * Inyección
- * Soplado
- * Rotomoldeo

Polietileno lineal baja densidad:

- * Extrusión: Película tubular.

Polietileno alta densidad:

- * Extrusión: Película tubular, tubería-perfiles y termoformados.
- * Inyección
- * Soplado

Polietileno alto PM alta densidad:

- * Extrusión: Película tubular.

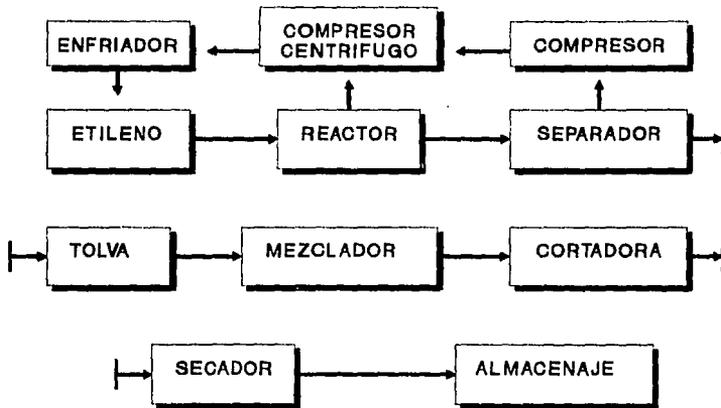
Polietileno ultra alto PM:

- * Compresión

El polietileno lineal de baja densidad se obtiene a partir de la polimerización del etileno con otro monómero (buteno, hexeno, octeno o 4 metil penteno). Según el proceso de fabricación, se clasifican:

- *De alta presión
- *De baja presión (fase gaseosa). Ver Figura 11.

FIGURA 11
DIAGRAMA DE BLOQUES
PROCESO DE FABRICACION DE POLIETILENO
DE BAJA DENSIDAD POR BAJA PRESION



3.2 CARACTERÍSTICAS DEL POLIETILENO LINEAL DE BAJA DENSIDAD CON CARGA DE ALMIDÓN

El polímero al cual se refiere este trabajo es un polietileno lineal de baja densidad (LLDPE) que cuenta con una carga o aditivo compuesto por almidón de maíz llamado POLYSTARCH™, que se adiciona al polietileno en un porcentaje de 12.5 %. Las propiedades del *masterbatch* se muestran a continuación:

TABLA 8^a

PROPIEDADES DEL PE CON CARGA DE ALMIDON

PROPIEDAD	UNIDADES	METODO	VALOR
Punto de fusión	gm/10 min	D1238	2.5
Densidad	gm/cm ³	D792	1.17
% de almidón	peso %	TGA	50
Humedad	peso %	prueba FCP	< 0.5

PROPIEDAD	UNIDADES	METODO	VALOR
Fuerza tensil	psi	D882	2100
Elongación	%	D882	570
% de almidón	% peso	TGA	12.5
Impacto de dardo	gm	D1065	83
Resistencia al rasgado	gm	D1922	91
Estabilidad térmica ° C	°C	---	230
Embrittment time 60°C	días	Envejecimiento térmico	> 50

Es importante hacer mención que la película tiene 1.4 mm de espesor.

Otras características importantes mencionadas por el fabricante son:

*No tiene restricción para el contacto con alimentos de acuerdo FDA

(3) Tomada de la referencia bibliográfica 39

*Las condiciones de operación para la producción de película deben ser las mismas que cuando se utilizan resinas convencionales como PELBD, PEAD y PP.

*Perfil de temperatura 182°C a 222°C

Datos de degradación según el productor:

POLYSTARCH™ presenta tres mecanismos separados para la degradación de plásticos. Estos incluyen degradación térmica, degradación UV o fotodegradación y degradación biológica. Los métodos acelerados suelen probar sólo uno o dos de estos parámetros y es por esto que las pruebas de campo demuestran una degradación más rápida que la establecida para cada método individual.

Las pruebas de **ENVEJECIMIENTO TÉRMICO** son utilizadas para demostrar los efectos del tiempo bajo condiciones aceleradas en películas conteniendo POLYSTARCH™. La elongación y la fuerza tensil son los principales parámetros que influyen en la degradación de la película. Cuando se han hecho pruebas de envejecimiento térmico⁽⁴⁾ a 61 °C y 50 % de humedad relativa, las películas conteniendo 25 % de POLYSTARCH™ (12.5 % de contenido neto de almidón) pierden la total elongación después de 50 días. La fuerza tensil ha sido reducida en un 50 % en el mismo periodo. Es importante señalar que en un uso típico el producto es relativamente una película fuerte por aproximadamente 40 días seguido por una reducción importante prácticamente nula en la elongación durante el periodo de los 40 a 50 días.

(4) Método DIN D 1069

La **DEGRADACION POR UV** muestra una rápida pérdida en la elongación a prácticamente cero en 75 hrs. La fuerza tensil muestra un decremento logarítmico cerca de las 300 hrs. En luz solar brillante esto sería equivalente a 2 meses.

Pruebas de campo recientes⁽⁵⁾, muestran que en películas con aplicaciones en la agricultura se presenta casi una pérdida total de la elongación después de 16 días de exposición a la intemperie en el verano en el clima del estado de Illinois, Estados Unidos. Pruebas de la fuerza tensil en la misma película mostraron que solo quedó de un 35 a 39 % de la fuerza tensil.

La **DEGRADACION DE SUBPRODUCTOS** muestra que la última oxidación de los subproductos del polietileno son componentes carboxílicos, los cuales no son tóxicos. El crecimiento de microorganismos en muestras de prueba indican que los subproductos no son tóxicos para los microorganismos. Materiales húmicos y parafinas de bajo peso molecular son los subproductos primarios del proceso de degradación.

DEGRADACION: Los reclamos por degradación deben de ser sólo hechos por el procesador como resultado de pruebas basadas en sus productos conteniendo POLYSTARCH™.

POLYSTARCH™ contiene la más alta cantidad de almidón disponible en el mercado en estos días. Adicionalmente compatibilizadores son usados para permitir la asistencia de el almidón en la degradación del plástico. Estos prodegradantes también pueden ser adquiridos por el cliente.

(5) *MPE 88 Show Daily*; 21 de junio 1988

La pruebas para determinar los parámetros básicos de degradación, toman los siguientes puntos en cuenta:

- a) Cada tipo de producto de polietileno o polipropileno se degradará en su propio rango con la adición de POLYSTARCH™, por lo tanto los rangos se deben determinar individualmente.
- b) Las condiciones de exposición tales como humedad, viento, lluvia, etc., afectan los rangos de degradación.
- c) Los diferentes suelos y bacterias afectarán los rangos de degradación.
- d) Otros aditivos de proceso incluyendo desmoldantes y antiestáticos pueden inhibir o promover la degradación.

***Ventajas de POLYSTARCH™ *masterbatch*.**

- a) No contiene ingredientes tóxicos.
- b) Reemplaza productos basados en petróleo o energía del petróleo a través de la sustitución de un recurso anualmente renovable como lo es el almidón de maíz.
- c) Es compatible con polietileno vírgen y reciclado.
- d) Reprocesable y compatible con otros métodos de tratamiento de desperdicios.
- e) Usable en películas, moldeo por inyección y muchas otras aplicaciones
- f) Fortalece la impresión con tintas de agua y base aceite.

CAPÍTULO 4

TIPOS DE DEGRADACION Y RECICLADO. CARACTERÍSTICAS DE LA BIODEGRADACION

Cuando se define degradación ambiental, se refiere a una degradación compleja, la cual es el producto de diferentes degradaciones que son menos complejas.

Resulta complejo diferenciar todos los tipos de degradaciones que ocurren en la degradación de un plástico, ya que en estas intervienen un gran número de variables.

En base a estas variables tales como radiación UV, calor, humedad, microorganismos, esfuerzos mecánicos, etc. se puede llegar a una clasificación de las mismas. Dependiendo de la naturaleza del polímero y el fin que este tenga, se analizan las condiciones del proceso de degradación.

Para el propósito de el polímero en estudio es importante mencionar que es de un plástico que no lleva aditivos que estabilicen su estructura y sí por el contrario, cargas que favorezcan su degradación.

4.1 FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA DEGRADACION DE UN PLÁSTICO

Es importante hacer mención que la rapidez e intensidad de la degradación ambiental están íntimamente ligados a la naturaleza química del material, su estructura molecular, peso, etc.. Estos elementos se pueden describir como a continuación se muestra.

1) **ESTRUCTURA MOLECULAR:** Una cadena polimérica lineal se degradará con mayor facilidad que una ramificada. Así mismo si la cadena tiene enlaces transversales entre las cadenas poliméricas, le proporcionará al plástico una resistencia adicional. Por esto es muy importante la estereoquímica de la molécula.

2) **PESO MOLECULAR:** Estudios previos han revelado que los plásticos con peso molecular bajo, son más susceptibles de degradarse que aquellos cuyos pesos moleculares son más altos.

3) **ELEMENTOS CONSTITUTIVOS:** La especie química de cada uno de los elementos de la cadena polimérica influyen directamente en la factibilidad de la degradación ambiental.

4) **ORIGEN DE LOS POLÍMEROS:** Los polímeros pueden ser sintéticos o naturales. Los naturales son mucho más susceptibles a sufrir una degradación, y en particular una biodegradación en comparación con los sintéticos.

Existen otros factores que también pueden intervenir en la degradación del

plástico, tales como la presentación del plástico, es decir, si éste es laminado, granular, en polvo, filiforme, etc. Otro agente que puede inhibir la degradación, es el color.

4.2 TIPOS DE DEGRADACION

Como se mencionó anteriormente, la degradación ambiental de un plástico es producto de varios tipos de degradaciones, las cuales se presentan por diferentes fenómenos. Estos fenómenos actúan de forma independiente, y en conjunto logran la degradación del plástico. A continuación se explican los diferentes tipos de degradación, haciendo mención que la fotodegradación y la biodegradación, son los dos tipos de degradación a tratar, siendo la fotodegradación un paso para llegar al tópico de ésta obra que es la biodegradación del polímero.

FOTODEGRADACION:

La fotodegradación puede ser definida como la degradación que sufren los compuestos orgánicos, sustancias poliméricas y algunos tipos de plásticos cuando éstos son expuestos a la luz solar y otras fuentes intensas de luz, siendo la luz ultravioleta la principal responsable de la degradación observada.

a) Factores físicos en la fotodegradación.

Los procesos fotodegradativos y fotooxidativos dependen en gran parte del grosor de la película, intensidad de la radiación ultravioleta y morfología del polímero. Como ejemplo de esto se ha demostrado

que la rapidez de fotooxidación del polietileno, expuesto a una radiación de 300 nm, se incrementa al cuádruple cuando la temperatura pasa de 10° a 50° C y que la rapidez a 50° C es algunos ordenes de magnitud más grande que la correspondiente a una reacción oscura.

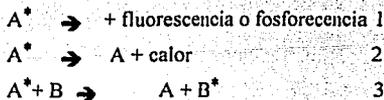
b) Mecanismo de la fotodegradación.

Los polímeros que contienen grupos carbonilos o hidroperóxidos sufren reacciones fotoquímicas resultantes en una división de la cadena principal, si éstos son expuestos a la radiación de luz ultravioleta.

Una de las técnicas más utilizadas para el mejoramiento de la fotodegradabilidad de polímeros, es adicionar catalizadores y prooxidantes, los cuales estimularán la formación de carbonilos e hidroperóxidos, que conduce a las reacciones de degradación.

Debido a que la fotooxidación es un mecanismo esencial de la fotodegradación es muy importante describirla.

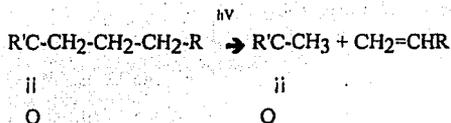
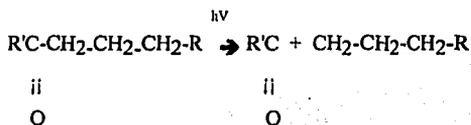
Cuando una molécula absorbe luz, es activada hacia un estado excitado electrónicamente, del cual la energía se puede disipar en un proceso fotoquímico, fotofísico o ambos.



transferencia de energía

La energía transferida a otra molécula B, (reacción 3), describe una importante etapa en los procesos de fotodegradación.

Refiriéndonos un poco a la reacción de fotólisis en el caso particular en estudio, el polietileno de baja densidad se ha podido establecer la siguientes reacciones, las dos atribuidas a Norrish.⁽¹⁾



La fotólisis de un copolímero etileno-monóxido de carbono, muestra que la reacción (1) contribuyó al 90 % del rompimiento de las cadenas a 25°C, y que la rapidez de reacción fué esencialmente independiente de la temperatura por encima de -25°C, en presencia o ausencia de oxígeno.

b) Aditivos utilizados para favorecer la fotodegradación.

Como se ha visto a lo largo de este capítulo, son muy diversos los

(1) J.E. Potts. "Plastics Environmentally Degradable" p 626

factores que afectan la fotodegradación de un polímero.

Hay diversas compañías que se dedican a la elaboración de aditivos que favorecen la fotodegradación de polímeros, pero debido a las peculiaridades naturales de este campo, es difícil determinar la composición de las diversas formulaciones y evaluar la eficacia de los múltiples aditivos.

Para algunas pruebas de fotodegradación de polietileno de baja densidad se ha puesto como aditivo el N,N-dibutilditiocarbamato férrico de la compañía Gerald Scott, variando las concentraciones del mismo para ver sus efectos.

El experimento se realizó con un Weatherómetro Atlas modelo XW, arco de carbón con filtro Corex para eliminar longitudes de onda abajo de 280 nm. Se encontró que a concentraciones mayores a un 0.05 % de aditivo este actúa más como estabilizador que como acelerador de la fotooxidación.⁽²⁾

Para la realización de éste tipo de experimentos son necesarias 200 horas de exposición, en las cuales se pueden obtener muestras quebradizas de las películas de polietileno.

Este tiempo es largo para productos de otra índole, pero para aplicaciones en la agricultura es un tiempo ideal.

En la Tabla 9 se presenta que la rapidez de degradación de la película de polietileno respecto a la variación de la concentración del aditivo. (N,N-dibutilditiocarbamato férrico).

(2) J.E. Guillet, *J. Polym. Chem. ed. 18,2221*

TABLA 9⁽¹⁾

VARIACION DE LA DEGRADACION DEL LDPE RESPECTO A LA
CONCENTRACION DEL ADITIVO N,N-dibutilditiocarbamato férrico.

Weatherómetro- XW, horas

Porcentaje de aditivo en peso	0	50	100	200	220	240
0.00	430	460	80	70	40	40
0.01	450	380	35	40	3	2
0.05	430	280	20	15	5	2
0.10	430	470	60	15	30	8
0.20	430	470	130		50	
0.50	440	450	400		440	

Nota: Las películas sometidas a la prueba tienen un grosor de 500 micrómetros. (polietileno de baja densidad)

Como se puede ver en la Tabla anterior existe una concentración en la cual la adición del aditivo (0.5) va a ayudar a la fotodegradación en un tiempo determinado (220 hrs). Si continuamos en el tiempo la degradación llegará a ser la misma. Al aumentar más aditivo no se obtendrá mayor fotodegradación a partir de éste punto.

DEGRADACION TERMICA

La degradación térmica es aquella que ocurre por efectos térmicos, pudiendo clasificar en dos principales grupos:

- a) Reacciones de sustitución o sin ruptura de cadena.
- b) Depolimerización o reacciones con ruptura de cadena.

Las reacciones de sustitución se caracterizan por que los substituyentes unidos a la cadena polimérica principal son

⁽¹⁾ Tomada de la referencia bibliográfica 60

modificados o eliminados (parcial o totalmente), así, la naturaleza química de la unidad de repetición en la estructura molecular es cambiada. Si surgen productos volátiles, serán químicamente diferentes al monómero.

Por su parte las reacciones de depolimerización están caracterizadas por la ruptura de la cadena principal, de ahí que en cualquier etapa intermedia de la reacción, los productos son similares al material original en el sentido que las unidades monoméricas son aún distinguibles en las cadenas. Nuevos tipos de grupos terminales pueden aparecer o no, dependiendo de la naturaleza del proceso de ruptura. Los productos finales serán monómeros o muy afines a éstos.

Es importante mencionar que el polietileno es térmicamente estable cerca de los 290°C. Arriba de esta temperatura, ocurre un decremento en el peso molecular, además de una ligera volatilización. Arriba de los 360° C la volatilización es intensa.

DEGRADACION ULTRASONICA.

Los polímeros en solución tienen la propiedad general de presentar una disminución del peso molecular cuando los polímeros son sometidos a la influencia de radiación ultrasónica. Entre polímeros naturales esto puede ser un efecto tixotrópico (disminución temporal de la viscosidad de la solución) del tipo que ocurre en ocasiones cuando el polímero en solución está sujeto a esfuerzos mecánicos. Sin embargo en polímeros sintéticos es

usualmente un efecto permanente y es debido a la ruptura de la cadena.

La degradación ultrasónica puede ser estrechamente relacionada con la degradación mecánica. Las fuerzas mecánicas son aplicadas a las moléculas poliméricas, como resultado de una intensa vibración y colapso de las cavidades que existen en soluciones sujetas a irradiación ultrasónica.

DEGRADACION MECANICA

Cuando los polímeros están sujetos a la acción de fuerzas mecánicas, ocurre frecuentemente una reducción en el peso molecular. Por ejemplo, en soluciones poliméricas se ha observado que la degradación de éste tipo puede ser causada por la vibración, molienda, agitación de alta velocidad, flujo turbulento o durante la condensación.

Si en un flujo turbulento encontramos degradación mecánica, éste puede medirse por la disminución de la viscosidad de la solución.

En polímeros sólidos se ha observado un rompimiento similar en la estructura molecular durante la molienda del polímero. Es difícil cuantificar exactamente estas reacciones, sin embargo trabajos a bajas temperaturas y a menores velocidades de corte, muchos investigadores han eliminado estas posibilidades de interpretación errónea. Se ha establecido también que en una cadena complicada la resistencia a la tensión alcanza un máximo en el centro de dicha cadena; por tanto el corte no es al azar.

Recientes estudios por espectroscopía por resonancia han demostrado gráficamente que el estiramiento, la trituración, la molienda y cualquier tipo de esfuerzo mecánico aplicado a polímeros, produce radicales libres como resultado de la fractura en la cadena principal, incluso en ausencia de oxígeno.

Los efectos combinados de torsión, tiempo y temperatura, en un proceso de degradación mecánica, repercuten sustancialmente en la subsecuente estabilidad térmica y fotoestabilidad de muchos polímeros. En algunos casos es difícil separar los efectos degradativos del calor y del trabajo mecánico.

En estudios realizados por cromatografía para la degradación de polietileno de baja densidad bajo condiciones de alto esfuerzo cortante, indican que muchos de los cambios en la distribución del peso molecular y en la ramificación de la cadena, resultan de una degradación térmica o termooxidativa.

BIODEGRADACION

Como se mencionó anteriormente en el inicio de éste capítulo, la biodegradación es el tipo de degradación más representativa e importante debido a sus peculiares características.

Aparte de ser un tipo de degradación ambiental, la biodegradación se ha

convertido en la búsqueda por parte de investigadores, industriales y ecologistas, de una diversidad de productos y compuestos que posean la importante y trascendente propiedad de la biodegradabilidad.

Esto ha llegado a ser tan importante que, en la actualidad es frecuente hallar referencias, notas e información referidas a los estudios de biodegradabilidad de detergentes, plaguicidas, fármacos, insecticidas, desechos en general y productos químicos.

Por lo anterior mencionado, el plástico no queda excluido de esta lista, por el contrario, es de los productos en los cuales se ha invertido más tiempo en este campo.

4.3 BIODEGRADACION

Empezaremos por definir lo que es la biodegradación.

La biodegradación es la degradación y asimilación que sufren algunos plásticos y polímeros orgánicos por la acción de organismos vivos. Los principales organismos que intervienen en éste proceso son hongos y bacterias interviniendo un proceso por rompimiento oxidativo e hidrolítico del polímero.

Existen varios factores ambientales que intervienen en la biodegradación, tal como lo son el tamaño y la estructura molecular, población microbiana, temperatura, pH, humedad y disponibilidad de nutrientes.

La degradación microbiológica es favorecida por la ausencia de luz y por la presencia de humedad, así como de minerales adecuados y fuentes de

carbón disponibles.

Los organismos varían entre sí en cuanto a las condiciones que favorecen su crecimiento, tales como: pH, temperatura y requerimientos de oxígeno.

De esta manera, los hongos requieren O_2 a un pH arriba de 4 y temperaturas entre 20 y 45°C para crecer; las levaduras requieren procedimientos similares, pero necesitan altos niveles de carbohidratos para crecer; los actinomicetos también son aeróbicos y requieren un rango de pH más neutral.

Las bacterias pueden ser aeróbicas o anaeróbicas y se desarrollan en un rango de pH de 5-7; algunas bacterias y actinomicetos son termófilos y crecen a temperaturas tan altas como 70°C, aunque a 50-55°C es lo óptimo.

Se ha encontrado que para polímeros sintéticos intervienen otros factores tales como la estructura polimérica, la morfología, el peso molecular y en algunos casos la relación superficie/volumen, que son más importantes que los tipos de organismos empleados en los experimentos.

a) Enzimas involucradas en la biodegradación.

Es importante hacer mención que la degradación microbiológica de materiales poliméricos ocurre debido a la presencia y actividad de varias enzimas, las cuales son producidas por los microorganismos inmediatos al polímero.

Debido a que son proteínas, muchas enzimas son solubles en agua, en soluciones diluidas de sal y en soluciones diluidas de alcohol. Las enzimas son precipitadas por soluciones concentradas de sal, por iones de metales

pesados, por solventes orgánicos y por soluciones fuertemente ácidas o básicas.

A causa de la pronunciada insolubilidad en agua de muchos polímeros sintéticos, no sorprende que las enzimas (cuya naturaleza es hidrofílica) tengan dificultad de interactuar con los plásticos. Se ha aceptado que el incremento de la hidrofiliidad de tales polímeros podría incrementar su tendencia a la biodegradación. Sin embargo, ésta no ha probado ser una manera efectiva de facilitar la biodegradación de tales plásticos, debido a que la acción enzimática es muy específica.

Otro factor importante es la temperatura. La rapidez de las reacciones catalizadas se incrementa con la temperatura, por lo que la actividad enzimática se reduce considerablemente en tiempo invernal. Por el contrario, la exposición a radiación ionizada, la luz ultravioleta, el ultrasonido y presiones hidrostáticas altas, aumentan la actividad enzimática.

b) Aditivos utilizados en la biodegradación.

Es importante hacer mención que en muchos plásticos realmente el que se biodegrada es el plastificante, no el polímero; la eliminación del plastificante conduce a la fragilización física del polímero restante. En muchos casos, el uso del plastificante no ha sido intencional y el proceso degradativo se le considera como indeseable. Sin embargo en situaciones donde es deseable una degradación, el uso de plastificantes ofrece magníficas alternativas.

Hablando también de las principales cargas utilizadas para favorecer la biodegradación, encontramos las siguientes (éstas son las más utilizadas):

1) Se utiliza madera como relleno en resinas termoformables. En algunos casos se utilizan compuestos mixtos en el que el polímero y el plastificante exhiben la misma biodegradabilidad. Estas son las llamadas resinas biodegradables. En el caso del polietileno de baja densidad no son muy utilizadas.

2) Se utilizan también como aditivos para la biodegradación, sólidos como el almidón y rellenos degradables en termoplásticos comunes. Materiales mixtos en base a polietileno y almidón, han resultado ser biodegradables, y es parte del tópico de esta tesis utilizar un polietileno de baja densidad con aditivo a base de almidón para verificar su biodegradación.⁽¹⁾

Otros resultados similares han sido reportados en el caso de mezclas de almidón, con un copolímero etileno-ácido acrílico.

Además del almidón, existe una variedad de partículas naturales como la celulosa, lignina, aserrín, turba, manitol, lactosa, etcétera, que están consideradas como cargas degradables.

El uso de partículas degradables como las mencionadas anteriormente en combinación con alcoholes polivinílicos, se ha generalizado actualmente como una ruta para fabricar envolturas agrícolas o capas protectoras agrícolas o capas protectoras degradables para utilizarse en pañales o toallas sanitarias.

Es importante mencionar que cuando se utiliza un aditivo biodegradable,

⁽¹⁾ *SPI degradable plastics symposium, June 1987*

éste sufre una rápida biodegradación, mientras que la biodegradación del polímero se rezaga; por tal motivo se incrementa el área superficial de dicho polímero para mejorar su biodegradabilidad.

Se ha visto que poco a poco este tema tan nuevo ha tomado mayor fuerza cada día, basado en el trabajo que a partir de muestras individuales de plásticos, mezclas binarias, ternarias y cuaternarias de los mismos. Se ha procedido a su degradación termoquímica y a identificar los productos obtenidos, valorando su potencial biológico para de ésta forma poner un procedimiento original para la reconversión biológica de los plásticos en productos de interés industrial.

Hasta el momento ha habido fracasos y triunfos en los procesos para biodegradar polietileno de donde se pueden citar las siguientes referencias.

Kleme y Watkins inocularon con esporas de una mezcla de hongos (*Aspergillus niger*, *A. flavus*, *Penicillium luteum* y *Trichoderma T-1*) dos tipos distintos de polietileno, observando que los polímeros con pesos moleculares aproximadamente 10,000 soportaban un crecimiento pequeño del inóculo, mientras que los que tienen un peso molecular superior a 10,000 no lo soportaban.⁽³⁾

Por otro lado Jen-Hao y sus colaboradores inocularon con una mezcla de bacterias (*Pseudomonas aeruginosa*, *Nocardia sp* y *Brviabacterium sp*) distintos tipos de polietileno, comprobándose la existencia de crecimiento en polímeros con pesos moleculares promedio de 17,000 y supusieron que

⁽³⁾ U.S. Naval Ordnance Laboratory, White Oak Maryland Memo Report

el crecimiento era debido a la existencia de oligómeros de PE de bajo peso molecular.⁽⁶⁾

Colin y colaboradores⁽⁷⁾ han puesto de manifiesto que la introducción de grupos carbonílicos en el interior de las cadenas poliméricas no afecta la viabilidad del polímero para soportar el crecimiento microbiano.

Por otra parte Jones y colaboradores⁽⁸⁾ oxidaron termicamente muestras de PLBD y observaron la presencia de grupos carbonilo mediante espectroscopía infrarroja, se puso de manifiesto un aumento en el consumo de oxígeno cuando las muestras eran inoculadas con cultivos de microorganismos aislados del suelo.

Algunos plásticos como las películas de polietileno, inicialmente soportan crecimiento. Pero aparentemente esto es debido a los aditivos en la película. Fué de una gran importancia para la biodegradabilidad de plásticos los resultados encontrados en las pruebas en las que los polímeros con cadenas lineales de hidrocarburos son biodegradados sólo hasta pesos moleculares alrededor de 500. Mas allá de 500 los polímeros con cadenas lineales de hidrocarburos no soportan el crecimiento de hongos. También fué significativo el hecho de que las ramificaciones⁽⁹⁾ previenen a los microorganismos de utilizar hidrocarburos como alimento. El efecto del peso molecular en la biodegradabilidad fue enfatizado en estudios con polímeros de polietileno de alta densidad y baja densidad.

⁽⁶⁾ L. Jen Hsu y A. Schwartz: *Kunst.*, 51, 117 (1961)

⁽⁷⁾ *International Biodeteriora Bull.* 13, 67 (1976)

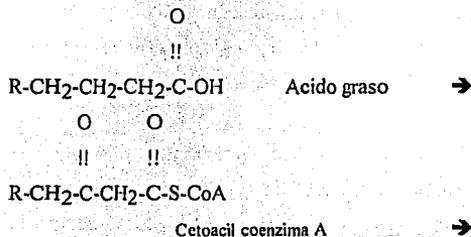
⁽⁸⁾ *Environmental Science Technology* 8, 919 (1974)

⁽⁹⁾ *Biodegradation of Materials*, Vol. 2, 201 (1972)

Sólo conforme los pesos moleculares de los polímeros fueron disminuidos significativamente mediante pirólisis, las muestras fueron capaces de soportar crecimiento microbiano⁽¹⁰⁾. De acuerdo a que los polímeros no son moléculas de pesos moleculares únicos, no sorprende que algunos crecimientos de hongos se lleven a cabo con polímeros de pesos moleculares promedio entre 2,000 y 3,000.

Algunos sistemas de polietileno-almidón incorporan sustancias autooxidables tales como aceites saturados y sintetizadores, pero no se ha demostrado que esto lleve a un incremento significativo en la biodegradación del polietileno después de que el almidón ha sido degradado.

Aunque no se tiene bien definido un mecanismo de biodegradación para los polímeros, se piensa que su mecanismo de biodegradación es similar al de los ácidos grasos⁽¹¹⁾: Las enzimas oxidan los átomos beta de carbón no sustituidos en un grupo carbonilo y un segmento de dos carbonos que es removido como acetil coenzima A.



(10) *Biodegradation of Materials*, Vol 2, 201 (1972)

(11) S. Huang, M. Birritto, K. Leong, J. Paolisto, M. Roby, and J. Knox *Adv. Chem. Ser.*, 169, 205 (1978)



La biodegradación de polímeros procede de una manera similar con segmentos de dos carbonos siendo removidos al mismo tiempo hasta que la biodegradación es completa.

La acetil coenzima A removida de los ácidos grasos entra en el ciclo del ácido cítrico y llega a ser una fuente de energía para el organismo.

Como referencia es importante señalar que el polipropileno, poliestireno y el cloruro de polivinilo no son degradables en el proceso de biooxidación de ácidos grasos, porque las enzimas requeridas para la biooxidación no son capaces de asimilar moléculas con sustituyentes diferentes a los hidrógenos. El polietileno es virtualmente, el único candidato para la biodegradación de plásticos de empaque y recursos agrícolas.

Aun así el polietileno tiene una limitación con el peso molecular, y este tiene que ser reducido significativamente antes de que un razonable grado de biodegradación pueda ocurrir.

Es importante hacer notar que la biodegradación de partículas de plásticos comerciales fotodegradados se lleva a cabo de una manera lenta y la incorporación al medio ambiente en el suelo tiene que ser esperada a través del tiempo para medir su efectividad en muchos de los polímeros que se están evaluando actualmente.

4.4 IMPORTANCIA DE LA DEGRADACION DE LOS PLÁSTICOS.

Es de suma importancia tener presente, que en los procesos de degradación ambiental de plásticos, se llevan a cabo acciones recíprocas y/o en cadena entre los múltiples y diversos factores que intervienen en ella.

También se ha demostrado que en su interacción recíproca un(os) factor(es), acelera(n) la(s) acción(es) de otro(s), que a su vez repercute en la(s) acción(es) de otro(s) diferente(s) y así sucesivamente.

Para explicar un poco más lo anterior se puede ver el sencillo ejemplo de la exposición de un material plástico a radiaciones ultravioleta, lo que acelera su oxidación, y facilita el deterioro de las propiedades físicas del plástico, propiciando la biodegradación, la cual contribuye de manera importante a la degradación ambiental.

Lo anteriormente mencionado se puede transformar en dos razones importantes para la elaboración de este trabajo:

- 1) La importancia que posee el fenómeno de la degradación ambiental de plásticos, en función de sus aplicaciones reales o potenciales.
- 2) La trascendencia y efectos, especialmente de carácter socioeconómico, inherentes al punto anterior.

Como se puede ver a través de éste capítulo, se hizo particular énfasis en la fotodegradación y la biodegradación que son las dos formas de degradación más representativas, y fundamentales de la degradación ambiental.

4.5 PROCESOS PARA EL RECICLADO

El reciclado de plásticos se puede dividir principalmente en cuatro etapas:

- 1) Reciclado primario
- 2) Reciclado secundario
- 3) Reciclado terciario
- 4) Reciclado cuaternario.

Para el reciclado de plásticos es muy importante tomar en cuenta la reducción de tamaño de trozos a granos o partículas dentro de ciertos parámetros. Esta reducción de parámetros se lleva principalmente a cabo para aumentar el área de contacto entre fases, ya que a mayor área mayor velocidad de reacción y ésto servirá para elegir el tipo de equipo a utilizar.

Por otra parte es importante también tomar en cuenta las características principales de los materiales, principalmente las físicas, ya que de esto también depende el tipo de molienda que se utilizará en el reciclado.

ETAPAS DEL RECICLADO

4.5.1) RECICLADO PRIMARIO

El reciclado primario es la operación en la que la basura plástica es tratada

para obtener productos similares o los mismos por la cual fué generada, usando todos y cada uno de los métodos establecidos para este fin.

Estos métodos principalmente son dos: la separación y la molienda.

El objetivo principal del reciclado primario es la reducción de tamaño de los materiales sólidos de desecho. Estas operaciones se llevan a cabo mediante equipo mecánico involucrando fuerzas de tensión, razgado y compresión de los materiales por medio de trituradores, molinos, pulverizadores, etc..

A) METODOS DE SEPARACION.

Los métodos de separación en mezclas de basura plástica están basados en la gran diversidad de propiedades físicas de los materiales, siendo éstas las que se enlistan a continuación.

i.- Tamaño de partícula: El tamaño de partícula varía considerablemente de producto a producto lo cual hace este procedimiento fácil y simplificado.

ii.- Densidad: La densidad de los diferentes materiales también varía, lo cual hace que este método también sea relativamente fácil.

iii.- Electromagnetismo: Para separar materiales con compuestos ferrosos.

iv.- Color: En aparatos especializados y automatizados la apariencia del color es detectada por estos aparatos.

Los métodos básicos para la separación son:

i.- Separación Manual: Es el método más sencillo ya que involucra la clasificación manual de los materiales de desecho. Por lo general se aplica en el lugar donde son generados los desechos.

ii.- Separación Gravitacional: Es raramente utilizado, se utiliza principalmente para separar piezas muy pesadas de un estándar para fluidizar el material alimentado dentro de los separadores.

iii.- Clasificación por aire: Se realiza por medio de columnas de separación por medio de aire a contracorriente, tomando en cuenta parámetros tales como tamaño, forma y gravedad específica.

iv.- Separación magnética: Al igual que la separación electromagnética se separan metales ferrosos de cualquier plástico.

v.- Separación electrostática: Aprovecha las particularidades de algunos plásticos y papel de responder positivamente al efecto de una carga electrostática.

vi.- Separación colorimétrica: Se utiliza principalmente para separar vidrio de materia plástica por medio de efectos ópticos de color. También se puede utilizar para separar plásticos de diferentes colores.

Existen otros métodos los cuales son una combinación de los

diferentes procesos mencionados anteriormente, tales como las separaciones por el método Black-Clawson y Flakt.

Dentro de los desperdicios más comunes que vienen junto con los plásticos, destaca el papel. Es por esto que se presentan muchas plantas dedicadas a esta separación.

Para llevar a cabo esta separación es necesaria aplicar calor, formar una pulpa en medio acuoso y finalmente aplicar una separación electrodinámica.

Se presentan desventajas en este tipo de separación, tal como lo es que cuando se aplica calor a la separación de este tipo provoca cambio en las propiedades de los plásticos involucrados, por esta razón, sólo se utiliza cuando los requisitos del material recuperado no son extremadamente altos. En este proceso se obtiene aproximadamente un 90% de recuperación de plástico libre de contaminación.

Cuando existen mezclas de plásticos se procede a procesar por medio de una separación de coextrusiones plásticas. Para esto se requiere cortar en trozos manejables las coextrusiones a tratar y de ser posible clasificarlas por color.

Una vez realizado esto, se mezcla con algún solvente y se calienta por debajo del punto de ebullición. Ya disuelta la resina en el solvente se pasa a un tanque para fomentar la formación de fibras plásticas, se extrae el resto de solvente y se filtra para remover cualquier tipo de pigmentos. La solución hasta aquí obtenida contiene aproximadamente de un 30 a un 40 % de sólidos.

Finalmente se seca y puede pasar directamente a la molienda.

En muchas ocasiones nos encontramos con mezclas plásticas que por lo general son incompatibles entre sí. Para este propósito se han desarrollado tres métodos.

El primer método es el llamado método de sumersión-flotación, basado en la diferencia de densidades aplicado en un separador de sumersión flotación. El principio es sencillo en sí, ya que se utilizan mezclas universales siendo la primera de ellas agua, las mezclas subsecuentes son mezclas alcohólicas en diferentes concentraciones y finalmente una solución salina acuosa. En combinación con este principio para maquinizar el proceso se utiliza a la par un separador hidráulico basado en el principio de titulación, para poder diferenciar los plásticos que se van separando debido a la diferencia de densidades existente entre ellos.

El segundo método se basa en las diferentes tensiones superficiales presentadas por los diferentes polímeros, tomando en cuenta la hidrofobicidad de la mayoría de ellos para hacer uso de surfactantes selectivos los cuales escogen estratégicamente los polímeros a separar. Dentro del progreso de la operación, es necesario la elaboración de una celda de flotación para plásticos que satisfaga una serie de requisitos adecuados para una buena separación. Este método tiene muchas variables a controlar, tales como: el tamaño de las burbujas generadas dentro de la celda de flotación deberán tener un rango uniforme de tamaño, se debe mantener una constante agitación de partículas de gran tamaño, no deberá existir turbulencia en el agua de flujo que recorre la zona de separación y finalmente el área acuosa deberá ser suave y estable a lo largo de toda la

operación.

El tercer método involucra el uso de polímeros de alto peso molecular debido a que estos raramente son solubles en otros polímeros de naturaleza similar, por lo tanto cuando dos polímeros químicamente diferentes se mezclan, forman dos fases. Cuando se utiliza un solvente adecuado uno de los polímeros se disuelve logrando la inmiscibilidad absoluta en la mezcla usada. Si tenemos una mezcla de tres o más componentes tendremos que hacer varias extracciones con diferentes solventes. Se puede lograr a separar hasta un 90%, y en algunas ocasiones hasta el 100%.

B) PROCESOS DE MOLIENDA.

Como se mencionó anteriormente, la segunda fase del reciclado primario, es la molienda.

Dentro de los procesos de molienda se debe tomar en cuenta el tipo de plástico con el cual se trabaja en base si este es termofijo o termoplástico, los métodos varían. En el caso de estudio, el polietileno de baja densidad es un termoplástico, y los pasos a seguir para su molienda son los siguientes.

- a) Granulado.
- b) Triturado o Molido.
- c) Compactado.
- d) Pelletizado.

a) GRANULADO

Algunas de las mayores fuentes de generación de desperdicios para reciclar por este método, se encuentra en los mismos fabricantes de las resinas, quienes suelen tener productos fuera de especificación; también los transformadores y en el caso de estudio el sector agrícola contribuye con bolsas, películas, botellas y algunos productos moldeados.

En este proceso se pueden utilizar varios tipos de granuladores, dependiendo de las necesidades y requisitos buscados, tales como son el tamaño de las piezas a granular y la forma física que el material a granular presente (tubos, hojas, películas, etc.).

Un granulador en general consiste de una tolva de alimentación, una cámara de corte que generalmente es un rotor con cuchillas ensambladas sobre él, un tornillo o flecha de giro y una descarga. Cada tolva debe de estar diseñada de acuerdo a la forma del material a procesar. En el caso de los granuladores para película presentan barrenas de alimentación o rodillos rotatorios para la introducción adecuada de las películas.

La eficiencia de los granuladores se encuentra determinada en su mayor parte por el área de granulación y tamaño de la entrada. Si el rotor que mueve a las cuchillas se encuentra conectado directamente al motor implicará un trato más rudo al material y por consiguiente una mejor eficiencia en el granulado.

Cabe hacer notar que debido a la gran diversidad de plásticos existentes, tanto a nivel de termoplásticos y termofijos, algunos de ellos presentan dificultad dentro de la operación de granulado siendo en ocasiones imposible, debido a las propiedades físicas del material, como es el caso de algunos espumados, algunas películas de baja densidad y fibras. Es por esto que los expertos en el ramo recomiendan el uso de equipo especializado para el reciclado de este tipo de materiales.

b) TRITURADO O MOLIDO.

Cuando existen piezas de gran tamaño, ya sean piezas defectuosas o fuera de especificación, sobrantes etc., exige, según el tipo de material y la forma, la utilización de instalaciones de corte y molienda especiales. La molienda o triturado incrementa la densidad aparente hasta tal punto que permite un transporte rentable y buenas eficiencias de producción. En este caso sólo se requiere de molinos, los cuales despedazan el material a recuperar proporcionando un producto molido a diferentes tamaños dependiendo de las necesidades y requisitos del material recuperado.

En este proceso los molinos se dividen en dos: molinos de acuerdo a la presentación del plástico a moler y los molinos de acuerdo a su construcción.

En el primer grupo mencionado anteriormente hay cinco subgrupos diferentes: Molinos de películas plásticas, molinos de tubos y perfiles, molinos de piezas de desecho, molinos de fibras y molinos de purgas.

En el caso de la película de polietileno de baja densidad, es necesario mencionar que de acuerdo a la lista de fabricantes, se han desarrollado dos molinos especiales que cumplen con las características necesarias de operación.

La más utilizada es la trituradora de cilindro cortante. Esta cortadora consta previamente de una trituradora y a la vez dosifica de modo independiente el material en grandes proporciones, es muy adecuada como trituradora previa en líneas automáticas de películas plásticas y otras líneas de tratamiento. La maquinaria se basa en dos árboles previamente equipados con cuchillas de desgarre las cuales giran lentamente una contra otra, tomando, triturando, cortando y desgarrando el material a transformar. En ocasiones el aparato puede equiparse con una contra estampa para la alimentación forzada de piezas voluminosas.

Dentro de la clasificación de acuerdo a su construcción, se encuentran dos grandes grupos: molinos que presentan en su estructura general cuchillas de corte y los molinos conocidos como los molinos de golpe y compresión.

La mayoría de estos molinos se encuentran basados en el montaje de una serie de cuchillas sobre una base circular (árbol) a manera de sierra circular donde el árbol se encuentra a su vez, fijo a un eje, ya sea de manera horizontal o vertical, el cual forma un soporte con la función principal de ser la guía del molino. De tal forma, que cualquiera de los molinos cumplen el funcionamiento de reducir el tamaño de partícula de cualquier pieza, auxiliándose únicamente de diferentes medios como lo

puede ser: bolas, martillos, aspas, cuchillas, etc.

c) COMPACTADO.

Este proceso se aplica a los desperdicios de películas, fibras y materiales, los cuales por su baja densidad aparente requieren equipos especiales que funcionan a elevadas velocidades dando como consecuencia un aumento en la temperatura de molienda ocasionando a su vez la aglomeración del material. Los compresores se ofrecen generalmente formando parte de una instalación combinada formada por un molino antepuesto al compresor.

Es muy común encontrar que al molido de este tipo de materiales, se agrega una extrusión usando una maquinaria con diseños especiales de husillo o en su defecto se usan compactadores localizados cerca de la alimentación, en algunas ocasiones se aplica un *pelletizado* aprovechando el calor generado durante la molienda del material para la correcta aglomeración de las partículas.

Desde hace ya varias décadas, las compactadoras fueron y son equipos diseñados para efectuar en forma eficiente la recuperación de fardos de películas plásticas y filamentos, generalmente de polietilenos de alta y baja densidad, polipropileno en sus formas de mono y multifilamento, rafia y algunos otros materiales como las fibras ópticas de poliamidas.

Existen principalmente dos tipos de maquinaria dedicada a la compactación de materiales: compactadores simples y compactadores de

granulación.

Los compactadores simples son aquellos que presentan un tratamiento automático de caperuzas de contracción de materiales plásticos soplados.

En cuanto a los compactadores de granulación, se encuentran equipados para manejar material seco, húmedo, pigmentado, impreso o limpio y transformarlo en un granulado denso y uniforme. En ocasiones el compactado con algunas modificaciones dentro de su proceso puede llegar a sustituir los ciclos de molienda-extrusión y pelletizado. Este tipo de compactadores se basan en el principio de premoler la película mediante cuchillas giratorias y cuchillas fijas, fabricadas de acero. Por efecto de las cuchillas el material es impulsado a un movimiento circular, ofreciendo por fricción un fuerte calentamiento; una vez lograda la temperatura de semi-plasticación, se introduce una cierta cantidad de agua que por reacción química y térmica provoca un agrietamiento y solidificación del material el cual es granulado en las cuchillas.

d) *PELLETIZADO.*

En el proceso de *pelletizado* de los materiales plásticos, siempre se parte de un granulado previamente hecho, además de que, de acuerdo a las condiciones bajo las que se obtenga el material será elegido un proceso dependiendo, en el caso de películas con lo siguiente: bolsas y películas limpias: compactado-desgarrado-triturado- *pelletizado*.

Bolsas y películas sucias: lavado-separación-compactado- desgarrado-

triturado-pelletizado.

Como se observa, existen cinco procesos previos al *pelletizado*: triturado, desgarrado, compactado, lavado y separación. La mayoría de estos procesos ya se han mencionado anteriormente, faltando sólo por definir el proceso de lavado antes de entrar a la operación de *pelletizado* en sí.

Cuando los desperdicios se encuentran sucios es recomendable lavarlos porque las impurezas pueden presentar interferencias en el proceso de triturado, es por ello que a todo el material que se recicle se lava en tinas con agua y en ocasiones es necesario que el lavado sea en soluciones de sosa cáustica al 15 %, logrando con ello eliminar el polvo, grasa o azúcares adheridos al material.

Una vez descrito el proceso de lavado se pasa al proceso de *pelletizado*, el cual es el proceso por el cual se obtiene la materia prima a transformar ya sea en forma cilíndrica, esférica, elipsoidal, cóncava o granular. La operación se puede llevar en dos formas: *pelletizado* en caliente y *pelletizado* en frío.

Pelletizado en caliente.

En el caso del *pelletizado* en caliente, se maneja un proceso por el cual de manera directa e inmediata se realiza el corte de los filamentos al salir el dado extrusor. Se obtienen gránulos o *pellets* casi esféricos con un rango de 3 a 6 mm de diámetro y son preferidos por su facilidad de manejo.

En la primera etapa de la extrusión se lleva a cabo la plastificación,

homogeneización y dispersión del material; todas estas son operaciones importantes en la apariencia y características del granulado final a obtener.

En la segunda etapa o final, una vez logrado la homogeneización del material, este pasa a un cañón de husillo simple, con el fin de poder transportar la masa fundida a un dado formador de filamentos de descarga y corta para su posterior empaque.

Pelletizado en frío.

En este tipo de *pelletizado* el material es extruido para formar los filamentos, los cuales pasan a una tina de enfriamiento para posteriormente entrar a una cámara *pelletizadora*.

El producto final obtenido presenta una apariencia irregular que en la mayoría de los casos es de forma cilíndrica. En el proceso, los hilos o filamentos pasan de la tina de enfriamiento a unos rodillos jaladores o de arrastre los cuales se encuentran muy próximos a las cuchillas para así poder dar la mejor uniformidad al material granulado que se piensa obtener.

4.5.2) RECICLADO SECUNDARIO

El reciclado secundario es aquel en el cual se procesa todos aquellos desechos plásticos que son inadecuados para llevar a cabo un proceso directo en equipos convencionales para plásticos. Este reciclado todavía no está muy desarrollado debido a cuatro razones principalmente:

i.- Los desechos plásticos se encuentran levemente contaminados con materiales ajenos a los plásticos como metal y arena lo cual pone en peligro el equipo a utilizar.

ii.- Varios plásticos presentan en la mezcla de desechos utilizados incompatibilidad lo cual da como consecuencia la obtención de productos con bajas propiedades mecánicas.

iii.- Una alimentación con las características ideales es muy difícil de conseguir y obtener productos económicamente competitivos.

iv.- Se deben de tener vías de producción masivas del producto a manufacturar.

Hay que considerar que dentro de la basura plástica puede haber diversos orígenes, dentro de los cuales se encuentran materiales con excelentes características para poder ser reciclados con el equipo utilizado en el reciclaje secundario.

a) Plásticos de postconsumo recolectados en tiraderos:

Están formados por una mezcla de varios tipos diferentes de plásticos acompañados por elementos ajenos a la naturaleza de los mismos. En muchas ocasiones la proporción contenida de plástico dentro de la mezcla es extremadamente pequeña que sería incosteable tratarla por los métodos ejemplificados con anterioridad.

b) Plásticos de postconsumo recolectados de material fuera de

especificación:

La mayoría de las veces este tipo de desechos se encuentran en las producciones que no cumplen los requisitos necesarios para ser un producto 100% aceptable, como es el caso de algunos recipientes para leche y algunas botellas. Es por esto que este material es ideal para el reciclado secundario ya que por lo general está formado por un sólo tipo de plástico y se encuentra en la mayoría de las veces libre de contaminantes ajenos al plástico.

c) Mezclas de desechos industriales:

La alimentación necesaria muchas veces se obtiene de desechos mezclados en las industrias. Varios plásticos se presentan en la mezcla y en muchas ocasiones los agentes ajenos a los polímeros se encuentran en cantidades muy pequeñas.

d) Desechos industriales consistentes en un sólo tipo de plástico:

Usualmente este tipo de desechos se encuentra contaminado con otros materiales ajenos a la naturaleza de los polímeros o la basura presenta rasgos de degradación por lo cual no es conveniente utilizar los métodos de reciclaje primario.

Dado que los productos obtenidos mediante el reciclaje secundario compiten con aquellos que requieren bajas características y bajo costo

como es el caso de la madera, el reciclado secundario se ha desarrollado más en aquellas poblaciones donde la producción y la manufactura de muchos productos plásticos resulta extremadamente alta y costosa. En la actualidad se han implantado tecnologías para el reciclado secundario en todo el Japón seguido por Europa, demostrando de esta manera que diferentes técnicas se pueden aplicar para la óptima producción gracias al reciclado secundario, tales como:

-Manejo de procesos de reprocesamiento con ligeras modificaciones presentadas en el equipo convencional de tratamiento de plásticos. Presenta una gran ventaja el poder obtener equipo hasta cierto grado barato y comercialmente existente pero la desventaja es que dentro de la producción se presentan muchos problemas y los artículos obtenidos pierden algunas propiedades.

-Llevar a cabo el reprocesamiento de los desechos mediante el uso de equipo especializado. Las ventajas son altas velocidades de producción con productos que presentan propiedades mecánicas razonablemente aceptables, aunque la desventaja sea el alto costo de la maquinaria.

-Modificaciones químicas dentro de la mezcla plástica. La ventaja de esto, es la manufactura de productos con excelentes propiedades mecánicas; la desventaja es que el costo de los mismos crece sin poder resolver sustancialmente los problemas que se presentan durante el procesado.

-Uso del remolido en combinación con resina virgen. La gran ventaja es producir diversos artículos a un costo considerablemente bajo, pero la desventaja es que sólo ciertos tipos de plásticos permiten aplicar este

procedimiento.

-Aplicar estos recuperados como si fueran rellenos dentro de los materiales vírgenes. El beneficio es poder sustituir ciertos rellenos que resultan caros para el uso comercial en contraposición que este uso se encuentra extremadamente limitado.

-Utilizar los materiales recuperados como la matriz del producto en combinación con algunos refuerzos y rellenos. Aquí el polímero sólo actúa como el punto de ligue entre el relleno o refuerzo, la mayoría de las propiedades mecánicas son proporcionadas por el refuerzo. La desventaja se presenta en las aplicaciones potenciales de la resina final.

Con todo lo listado anteriormente, sólo dos de ellos aplican y utilizan equipo especializado, cuatro de ellos aplican la resina remolida como una estructura de sandwich en combinación con otros materiales y cinco de ellos utilizan materiales de desecho pulverizado como rellenos y cargas dentro de otros polímeros de manera comercial.

4.5.3) RECICLADO TERCIARIO

El reciclado terciario se conoce también como la recuperación de químicos a partir de desechos plásticos, involucra principalmente el proceso de pirólisis.

Se puede definir al proceso de pirólisis como la descomposición química y física de materiales orgánicos a causa del calor dentro de una atmósfera

libre o deficiente en contenido de oxígeno. La pirólisis no es un proceso nuevo, se ha usado muchas veces en el pasado para la manufactura de muchos derivados provenientes de la madera como lo son el metanol, carbón de leña, ácido acético y aguarrás. Gracias a la pirólisis es posible obtener productos químicos de todos aquellos desechos donde por lo general se aplicaba la incineración y el relleno sanitario. Estos productos generados por la pirólisis tienen aplicación comercial dentro de los químicos o como combustible en diferentes áreas.

Algunas de las ventajas que presenta la pirólisis se enuncian a continuación.

- i.-La mayoría de los desperdicios y desechos pueden ser tratados mediante este método de manera económica y sin muchas complicaciones.
- ii.-El volumen del material puede ser reducido en un 90 % o más.
- iii.-El proceso de pirólisis se controla de tal manera que no causa contaminación ambiental por desprendimiento de gases tóxicos.
- iv.-Debido a que el proceso no requiere de espacios muy grandes, una planta de pirólisis puede situarse dentro de las ciudades, por lo cual se manejan costos bajos en cuanto al transporte de materia prima.
- v.- El proceso se encuentra considerado como un productor de energía neta.
- vi.-La energía que se produce presenta formas convencionales de manejo: gas, aceite y carbón.
- vii.-El proceso puede ser manejado de tal manera que cualquier producto químico puede ser obtenido por medio de la pirólisis.

viii.-Desde que se han implantado procesos de oxidación durante la pirólisis de un material, restos metálicos pueden ser recuperados una vez que la pirólisis ha concluido.

4.5.4) RECICLADO CUATERNARIO

El reciclado cuaternario, también conocido como recuperación de energía proveniente de los desechos plásticos implica todos aquellos procesos donde se encuentra involucrada la incineración de la materia prima.

El proceso de la incineración se encuentra definido como la reducción de desechos combustibles a residuos inertes mediante una combustión controlada a altas temperaturas. La razón principal de la incineración es la reducción de volúmenes de desechos. La incineración es capaz de reducir el peso de los desechos de un 80 % hasta un 90 %. Los residuos como se mencionó son completamente inertes y pueden utilizarse para rellenos sanitarios. Debido al alto crecimiento actual de la demanda y costo de energía, se ha dado más importancia a la posibilidad de aprovechar la energía generada de la combustión de los desechos tanto industriales como todos aquellos encontrados en los tiraderos. La recuperación de energía puede tomar diversas rutas dependiendo básicamente de las presentaciones y formas en que se tienen los desechos:

i.-Generación de vapor por la incineración de basura. El calor generado durante la incineración de los desechos produce vapor, el cual puede ser potencialmente aprovechado en las instalaciones de

aire acondicionado para los edificios, o algunos procesos industriales donde se requiera producir electricidad.

ii.-Aprovechamiento del calor para intercambiadores. Los desechos pueden ser utilizados como excelentes sustitutos de aquellos combustibles que se encuentren agotados dentro de algunos rehervidores.

iii.-En ocasiones la pirólisis funciona como un muy buen proceso para la producción de energía.

iv.-Manejo de procesos de hidrogenación. Los desechos pueden ser convertidos a aceites pesados bajo condiciones de presión y en la presencia de monóxido de carbono y vapor.

v.- Digestión anaerobia. Dentro de este proceso, la porción orgánica de los desechos descompone en ausencia de oxígeno. El metano que se produce es un excelente sustituto del gas natural.

Como consecuencia final del reciclado se pueden aplicar los procesos de incineración para recuperar algunas fuentes de energía y aprovechar hasta sus últimas consecuencias los desechos plásticos.

CAPITULO 5

ANALISIS EXPERIMENTAL PARA VALORAR LA BIODEGRADACION Y FOTODEGRADACION DE UNA PELICULA DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD CON CARGA DE ALMIDON

Se realizó un experimento a nivel laboratorio en condiciones estándar de temperatura y presión tomando en cuenta la temperatura ambiente promedio en el campo para observar el comportamiento de una película de polietileno en condiciones de incidencia de luz ultravioleta tratando de incitar una fotodegradación, y en presencia de microorganismos (hongos y bacterias) para llevar a cabo una biodegradación.

La fotodegradación se puede llevar a cabo de una manera artificial por medio de aparatos llamados *weatherómetros*, donde además de controlar la incidencia de la luz ultravioleta se pueden controlar otros parámetros como humedad, temperatura, etc..

En la experimentación para la biodegradación, se tomó como referencia el método ASTM G21-70 para la degradación con hongos y se ajustó para hacer lo propio con bacterias.

Para entender más a fondo el objetivo de nuestro experimento dividiremos este capítulo en dos partes:

- 1) Proceso experimental para la fotodegradación del polímero.
- 2) Proceso experimental para la biodegradación del polímero.

5.1 PROCESO EXPERIMENTAL PARA LA FOTODEGRADACIÓN DEL POLÍMERO

5.1.1 Metodología:

Para evaluar los efectos de la luz ultravioleta en un polietileno lineal de baja densidad se procedió a diseñar un cámara oscura con una lámpara de luz ultravioleta de las siguientes características:

Lámpara luz ultravioleta G8T-5 8 watts, 127 volts.

La cámara oscura se diseñó en vidrio (40 cm x 25 cm x 30 cm), perfectamente sellada en color negro para evitar fuga de luz, que puede ser peligrosa para el sentido de la vista.

Se colocó una muestra de una película de polietileno de baja densidad con 10 % de carga de almidón en una exposición total de 20 días durante 7 horas diarias aproximadamente, ya que el equivalente en luz artificial⁽¹⁾ en luz natural es 1 hora = 1 día y las 140 horas son las que el plástico estaría expuesto en el campo.

Una vez concluido este período de tiempo, se midieron las siguientes propiedades del polímero y se compararon con el valor típico del mismo sin exposición.

Resistencia a la tensión.

% de elongación.

Módulo de tensión.

Flujo melt index.

⁽¹⁾ Relación de lámparas de envejecimiento, Martín C.L.: España 1982

Resistencia al Impacto Izod.

5.1.2 Resultados en la fotodegradación

Con la medición de los resultados se obtuvo la siguiente Tabla. En cada propiedad se realizaron 10 mediciones.

TABLA 10
RESULTADO EXPERIMENTAL EN LA FOTODEGRADACION

Flujo Melt Index (gr/10 min)	Resistencia a la tensión (psi)	% de elongación	Módulo de tensión (psi)	Resistencia al Impacto Izod (ft/lb)
3.4	3100	55	130000	.275
3.3	2900	45	135000	.290
3.0	3250	39	132000	.280
3.4	3150	65	131000	.320
3.1	3100	35	140000	.315
3.2	2950	45	138000	.312
3.2	3150	68	136000	.315
3.3	3200	58	133000	.298
3.1	3200	54	139000	.325
3.4	3050	62	134000	.280
3.21*	3105*	52.6*	134800*	.301*

*Media

Propiedad	Método	Valor Típico	Valor Obtenido
Resistencia a la tensión	ASTM D-638	3600 psi	3105 psi
% de elongación	ASTM D-638	120 %	52.6 %
Módulo de tensión	ASTM D-790	120,000 psi	134,800
Flujo Melt Index	ASTM D-1256	6 gr/10 min	3.21 gr/10 min
Resistencia al Impacto Izod	-	1.0 lb.ft/in	.301 fr/lb

5.2 PROCESO EXPERIMENTAL PARA LA BIODEGRADACION DEL POLÍMERO.

5.2.1 Metodología:

Se empleó una bacteria (*Pseudomonas aereuginosa*) y un hongo (*Aspergillus niger*) proporcionados por la Escuela de Ciencias Químicas de la Universidad Lasalle.

El medio utilizado es una base de sales minerales como se muestra a continuación:

Agar bacteriológico	6 gr
Cloruro de potasio	400 mg
Sulfato de magnesio	400 mg
Fosfato de amonio	400 mg
Agua destilada	400 ml

La fuente de carbono la aportará el almidón confluído en el polímero. Este medio se esterilizó en una autoclave a 121° C durante 15 minutos.

Se recortaron piezas de polímero con carga de almidón de 1cm x 2cm. para el ensayo con bacterias y círculos de 1 cm. de radio para el ensayo con hongos.

Se vació el medio de cultivo en 10 cajas de Petri, colocando una primera capa para fijar el polímero del cual se colocaron cuatro piezas en cada caja totalizando cuatro cajas para la bacteria y un control negativo

(plástico sin almidón) y cuatro cajas para el hongo y un control negativo (plástico sin almidón). Una vez hecho esto se complementó con otra capa de medio de cultivo, y se sembró la bacteria en cada pieza de polímero por estría y el hongo por punto.

Se incubaron a 37° C las cajas con *Pseudomona aeruginosa* durante 5 días y a 28° C las cajas con *Aspergillus niger* durante 10 días

5.2.2 Resultados en la biodegradación.

Después de 10 días de observación de las cajas con los hongos y 5 en las cajas con las bacterias no se observó ningún crecimiento.

5.3 DISCUSION DE RESULTADOS

5.3.1 Discusión de resultados en el proceso de fotodegradación

De acuerdo a los resultados obtenidos en la exposición del polímero a la luz ultravioleta, se puede ver que efectivamente hubo una pérdida en las propiedades mecánicas del polímero.

En la resistencia a la tensión se obtuvo un decremento en el valor típico de 3,600 psi a 3105, lo cual hace ver que el polímero requiere menor fuerza para tensarlo convirtiéndolo en un polímero más duro y quebradizo.

Al obtener un valor en el porcentaje de elongación mayor al típico (De 120,000 psi a 134,800), se aprecia un claro aumento en la rigidez del polímero, lo cual está directamente relacionado con lo mencionado

anteriormente.

Por consecuencia y corroborando lo anterior el porcentaje de elongación disminuyó de 120 % a 52.6% lo cual hace ver que el polímero se vuelve menos elástico y más rígido.

Con respecto al flujo melt index teóricamente se espera que al haber ruptura de la cadena polimérica el flujo aumente, pero contrario a esto se ve que al ocurrir una degradación (en éste caso de tipo fotolítica) provoca una disminución en el patrón de flujo y lo disminuye. El material ya no puede volver a tener la misma composición que la original.

En la resistencia al impacto también se observó un importante decremento en esta propiedad (1.0 lbf/in a 0.3 lbf/in), lo cual está indicando la pérdida de propiedades mecánicas ya que se requiere una cantidad de energía menor para romper el plástico.

Como se observó todas las propiedades van en decremento traduciéndose éstas en la pérdida de flexibilidad y aumento de rigidez lo cual hace ver que la incidencia de la luz ultravioleta tiene un papel muy importante en la degradación de un polímero al modificar de una manera significativa las propiedades mecánicas del mismo.

5.3.2 Discusión de resultados en el proceso de biodegradación.

En la parte donde se realizó el experimento para la biodegradación del polímero se puede llegar a las siguientes conclusiones.

Es muy factible que la biodegradación del polímero no se efectuó como se esperaba debido a que el método utilizado tiene muchas limitaciones como lo son el tener que reproducir las condiciones naturales en el laboratorio. Solo se contó con un determinado número de nutrientes que pueden variar en cantidad y diversidad dependiendo de la zona geográfica donde se encuentren. El uso de la incubación en la estufa tiene también sus limitantes ya que a través del tiempo se empieza a perder humedad en el medio. Las referencias que se tienen acerca de este tipo de experimentos no están muy bien establecidas y definidas.

Por otra parte, se tuvieron recursos limitados en la disponibilidad de cepas y la cantidad de polímero para la experimentación. Es posible que al intentar la experimentación con otras cepas diferentes se puedan obtener resultados más significativos.

Existe otra serie de factores que deberían de entrar como parámetros de control que afectan la biodegradación del plástico, los cuales no se controlaron en la experimentación del mismo. Tales parámetros incluyen el experimentar con variaciones de pH, temperaturas, espesor de la película, humedad, contenido de oxígeno, exposición a la luz ultravioleta y algunas reacciones químicas que también pueden ocurrir.

Otro punto de tomar en cuenta como variable que puede aumentar o disminuir la biodegradación del polímero, es el contenido de almidón en el mismo, pero aquí se debe de considerar en cuenta que las propiedades del polímero variarán si se tienen contenidos muy altos (40% en adelante).

Un posible efecto sinérgico también puede ayudar a la biodegradación del polímero. Es importante saber que los organismos no se encuentran solos en la composición de un suelo y es posible que tengan que interactuar entre ellos para llevar a cabo una degradación biológica.

La degradación biológica puede variar dependiendo de las condiciones ambientales como se mencionó anteriormente debido a muchas variables que el medio ambiente va a tener en presencia dependiendo del lugar geográfico donde se encuentre, lo cual dice que no va a ser solamente la composición del material la cual va a influir, es algo más complejo.

Cuando hacemos un material más degradable, en este caso añadiendo almidón, incrementamos la probabilidad de degradarlo pero solo estamos ajustando un parámetro de los anteriormente mencionados, lo cual no garantiza que la degradación será más rápida.

CONCLUSIONES:

A través de la experimentación en el laboratorio se vio que la fotodegradación sí tiene un efecto importante en la pérdida de las propiedades mecánicas del polímero, lo cual ayuda a la degradación total del polímero y favorecerá las condiciones de la degradación biológica del mismo.

En cuanto a la biodegradación de un polímero se presentan factores que dificultan el proceso a nivel experimental y la información de este tipo de polímeros es algo que apenas está implementándose en el mercado.

CAPITULO 6

COMPARACION ENTRE RECICLADO Y BIODEGRADABILIDAD APLICADO A PELICULAS DE POLIETILENO EN LA AGRICULTURA

6.1 ANTECEDENTES

El Consejo de Europa, ha definido la polución atmosférica de la siguiente manera: hay polución en el aire cuando la presencia de una substancia extraña o una variación importante en la proporción de sus constituyentes es susceptible de provocar un efecto perjudicial o de crear una molestia, teniendo en cuenta los conocimientos científicos del momento. Esta misma definición servirá, para la polución del agua, del silencio y del paisaje, porque estos son los cuatro campos en los que la polución se produce: aire, agua, silencio y paisaje.

Los plásticos no contaminan el aire, ni el agua, ni el silencio, y sólo en casos muy aislados, el paisaje, y no por su propia naturaleza, sino por el comportamiento del usuario del plástico.

Los plásticos no contaminan el aire ni en su fabricación (es de los procesos industriales más "limpios" que el hombre ha conseguido, con un aprovechamiento virtualmente total de las materias primas utilizadas) ni en su empleo posterior.

Tampoco contaminan el agua, ya que son química y biológicamente inertes, y no producen en el agua ninguna degradación ni alteración de sus componentes.

Menos aún contaminan los plásticos el silencio o nivel aceptable de ruido del medio ambiente.

Queda, por tanto, el paisaje, área en la que el plástico ha sido blanco de ataques.

Los plásticos no causan contaminación o polución que signifique un peligro para la vida, pero su abandono incontrolado si poluciona el medio natural, aunque esto tenga escasísima repercusión en la salud pública.

El creciente aumento en los desperdicios sólidos es una marcha irreversible, motivada por el desarrollo económico, los modernos sistemas de comercialización, la conservación e higiene de los alimentos, los hábitos de compra, la concentración de la población en los grandes centros urbanos, los constantes desplazamientos desde estos centros a su entorno periférico y el desarrollo del turismo en todas sus modalidades.

El rápido desarrollo de la utilización de materiales plásticos, ha planteado el problema de su recolección y destrucción. Todos los artículos de estos materiales duran mucho tiempo, debido a que no les ataca el agua, ni los líquidos biológicos, ni los líquidos comestibles, ya que soportan el calor y el frío moderados.

Estas características de los plásticos no son, desde luego, fruto del azar, sino que han sido buscadas y desarrolladas por químicos y técnicos a lo largo de muchos años, y son precisamente las características que han permitido la enorme expansión experimentada por los plásticos. Hoy es un hecho natural que los artículos de plástico conserven la solidez y viveza de sus colores durante muchos años, que los productos alimenticios se conserven en los envases de plástico, etc..

Las cosas varían cuando los plásticos están expuestos permanentemente a la luz directa del sol, sobre todo si son artículos de paredes delgadas. En este caso, al cabo de más o menos tiempo pierden sus propiedades mecánicas y se hacen frágiles y quebradizos, lo que se interpreta como consecuencia de una oxidación más o menos profunda de las cadenas hidrocarbonadas que constituyen estos materiales. Esta oxidación es acelerada por la radiación U.V. del sol, lo que explica el rápido envejecimiento de los plásticos expuestos a la intemperie.

Los métodos utilizados para prolongar la duración de los plásticos expuestos a la intemperie consisten fundamentalmente en incorporar los productos estabilizantes que impiden, o retardan, el proceso de oxidación que tiene lugar en presencia de los rayos U.V..

Recíprocamente se han utilizado sustancias que aceleran dicho proceso oxidativo y que, con el concurso del oxígeno del aire y los rayos U.V., hacen que los plásticos expuestos a la intemperie y al sol se reduzcan espontáneamente a polvo en pocas semanas o meses.

6.2 LOS CICLOS DE LA NATURALEZA

Si se considera el número de seres vivos, animales, plantas, la enorme cantidad de desechos que anualmente se producen, y la necesidad de un medio ambiente adecuado para vivir libre de desechos para desarrollarse, se tiene que tomar un equilibrio con la fábricas existentes el hombre y el medio ambiente.

La solución ha sido muy sencilla, formar un ciclo cerrado en el que los

desechos de una forma de vida, una polución, son la materia prima para otra manifestación de vida. El oxígeno es un desecho y una polución para las plantas, mientras que es indispensable para los animales. La descomposición de las hojas y los frutos caídos, así como la descomposición de los animales muertos, originan productos que posteriormente son asimilados en nuevas formas de vida vegetal. La diferencia entre los productos de desecho de la naturaleza y los del hombre muy clara: el ciclo de fabricación creado por el hombre no está cerrado.

Fundamentalmente, la fuente de energía que usa la naturaleza es el sol. El hombre usa como fuentes de energía combustibles fósiles y saltos de agua, y aquí nace el ciclo creado por el hombre.

Ahora si se considera como el hombre realiza sus ciclos de producción



El esquema del ciclo del hombre es abierto, porque falta el último eslabón de la cadena, la eliminación, que evidentemente se ha de dirigir a producir energía o materias primas o ambas cosas a la vez, para cerrar el ciclo

como lo hace la naturaleza.

6.3 LOS CICLOS INDUSTRIALES

Todo material industrial recorre un ciclo más o menos complejo y más o menos prolongado. A lo largo de las diferentes etapas de estos ciclos se originan basuras que es necesario eliminar. Todos los ciclos de la naturaleza se pueden considerar que son ciclos cerrados, y de la misma manera los ciclos industriales también sean ciclos cerrados.

Así el ciclo del carbono, que partiendo del anhídrido carbónico a través de la función clorofílica, y después de la oxidación que tiene lugar en los organismos vivos, vuelve a producir gas carbónico, el ciclo por tanto permite convertir la energía solar en energía muscular a través del carbono y del oxígeno.

De igual manera, el ciclo del nitrógeno, también se puede considerar cerrado y que se puede resumir como se indica en la siguiente Figura:

CICLO DEL NITROGENO

Proteínas animales → Descomposición, Fermentación → Sales amónicas, nitritos, nitratos, etc → Crecimiento de las plantas → Proteínas vegetales → Ingestión por los animales → Proteínas animales.

Por estas razones, la naturaleza parece perfectamente estable y aparentemente estos ciclos se repetirán sin intervención humana, es decir, hay un equilibrio estable. Sin embargo, esto no es exactamente cierto, ya que se sabe que con tiempo suficiente hay modificaciones lentas y evidentes de estos equilibrios.

Se tiene la certeza que un bosque modifica poco a poco el suelo y que a lo largo de suficiente tiempo el petróleo y la hulla se han acumulado fijando el carbono que estaba presente en la atmósfera prehistórica, almacenando así la energía solar. De acuerdo con las diferentes circunstancias climáticas y ecológicas, las reacciones biológicas son más o menos completas o incluso pueden ser totalmente diferentes.

En cualquier caso, queda claro la distinción entre ciclo cerrado y abierto, natural o industrial. De acuerdo a esto se puede aceptar que si se desea conservar estos equilibrios, que son por sí mismos una de las razones de la permanencia de la especie humana sobre la tierra, y a los cuales se está ligado cada vez más, ha de tomarse conciencia de este fenómeno general y actuar de manera que los ciclos industriales sean ciclos que se aproximen a los ciclos naturales. Esto implica la necesidad de cumplir dos condiciones esenciales:

- 1.- Disminuir o, si es posible, evitar totalmente los subproductos inutilizables en un ciclo cerrado.
- 2.- Resolver el problema de las basuras y desperdicios, de manera que, a través de su eliminación, se aproxime la situación al punto de partida.

6.4 EL CICLO DE LOS PLÁSTICOS

Pese a la enorme diversidad de material plástico y a su utilización tan reciente por el hombre, sólo se habla de la utilización masiva de estos materiales a partir de la década de los cuarenta, aunque se comenzaron a usar antes de 1920.

Para cerrar el ciclo de los plásticos, cabe considerar las posibilidades siguientes:

- * Reutilización
- * Reprocesado
- * Reciclado
- * Degradación

Por reutilización se entiende la recuperación de artículos ya utilizados en su forma original, por ejemplo, el uso repetido de cajas para transporte de botellas, de bolsas de uso comercial o de sacos para fertilizantes que vuelven a usarse para recoger escombros.

Por reprocesado se verá que son las operaciones en las que los recortes o materiales desecho, que se originan durante un proceso de transformación, son remolidos y vueltos a utilizar, mezclados en parte con material virgen de partida.

El reciclado se refiere a cualquier tipo de proceso en que los artículos fabricados se recuperan y tratan de tal manera que se consigue algún producto o beneficio adicional. Los plásticos tienen en común que la mayor parte de ellos son ricos en carbono, los otros elementos sencillos con que están constituidos son hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, cloro y flúor. En la siguiente Tabla se presenta lo que significa una tonelada de materia plástica, para diferentes tipos de éstos, desglosada en los elementos sencillos que la constituyen.

TABLA 11⁽¹⁾
COMPOSICIÓN DE MATERIALES PLÁSTICOS

POLÍMERO	Carbono	Hidrógeno	Oxígeno	Cloro	Nitrógeno
Polioléfinas	857	143	-	-	-
Poliestireno	923	77	-	-	-
PVC	384	48	-	568	-
Celulósicas	444	62	494	-	-
Poliámidas	710	70	120	-	100

Consideremos ahora todos estos elementos sencillos y en que se convierten cuando los materiales plásticos que los contienen se someten a incineración.

Carbono

La combustión total de los materiales plásticos convierte íntegramente el carbono en CO₂. Si se considera que el carbono tiene como fuente de origen el petróleo, que a su vez proviene de la fijación del anhídrido carbónico de la atmósfera en períodos prehistóricos, se llega a la conclusión de que quemar el carbono de los plásticos equivale a reciclarle en su ciclo natural, recuperando así la energía solar que se recibe hace muchos siglos.

Hidrógeno

La combustión completa de este elemento la transforma íntegramente en vapor de agua.

Nitrógeno

Se encuentra principalmente en las poliámidas y en los poliuretanos y

(1) Tomada de la referencia bibliográfica 29

retorna a la atmósfera directamente como óxidos de nitrógeno.

Oxígeno

Igual que el hidrógeno, este elemento se transforma íntegramente en la incineración de los plásticos, en parte, forma vapor de agua con el hidrógeno presente en la molécula y, en parte, forma anhídrido carbónico combinado con el carbono.

Cloro

Este elemento se transforma en ácido clorhídrico durante la incineración de los plásticos, y es cierto que aquí se presenta un problema. Desde el punto de vista de contaminación, y aunque, desde luego, el porcentaje de ácido clorhídrico que se forma durante la incineración que contiene plástico está muy por debajo de las más severas exigencias admitidas hoy, es deseable que durante la incineración se controle esta formación de ácido clorhídrico. Para ello se han realizado y se realizan numerosos estudios que tienen por objeto completar el ciclo, bien por neutralización, bien por recuperación del cloro.

El reciclado de energía por medio de incineración de los materiales plásticos con recuperación de calor permite:

- * Utilizar un combustible limpio.
- * Cerrar el ciclo del petróleo en la energía.

6.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE CADA PROCESO

Para ver las ventajas y desventajas que ofrecen el reciclado y la degradación del plástico se tomarán en cuenta los siguientes factores:

6.5.1 Ventajas y desventajas del reciclado.

- 1) Aunque ya se mencionó que lo óptimo para el manejo de un plástico después de su uso principal es la reutilización, reprocesado y reciclado del mismo, teniendo como última alternativa la degradación del mismo, no todos los plásticos son factibles de reciclar. El reciclado está enfocado generalmente a algunos artículos determinados tales como botellas, empaques para los cuales ya se cuenta con programas desarrollados. Pero hay muchas formas tales como bolsas, películas, pañales que son mejores candidatos para la degradación.
- 2) Es importante tomar en cuenta que plásticos degradables en términos técnicos pueden ser reciclados. Hay compañías que aceptan este tipo de plásticos en sus procesos de reciclado. Se han desarrollado plásticos que no son fácilmente de separar para la elaboración de plásticos de bajo valor y propiedades diferentes. En un proceso de reciclado al final en la extrusión, se pueden aceptar hasta un 40% de contaminantes, los cuales incluyen vidrio, metal y papel lo cual indica que cantidades pequeñas de material degradable se pueden aceptar en el proceso.
- 3) En el proceso de reciclado es importante que para obtener un producto de calidad similar al proveniente, se debe agregar material virgen y sus propiedades mecánicas van a variar dependiendo de la mezcla de material virgen respecto al reprocesado. Para el uso de películas en acolchado se debe tener ciertas especificaciones mecánicas mínimas con las cuales debe de cumplir el polímero.
- 4) También es importante tomar en cuenta que para el reciclado de plásticos se requiere equipo sofisticado y tecnologías de separación prácticas, así como mercados en los cuales puedan competir las resinas de materiales

reprocesados.

- 5) Para el reciclado se sabe que sus aplicaciones como material para la industria de alimentos no puede ser llevada a cabo por regulaciones de la FDA.
- 6) El proceso de recolección y separación en la aplicación como película para acolchado en la agricultura resulta ser impráctica y muy laboriosa debido a la cantidad de raíces, tallos y otros materiales que se quedan en las películas, así como la difícil obtención del plástico de una manera completa, ya que los plásticos tienden a sufrir envejecimiento debido a las condiciones climatológicas.
- 7) Es importante también tomar en cuenta que se debe de contar con un sistema bien organizado de recolección de plásticos, el cual no está todavía establecido en muchas sociedades.

6.5.2 Ventajas y desventajas del polímero degradable.

- 1) El tiempo que le toma a los plásticos para degradarse depende de muchos factores. Estos incluyen su composición, características físicas tales como el grosor, condiciones ambientales tales como la humedad, contenido de oxígeno y temperatura (para biodegradables); exposición a la luz ultravioleta para fotodegradables. La función de los insectos y microorganismos también contribuyen en gran medida.
- 2) La degradación también puede variar dependiendo de la localidad por

otros factores tales como pH. Se estima que debe de haber 32 variables que influyen la degradación de un material en un periodo determinado de tiempo. Cuando se hace un material más degradable aumentamos la posibilidad del polímero de degradarse, pero solo se ajusta un parámetro de los 32 (en éste caso la adición del almidón) y no garantiza que la degradación va a ser muy rápida.

- 3) Para el uso de películas en el acolchado las películas biodegradables tienen ventaja, ya que al recolectar las piezas grandes no hay problema que al desgarrarse el polímero queden formando parte del suelo.
- 4) La mayoría de los plásticos fotodegradables y biodegradables han sido diseñados para ser utilizados en aplicaciones específicas, o lo que es más importante bajo condiciones específicas. Los primeros usos de plásticos biodegradables y los actuales son: Anillos para empaques de refrescos, bolsas de supermercado, bolsas de basura, pañales y películas para agricultura.

6.6 COMPARACION ECONOMICA

Se decidió tomar como ejemplo para el uso de polietileno en acolchados en la agricultura el cultivo del jitomate debido a su gran importancia en las exportaciones del mismo y su consumo a nivel nacional.

El ciclo de la siembra del jitomate está dividida en dos ciclos:

Primavera-Verano y Otoño Invierno.

Esto implica que el agricultor necesita utilizar por lo menos dos veces por año las películas para el acolchado.

Se tienen las siguientes posibilidades para utilizar este plástico en el

acolchado:

Polietileno de baja densidad (virgen y reciclado) y polietileno de baja densidad con carga de almidón.

Los costos del *pellet* para cada uno de ellos son los siguientes:

PE de primera ⁽²⁾	.78 USD/kg
PE reciclado ⁽³⁾	.74 USD/kg
PE con carga de almidón ⁽⁴⁾	.99 USD/kg

Para cada una de las opciones es necesario saber su costo de transformación y su rendimiento de *pellet* a película con espesor de 1.4 mm.

TABLA 12
COSTOS DE TRANSFORMACION

	PE de la	PE reciclado	PE biodegradable
Costo de materia prima (USD/kg)	.78	.74	.99
Densidad (kg/m ²)	.096	.096	.117
Espesor	.0014	.0014	.0014
Costo de materia prima (USD/m ²)	.0104	.0099	.0162
Costo de transformación (USD/m ²)	.0052	.0049	.0081
Costo Total (USD/11a)	156.00	148	243

⁽²⁾ Precio obtenido de la compañía Pellets Importados S.A. de C.V. 1994

⁽³⁾ Precio obtenido de la compañía M.A. Industrias 1994

⁽⁴⁾ Precio basado en el polietileno de baja densidad con 12.5 % de carga de almidón, compañía Filly compound plastics, Inc., 1994

De acuerdo a la Tabla anterior se obtienen los siguientes valores:

TABLA 13
COMPARATIVO DE COSTOS

	Frecuencia de uso anual	Costo	Costo de recolección	Costo Total anual
PE de primera	2	156 USD/Ha	150 USD/Ha	612
PE reciclado	4*	148 USD/Ha	150 USD/Ha	1192
PE biodegradable	2	243 USD/Ha	-	486

CONCLUSIONES:

De acuerdo a los resultados obtenidos en las Tablas 12 y 13 se puede observar que:

El polietileno con menor costo de obtención es el polietileno reciclado, en segundo lugar el polietileno de primera y por último el polietileno biodegradable. Esto se debe al que en el polietileno biodegradable aumentamos su costo al adicionar el *masterbatch* de almidón y tener una densidad mayor.

Con estos costos se puede descartar las posibilidades de utilizar el PE biodegradable y el de primera, aunque la diferencia en costos es muy pequeña en relación al reciclado (8 USD).

Lo importante es referimos a la Tabla 13 donde se puede ver que de acuerdo a la frecuencia de uso de cada polietileno y sus costos de recolección resultará más económicamente factible utilizar el polietileno

biodegradable reduciendo los costos en gran cantidad con respecto al reciclado, ya que las propiedades mecánicas del polietileno reciclado disminuyen a un valor cercano a la mitad de un polímero de primer uso.

CAPÍTULO 7

APLICACION DE PELÍCULAS DE POLIETILENO EN LA AGRICULTURA

7.1 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE POLIETILENOS USADOS COMO PELÍCULAS

Dentro de lo que es la agricultura el tipo de polietileno que se usa para Películas es el lineal debido a que tiene cadenas moleculares prácticamente sin ramificaciones a diferencia del polietileno convencional, donde las cadenas son altamente ramificadas. Entre las propiedades mejoradas del lineal en comparación con el convencional caben destacar:

- * Excelentes propiedades tensiles
- * Alta resistencia al rasgado
- * Excelentes propiedades químicas
- * Alta rigidez
- * Mayor resistencia a bajas temperaturas
- * Transparencia

Otra característica en este tipo de material es su poco peso. Esta característica es casi siempre una gran ventaja, por su facilidad de manejo y de transporte, menores exigencias de estructuras, etc.. Así por ejemplo: 1 metro cuadrado de PELÍCULA de PE de baja densidad, de 0.1 mm de espesor pesa 92 gramos.

Todos los polietilenos de baja densidad son menos densos que el agua, a no ser que por los aditivos añadidos a las composiciones, su densidad suba

a valores superiores a 1.

El polietileno lineal de baja densidad (LLDPE) de fase gaseosa con octeno como monómero (LLDPE/O) tiene las mejores características tanto en lo que se refiere a propiedades mecánicas como a las características de transformación en máquina, como se puede ver en la siguiente Tabla:

TABLA 14⁽¹⁾
PROPIEDADES DE DIVERSOS TIPOS DE PELÍCULAS DE PE
VALORES COMPARATIVOS

PELÍCULAS DE 50 MICROMETROS DE ESPESOR	P.E. LINEAL (CON OCTENO) L.F. 1	P.E. LINEAL (CON BUTENO) (ALTA PRESION)	P.E. LINEAL (CON BUTENO) (FASE GAS)	P.E. D. NORMAL L.F.
RESISTENCIA AL IMPACTO	100	63	58	26
RESISTENCIA AL IMPACTO	100	69	64	48
RESISTENCIA A LA TRACCION	100	90	79	51

El LLDPE se puede usar en las mismas aplicaciones que el PE normal. Su mayor resistencia mecánica permite utilizar espesores menores.

En la aplicación de PE normal en forma de películas, existe toda una serie de composiciones que permiten obtener productos con características específicas. Tal es el caso de los películas de PE de larga duración, los cuales, mediante aditivos adecuados, pueden resistir en utilización (en acolchados por ejemplo) durante varios años, o el caso de los películas termoaislantes, que disminuyen en gran medida las pérdidas caloríficas.

Para algunas aplicaciones, tales como cubiertas para invernaderos o en

(1) Tomada de la referencia bibliográfica 44

algunos casos de acolchado del suelo, por ejemplo, la transparencia de los materiales plásticos (Películas o placas) a la luz solar tiene capital importancia.

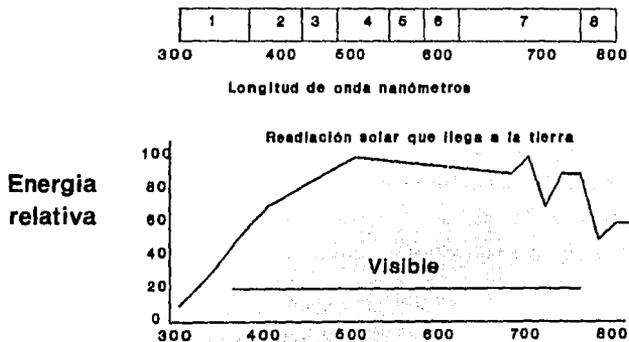
Se denomina transparencia a la propiedad de un material de dejar pasar la mayor cantidad posible de radiaciones solares (visibles y no visibles). Los valores de la transparencia de los plásticos a las radiaciones solares, solo tienen interés si se expresan en función de la importancia que estas radiaciones tienen en el espectro solar.

En cuanto a la permeabilidad del polietileno a las radiaciones para aplicaciones de acolchado es bueno que las películas tengan una cierta permeabilidad a las radiaciones emitidas por el suelo y plantas, con objeto de aportar calor a la parte aérea de estas durante la noche.

Es bien conocido que la luz interviene en el desarrollo general de las plantas mediante el fenómeno de la fotosíntesis. En el desarrollo de la clorofila son imprescindibles las radiaciones de 600 a 690 nm (naranja - rojo); la radiación de 430 a 500 nm (violeta-azul-verde) actúa como activador y las radiaciones infrarrojas (IR) superiores a 760 nm aportan el calor necesario. Como se observa en la Figura 12.

Desde el punto de vista de la opacidad a las radiaciones del suelo y plantas comprendidas entre 5000 y 35000 nm, suele decirse que el vidrio es el material ideal, hasta el material óptimo sería el material con gran flexibilidad (los plásticos) y las propiedades ópticas del vidrio.

FIGURA 12
ESPECTRO VISIBLE DE LA ENERGÍA SOLAR RECIBIDA EN LA SUPERFICIE DE LA TIERRA



- 1.-Ultravioleta 2.-Violeta 3.-Azul 4.-Verde 5.-Amarillo
6.-Anaranjado 7.-Rojo 8.-Infrarojo

TOMADO DE REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA No 44

La luz que llega a un material puede ser: reflejada, absorbida o transmitida. Todas las longitudes de la onda no son absorbidas, reflejadas o transmitidas de manera uniforme por los materiales de cobertura lo que tiene su efecto sobre la calidad de la luz (color) que reina en el abrigo. Hay que evitar que las longitudes de onda necesarias para el crecimiento de las plantas sean reflejadas o absorbidas.

En el caso de que la mayor parte de la luz transmitida lo sea en forma directa, las sombras producidas por los objetos (plantas, hojas, etc.) serán fuertes. Por el contrario, los materiales traslúcidos o semitransparentes provocan una serie de explosión de los rayos luminosos en todas las direcciones, dando lugar a una luz difusa con sombras débiles. A este respecto, conviene saber que el factor importante es la cantidad total de radiación solar que atraviesa el material. En la Tabla 15 se presenta la transparencia a las radiaciones solares de algunos materiales plásticos, en tanto por ciento de la radiación incidente, a diferentes longitudes de onda.

TABLA 15⁽²⁾

TRANSPARENCIA A LAS RADIACIONES SOLARES

MATERIALES	RADIACION U.V.	RADIACION VISIBLE	RADIACION I.R.	TOTAL 300-2000nm
VIDRIO. 3mm	53	90	88	86.5
POLIAMIDA 0.1 mm	82	91	93	91.5
POLIETILENO (PE), 0.1 mm	68	80	83	80.0

En la Tabla 16 se muestra la transmisión total y directa de la luz visible

⁽²⁾ Tomada de la referencia bibliográfica 44

del sol por parte de algunos materiales.

TABLA 16⁽¹⁾
PORCENTAJE DE TRANSMISIÓN DE RADIACIÓN SOLAR Y
TÉRMICA

MATERIALES	T.R.S. PARED SIMPLE	T.R.S. PARED DOBLE	T.R. PARED DOBLE
PE TRANSPARENTE	93	88.0	-
PE COMERCIAL TRANSP.	76 (89)	(81)	70.4
PE. UV	74 (88)	-	-

T.R.S. = TRANSMISIÓN DE RADIACIÓN SOLAR
T.R. = TRANSMISIÓN TÉRMICA
CIFRAS FUERA PARENTESIS=TRANSMISIÓN DIRECTA
CIFRAS ENTRE PARENTESIS=TRANSMISIÓN TOTAL

El comportamiento que tiene el polietileno a la radiación solar directa, esto es a 320 a 2150 nm en incidencia normal, las únicas pérdidas de transmisión se deben al poder reflector de los materiales, pero incluso este poder no suele ser muy grande. Los películas transparentes más corrientes, sea cual sea su formulación química, poseen un factor de transmisión luminosa y un factor de transmisión energética para la radiación solar, del orden de 0.90.

En el caso del PE de larga duración, que lleva ciertos aditivos, no reducen el factor de transmisión energética en más del 5 por 100.

En este aspecto, en los últimos años se ha observado una gran mejora de los plásticos en lo referente a disminución de pérdidas de radiación solar por absorción o por reflexión.

La absorción puede considerarse insignificante a lo largo del espectro

(1) Tomada de la referencia bibliográfica **

solar (no más del 6% del conjunto de la radiación), si bien esta absorción depende de cada tipo y de su formulación.

Si a los valores en la Tabla 15 se les suma el valor de su poder de reflexión, del que se trata a continuación, la diferencia a 100 permite calcular el poder absorbente real.

Las pérdidas de transmisión que se observan en las cubiertas son debidas principalmente a la reflexión. La fracción de radiación solar que se refleja depende del ángulo de incidencia. Al mismo tiempo, algunos materiales poseen un factor espectral de reflexión totalmente dependiente de la longitud de onda de la luz que reciben. Así, por ejemplo, el polietileno, a una radiación de 300 nm, puede ocurrir que tenga un poder de reflexión del 5%, mientras que frente a longitudes de onda de 1.200 nm es del 14%. Hablando en general, la reflexión aumenta con el índice de refracción del material. A título de ejemplo puede decirse que un material que tenga un índice de refracción de 1.8 ocasiona una pérdida de luz por reflexión (a incidencia normal), doble de la provocada por un material de índice 1.5 ($R_{1,5}=8$ por 100; $R_{1,8}=16$ por 100).

Entre los plásticos con mayor poder de difusión se encuentra el polietileno. En ciertas ocasiones y regiones, esta propiedad de difundir la luz supone una ventaja, ya que evita que los agricultores tengan que blanquear sus construcciones con objeto de eliminar la excesiva acción directa de la radiación solar.

En la Tabla 17 se muestra el comportamiento del polietileno a las radiaciones infrarrojas (opacidad a las radiaciones nocturnas).

TABLA 17⁽⁴⁾
TRANSPARENCIA DE PELÍCULAS A LAS RADIACIONES
NOCTURNAS
(I.R. DE 2500 A 25000) EMITIDAS POR EL SUELO

MATERIAL	TRANSPARENCIA
PE (PELICULA). 0.05 mm (SIN ADITIVOS)	77.0
PE NEGRO. (PELICULA). 0.05 mm	45.0
PE TERMOAISLANTE. 0.2 mm	13.0

La mayoría de los plásticos permiten un calentamiento rápido durante el día, pero muchos de ellos dejan escapar también la radiación acumulada.

El aspecto general del espectro de emisión en el I.R. de 5,000 a 36,000 nm es bastante característico de cada familia de materiales. En la Tabla 18 se presentan los valores ponderales de los factores totales de transmisión en el I.R. correspondientes a los factores espectrales. El factor total de reflexión de estos mismos materiales en el infrarojo permanece, en la mayoría de los casos entre 4 y 10 por 100 con algunas excepciones. Por tanto, es más lógico presentar en la Tabla 18, no sólo los factores totales de reflexión I.R. sino los factores totales de absorción en el intervalo de 5,000 a 36,000 nm. Se observa que el PE absorbe del 15 al 30 por 100 del I.R.

⁽⁴⁾ Tomada de la referencia bibliográfica 44

TABLA 18⁽³⁾
FACTORES TOTALES DE TRANSMISIÓN Y ABSORCIÓN DE
ALGUNOS MATERIALES

(ENTRE 5,000 Y 36,000 nm) (SEGUN NISEN)

MATERIAL	TRANSMISIÓN	ABSORCIÓN
PE 0.007 mm	0.81	0.13
PE 0.15 mm	0.73	0.23
PE LARGA DURACIÓN, 2 ESTRELLAS, 0.1 mm	0.75	0.21
PE LARGA DURACIÓN, 2 ESTRELLAS, 2 AÑOS	0.65	0.27

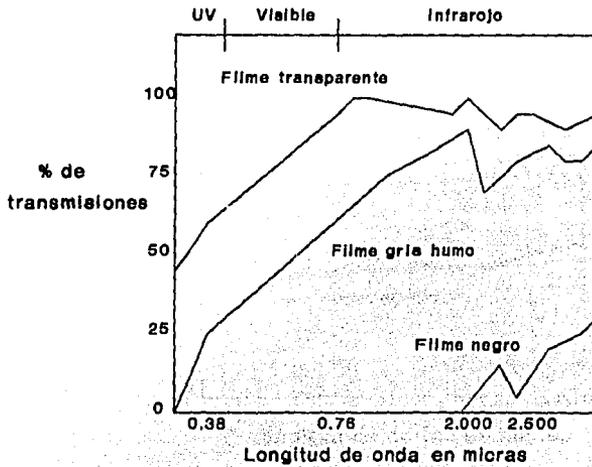
Tras varios años de estudios realizados en diversos países se comprobó que los resultados en parcelas acolchadas con Películas negro-opaco, gris-humo y transparente eran distintos, debido a que los efectos producidos por los mismos eran diferentes, como consecuencia del comportamiento espectral de estas películas (Figs. 13 y 14).

Las películas transparentes son permeables a la luz solar (mayor del 80 por 100), así como a las radiaciones I.R. del suelo y plantas.

Las películas negro-opacos no dejan pasar la radiación visible, absorben una gran parte del calor recibido del sol y lo transmiten por radiación hacia el suelo y la atmósfera; son también poco permeables a la radiación nocturna del suelo y plantas. Las películas gris-humo son poco permeables a las radiaciones luminicas del sol, pero lo son bastante a las calorificas. Su acción y comportamiento es intermedio entre las películas transparentes y los negro opacos. En lo que a luz solar se refiere, la fotodegradación del PEBD se produce casi exclusivamente por la radiación U.V. (280-400nm) que supone aproximadamente el 5% de la radiación total; entre 280 y 350 nm no supone más del 1%.

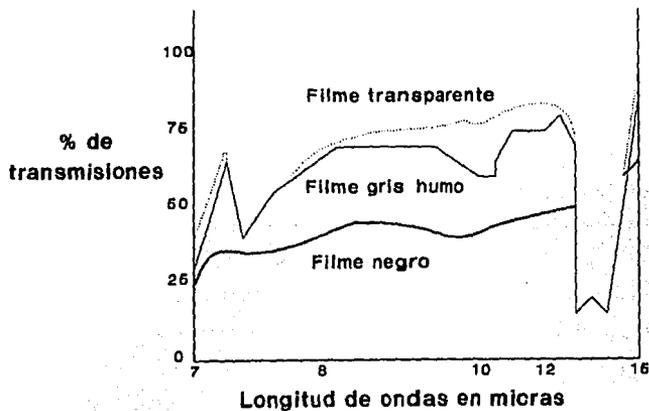
(3) Tomada de la referencia bibliográfica 44

FIGURA 13
PERMEABILIDAD DE DIFERENTES TIPOS DE PE A LA LUZ



INDICE DE REFERENCIA BIBLIOGRAFICA No 44

FIGURA 14
PERMEABILIDAD DE DISTINTOS TIPOS DE PELICULAS
DE PE A LA LUZ



TOMADO DE REFERENCIA BIBLIOGRAFICA No 44

Para que tenga lugar el fenómeno de degradación es necesario absorber una energía pero no toda la energía absorbida provoca cambios fotoquímicos.

Por otro lado, dos materiales diferentes pueden absorber cantidades iguales de energía, pero uno puede ser fotosensible y el otro puede disiparla sin experimentar daño alguno.

La niebla, la humedad (entre otros fenómenos) pueden dispersar las radiaciones U.V.; sin embargo tendrán menos influencia sobre el visible y el I.R..

Una pequeña variación de la radiación total puede representar una variación importante de la intensidad de la radiación potencialmente nociva.

La radiación solar global suele expresarse en Langleys (cal/cm^2) pero por definición el Langley sólo se aplica a la radiación solar total y no debe, por tanto, aplicarse a cualquier otro tipo de radiación.

La teoría del Quantum establece que, al contrario de otras formas de energía, la luz viene en forma de partículas discretas llamadas quantum o fotones. Estos fotones se comportan como proyectiles en miniatura que viajan a la velocidad de la luz.

El tamaño de fotón es inversamente proporcional a la longitud de onda. Las reacciones fotoquímicas son provocadas por un fotón individual cuando choca con un electrón. Si el fotón es suficientemente "grande" (es decir, contiene más energía que la del enlace en la molécula orgánica), el electrón es desplazado de su órbita y tiene lugar una reacción.

Por cada tipo de enlace químico hay un umbral crítico de tamaño de fotón (y por tanto un umbral de longitud de onda) con suficiente energía para

sacar un electrón de su órbita. La luz de cualquier longitud de onda, por debajo de la longitud de onda umbral puede romper el enlace, pero la longitud de onda más alta que el umbral, nunca podrá romper dicho enlace, independientemente de la intensidad de la radiación.

En la radiación U.V., las longitudes de onda más bajas son las más perjudiciales:

380 - 320 nm	Son las más bajas que llegan del sol
320 - 280 nm	Normalmente llegan a la tierra. Pueden provocar reacciones anormales
< 280 nm	

La U.V. - B representa solo el 1% de la energía del sol; sin embargo es culpable de la mayor influencia en el intemperismo de los materiales. Conviene no olvidar que variaciones en la intensidad de la U.V.-B es mucho más susceptible a la absorción por medios transparentes (vidrio, aire) y cuanto menor es la longitud, mayor la absorción. Por este motivo, la incidencia U.V.-B depende mucho del ángulo con que llega la radiación solar a la tierra.

Seguir el envejecimiento natural de un material plástico exige mucho tiempo, por lo que carece de importancia práctica a la hora de definir la calidad de un material.

Es preciso encontrar un procedimiento artificial acelerado que permita obtener resultados más rápidamente y que tengan la adecuada correlación con los obtenidos en el envejecimiento natural.

Es posible definir el envejecimiento natural como el provocado en un polímero por los factores del medio ambiente y, el acelerado, como aquel en que las muestras son expuestas a fuerza de envejecimiento artificial, como pueden ser atmósferas simuladas y lámparas que emitan luz,

especialmente en la región ultravioleta.

El principal ataque a las poliolefinas sometidas a la intemperie es por la luz ultravioleta, aunque hay una serie de factores que influyen fuertemente en la degradación y falla de un material; estos son : el calor, el oxígeno, la tensión ejercida por el viento, las aristas y filos de los soportes, los contaminantes atmosféricos, etc.. En el caso de la radiación ultravioleta, esta puede variar de sitio a sitio y , debido a que es la que más afecta a los plásticos, la duración de una formulación determinada puede variar, dependiendo del lugar de ensayo; también la temperatura influye en la degradación y varía dependiendo del sitio de exposición.

Debido a que el enlace C-C es sensible a una intensidad de 80 kilocalorías por mol y a que la luz U.V. tiene energías entre 70-100 k.cal/mol, esta parte de la radiación es crítica para la fotodegradación. De esta forma, cualquier sistema plástico que contenga ingredientes, grupos o impurezas que absorban en este intervalo es susceptible a la fotodegradación por luz solar; como ejemplo particularmente se encuentran los grupos carbonilo.

Las reacciones fotoquímicas tienen una gran variedad de formas, tales como disociación en radicales, rearrreglos moleculares o descomposición, fotoionización, extracción de átomos de hidrógeno y transferencia, interna o externa, de electrones.

AGENTES ESTABILIZADORES

Con el objeto de alargar la vida de servicio de los plásticos, se hace necesario el uso de agentes estabilizadores que, inhiben o retarden las reacciones de oxidación, fotodegradación o degradación térmica.

La fotodegradación es iniciada a través de una reacción de radicales inducida por radiación U.V., seguida de oxidación. La reacción es acelerada a temperaturas más altas. Así, la luz, el oxígeno y el calor causan ruptura de cadena y entrecruzamiento. Como la ruptura de cadena es predominante, ocurre una disminución del peso molecular y las propiedades mecánicas. La presencia de átomos de carbono terciarios aumenta su sensibilidad al ataque químico.

Para retardar esta degradación es necesario incorporar aditivos conocidos como estabilizadores U.V. y de esta manera prolongar considerablemente el tiempo de vida del polímero. Existen tres tipos de "estabilizadores de luz" usados para películas de PEBD:

- A) Absorbedores de rayos ultravioleta.
- B) Desactivadores o *Quenchers*.
- C) Aminas poliméricas con impedimento estérico o HALS (*Hindered Amine Light Stabilizers*).

A) Los absorbedores UV actúan absorbiendo la radiación ultravioleta convirtiéndola en energía de naturaleza menos perjudicial, como es la energía calorífica. Estos absorbedores son compuestos de alta resistencia a la luz, absorbiéndola fuertemente en la región ultravioleta del espectro. Los grupos más importantes de compuestos que satisfacen estos requerimientos son: las hidroxibenzofenonas y los hidroxibenzotriazoles. El grado de absorción dependerá de la concentración presente y del espesor de la muestra. Las capas superficiales de las muestras no quedan totalmente protegidas si se usan solamente los absorbedores de rayos

U.V. Ver Figuras 15 y 16.

B) El mecanismo protector de los *quenchers* o desactivadores no se basa en la absorción de la radiación ultravioleta. Su mecanismo estabilizante depende de la capacidad para desactivar los estados excitados que adquieren los grupos cromofóricos antes de que estos conduzcan a la degradación de la cadena molecular. La efectividad de estos "desactivadores" son los compuestos de Níquel. En polietileno de baja densidad se usan comúnmente en combinación con absorbedores de rayos ultravioleta. Ver Figura 17.

FIGURA 15

Hidroxibenzofenona, Chimassorb 81

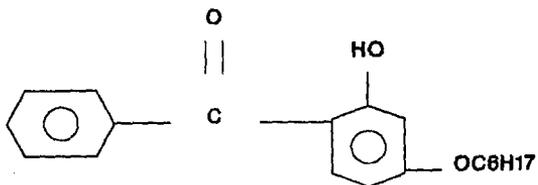
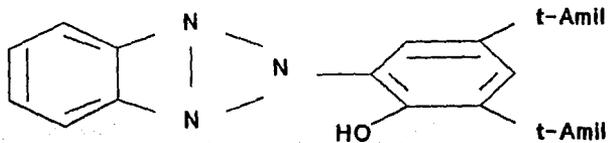


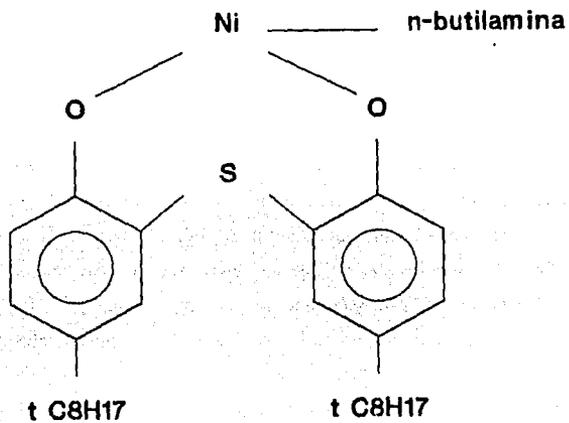
FIGURA 16

Hidroxibenzotriazoles, Tinuvin 328



TOMADO DE REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA N° 7

FIGURA 17
Ni Quencher, Chimassorb N 705



TOMADO DE REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA N° 7

C) Los estabilizadores de luz poliméricos a base de aminas con impedimento estérico (HALS) pertenecen a un grupo de estabilizadores completamente diferentes a los clásicos absorbedores U.V. y a los desactivadores de Ni. Se puede asegurar que son los más efectivos estabilizadores a la luz de que se dispone para películas de polietileno de baja densidad. Aparentemente, los efectos estabilizantes del absorbedor de rayos U.V. y el HALS se suman protegiendo durante más tiempo al polímero. El absorbedor de U.V. actúa como un filtro que detiene gran parte de la radiación y el HALS que anula el efecto nocivo de la radiación que alcanzó a penetrar. Ver Figura 18.

7.2 TIPOS DE PELÍCULAS DE POLIETILENO

El acolchado con películas plásticas es una práctica universalmente conocida y adoptada en horto, flori y fruticultura, por las posibilidades que ella ofrece de resolver muchos problemas antes difícilmente atacables, relativos al ambiente: terreno y clima, muchas veces hostiles, en los cuales debe operar el agricultor y también por las indudables ventajas que con ella se pueden obtener aunque el medio ambiente sea poco favorable.

Las películas que generalmente se usan como acolchado son:

- a) Película de polietileno (PE) negra
- b) Película de polietileno (PE) transparente
- c) Película de PE blanco lechoso o doble cara: blanca negra
- d) Película de PE fotoselectiva, térmica
- e) Películas de PE biodegradables transparentes y negras

a) *Película de polietileno negra.*- Absorbe todas las radiaciones solares, luminosa y térmicas y transmite solo parte de estas últimas por conducción y por conversión, a la primera capa del terreno, la cual se calienta más o menos, según sea su estructura y grado de humedad. Por la noche el calor emerge del terreno acolchado con película negra, más lentamente que cuando se ha recubierto con película de PE transparente o cuando el suelo está desnudo. Con la película negra, durante las horas del sol se obtendrá una temperatura inferior a aquella que se obtenga bajo una película transparente y superior a aquella del terreno desnudo, aunque a veces durante la hora de máxima insolación puede haber, en el caso de PE negro, una temperatura inferior a aquella del terreno desnudo.

El color, la humedad y la composición física del terreno influyen en la absorción y la conservación del calor; cuando el terreno es bastante oscuro, seco y arenoso se calienta y se enfría más rápidamente; los terrenos más húmedos y arcillosos mantienen el calor por más largo tiempo.

De noche se tiene una temperatura más alta que la obtenida bajo película de PE transparente. En suma con la película de PE negro, se tendrá una temperatura media inferior a la obtenida a las mismas condiciones con la película transparente y superior a la del terreno no acolchado y también a la lograda bajo una película blanca. Habrá una variación térmica diurna más lineal que en la de los otros casos, en los cuales si la temperatura media no se mantiene baja, no se obtienen las condiciones positivas para la vegetación y la productividad. Con estas características y con sus efectos sobre la temperatura del suelo se preferirán las películas de PE negro en ambientes muy calientes y con fuerte insolación si no fuera por el

inconveniente ligado al color intrínseco de ella, ya que debe tenerse presente que en algunos casos la película negra se sobre calienta debido a que absorbe rayos infrarrojos cortos y este excesivo calor puede quemar las partes vegetales que están en contacto con la película y que la irradiación excesiva puede dañar a las plantas recién transplantadas; en estos casos será necesario recurrir a breves, pero frecuentes, irrigaciones por aspersión. También el color negro (negro de humo) actúa como agente estabilizador a la luz U.V..

- b) *Película de polietileno transparente.*- A través de estas películas pasan todos los rayos solares de la banda visible y los rayos infrarrojos cortos son absorbidos por el terreno, calentándolo. Aunque los rayos infrarrojos medios pueden pasar por estas películas, en menor cantidad, puesto que una parte de ellas se reflejan en la parte inferior de partículas de agua que generalmente se condensa en la superficie inferior de estos acolchados. Con el fuerte calentamiento del terreno durante el día, se contrasta un enfriamiento bastante rápido durante la noche o en los periodos nublados, con lo que se obtiene una variación térmica bastante marcada que puede influir negativamente sobre la producción, aunque el mayor calor presumiblemente puede en general obtener una mayor precosidad con respecto al acolchado negro, aunque menor al del terreno desnudo y sobre todo con respecto a la película blanca. El paso de los rayos visibles permite también un desarrollo excesivo de las hierbas infestantes, que en el caso del ambiente caliente y húmedo permite que se desarrollen rápidamente, sombreando el terreno e impidiendo que lleguen a él los rayos infrarrojos cortos, obteniéndose de este modo un enfriamiento extra, que puede ser superior al obtenido mediante la película negra y aún con la

película blanca. Si se han controlado las hierbas infestantes, la película transparente puede ser positivamente utilizada con todos los tipos de cultivos.

Ya que este tipo de película no absorbe el calor más que en una mínima parte, no se corre el riesgo de quemar las partes de la planta que entren en contacto con ella, ni hay sobrecalentamientos excesivos por irradiación en el caso de los trasplantes de plantas.

- c) *Película de PE blanco lechoso y de doble cara blanca-negra.* Una película blanca no transmite más que en una mínima parte las radiaciones solares, luminosas o caloríficas que se reflejan en una cifra muy cercana al 80%. Por este motivo el terreno bajo ellas se calienta menos que en el caso de cualquiera de las otras películas citadas y aún menos que en el terreno desnudo. Se consiguen retrasos en la producción bastante notables, a menos que se operen en ambientes en los cuales la alta temperatura no sea un factor limitante.

El poder reflejante aumenta la actividad fotosintética de las plantas sobre todo en aquellas hojas bastante cercanas a la película recubriente, las que en el caso de los cultivos bajo terreno desnudo, tienen una actividad fotosintética bastante reducida. Por este motivo esta película se recomienda para aquellas situaciones en las cuales deba operarse con luminosidad reducida.

Aunque el color blanco sea bien opaco, hay veces en que puede haber reflexión de la radiación que permita el desarrollo de las hierbas infestantes. Si tal fuera el caso, se recurre a la película de doble cara blanca-negra, en las cuales naturalmente, la cara blanca será la superior. Estas películas se obtienen por coextrusión o por pegado.

d) *Película de PE fotoselectivo térmico.*- Se trata de películas de materiales plásticos con aditivos de pigmentos fotoselectivos tales que seleccionan el espectro de las radiaciones solares de modo que impidan el paso de la banda visible cercana al rojo y que permiten el paso de los infrarrojos cortos. Con ellos las hierbas infestantes no pueden desarrollarse de modo nocivo, mientras que la temperatura del suelo puede aumentarse como en el caso de la película transparente. La conservación del calor durante la hora sin sol será más o menos larga según sea la naturaleza química de esta película.

La película se presenta de color rojo-café o marrón oscuro y ya que las radiaciones infrarrojas cortas no son absorbidas, no se sobrecalientan y no se corren los peligros del caso del PE negro.

El único lado negativo de esta película es que el costo de los pigmentos puede aumentar notablemente el precio de la película. Si no fuera este el caso que reduce la utilización de este tipo de película, de otra manera se reúnen las cualidades positivas de las películas negras y de las transparentes, sin tener que lamentar los efectos negativos de ellas.

e) *Películas de polietileno biodegradable transparente y negra.*- Estas películas están compuestas básicamente de polietileno, almidón y/o negro de humo. Una vez llevada a cabo la recolección en terrenos acolchados, se plantea el problema de la recogida de las películas. La destrucción de los mismos sobre el terreno es lenta y si bien no perjudica a los cultivos ni al terreno, presenta problemas a las operaciones de labranza. Por este motivo, estas películas se degradan en pequeños trozos al cabo de varias semanas.

Las características iniciales de las películas plásticas se pueden ver afectadas por otros factores que también afectan la calidad y duración de una película, como son:

- * Calidad de la materia prima
- * Procesado
- * Instalación

Solamente hasta cierto punto es posible prolongar la duración de una película mal procesada, por medio de estabilizadores. Por tanto hay que poner total atención a :

- * La adecuada dispersión de aditivos.
- * El espesor de la película debe ser uniforme.
- * La calidad del extruido, esto es, que no presenten líneas de memoria demasiado marcadas, pues esto ocasiona fallas en la película.
- * Evitar la presencia de defectos que puedan deberse, tanto a la materia prima como a las condiciones de procesado.

Siendo el negro de humo un efectivo absorbedor del amplio espectro de la radiación solar, su efecto en el polietileno es prolongar el tiempo al cual aparecerán fallas que provocarán su inutilidad. Es por esto que es de vital importancia que éste se encuentre homogéneamente disperso en toda la masa polimérica, pues las propiedades mecánicas se ven afectadas no sólo por la mala dispersión sino por la mala protección que implica, conforme transcurre el tiempo de exposición del medio ambiente y tomando también en cuenta que entre mayor sea el tamaño de partícula serán menos eficientes en la protección de películas.

TABLA 19⁽⁶⁾
PELÍCULAS

Tipos de película	Características
Poliétileno negra	<ul style="list-style-type: none"> ● Absorbe radiaciones solares ● Para ambientes calientes y con fuerte insolación ● No permite el desarrollo de hierbas infestantes
Poliétileno transparente	<ul style="list-style-type: none"> ● Variación térmica marcada ● Se obtiene mayor precocidad en el cultivo ● Desarrollo excesivo de hierbas infestantes
Poliétileno blanco lechoso y de doble cara blanca-negra	<ul style="list-style-type: none"> ● Transmisión y absorción de radiaciones solares mínima ● Temperatura del terreno menor que con otras películas ● Para zonas de luminosidad reducidas ● Retrasos en producción a menos que sea en ambientes donde la temperatura no sea un factor limitante
Poliétileno fotoselectivo térmico	<ul style="list-style-type: none"> ● Selecciona el espectro de radiaciones solares ● Las hierbas infestantes no se desarrollan ● La temperatura del suelo puede aumentarse ● El costo de película es alto

(6) Gariendo et al. Italia 1981

(continuación Tabla 19)

Tipo de película	Características
Policetileno biodegradable transparente y negro	<ul style="list-style-type: none"> ● Reune las características de películas transparentes y negras ● No presenta problemas en la labranza ● Evita la recolección de las mismas

7.3 EFECTOS DEL ACOLCHADO

Las modificaciones que se favorecen mayormente con el acolchado son las referentes a los parámetros de fertilidad, resguardando sobre todo:

- 7.3.1) La temperatura.
- 7.3.2) La humedad.
- 7.3.3) La estructura del suelo.
- 7.3.4) El contenido de nitrógeno, anhídrido carbónico, la actividad química, bioquímica y microbiológica.
- 7.3.5) El desarrollo radicular y la distribución en el terreno.
- 7.3.6) El control de las hierbas infestantes.
- 7.3.7) Efecto en la salinidad del suelo.

A continuación se hará una mayor discusión de estos tópicos:

7.3.1 Acción del acolchado sobre *la temperatura* del suelo.

El efecto ideal del acolchado sobre la temperatura del suelo debe ser una sensible reducción en los diarios desequilibrios térmicos a que está sometido; es decir, debe aumentarse (con el acolchado) la temperatura media del terreno en el período más frío y debe disminuirse cuando la insolación sea tan fuerte, que pueda obstaculizar la actividad vegetativa normal de la planta bajo cultivo. Evidentemente con un solo tipo de material plástico no se pueden obtener todos los efectos y por lo tanto será necesario escoger, caso por caso, el tipo de película plástica más adecuada para cada situación específica, teniendo presente las necesidades predominantes del cultivo que se trate de proteger.

Naturalmente, para que el efecto del acolchado sobre la temperatura del suelo sea relevante, debe tenerse una superficie acolchada suficientemente amplia. La ideal debería ser el acolchado total del terreno y si esto no se puede, la anchura mínima de la tira acolchante no debe ser inferior a un metro para que pueda cubrir la planta.

7.3.2) Acción del acolchado sobre la *humedad* del suelo.

Debajo de las películas plásticas de los acolchados, la cantidad de agua en el terreno es generalmente superior a la presente en el suelo desnudo, no acolchado, a excepción de un período más o menos breve tras una lluvia o riego por aspersión. De hecho es cierto que cualquiera que sea el tipo de película que se usen, la posible pérdida de agua será aquella sólo por percolación, en caso de exceso de irrigación o tras una lluvia abundante. Siendo que se impide completamente la evaporación (ya que cualquier pérdida es sólo a través de los agujeros que a veces se hacen en la película para hacer posible el trasplante), el agua del terreno queda a disposición de la planta para su transpiración y el consiguiente transporte de los

elementos nutritivos. Como con la temperatura, el efecto de la humedad del terreno se verificará solo si la zona acolchada en torno a la planta es lo suficientemente amplia.

Con el acolchado total del terreno, aconsejable para todos los cultivos, la evaporación es casi inexistente, no siendo posible ni siquiera en los entresurcos.

El efecto positivo del acolchado en relación al régimen hídrico del suelo no sólo está determinado por la mayor cantidad disponible bajo la cobertura, sino también por su distribución en el perfil del terreno. De hecho, subiendo por la capilaridad reclamada por la mayor temperatura existente en las capas más altas del suelo, el agua se acumulará sobre todo en los estratos más superficiales, donde el terreno es más fértil, rico en elementos nutritivos y en microorganismos útiles y donde las raicillas y pelillos absorbentes, destinados a la absorción de las sustancias nutritivas pueden desarrollarse mayormente. Se estimula también sólo en profundidad el desarrollo de la raíz principal para el anclaje de la planta.

El único defecto que presenta el acolchado es el relacionado con la necesidad hídrica y nutritiva de la planta es sólo en lo relativo a la dificultad que opone la película plástica para el suministro del agua de riego y de los fertilizantes que a veces necesita la planta.

Este obstáculo ha sido fácilmente superado teniendo bajo el acolchado un sistema de irrigación mediante mangueras de distintos tipos.

Pudiendo así hacer llegar a todas las raíces los elementos nutritivos que sirven al cultivo, bastará utilizar un fertilizante líquido lo suficientemente soluble.

Dosificando adecuadamente el suministro del agua de riego y explotando las características del acolchado, relativas a la humedad del suelo, será

posible mantener en el terreno un régimen hídrico próximo y constante y vecino al óptimo, es decir al límite de saturación capilar de modo que se obtiene constantemente una buena circulación de la solución nutritiva, evitando constantemente un momento de asfixia parcial de las raíces, que se pudiera tener con otros sistemas de irrigación.

7.3.3) Acción del acolchado sobre *la estructura del suelo*.

El acolchado mantiene la estructura del suelo en el estado en que estaba cuando fué aplicado; sólo en casos muy particulares puede mejorarla. Por lo tanto, es necesario preparar adecuadamente el terreno antes de acolcharlo, evitando cuando sea posible que permanezcan terrones compactos que serán difícilmente destruidos por el movimiento capilar del agua que sube durante las horas cálidas hacia la película y que desciende aunque en menor proporción en las horas frías. Es este movimiento laminar el que desmenuza los terrones no excesivamente aglomerados, y que puede mejorar la estructura del suelo.

Si se tiene la cordura de no pisotear excesivamente el terreno acolchado especialmente si es arcilloso, esto mantendrá una porosidad óptima tal, que permita un mejor desarrollo de las raíces y una mejorada circulación del oxígeno y una mayor producción y movimiento del anhídrido carbónico, que al salir por los agujeros de transplante se pondrá en contacto con las hojas de la planta, entrando así dentro de su actividad vegetativa. El plástico protege al suelo de la erosión de la lluvia, del granizo temporal, de la desecación del suelo por el viento. La estructura del suelo es preservada de la acción degradadora del mal tiempo.

7.3.4) Acción del acolchado sobre el *contenido de nitrógeno y anhídrido*

carbónico en el suelo y sobre la protección de *la actividad química, bioquímica y microbiológica.*

La nitrificación del nitrógeno amoniacal y su utilización en los terrenos acolchados han sido objetos de estudios e investigaciones por muchos científicos, entre los que podemos citar a Malquori y Cecone que en 1976 establecieron que el acolchado al influir sobre la temperatura y sobre la humedad del suelo obran sobre la naturaleza físico-química del suelo así acondicionado, del mismo modo influyendo sobre la flora microbiana y en las reacciones bioquímicas y químicas del terreno. Puesto que con la selección de la película acolchante se puede influir sobre la temperatura y debido a que con la implementación de irrigación bajo el acolchado es fácil intervenir sobre la humedad, manteniéndola a niveles óptimos constantes, se podrá mantener el terreno en mejores condiciones para asegurar una nueva nitrificación. Por lo que respecta a la temperatura parece ser que los valores óptimos varían según sean los terrenos, o más sueltos o más compactos entre los 25 y los 45 grados centígrados. Además mientras que en terrenos no acolchados, para obtener una buena nitrificación, se requiere de una elevada saturación hídrica entre el 60 y 80% en los terrenos acolchados es suficiente una saturación hídrica bastante baja: entre el 50 y 60%.

En cualquier caso el nitrógeno distribuido con el abono y disponible para la nitrificación, queda en buena parte, a disposición de la planta ya que bajo el acolchado y con una distribución regulada en el agua de riego, el deslave, que es fuerte causa de pérdidas de nitrógeno, se anula o se reduce grandemente.

La película plástica que es casi impermeable al gas, indudablemente modifica el intercambio gaseoso recíproco entre el aire y el suelo. El CO₂

liberado por las raíces, se acumula bajo el acolchado, y se canaliza a través de las perforaciones hechas al momento de la plantación, concentrándose alrededor de la planta. Este pequeño incremento en el nivel de CO₂ en torno al follaje inevitablemente debe promover mayor actividad sintética.

La actividad de la microflora del terreno está condicionada por el estado físico, por la humedad y la temperatura; todos los factores que pueden ser influenciados favorablemente por el acolchado. Por esto, es fácil deducir que también la actividad de la microflora será favorecida. El efecto del acolchado no sólo influye positivamente sobre la entidad del complejo microbiano, sino sobre aquella singular del grupo biológico que lo constituye y además sobre la distribución de estos grupos con respecto a la profundidad de su muy específica actividad. La actividad microbiana sobre todo durante el proceso de la transformación de las sustancias orgánicas favorece la producción de anhídrido carbónico tanto que, su cantidad bajo película de polietileno es cuatro veces superior a la de un terreno descubierto con respecto a la cantidad de microorganismos, lo que se traduce en un aumento cuantitativo y cualitativo de la producción.

7.3.5) Acción del acolchado sobre el *desarrollo de las raíces* y sobre su *distribución en el suelo*.

Como consecuencia del efecto del acolchado, sobre la temperatura, la estructura y la humedad del suelo, las raíces tienden a desarrollarse mucho más abundantemente que en el terreno no acolchado. Las raíces de las plantas se desarrollan mucho más bajo la zona superficial del acolchado el número de sus pelillos radicales están notablemente incrementados. Por lo tanto se tendrá una mayor cantidad de raíces en terrenos acolchados que

en los desnudos y la diferencia es mucho mayor si se trata de aquellas en las capas más superficiales del terreno, las cuales son más fértiles. Esta diferencia en la cantidad de distribución de las raíces, se traduce, en una mayor actividad de la parte aérea de la planta y al final, en una mejor producción.

7.3.6) Acción del acolchado sobre las *hierbas infestantes*.

El desarrollo de las malas hierbas que se origine bajo las películas plásticas, dependerá en gran parte del color de las mismas, es decir de su transmitancia a la luz solar.

El acolchado con película de PE negro ha tenido un efecto muy vistoso en la eliminación de todas las especies de hierbas infestantes debido a que impide que se lleve a cabo la fotosíntesis bajo el plástico.

El efecto herbicida de la película negra (debido sobre todo a la total ausencia de luz a la cual se sujetan las hierbas infestantes) controla por completo las infestantes y no se verificará por lo tanto el desarrollo de las especies insensibles a la acción de los desyerbantes químicos, cosa que sucede cuando todas las malas hierbas se han atacado químicamente. También se ha evitado otro inconveniente del desyerbe químico por medio del acolchado y es el referente a la acumulación de residuos de herbicida, que tras largo tiempo contaminan el terreno desyerbado frecuentemente con ellos.

Cuando se usa una película transparente, las malas hierbas se desarrollan más o menos según sea su especie. De hecho si se permite una cierta circulación del aire, crecerán bajo el acolchado como si fuera ésta una pequeña instalación de invernadero forzante de la infestación, mientras

que la planta cultivada que tiene acceso al exterior les aventajará en la lucha. Por tanto, es necesario que cuando no se pueda quitar toda la mala hierba como con el uso de la película negra, se le prive del aire, cubriendo todos los agujeros de transplante con tierra y colocando piedras pesadas, para mantener la película adherida al terreno. De este modo, la temperatura alta y humedad del ambiente, en ausencia del aire o por lo menos en su carencia, cocerá la hierba infestante que germine, durante su primera fase vegetativa, de tal manera que no pueda disfrutar de la forzadura de la película transparente, creciendo tanto que su masa puede levantar a la película en sus bordes enterrados, permitiendo así la entrada de aire.

De cualquier modo se podrá usar la película transparente, contrariamente a la película negra que siempre ha tenido un efecto desyerbante, sólo cuando la población numérica de la maleza no sea excesiva. Si el cultivo o el ambiente requirieran absolutamente del acolchado con película transparente, se recomienda oportunamente proceder al tendido del acolchado de un desyerbe químico adecuado.

El efecto desyerbante de la película blanca opaca, es desde luego inferior a aquel de la película transparente, porque al reflejar el color blanco a la radiación infrarroja, no será posible llegar a la temperatura de cocción de la maleza infestante. Cuando sea requerido el uso de película blanca, para aumentar la luminosidad o para limitar la temperatura del terreno y si se tratase de trabajar en presencia de un suelo muy infestado, será oportuno recurrir a una película de doble cara blanca-negra, la cual posee el efecto desyerbante de la película negra.

7.3.7) Efecto en la *salinidad del suelo*.

En las regiones donde el agua tiene un alto contenido de sales como cloruro de sodio, cloruro de magnesio, sulfato de magnesio o sulfato de calcio, la intensa evaporación causa la formación de costras en la superficie del suelo. Una práctica cultural para controlar este fenómeno es la de lavar el suelo, particularmente antes de la plantación del cultivo. El lavado de suelos, con tanta agua como se pueda en las regiones donde el drenaje es bueno, inevitablemente causa una lixiviación de los elementos fertilizantes. Cualquier tipo de pigmentación que se use en el acolchado de suelos, presenta las siguientes ventajas:

- * Una reducción en el monto de agua aplicada, con la consecuente reducción en la cantidad de sales aplicadas al suelo.
- * Una considerable reducción en la evaporación; disminuye el movimiento de ascenso del agua y se limita la formación de costras salinas.

7.4 ELECCION DE LA PELICULA DE PLASTICO

Cuando se empieza a utilizar por primera vez el plástico para acolchamiento de suelos, existe la incertidumbre de saber si nuestra elección sobre determinado tipo de plástico será la correcta. Para tratar de ayudar a esta elección, se presentan las siguientes respuestas bajo algunas condiciones específicas:

- * Clima lluvioso: plástico perforado.
- * Para clima seco e irrigación por surco: plástico sin perforar.
- * Para corto periodo de uso (una estación) y cuando el calentamiento del suelo sea prioridad para obtener precocidad: plástico transparente.

- * Para corto periodo de uso, si se quiere además aumento en el rendimiento y en la zona no existe peligro de helada, pero se tiene gran intensidad de radiación: plástico negro o metalizado.
- * Cuando se utiliza agua con cierto contenido de sales en el riego: plástico negro opaco, metalizado.
- * Para terrenos limpios o desinfectados con herbicida preemergentes: plástico transparente.
- * Cuando se utiliza riego por aspersión: plástico perforado.
- * Cuando se trate de cultivos que necesitan altas temperaturas en el suelo; plástico transparente.
- * Para zonas con gran intensidad de radiación (primavera- verano): plástico negro opaco.
- * Para cultivos bajo temporal: plástico negro con el fin de evitar la presencia de maleza que compitan por la humedad del cultivo.
- * Para cultivos de uno a tres años: plástico negro opaco.
- * Cuando interese más el aumento en la producción que la precocidad: plástico negro opaco.
- * Para cultivos de uno o dos años: terrenos no muy infectados de maleza; zonas frías y cálidas, pero sin riesgo de fuertes heladas; cuando se busque rendimiento y precocidad en los cultivos: plástico gris-luzo, marrón.
- * Cultivos herbáceos estacionales: cultivos leñosos; terrenos infectados de malezas; zonas cálidas sin riesgo de heladas sobre todo en plantaciones de verano: plástico gris.

Respecto al ancho y espesor del plástico, no se puede tener un marco de referencia fijo, debido a que el manejo de un mismo cultivo difiere según

las regiones. Por tanto, el ancho y espesor del plástico, quedará determinado por el mismo cultivo. Sin embargo, cabe mencionar que para el anclaje del plástico al suelo, se deben enterrar unos 10 cms, aproximadamente, de cada borde del mismo. Por lo tanto, el ancho total necesario para cubrir el surco o cama, se deben añadir los 20 cms necesarios para el anclaje. Generalmente, se deben utilizar materiales que permitan terminar el ciclo del cultivo. Esto supone el empleo de los materiales más delgados posibles para tener menor cantidad de Kgs/ha y consiguientemente mejor inversión, pero con calidad y propiedades mecánicas tales que permiten su empleo con el menor deterioro posible. En cultivos anuales se requiere que la película tenga una duración mínima de seis meses.

7.4.1. TIPOS DE ACOLCHAMIENTO

Después de la preparación convencional del suelo, éste se divide en surcos, camas, etc.. El ancho del plástico debe ser adaptado al ancho de las camas, lo cual, por sí mismo puede ser determinado por el cultivo.

El acolchado de suelos puede ser total o parcial. El acolchado total es muy común cuando se emplea riego por debajo del plástico (riego por goteo, riego con manguera perforada etc.).

Las modalidades del acolchamiento parcial son las más comunes, y se describen a continuación:

- 1.- Acolchamiento en plano
- 2.- Acolchamiento de surcos y camas pequeñas
- 3.- Acolchamiento en camas meloneras

4.- Acolchamiento de las hileras de plantas

5.- Acolchamiento en forma de microtúnel

1.- Acolchamiento en plano

El acolchamiento en plano con películas plásticas no tiene posibilidades de lograr el debido desarrollo del cultivo si no se cumplen las siguientes condiciones: en caso de utilizar plásticos que permitan el paso de radiación solar: transparente, gris humo, etc., la película debe estar adherida al suelo para evitar en lo posible el desarrollo de malezas. Esto solo puede lograrse en terrenos bien molidos.

El acolchamiento en plano se podrá efectuar en las regiones donde la precipitación pluvial es suficientemente buena para que el cultivo cumpla su ciclo vegetativo y se justifique económicamente el procedimiento.

Efectuarlo con riego por debajo del plástico (riego por goteo, riego con manguera de plástico perforada, etc.).

2.- Acolchamiento de surcos y camas pequeñas

Este tipo de acolchamiento parcial consiste en cubrir los surcos o camas pequeñas. La película plástica se sujeta en ambos lados de los bordes del surco o cama, enterrándola a unos 10 cms de profundidad. En el caso de las camas, éstas deberán tener un declive aproximado de 45 grados para evitar acumulación de agua.

3.- Acolchamiento de camas melóneras.

El procedimiento de acolchado de este tipo de camas se efectúa generalmente en forma manual. Se sugiere sembrar y acolchar en ambos

lados de la regadera para disminuir el consumo de agua por unidad de superficie. Los plásticos en este tipo de cama deberán tener un mínimo de un metro de ancho⁽⁷⁾ para cubrir la planta; el tamaño de la cama lo determinará el cultivo mismo.

4.- Acolchamiento de las hileras de planta.

En este sistema la cama llana del cultivo se cubre con franjas de plástico de pequeña anchura, acolchado con cada una de ellas una fila o hilera de plantas.

5.- Acolchamiento en forma de microtúnel.

Todas las formas de acolchamiento antes descritas pueden adaptarse a un sistema de microtúnel. La metodología utilizada es la siguiente: en los surcos o camas se realizan perforaciones de 20 cms de diámetro y 15 cms de profundidad, en las cuales se depositan las semillas, cubriéndose con tierra suelta. Posteriormente, se cubren los surcos o camas con plástico. El objeto de este sistema es promover el desarrollo de las plantas creando un efecto de invernadero con el acolchado. Una vez acolchado el terreno, deberán hacerse dos incisiones al plástico, una en cada lado del conjunto de plantas.

Cuando la emergencia del cultivo es completa, antes de que la planta entre en contacto con el plástico, se corta la película en el punto donde las plantas están expuestas para evitar que el tejido joven se quemé. El corte deberá ser redondo de preferencia para evitar que el plástico se desgarre. Una vez que el cultivo ha emergido totalmente, deberán taparse con tierra

⁽⁷⁾ Manual de acolchados II. Plásticos agrícolas 1983

las perforaciones realizadas en el plástico.

COLOCACION DEL PLASTICO EN EL CAMPO

La colocación de los plásticos puede realizarse manual o mecánicamente.

a) Colocación manual:

A continuación se describe paso por paso por paso la metodología para efectuar la colocación manual. La condición número uno es que el terreno esté preparado lo mejor posible y libre de terrones y malas hierbas.

Formar los surcos, camas, etc. con un buen declive para impedir el estancamiento de agua de lluvia, una vez que el suelo ha sido acolchado.

Abrir en los extremos de los surcos una zanja transversal, de 20 cms de profundidad, en la cual se sujetará el plástico para facilitar que la bovina se desenrolle.

Al tiempo de realizar los surcos, camas, etc., se hacen zanjas de 10 cms a ambos lados de los mismos.

Para desenrollar la bovina se introduce un palo o tubo en su interior que será sostenida por dos personas que, al ir caminando la hacen girar, quedando el plástico tendido en el suelo.

Cada lado del ancho del plástico se introducirá en las pequeñas zanjas hechas previamente.

b) Colocación mecánica:

La mecanización del acolchamiento de suelos es esencial cuando las áreas que van a ser cubiertas tienen gran extensión.

En la actualidad existen en otros países máquinas bastante complejas que, además de realizar el tendido y sujeción del plástico, sirven para la formación de surcos o mesetas, la fertilización del terreno, la perforación del plástico o la siembra o trasplante. Son las máquinas llamadas "plastisembradoras" que en un futuro no lejano pasarán a formar parte de los instrumentos de labranzas de uso común en México a medida que se incremente el uso del acolchado con plástico.

De acuerdo a las actuales condiciones económicas del país, es difícil la importación de estas máquinas. Es oportuno, entonces, hacer un llamado a los expertos en maquinaria agrícola para que, de acuerdo al manejo del cultivo de cada región, se diseñen máquinas simples, que contribuyan a la mejor aceptación del acolchado de suelos con plástico en el país.

PERFORACION DE PLASTICOS

Para realizar la siembra o plantación de los cultivos sobre el plástico, es necesario perforarlo. El orificio, se hará según el marco de plantación que se fije para el cultivo.

Se recomienda que las perforaciones sean circulares, con un diámetro de 8 a 20 cms, ya que si se hacen en forma de cruz o hendiduras, el plástico tendrá secciones débiles por donde puede empezar a desgarrarse.

En la siembra o plantación, se debe procurar que la semilla o plantación quede en el centro del orificio para evitar que el plástico cause quemaduras.

A continuación se mencionan algunas opciones para efectuar la perforación del plástico:

- * Se pueden hacer los orificios usando un bote, procurando que los bordes estén bien afilados. Así bastará una ligera presión sobre el plástico y un pequeño giro, para lograr la perforación.
- * Otra manera para perforar el plástico es por medio de calor. Con este método se logra gran resistencia al desgarre, ya que los bordes del plástico quedan soldados. El calor se puede obtener por medio de un tubo de acero del diámetro requerido, calentado en una fogata. Sin embargo esto resulta muy laborioso, puesto que el tubo se enfría rápidamente y puede obligar gran recorrido para calentarlo de nuevo. Este problema se ha resuelto con el diseño de un pequeño aparato que es muy económico y ayuda a realizar con mayor facilidad la perforación del plástico.

CULTIVO DEL TOMATE

** Preparación del terreno:*

Se recomienda varios pasos de rastra hasta dejar bien pulverizada la tierra y nivelar el terreno.

** Métodos de siembra*

La siembra de tomate puede hacerse:

- a) Sembrando en almácigo, para después transplantar
- b) Siembra directa

a) Siembra en almácigos

1.-Preparación:

Se deben establecer lugares protegidos de vientos fuertes, que cuenten con agua, que tengan buen drenaje y que se encuentre cerca del lugar de transplante. Se levanta un camellón de 20 cm de altura, de un metro de ancho y de la longitud según convenga al tamaño del cultivo. La tierra para la construcción del camellón se puede preparar con una parte de arena, una de estiércol bien descompuesto y dos partes de tierra; se mezclan bien y se distribuye en el terreno. Finalmente se nivela para formar el camellón. El almácigo se fumiga para evitar daños por plagas del suelo.

2.-Siembra:

Se hacen pequeños surcos con una separación de 10 cm y se siembra la semilla, a una profundidad de 2 cm.. Para sembrar un almácigo de 20 metros cuadrados se requieren 300 gramos de semilla (suficiente para plantar una hectárea).

3.-Cuidados:

Se dan riegos ligeros todos los días con una regadera. Se cubre el almácigo con paja, que se quitarán cuando empiece la germinación. Después se debe construirse medias sombras para evitar que las plantas se quemem con el sol.

4.-Trasplante:

Cuando la planta alcance unos 12 ó 15 cm de altura, está lista para el trasplante; ésto puede ocurrir a los 25 o 30 días. Las plantas deben aflojarse con pala y sacarse con cuidado para evitar la rotura de las raíces. Al ser transportadas, deben colocarse en lugar sombreado, mientras se hace el trasplante.

b) Siembra directa

En algunas regiones del país, el tomate se siembra en forma directa. Para que este sistema tenga éxito, es necesario que los suelos sean ligeros y con buen drenaje. Salvo en contadas ocasiones, el uso del acolchado transparente se debe hacer con algún insecticida, porque si no se corre el riesgo de perder el cultivo debido a la gran cantidad de malezas que crecen debajo del acolchado. Una solución usada en ciertas regiones del mundo es la solarización del suelo con plástico transparente. Este sistema tiene la ventaja de esterilizar el suelo, controlando de esta forma la mayoría de las enfermedades y las malezas. La solarización requiere como mínimo seis semanas de tratamiento y a lo menos un riego, en regiones semidesérticas tales como Sinaloa, donde es común tener temperaturas máximas de 40 grados centígrados durante el verano.

1.-Siembra:

Se hace depositando de 10 a 15 semillas por mata a una profundidad de 3 cm. Para facilitar la germinación de la semilla, se tapa con estiércol o con papel periódico; a los 30 días se realiza una primera limpieza dejando 3 plantas por mata; al mismo tiempo, se reponen fallas utilizando la misma planta que se elimina en la limpieza; a los 45 días se hace una segunda limpieza, dejando una sola planta por mata. Para sembrar una hectárea por

este sistema, se necesitan 2 kilos por semilla.

2.-Distancia de siembra:

Según la variedad del tomate, como la variedad de piso se siembran a 1.50 cm de separación entre surcos y de 30 cm entre plantas y si es variedad de estacado se siembran a distancias de 1.84 a 2.00 m. entre surcos y 30 cm entre plantas (que para efectos del presente trabajo es el que se siembra en Sinaloa).

3.-Epoca de siembra:

Puede sembrarse todo el año en lugares donde no se presentan heladas, a excepción de los meses de abril, mayo y junio.

c) Fertilización:

En todos los casos se aplicará la mitad del nitrógeno y todo el fósforo antes del transplante, y la otra mitad en la primera limpieza de maleza y cardos. Como lo podemos observar en la Tabla 20 según la región.

TABLA 20^(a)
FERTILIZACIÓN

REGION	NITRÓGENO (kg/ha)	FOSFORO
ESTADO DE MORELOS	150	90
ESTADO DE VERACRUZ	100	80
EL BAJIO	140	80
ESTADO DE SINALOA	150	75
VALLES DEL FUERTE Y DEL CARRIZO	200	100

d) Riegos:

Para regiones húmedas se recomienda dar 5 riegos y para las regiones secas 8 riegos. Podría convenir el riego alterno (un surco sí y otro no) cambiando al siguiente los surcos. Esto conviene para la recolección y el ahorro de agua.

Para regiones semidesérticas como Sinaloa el riego por goteo resulta una buena opción: mayor producción total, mejor calidad, menor gasto de agua y mejor distribución del agua a través del ciclo de crecimiento del cultivo. Una de las principales ventajas de este sistema es la facilidad con la que se pueden fertilizar las plantas. Esto permite el aporte de fertilizantes directamente a las raíces, incrementando la eficiencia del uso de los fertilizantes y reduciendo sus pérdidas.

e) Labores de cultivo:

- * El primer cultivo debe hacerse con azadón en la segunda semana después del trasplante, o después de hacer el aclareo en siembra directa.

^(a) Folleto de orientación técnica S.A.R.H. Septiembre 1976

* Los siguientes cultivos, pueden darse con maquinaria o con azadón.

f) Métodos de cultivo:

El cultivo de tomate se puede llevar a cabo bajo los métodos conocidos como:

1.-Cultivo de piso

2.-Cultivo de estacado

1.-Cultivo de piso:

Este método es el más generalizado en el país. Consiste en dejar crecer las plantas libremente y sin apoyo. Mediante aporques (cubrir con tierra las hortalizas para que se pongan más tiernas y blandas) sucesivos se va formando un camellón a medida que la planta crece. Es importante que el camellón quede formado antes de que el tomate empiece a florear, para evitar pudrición de la planta y de los frutos.

2.-Cultivo de estacado:

Es un método no muy generalizado en el país, sin embargo en las zonas productoras de exportación, es el más usado y consiste en sembrar el tomate y el crecimiento es conducido sobre espalderas colocadas para este propósito. Debe tomarse en cuenta que una hectárea de tomate estacado, requiere una inversión tres veces mayor que para el tomate de piso, pero se obtienen mayores rendimientos y frutos de mejor calidad. Además el período de cosecha es más largo y el fruto queda más protegido.

1.-Estacado:

Es el conjunto de labores efectuadas para sostener la planta en forma

vertical durante su crecimiento. Existen dos métodos de estacado que han dado buenos resultados: éstos son regional y colgado.

- * **Regional:** Consiste en formar un armazón o espaldera a base de estacones de 2 m de alto y de 6 a 8 cm de diámetro. También se utilizan varas de la misma longitud y de 2 a 3 cm de diámetro. También se utiliza hilo de ixtle o de algodón y alambre galvanizado.
- * **Colgado :** En este método, se utilizan estacones de 2.40 m de alto enterrados a 40 ó 50 cm de profundidad. Con frecuencia se coloca un alambre a la mitad de la altura de los estacones, con el objeto de que ayude a soportar mejor la carga. Las plantas se sostienen por medio de hilos de ixtle que se amarran abajo de la horqueta de planta y se afianza al alambre de abajo. Finalmente se amarra en el alambre superior cuando las plantas han alcanzado su máximo desarrollo.

2.-Poda:

Poda es una práctica que consiste en eliminar algunas partes de la planta, con el fin de producir frutos de mejor calidad; se aplica exclusivamente al tomate de vara o estacado.

a) Poda a dos tallos:

Se deja crecer libremente a la planta a unos 30 cm del suelo y se cortan todos los brotes. Son suficientes tres podas, separadas de 15 a 30 días una de otra, para tener la planta bien formada antes de que entre a producción.

b) Cosecha:

Los frutos se pueden cortar en los estados de madurez conocidos como verde sazón, pintos o maduros, según la distancia al lugar de entrega, entre los cortes se deja un período de 7 a 10 días. La duración del período de cosecha es muy variable; se pueden hacer 4 a 10 cortes con tomates de piso; y en tomate de vara, mucho más. Es conveniente presentar los frutos seleccionados por tamaño y color para obtenerse mejores precios.

7.4.2. EL JITOMATE EN LA AGROPLASTICULTURA

La importancia del cultivo de jitomate en México es grande ya que es un producto con calidad exportable. Los productos que se exportan principalmente a Estados Unidos son:

- * Tomate seco (hojuelas de tomate).
- * Tomate enlatado.
- * Pasta de tomate, puré de tomate y otros concentrados de tomate.
- * Salsa de tomate.

México ha demostrado su competitividad en el mercado norteamericano de tomate procesado. México es el proveedor extranjero número uno de pasta de tomate y el segundo entre los proveedores extranjeros de salsa de tomate. Tanto la pasta como la salsa de tomate son productos de valor elevado. En la elaboración de cada tonelada de pasta de tomate se utilizan seis toneladas de tomate fresco. Las salsas de tomate también son productos concentrados y muchos son de marca. Aunque la pasta de tomate predomina actualmente en la producción y exportación mexicana, el tomate enlatado mexicano aparece en las estadísticas de importaciones

a Estados Unidos. Con la ventaja del trato con tarifa preferencial, será fácil para los procesadores mexicanos aumentar su producción y sus exportaciones de tomate enlatado y convertirse, como lo son ya en el mercado de pasta de tomate, en detrimento de numerosos pequeños empacadores de tomate independientes de Estados Unidos. Las exportaciones mexicanas hacia el lado estadounidense de productos de tomate libres de gravamen desplazarán los productos de tomate norteamericanos en el mercado de Estados Unidos.

La asociación de productores y procesadores de tomate de Estados Unidos ha solicitado que en el acuerdo de libre comercio se adopten provisiones que suministren la máxima protección a largo plazo a la industria de tomates norteamericana de las importaciones de producto tomatero de México para facilitar que las industrias sensibles a la importación se ajusten a la competencia que habrá de resultar de las importaciones competitivas que surgirán de la ausencia de gravámenes.

Las exportaciones libres de gravamen de productos de tomate de México hacia Canadá desplazarán a los productos de tomate norteamericanos en el mercado canadiense. De pasta de tomate, Canadá es el segundo mercado más grande de México, tras de Estados Unidos. México tiene la ventaja de sus bajos costos de producción y de industrialización.

La industria mexicana está bien establecida y ha sido ayudada en su desarrollo por las empresas norteamericanas que continúan proporcionándole su mejor tecnología disponible. Igual que en Estados Unidos, la mayoría del tomate para industrializar se produce mediante contratos de los procesadores mexicanos con los productores locales, para obtener las cantidades y calidades deseadas de tomate fresco para

industrializarlo. La mayoría de la industria mexicana de pasta de tomate se localiza en Sinaloa, donde se encuentran las plantas industrializadoras.

El departamento de Agricultura norteamericano ha informado que tanto el tomate fresco como el industrializado se han convertido en el principal cultivo de exportación de México.

México actualmente se constituye como la mejor alternativa para cubrir la demanda de tomate norteamericano durante la primavera. Se demanda tomate ya que éste es primordial para la preparación de cualquier menú. Florida y California son los dos principales productores de tomate fresco. México se ha logrado introducir al gran mercado norteamericano debido a que durante el invierno sólo Florida participa en el mercado. El consumidor demanda productos comestibles de más calidad. Se espera que el valor de las ventas de hortalizas se incremente en una tasa anual de 2% hasta 1997.

Lo significativo es que en veinte años, con casi la misma superficie dedicada al jitomate, se ha podido satisfacer el mercado nacional y a la vez obtener cada vez más divisas sin grandes costos, es un claro ejemplo de las bondades de una agricultura orientada al mercado. La superficie cosechada pasó de 63 mil hectáreas en 1970, a 69 mil en 1980 y 1985 para dar después su salto a 80 mil hectáreas en 1990. Las mejoras tecnológicas permitieron aumentar el rendimiento nacional de 14.4 toneladas por hectárea en 1970 a 27.6 en 1988 para después caer a niveles de 22.4 toneladas en 1991.

A nivel nacional el estado de Sinaloa se ubica como el principal productor y exportador de jitomate.

La temporada fuerte normalmente se concentra de fines de Enero a fines de Marzo de cada año en el que ingresan al mercado norteamericano el

80% de lo exportado. Lo importante es ver que tan bueno es el negocio, tanto para los productores de Sinaloa como para los de Florida. De acuerdo a un estudio de la American Farm Bureau⁽⁹⁾, el costo promedio por cada cartón de tomate exportado es en Sinaloa de unos 6.53 dólares, contra 6.40 dólares en Florida. Los costos de producción por hectárea en Sinaloa hasta antes de la cosecha son 4,955 dólares, mientras que en Florida suman casi el doble: 9,367 dólares. A continuación se presenta una Tabla comparativa de costos de producción, cosecha y exportación de tomate en México y costos de producción y cosecha en Florida (dólares por hectárea), incluyendo el costo del uso del agroplástico obtenido anteriormente.

⁽⁹⁾ Revista *Hortalizas, Frutas y Flores*, Mayo 1992

TABLA 21
Costos de producción, cosecha y exportación de tomate en México
y costos de producción y cosecha en Florida (Dls/Ha)

CON LA UTILIZACIÓN DE PLÁSTICO DE PRIMERA		
Costos de producción	Sinaloa	Florida
Semillas/trasplantes	359.90	498.20
Fertilizantes	438.32	838.56
Bactericidas	-	150.96
Fungicidas	-	498.6
Fungicidas	244.53	313.22
Herbicidas	64.91	189.92
Insecticidas	220.22	693.99
Surfactantes	-	32.33
Total	1466.00	3214.00
Mano de obra	921.65	1478.76
Maquinaria	323.99	1297.36
Intereses financieros	740.45	384.40
Fijos/Admón.	1208.76	2470.69
Renta de la tierra	433.38	802.75
Total precosecha/ha	5262.11	9975.20
Rendimiento en cartón/ha	1800	3211
Total	2.92	3.10
precosecha/cartón		

Costo de cosecha/empaque/cartón	Sinaloa	Florida
Cosecha y acarreo	0.36	0.83
Clasificación y empaque	0.28	1.75
Contenedores	0.88	0.67
Venta	0.84	0.55
Gastos varios	0.07	n.d.
Total costos export/empaque/cartón	2.43	3.40

Comisiones/aranceles	Sinaloa	Florida
Aranceles de EUA	0.38	-
Transporte a la frontera	0.67	-
Cruce y otras comisiones	0.30	-
Total por cartón	1.35	-
Costo total por cartón	6.70	6.50

TABLA 22
Costos de producción, cosecha y exportación de tomate en Méxicio y
costos de producción y cosecha en Florida (Dls/ha)
CON LA UTILIZACIÓN DE PLÁSTICO RECICLADO

Costos de producción	Sinaloa	Florida
Semillas/trasplantes	359.90	498.20
Fertilizantes	438.32	838.56
Bactericidas	-	150.96
Fumigantes	-	498.6
Fungicidas	244.53	313.22
Herbicidas	64.91	189.92
Insecticidas	220.22	693.99
Surfactantes	-	32.33
Agroquímicos	1445.60	3864.48
Mano de obra	921.65	1478.76
Maquinaria	323.99	1297.36
Intereses financieros	740.45	384.40
Fijos/Admón.	1208.76	2470.69
Renta de la tierra	433.38	802.75
Total pre cosecha/ha	5402.71	10135.80
Rendimiento en cartón/ha	1800	3211
Total pre cosecha/cartón	3.00	3.15

Costo de cosecha/ empaque/cartón	Sinaloa	Florida
Cosecha y acarreo	0.36	0.83
Clasificación y empaque	0.28	1.75
Contenedores	0.88	0.67
Venta	0.84	0.55
Gastos varios	0.07	n.d.
Total costos export/empaque/cartón	2.43	3.40

Comisiones/aranceles	Sinaloa	Florida
Aranceles de EUA	0.38	-
Transporte a la frontera	0.67	-
Cruce y otras comisiones	0.30	-
Total por cartón	1.35	-
Costo total por cartón	6.78	6.55

TABLA 23
Costos de producción, cosecha y exportación de tomate en México y
costos de producción y cosecha en Florida (Dls/Ha)
CON LA UTILIZACIÓN DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE

Costos de producción	Sinaloa	Florida
Semillas/trasplantes	359.90	498.20
Fertilizantes	438.32	838.56
Bactericidas	-	150.96
Fumigantes	-	498.6
Fungicidas	244.53	313.22
Herbicidas	64.91	189.92
Insecticidas	220.22	693.99
Surfactantes	-	32.33
Total	2,199.18	2,784.78
Mano de obra	921.65	1478.76
Maquinaria	323.99	1297.36
Intereses financieros	740.45	384.40
Fijos/Admón.	1208.76	2470.69
Renta de la tierra	433.38	802.75
Total precosecha/ha	5199.11	9924.60
Rendimiento en cartón/ha	1800	3211
Total precosecha/cartón	2.88	3.09

Costo de cosecha/ empaque/cartón	Sinaloa	Florida
Cosecha y acarreo	0.36	0.83
Clasificación y empaque	0.28	1.75
Contenedores	0.88	0.67
Venta	0.84	0.55
Gastos varios	0.07	n.d
Total costos export/empaque/cartón	2.43	3.40

Comisiones/aranceles	Sinaloa	Florida
Aranceles de EUA	0.38	-
Transporte a la frontera	0.67	-
Cruce y otras comisiones	0.30	-
Total por cartón	1.35	-
Costo total por cartón	6.66	6.49

Dado que los tomateros de Florida le invierten más al cultivo, es mayor el rendimiento por hectárea que obtienen: 3211 contra 1800 cartones de libras. Esta diferencia es de lo que realmente cada quien vende en el mercado norteamericano; el resto de la cosecha mexicana, regularmente de menor calidad, es vendida en el mercado nacional.

Esto explica que en el cuadro anterior la diferencia en el costo precosecha por unidad (cartón de 25 libras) sea casi igual: 2.75 dólares en Sinaloa y 3.00 dólares en Florida. Es decir, las ventajas en costos de producción no se aprovechan al no tener una alta productividad por hectárea de tomate exportado.

Los costos de cosecha son también mayores en Florida (3.40 contra 2.43 dólares por cartón). Considerados ambos costos, precosecha y cosecha, la suma es de 5.18 dólares cartón en Sinaloa y 6.40 dólares en Florida. Sin embargo, cuando se agregan los costos de internar los cartones de tomate mexicano en el mercado norteamericano: 1.35 dólares por cartón.

Como se aprecia en las Tablas anteriores, por cada cartón exportado de aranceles son 0.38 USD, de transporte a la frontera son 0.67 USD, y de gastos de cruce y de otras comisiones son 0.30 USD.

El resultado final es que los 1,800 cartones exportables producidos en promedio por cada hectárea en Sinaloa tiene un costo total de 11,754 dólares y unitario de 6.53 dólares. En cambio, los 3,211 cartones que producen y venden en promedio por cada hectárea los tomateros de Florida tienen un costo total de 20,550 dólares y unitario de 6.40 dólares.

El uso de sistemas de acolchado, implican un costo extra de remoción del campo, estos gastos se calculan entre 150 dólares por hectárea para el acolchado y 250 dólares para los túneles.

La clave del negocio tomatero está en una combinación de altos rendimientos de productos exportables, (más de 1,800 cartones por hectárea), con una buena racha de precios en la temporada alta (alrededor de 20 dólares por cartón de 20 libras).

CONCLUSIONES:

De acuerdo a los resultados obtenidos en la factibilidad económica de la producción y el uso de cada una de las opciones (PE de primera, PE reciclado, y PE biodegradable) es importante ver que es más económico producir el plástico biodegradable basado en la frecuencia de uso en la aplicación como acolchado en un cultivo de tomate.

De acuerdo a esto se vió que el ahorro en la utilización de plásticos biodegradables en acolchado en el cultivo de tomate es de 0.04 USD/cartón respecto al PE de primera y 0.12 USD/cartón respecto al PE reciclado.

Aunado a ésto se sabe que los aranceles desaparecerán con la entrada del Tratado de Libre Comercio, con esto se obtendrá una ventaja en cuanto a la anulación de aranceles, lo cual debe de ser aprovechado por los agricultores para aumentar el rendimiento por hectárea de tomate exportable mejorando la tecnología con el uso de agroplásticos con las ventajas que éstos ofrecen para obtener productos de mejor calidad exportables. Esta ventaja podría ser aumentada como se puede ver a continuación:

ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS DE POLÍMEROS BIODEGRADABLES
EN CUBIERTAS PARA LA AGRICULTURA

	Costo de producción en Sinaloa	Costo de producción en Florida
Con PE de primera	6.02 USD/cartón	6.50 USD/cartón
Con PE reciclado	6.10 USD/cartón	6.55 USD/cartón
Con Pe biodegradable	5.98 USD/cartón	6.49 USD/cartón

La ventaja de vender el producto en el extranjero se ve bastante clara con los datos anteriores, tomando en cuenta que el rendimiento por cartón es menor en México que en Estados Unidos.

Si tomamos en cuenta que la mejor opción es usar el plástico biodegradable, tendremos un ahorro de 0.04 USD/cartón y sabiendo que la producción anual promedio de los 3 últimos años es de 32,254.33 Ha/año, el ahorro globalizado anual será:

Ahorro USD/cartón	Rendimiento Cartón/Ha	Producción Ha/año	Ahorro globalizado USD/año
0.04	1800	32,254.33	2,322,311.76

CONCLUSIONES

De acuerdo al trabajo de investigación desarrollado se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- 1) El uso de los plásticos en los últimos años ha cobrado gran importancia ya que se ha incrementado su consumo a través del tiempo debido a las ventajas técnicas y económicas que presentan sobre otros materiales.
- 2) El polietileno lineal de baja densidad presenta ventajas mecánicas respecto a otros polímeros debido a su estructura molecular.
- 3) Un polímero puede degradarse por diferentes mecanismos resultando los más importantes la fotodegradación y la biodegradación.
- 4) La fotodegradación de un polietileno lineal de baja densidad con carga de almidón es factible. (Ver el capítulo 5).
- 6) La biodegradación de un polietileno lineal de baja densidad con carga de almidón presenta dificultades a nivel experimental (Ver capítulo 5).
- 7) Con base a los diferentes costos de polietileno que se utilizan en la agricultura se determinó que la mejor película a utilizar será el polietileno lineal de baja densidad con carga de almidón (Ver capítulo 6).

8) El proceso de reciclado para un polietileno lineal de baja densidad como agroplástico es impráctico respecto a la biodegradación del mismo. (Ref. capítulo 6).

9) El uso de películas de polietileno en la agricultura representa para el agricultor protección, mejoras en el cultivo, mayor calidad y producción de su cultivo.

10) El jitomate representa un alto porcentaje en la producción de productos agrícolas y tiene ventajas competitivas en su exportación.

11) El uso de un agroplástico en el cultivo de jitomate puede representar ahorros anuales importantes para la agricultura mexicana.

BIBLIOGRAFIA

1.-ANUARIO ESTADISTICO DE LA PRODUCCION AGRICOLA DE
LOS ESTADOS

UNIDOS MEXICANOS TOMO 1: 1990, 1991 Y 1992.

2.-CHEMICAL ENGINEERING, NOVEMBER 1983

3.-CHEMICAL ENGINEERING, SEPTEMBER 1989

PLASTICS: FROM PELLETS TO PRODUCTS

4.-HORTALIZAS, FLORES Y FRUTAS (1991)

- AGROPLASTICULTURA: TECNOLOGIA QUE AVANZA EN
MEXICO.

-AGROPLASTICULTURA: TECNOLOGIA APLICABLE A LA
HORTICULTURA DE EXPORTACION.

- UNA BALANZA DESBALANCEADA EN COMIDAS Y BEBIDAS.

- BUEN REPUNTE EN TOMATE, ETC.

- NECESITAMOS INVESTIGAR LOS FACTORES CLIMATICOS.

- LOS TOMATEROS NORTEAMERICANOS PIDEN PROTECCION.

- INVESTIGACION DE MERCADOS.

- EL PLASTICO, HERRAMIENTA VALIOSA EN LA PRODUCCION
DE HORTALIZAS.

5.-HORTALIZAS, FLORES Y FRUTAS (1992)

- TOMATE: DE 95 DLS/TON EN 1970 A 1091 DLS/TON EN 1990.
 - TOMATE: NEGOCIO DE ALTO RIESGO.
 - CONTROL EFECTIVO DE MALEZAS EN EL VALLE DE SAN JOAQUIN.
 - EL TOMATE ES BUEN NEGOCIO. PARA EL QUE AGUANTA EL BAILOTEO.
 - LAS CUBIERTAS FLOTANTES.
 - LOS TOMATES PODRIAN ENTRAR EN LA JUGADA.
 - MEJORES VARIETADES DE JITOMATES PARA VALLES ALTOS.
 - SIETE MIL TONELADAS DE TOMATE EN 25 HAS.
- 6.-HORTALIZAS, FLORES Y FRUTAS (1993)
- MEXICO AVENTAJA A FLORIDA.
 - GUIA PARA LA FERTILIZACION DE HORTALIZAS.
 - MANUAL DE ACOLCHADOS (1).
 - EL REY DEL TOMATE.
 - MANUAL DE ACOLCHADOS (2).
 - LAS SALSAS PICANTES SUPERARON A LA CATSUP EN VENTAS EN 1992.
 - CULTIVOS BAJO INVERNADEROS.
 - AGROPLASTICULTURA: TECNOLOGIA DE APLICACION HORTOFRUTICOLA.
 - TECNIFICACION DEL RIEGO.
 - LOS MICROMINERALES EN LA NUTRICION VEGETAL.
- 7.-MEMORIAS: IX CONGRESO INTERNACIONAL AGRICULTURA CON PLASTICOS EDITADO POR EL COMITE MEXICANO DE PLASTICOS EN LA AGRICULTURA A.C..
-

- 8.-MODERN PLASTICS INTERNATIONAL, APRIL 87.
 - 9.-MODERN PLASTICS INTERNATIONAL, AUGUST 88.
 - 10.-MODERN PLASTICS INTERNATIONAL, SEPTEMBER 89.
 - 11.-MODERN PLASTICS INTERNATIONAL, APRIL 90.
 - 12.-MODERN PLASTICS INTERNATIONAL, OCTOBER 90.
 - 13.-MODERN PLASTICS INTERNATIONAL, NOVEMBER 90.
 - 14.-MODERN PLASTICS INTERNATIONAL, JULY 91.
 - 15.-MODERN PLASTICS INTERNATIONAL, NOVEMBER 91.
 - 16.-MODERN PLASTICS INTERNATIONAL, JANUARY 92.
 - 17.-MODERN PLASTICS INTERNATIONAL, FEBRUARY 92.
 - 18.-MODERN PLASTICS INTERNATIONAL, JULY 93.
 - 19.-MODERN PLASTICS INTERNATIONAL, JULY 93.
 - 20.-PANORAMA PLASTICO, MARZO/ABRIL 85.
 - 21.-PANORAMA PLASTICO, SEPTIEMBRE 89.
-

22.-PANORAMA PLASTICO, NOVIEMBRE 90.

23.-PANORAMA PLASTICO, ENERO 93.

24.-PLASTINOTICIAS, SEPTIEMBRE 81 INTRODUCCION A LA
REOLOGIA DE POLIMEROS.

25.- REVISTA DE PLASTICOS MODERNOS, NUMERO 265

- RECICLADO DE BASURAS DE PLASTICO.

- EL FILME ESTIRABLE DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD.

26.-REVISTA DE PLASTICOS MODERNOS, NUMERO 268

- RECICLADO DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS.

- BASURAS DE PLASTICO: UNA FUENTE VALIOSA Y
DISPONIBLE.

27.-REVISTA DE PLASTICOS MODERNOS, NUMERO 270

- ESTUDIO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS
DE MATERIALES PLASTICOS.

28.-REVISTA DE PLASTICOS MODERNOS, NUMERO 279
(SEPTIEMBRE 79).

- LOS PLASTICOS FOTODEGRADABLES Y SUS POSIBLES.
CONSECUENCIAS TOXICOLOGICAS PARA EL AMBIENTE.

- EL USO DE LOS MATERIALES PLASTICOS EN AGRICULTURA
Y SUS INCIDENCIAS ECOLOGICAS.

29.-REVISTA DE PLÁSTICOS MODERNOS, NÚMERO 280
(OCTUBRE 79).

- RECICLADO.

30.-REVISTA DE PLÁSTICOS MODERNOS, NÚMERO 292
(OCTUBRE 80).

- ENVEJECIMIENTO NATURAL Y ARTIFICIAL DE FILMES
PLÁSTICOS DE APLICACIÓN EN AGRICULTURA.

31.-REVISTA DE PLÁSTICOS MODERNOS, NÚMERO 294
(DICIEMBRE 80).

- EL RECICLADO DE BOTELLAS DE PET SE HACE MÁS
PRÁCTICO.

32.-REVISTA DE PLÁSTICOS MODERNOS, NÚMERO 296
(FEBRERO 81).

- ES EL POLIÉTFLENO LINEAL DE BAJA DENSIDAD UN TERCER
PE.

33.- REVISTA DE PLÁSTICOS MODERNOS, NÚMERO 299 (MAYO
81).

- LOS PLÁSTICOS EN LA AGRICULTURA ESPAÑOLA:
EVOLUCIÓN E IMPACTO SOCIOECONÓMICO.

34.-REVISTA DE PLÁSTICOS MODERNOS, NÚMERO 308
(FEBRERO 82).

- ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE
DIVERSOS MATERIALES UTILIZADOS COMO CUBIERTA EN

CULTIVOS PROTEGIDOS.

35.-REVISTA DE PLASTICOS MODERNOS, NUMERO 314
(AGOSTO 82).

- METODOS Y BENEFICIOS CON RESIDUOS DE FILMES.

36.-REVISTA DE PLASTICOS MODERNOS, NUMERO 316
(OCTUBRE 82).

- CUATRO VENTAJAS DEL POLIETILENO.

37.-REVISTA DE PLASTICOS MODERNOS, NUMERO 317
(NOVIEMBRE 82).

- LOS PLASTICOS EN LA AGRICULTURA MUNDIAL.

- RECICLADO DE LOS MATERIALES PLASTICOS.

38.- REVISTA DE PLASTICOS MODERNOS, NUMERO 318
(DICIEMBRE 82).

- VALOR AGRONOMICO DE DIFERENTES MATERIALES
PLASTICOS EMPLEADOS COMO CUBIERTA EN CULTIVOS
PROTEGIDOS.

39.-REVISTA DE PLASTICOS MODERNOS, NUMERO 323 (MAYO
83).

40.-REVISTA DE PLASTICOS MODERNOS, NUMERO 332
(FEBRERO 84).

41.-REVISTA DE PLASTICOS MODERNOS, NUMERO 353

(NOVIEMBRE 85).

42.-REVISTA DE PLÁSTICOS MODERNOS, NÚMERO 367 (ENERO 87).

- REVOLUCIÓN EN FILMES, MEMBRANAS Y PLANCHAS POLIMÉRICAS.

43.-REVISTA DE PLÁSTICOS MODERNOS, NÚMERO 369 (MARZO 87).

- COMPORTAMIENTO DE LOS PLÁSTICOS BAJO CONDICIONES DE RADIACIÓN.

44.-REVISTA DE PLÁSTICOS MODERNOS, NÚMERO 370 (ABRIL 87).

- MATERIALES POLIMÉRICOS EN AGRICULTURA, APLICACIONES.

- MATERIALES POLIMÉRICOS EN AGRICULTURA, TIPOS Y CARACTERÍSTICAS.

- PROGRESOS EN POLIPROPILENO Y POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD.

45.-REVISTA DE PLÁSTICOS MODERNOS, NÚMERO 376 (OCTUBRE 87).

- LA COEXTRUSIÓN TRIUNFA EN EL MERCADO DE FILMES DE PE.

46.-REVISTA DE PLÁSTICOS MODERNOS, NÚMERO 385 (JULIO 88).

- ANALISIS DE LA CONFIGURACION ESTEREOQUIMICA DE
POLIMEROS.

47.-REVISTA DE PLASTICOS MODERNOS, NUMERO 386
(AGOSTO 88).

- POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD.
- POLIETILENO LINEAL DE BAJA DENSIDAD (LLDPE).
- PLASTIFICANTES.

48.-REVISTA DE PLASTICOS MODERNOS, NUMERO 388
(OCTUBRE 88).

- ESTABILIZANTES FRENTE AL CALOR.

49.- REVISTA DE PLASTICOS MODERNOS, NUMERO 390
(DICIEMBRE 88).

- UNA PUESTA AL DIA SOBRE FILMES POLIMERICOS.

50.-REVISTA DE PLASTICOS MODERNOS, NUMERO 397 (JULIO
89).

- RECICLADO DE PLASTICOS.FUTURO DE LOS PLASTICOS
DEGRADABLES.

51.-REVISTA DE PLASTICOS MODERNOS, NUMERO 401
(NOVIEMBRE 89).

- RECICLADO DE RESIDUOS SOLIDOS.
- LA TERCERA PARTE DE LAS BOLSAS DE PLASTICO SERAN
BIODEGRADABLES EN 1992.

52.-REVISTA DE PLASTICOS MODERNOS, NUMERO 406 (ABRIL

90).

- MODIFICADORES DE PROPIEDADES.
- ESTABILIZANTES FRENTE AL CALOR.
- ANTIOXIDANTES.
- ESTABILIZANTES U. V..

53.-REVISTA DE PLASTICOS MODERNOS, NUMERO 408 (JUNIO 90).

- LA CRISIS DE DESPERDICIOS SOLIDOS ABRE UN NUEVO MERCADO PARA LINEAS DEDICADAS AL RECICLAJE.

54.- REVISTA DE PLASTICOS MODERNOS, NUMERO 417 (MARZO 91).

55.- REVISTA DE PLASTICOS MODERNOS, NUMERO 419 (MAYO 91)

- DEGRADABLES: EL DEBATE SOBRE LA EFICACIA DE ESTOS ADITIVOS CONTINUA, PERO MIENTRAS TANTO APARECEN NUEVOS PRODUCTOS.
- DEGRADACION DE POLIMEROS.

56.-REVISTA DE PLASTICOS MODERNOS, NUMERO 422 (AGOSTO 91).

- POLIETILENO.

57.- REVISTA DE PLASTICOS MODERNOS, NUMERO 427 (ENERO 92).

58.-REVISION AL MANUAL DE LOS PLASTICOS, MONICA GONZALEZ,1992

**59.-TECHNICAL BOULLETIN PELLETS IMPORTADOS. POLYSTAR
MASTERBATCH,1992**