

**PROCESOS DE PRODUCCION DE EMPAQUES
BIODEGRADABLES Y SU IMPORTANCIA SOBRE LA
CONSERVACION DEL MEDIO AMBIENTE**

LUIS ALFONSO SOLANO COLON

**UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
SINCELEJO-SUCRE
2007**

**PROCESOS DE PRODUCCION DE EMPAQUES
BIODEGRADABLES Y SU IMPORTACIA SOBRE LA
CONSERVACION DEL MEDIO AMBIENTE**

**Línea de Investigación:
PROCESOS AGROINDUSTRIALES Y DESARROLLO
SOSTENIBLE (Pades)**

LUIS ALFONSO SOLANO COLON

**Trabajo De Grado Presentado Bajo La Modalidad De Monografía
Como Requisito Para Optar Al Título De Ingeniero Agroindustrial**

***DIRECTOR*
JAIRO SALCEDO MENDOZA
ING. QUIMICO**

**UNIVERSIDAD DE SUCRE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
SINCELEJO
2007**

NOTA DE ACEPTACIÓN

JURADO

JURADO

JURADO

Sincelejo, Junio del 2007.

*Gracias le doy a Dios nuestro señor,
Por darme la sabiduría, fortaleza
Y ayudarme a realizar este sueño
Tan anhelado en mi vida.*

*A mi padre Gustavo Adolfo
Por el apoyo, amor y comprensión
Que siempre me brindó.*

*A mi madre Enaida, a mis hermanos, mis mas profundos
agradecimientos por su amor, apoyo
moral y colaboración en el transcurso
de mis estudios.*

LUIS ALFONSO

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

JUSTIFICACIÓN

CAPITULO I

1. GENERALIDADES	10
1.1 QUÉ ES BIODEGRADABILIDAD	10
1.1.1 Descripción de un producto biodegradable.....	11
1.1.2 Características de los empaques biodegradables.....	12
1.1.3 Aplicabilidad.	14
2. RESEÑA HISTORICA DEL USO DE EMPAQUES BIODEGRADABLES EN EL MUNDO.	15
3. RESEÑA HISTÓRICA DEL USO DE EMPAQUES BIODEGRADABLES EN COLOMBIA	18
4. RESEÑA HISTÓRICA DEL USO DE EMPAQUES BIODEGRADABLES EN LA REGIÓN CARIBE.....	21
5. MATERIA PRIMA UTILIZADA EN LA PRODUCCIÓN DE EMPAQUES BIODEGRADABLES.....	23
5.1 MATERIA PRIMA CELULOSICA.....	23
5.1.1 Almidón.....	23
5.1.2 Alginato.....	23
5.1.3 Carragenanos.....	24
5.1.4 Pectina	25
5.1.5 Quitosano.....	26
5.1.6 Celulosa y derivados.....	26
5.1.7 El celofán.....	27
5.1.8 Acetato de celulosa	28
5.2 MATERIA PRIMA DE DESECHOS ORGÁNICOS.....	28

5.2.1 Colágeno.....	29
5.2.2 Gelatina.....	30
5.2.3 Zeína.....	30
5.2.4 Gluten de trigo.....	31
5.2.5 Aislados de proteína de soya.....	31
5.2.6 Proteínas de la leche.....	32
5.2.7 Acetoglicéridos.....	33
5.2.8 Ceras.....	34
5.2.9 Surfactantes.....	34
5.3 OTRAS.....	35
5.3.1 Poliesteres microbiales.....	35
5.3.2 Ácido poliláctico.....	36
5.3.3 Pululano, levano, elsinano.....	36
6. PROCESOS DE OBTENCIÓN.....	38
Diagrama de flujo del proceso de obtención de empaques biodegradables...38	
6.1 Proceso de obtención de empaques biodegradables.....	39
6.1.1 Extrusión.....	39
6.1.2 Diseño.....	39
6.1.3 Filmación.....	39
6.1.4 Pre – Prensa.....	40
6.1.5 Montaje.....	40
6.1.6 Matizado.....	40
6.1.7 Flexo – Impresión.....	40
6.1.8 Control de calidad.....	41
6.1.9 Laminado.....	41
6.1.10 Corte.....	41
6.1.11 Sellado.....	41
6.2 Clasificación de polímeros biodegradables.....	42
6.2.1 Categoría 1.....	42
6.2.2 Categoría 2.....	44

6.2.3 Categoría 3.....	45
6.3 Procesos a pequeña escala.....	46
6.3.1 Plásticos a partir de plantas modificadas genéticamente (Biofactorías).....	46
6.3.2 Bioempaques a partir de almidón de yuca.....	47
6.3.3 Producción de PHA en plantas.....	48
6.4 Procesos a gran escala.....	49
6.4.1 Producción de los polihidroxicanoatos.....	49
6.4.2 Producción de PHA en microorganismos.....	50
6.4.3 Producción de PHA en Escherichia coli recombinante.....	50
6.4.4 Polihidroxicanoato (PHA) y Polihidroxibutirato (PHB).....	52
6.4.5 Preparación de artículos biodegradables a partir de trans-polímeros y sus mezclas con otros componentes biodegradables tales como el almidón.....	53
6.5 Empresas que actualmente fabrican empaques biodegradables.....	56
7. PRODUCTOS DESARROLLADOS COMO EMPAQUES BIODEGRADABLES.....	58
7.1 PELÍCULAS POLIMÉRICAS COMESTIBLES.....	58
7.2 PELÍCULAS POLIMÉRICAS BIODEGRADABLES.....	59
8. IMPACTO DE LOS EMPAQUES BIODEGRADABLES EN LOS SISTEMAS AMBIENTALES.....	61
CAPITULO II	
9. CONCLUSIONES.....	63
10. RECOMENDACIONES.....	66
BIBLIOGRAFÍA	

INTRODUCCIÓN

El cuidado del ambiente es en la actualidad un tema que tiene que ver con distintas profesiones, pero es sobre todo la Ingeniería la que tiene que dar soluciones desde el punto de vista técnico a los diversos problemas que el hombre, en su desarrollo, ha generado y que de no ser solucionados podría afectar la supervivencia misma de la especie humana.

Los plásticos son materiales de variados usos que han desplazado a la madera y al vidrio de una gran cantidad de aplicaciones que incluyen la industria de la construcción, la alimenticia, la farmacéutica y la del transporte. Los plásticos convencionales se producen a partir de reservas fósiles de energía como el petróleo. Estos polímeros perduran en la naturaleza por largos períodos de tiempo y por tanto se acumulan, generando así grandes cantidades de residuos sólidos. Muchos de estos materiales pueden ser reciclados, sin embargo, este proceso produce grandes cantidades de sustancias tóxicas que afectan notablemente el medio ambiente.

Con el gran desarrollo industrial y tecnológico surgen los plásticos biodegradables, dando así origen a los empaques biodegradables, los cuales ofrecen una serie de ventajas cuando se comparan con los empaques convencionales. Estos son completamente degradados en compuestos que no dañan el medio ambiente: agua, dióxido de carbono y humus. Además estos empaques son producidos a partir de fuentes renovables de energía, lo que contribuye con el mantenimiento de las reservas fósiles (no renovables) en el planeta (Mario Demicheli, p. 33 - 36).

Esta monografía presenta las generalidades y requerimientos de los empaques biodegradables, así como su utilización a través de la historia, procesos de obtención a grande y pequeña escala, funcionalidad en las industrias alimentarias y la importancia sobre la conservación del medio ambiente.

Es de interés dar a conocer, la variedad de materias primas que existen y que hacen posible la elaboración de empaques biodegradables, teniendo en cuenta que todas son de origen natural y de fuentes renovables. También las empresas encargadas de producir dichos empaques y los productos desarrollados como empaques biodegradables.

OBJETIVOS

General:

- ❖ Describir los diferentes procesos de producción de empaques biodegradables y analizar su importancia e impacto sobre la conservación del medio ambiente.

Específicos:

- ❖ Identificar la gran variedad de materias primas empleadas en la producción de empaques biodegradables.
- ❖ Establecer los productos que se han venido desarrollando a través del tiempo como empaques biodegradables.
- ❖ Describir a través de la historia la utilización de los empaques biodegradables en el mundo, en Colombia y en la Región Caribe.
- ❖ Determinar las empresas dedicadas actualmente a la fabricación de empaques biodegradables.

JUSTIFICACIÓN

Cada vez resulta más evidente que el uso de plásticos de larga duración para aplicaciones de vida corta no está en absoluto justificado, especialmente cuando existe un peligro creciente de perturbación del medio ambiente.

La mayoría de los plásticos y polímeros sintéticos actuales se obtienen a partir de productos petroquímicos. Los plásticos convencionales son persistentes en el medio ambiente, por lo que un tratamiento inadecuado de eliminación de los residuos de materiales plásticos es una fuente significativa de contaminación ambiental. Los plásticos tienen también un impacto muy costoso sobre la gestión de los residuos, y las autoridades gubernamentales están empezando a ser conscientes del ahorro considerable que puede suponer la recogida de los residuos orgánicos "húmedos" en los llamados "biobins" (silos biológicos) para ser convertidos en compost. Por todas estas razones, se hace necesario sustituir los polímeros no degradables por plásticos biodegradables, especialmente para aplicaciones en la industria del envase y embalaje, sobre todo para los envases no recuperables, la alimentación o la agricultura. (Colvin, R.1995)

Así, la utilización de biomasa renovable (cosechas) y de los "residuos" agroindustriales emerge como alternativa clave. Los residuos agrícolas de la industria azucarera y alimenticia, constituyen la opción de suministro más prometedora; no sólo son baratos sino que su conversión resuelve otros problemas medioambientales, convirtiendo "desechos" en productos útiles. Esto significa que los países sin posibilidades de ampliar sus producciones agropecuarias podrían, sin embargo, beneficiarse económica y ecológicamente, reduciendo el impacto ambiental asociado a la eliminación de sus residuos industriales. (Kopetz H et al. 2000)

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1 Qué es biodegradabilidad

Biodegradabilidad es la propiedad que tienen algunos materiales complejos de ser degradados por microorganismos para formar productos finales sencillos, que son compatibles con nuestro medio ambiente natural. Estos productos se dan de manera natural en el medio ambiente y también se producen de forma artificial (productos xenobióticos). Por tanto, la biodegradabilidad es importante porque es un parámetro determinante en el comportamiento ambiental de las sustancias químicas (Benerjee, R. y Chen. H 1995.).

Es la facilidad con la cual la molécula de un compuesto químico se rompe en otras más simples llegando a formar compuestos naturales como dióxido de carbono, agua, metanol y biomasa. El mecanismo predominante de la biodegradación es aquel debido a la actividad microbiana y la velocidad con que se lleve a cabo depende de: el tipo de medio ambiente, la disponibilidad de agua, la temperatura, el espesor del material, la textura superficial, la porosidad y la presencia de componentes secundarios, tales como rellenos o agentes colorantes. (www.wikilearning.com).

Biodegradabilidad es la característica de algunas sustancias químicas de poder ser utilizadas como sustrato por microorganismos, que las emplean para producir energía (por respiración celular) y crear otras sustancias como aminoácidos, nuevos tejidos y nuevos organismos. (Documento elaborado por Brussels Biotech, Galáctica SA, "Biopolymers as viable alternatives to common plastic materials", Julio 17 de 2002,).

La biodegradabilidad es la degradación de sustratos complejos por parte de microorganismos siguiendo vías metabólicas catalizadas por enzimas segregadas por estos últimos, para obtener sustancias sencillas, básicamente agua, dióxido de carbono y biomasa, fácilmente asimilables por el medio ambiente. La velocidad de la biodegradación depende de la flora microbiana, la temperatura, la humedad y la presencia de oxígeno. Los microorganismos no segregan enzimas capaces de romper las uniones químicas de las macromoléculas poliméricas que constituyen los plásticos sintéticos commodities más usados comúnmente (en su mayoría derivados del petróleo), como polietileno (PE), polipropileno (PP), policloruro de vinilo (PVC), polietilentereftalato (PET), poliamidas (PA), poliestireno (PS), poliuretanos (PU), etc., por lo que estos materiales, de gran uso en la vida moderna, no son biodegradables.

Para clarificar una definición de biodegradable, la ASTM¹ (American Society Testing Materials) propició la realización de una conferencia internacional en Toronto (Canadá), con 135 participantes de 14 ciudades. La definición de biodegradables fue: "Disminución de las propiedades físicas del material, por acción de los microorganismos vivos" (Chen, H. 1995.).

1.1.1 Descripción de un producto biodegradable

Los lineamientos ambientales Internacionales definen que un producto es "biodegradable" solamente si "se descompone en elementos que se encuentran en la naturaleza dentro de un tiempo razonablemente corto después de la disposición acostumbrada". Esta definición presenta una buena base para crear una definición uniforme, ya que el polietileno no es un elemento "que se encuentra en la naturaleza", no sería biodegradable una bolsa de polietileno y almidón que se desintegra incluso de fragmentos invisibles. (www.cce.org.mx).

¹ American Society Testing Materials

La biodegradabilidad de un compuesto depende de las condiciones biológicas en las que se degrade y de su estructura química. Ésta influye decisivamente en la biodegradabilidad de algunos compuestos orgánicos; así, la naturaleza química de muchos detergentes, plásticos, materiales de embalaje y residuos médicos los hace resistentes a la degradación microbiana (Evans, J. D. y Sikdar, S. K. 1990).

1.1.2 Características de los empaques biodegradables

Los plásticos convencionales no se descomponen fácilmente. Según estudios recientes los residuos acumulados en los rellenos sanitarios tardan entre 200 y 400 años en degradarse, lo cual perjudica no sólo a la fauna y la flora, sino que representa contaminación visual y genera efectos dañinos en la salud pública. Por esa razón cada vez surgen más productos que no perjudican el medio ambiente, son biodegradables y, después de usarse, son absorbidos por la naturaleza, lo cual contribuye con la calidad de vida de todos (www.materiales.eia.edu.co).

Algunas de las características de los empaques biodegradables incluyen: Que se trata de un producto ecológicamente correcto, es decir que no es tóxico para el medio ambiente, presenta alta durabilidad, tarda aproximadamente 15 años en degradarse, son resistentes a los rayos UV, presentan resistencia mecánica a la ruptura, resistencia al paso del vapor de agua y son altamente permeables (Chen, H. 1995.).

➤ Polímeros biodegradables versus convencionales

Si se comparan los polímeros convencionales con los polímeros biodegradables, se observa que los segundos presentan una serie de ventajas, tales como:

- ❖ Rápida reducción másica y volumétrica de sus residuos, con lo que aumentaríamos la vida útil de los vertederos.

- ❖ Posibilidad de ser compostables, con los beneficios que esto conlleva para la fertilización de los suelos.
- ❖ Control de su grado de biodegradabilidad desde el diseño del mismo.
- ❖ Utilización para su obtención, en la mayor parte de los casos, de fuentes renovables.

También se deben conocer las desventajas de los polímeros biodegradables frente a los convencionales, que son:

- ❖ Es necesario un control respecto al proceso de degradación de los productos fabricados con polímeros biodegradables, para que sea compatible con la vida útil del producto. Este control es complejo, por cuanto la biodegradabilidad de estos polímeros depende de la estructura y la morfología de las materias primas naturales utilizadas.
- ❖ Alto coste de fabricación, debido a dificultades en su polimerización o modificación fisicoquímica y a que aun se producen a pequeña escala, que repercute en un precio de dos a cuatro veces superior al de los convencionales.
- ❖ Propiedades mecánicas, físicas y químicas inferiores a las de los convencionales. No obstante, hay nuevos desarrollos que se equiparán a los plásticos de gran consumo.
- ❖ Baja resistencia a la humedad.
- ❖ Reciclado mecánico más complejo, por su menor resistencia a la temperatura y a la acción mecánica. A pesar de estos inconvenientes, la investigación y

desarrollo en este campo se centra en la búsqueda de soluciones económicamente y técnicamente viables a estos inconvenientes (www.waste.ideal.es).

En síntesis las diferencias entre los polímeros biodegradables y los convencionales se encuentran en la tabla 1:

Tabla 1. Diferencias entre polímeros biodegradables y convencionales

PLÁSTICOS CONVENCIONALES	PLÁSTICOS BIODEGRADABLES
Utilizan como materia prima recursos no renovables.	Su producción es sostenible a partir de residuos de la agroindustria.
Se acumulan en el ambiente.	Se degradan fácilmente por la acción de microorganismos.
Su reciclado puede generar sustancias tóxicas.	Su biodegradación produce O ₂ y H ₂ O.

Fuente: www.rec.uba.ar

1.1.3 Aplicabilidad

Los empaques biodegradables son utilizables en un amplio espectro de aplicaciones. Todo lo que son envases flexibles, bolsas, films para envolver; también en los envases rígidos, bandejas para alimentos, empaques para el sector hortofrutícola exportador, como las uvas o frutas en general. Incluso para el sector de exportación de carnes, pescados, mariscos, aves o embutidos. O por ejemplo empaques para la industria de los Fast Foods, que utilizan mucho polietileno. En resumen: una amplia gama de la industria alimentaria y no alimentaria puede aprovechar este producto (Cortázar, Jorge et al. 2001).

2. RESEÑA HISTORICA DEL USO DE EMPAQUES BIODEGRADABLES EN EL MUNDO

Poli β -hidroxibutirato, PHB, ha sido mencionado en la literatura microbiológica desde 1901; en los comienzos de 1925 el instituto Pasteur observó inclusiones en gránulos en el fluido citoplasmático de algunas bacterias, los cuales no fueron solubles como normalmente ocurre para los lípidos, mediante observaciones microscópicas, saponificación y número ácido, autólisis, solubilidad y variaciones del punto de ablandamiento con el tamaño molecular y la actividad óptica el demostró que este material era un poliéster con una empírica $(C_4 H_6 O_2)_n$, el encontró para diferentes puntos de ablandamiento observados en dos fracciones aisladas que las diferencia eran debidas al grado de polimerización; el máximo punto de ablandamiento reportado fue de $157^{\circ}C$ y nombró el producto lípidos β -hidroxibutirique; en 1952 se observó que las fracciones de poliéster aisladas fueron los productos de autólisis de un poliéster lineal de alto peso molecular con temperatura de ablandamiento de $180^{\circ}C$, llevando el grupo ácido carboxílico en uno de los extremos y un alcohol en el otro (Hosokawa, J. et al. 1991).

La correlación entre la presencia de gránulos de lípidos intracelular encontrados en varias cepas bacterianas y PHB. En 1960 se reportaron los primeros datos sobre el peso molecular y las propiedades físicas (www.monografias.com).

La acumulación PHB podría incrementarse mediante limitación de nitrógeno en el medio de crecimiento; seguido de ésto se examinó la biosíntesis y el proceso de degradación enzimática del polímero con células bacterianas. Luego se llegó a la conclusión que el almacenamiento bacteriano PHB constituye un material de

reserva energética, así como el almidón y el glicógeno son acumulados por otros organismos (Farouk, M. et al. 1990).

En los años 50 y comienzos de los 60's en estados unidos empezó producción de PHB para evaluación comercial; ellos obtuvieron las patentes para la producción y los procesos de separación y desarrollaron artículos así como suturas y dispositivos prostéticos; sus innovaciones se extendieron al uso del producto no purificado de la alta producción en la fermentación en laminados plásticos; sin embargo su PHB producido fue relativamente bajo y el proceso de extracción con solvente para aislar el producto fue muy costoso, adicionalmente el polímero producido tenía alta contaminación de residuos bacterianos haciendo muy difícil el proceso de ablandamiento; el proyecto fue abandonado y el interés comercial se mantuvo quieto por muchos años (ENCICLOPEDIA de Tecnología farmacéutica.).

En 1968, ICI² en el reino unido inició desarrollando la tecnología de proteína unicelular con un único objetivo de lograr productos alimenticios de alto contenido nutricional para la alimentación animal; combinando la experiencia en fermentación a gran escala de la división de agricultura con el conocimiento de los procesos de polimerización y evaluación de la división de plásticos, ICI fue preparado el terreno para la comercialización del PHB. La crisis energética de los años 70's incentivo la búsqueda de sustitutos naturales para los plásticos sintéticos. ICI encontró condiciones para que la bacteria *alcaligenes eutrophus* pudiese producir hasta un 70% de su biomasa seca como PHB, sin embargo, las propiedades mecánicas del PHB puro no mostraron una ventaja particular sobre el polipropileno, debido a la excesiva fragilidad. Con la estabilización de los precios del petróleo, los costos de producción de PHB resultaban superiores a los de polipropileno y la idea desarrollada de PHB fue dejada en espera (Kester, J. y Fennema, O. R. 1989.).

² Imperial Chemical Industries

ICI realizó el mayor avance en la producción de PHB patentando un procedimiento para producir copolímeros de β - hidroxibutirato y β -hidroxivalerato. Esta familia de materiales conocidos como PHBV o biopol tiene muchas ventajas en sus propiedades sobre el PHB original, incluyendo la reducción de fragilidad. Debido a la buena biodegradabilidad se ha incrementado el interés en el desarrollo del poliéster bacteriano; en 1990 el primer producto comercial hecho de biopol fue lanzado en Alemania en botellas biodegradables para empacar shampoo biodegradable de la empresa Wella (Hoyos, R. M. y Urrego L. 1997) .

3. RESEÑA HISTÓRICA DEL USO DE EMPAQUES BIODEGRADABLES EN COLOMBIA

En Colombia es bastante desconocida la tecnología de empaques comestibles y/o biodegradables tanto en su capacidad de conservar los alimentos como los procesos de obtención, tampoco se conocen los diferentes tipos que existen y sus características (Nelson, K. L. Y Fennema, O. R. 1991).

La aplicación de películas o empaques biodegradables en Colombia como cubiertas protectoras data de unos cuantos años atrás aproximadamente en el año 2000, cuando se utilizó el recubrimiento con cera sobre naranjas, limones y papayas frescas. Mediante estas coberturas se disminuye la pérdida de agua, también se inhibe el intercambio gaseoso de la respiración que induce a la fermentación (Debeaufort, F. y Voilley, A. 1994).

La necesidad de preservación del medio ambiente trae consigo, que Colombia empezara a preocuparse por la implementación de plástico y empaques biodegradables; pero como no se tiene la capacidad ni los recursos, estos fueron traídos de otros países como Estados Unidos. La producción del primer polímero biodegradable destinado para su utilización en Colombia, fue el PHB (poli- β -hidroxibutirato), del cual se hizo una evaluación comercial; se obtuvieron las patentes para la producción y procesos de separación y el desarrollo de artículos como suturas y dispositivos prostéticos; sin embargo el PHB producido fue relativamente bajo y el proceso de extracción con solvente para aislar el producto fue muy costoso, adicionalmente el polímero producido tenía alta contaminación de residuos bacterianos haciendo muy difícil el proceso de ablandamiento, el

proyecto fue abandonado y el interés comercial se mantuvo quieto por muchos años (Debeaufort, F. et al. 1994).

En Colombia a principios del año 2003 ya existían varios grupos de investigación de este tema, entre estos grupos están, la Universidad Javeriana de Bogotá, la Universidad San Buenaventura de Cartagena, la Universidad de los Andes y la Universidad Nacional (Instituto de Biotecnología y Facultad de ingeniería). El Instituto de Biotecnología dio inicio al proyecto “síntesis y caracterización de polímeros biodegradables”, el cual ha generado algunos documentos que han servido para continuar con la investigación y que han sido presentados en Congresos Nacionales e Internacionales. Dentro del proyecto se han definido las condiciones para el proceso de producción por fermentación empleando *Pseudomonas putida*. Sin embargo, no se evaluaron alternativas para la separación del polímero. Después de esto se fortaleció la búsqueda de sustitutos naturales para los plásticos sintéticos, donde se encontró que algunas bacterias en condiciones apropiadas pueden producir hasta un 70% de su biomasa seca como biopolímeros, sin embargo, las propiedades mecánicas de dichos biopolímeros no mostraron una ventaja particular sobre el propileno, debido a la excesiva fragilidad. Con la estabilización de los precios del petróleo, los costos de producción resultaban muy superiores a los del propileno y la idea desarrollada de producción de biopolímeros fue dejada en espera (Feng, J. y Chen, H. 1995).

Recientemente se realizó el mayor avance en la producción de polímeros biodegradables patentando un procedimiento para producir copolímeros derivados de estos. Estos copolímeros tienen muchas ventajas en sus propiedades sobre el original, incluyendo la reducción de fragilidad. Debido a la buena degradabilidad se ha incrementado el interés en el desarrollo de los poliésteres bacterianos; tal es el caso que se lanzó el primer producto como botellas biodegradables para empacar shampoo Wella (Colombia) (Hoyos, R. M. y Urrego L. 1997).

Con el continuo desarrollo tecnológico y científico, en los últimos años el sector encargado de producir derivados del petróleo elaboró a partir de los biopolímeros recipientes para empaquetar poliolefinas y aceites de motor. Seguidamente se obtuvieron empaques para insecticidas, fungicidas, herbicidas y drogas (tanto en seres humanos como animales) (Fleming, R. A. 1992).

Debido a que las industrias alimentarias se deben tratar con mucho cuidado por manejar productos perecederos se tardó varios años para que Colombia empezara a adquirir empaques para alimentos, cubiertas en papel y reemplazo del poli (etileno – tereftalato) de las botellas plásticas de bebidas por botellas biodegradables para bebidas. También varios científicos reportaron en la literatura de patentes el uso de empaques y películas comestibles que mantienen la calidad y frescura en productos alimenticios gratinados y refrigerados (Fleming, R. A. 1992).

4. RESEÑA HISTÓRICA DEL USO DE EMPAQUES BIODEGRADABLES EN LA REGIÓN CARIBE

La utilización de empaques biodegradables en la Región Caribe tiene origen en tiempos actuales, debido principalmente a la carencia de los recursos económicos necesarios para llevar a cabo dicha labor.

Los residuos de los empaques deben satisfacer rigurosas normas medioambientales. Actualmente, las normas impuestas sobre desechos de envases y embalajes, establecen un objetivo mínimo de recuperación del 45% y un mínimo de reciclado del 15% (el cual incluye la regeneración y el compostaje, pero no la incineración) para cada tipo de material. Estos objetivos son difíciles de cumplir para los desechos de empaques plásticos que contienen alimentos, debido a que no es posible su regeneración. Por tanto la utilización de empaques biodegradables en la Región Caribe surge como una alternativa para que estos residuos se biodegraden, por la importancia que tiene aumentar la cuota del porcentaje de reciclaje de los desechos de empaques plásticos (García, et al. 1994).

Los polímeros naturales que se han obtenido para llegar a la región Caribe como destino final, ya que la Región no los produce, han demostrado una biodegradabilidad apreciable del segmento natural. Sin embargo, estos no tienen las propiedades adecuadas para el envasado de alimentos, porque son inestables. Su utilización en otras aplicaciones como bolsas para envases de productos de consumo, pretende reducir el volumen de material en los rellenos sanitarios (Gates, K. W. et al. 1985).

Los polímeros biodegradables revelan un problema complicado en la Región Caribe porque en el caso que el polietileno conteniendo almidón en diferentes porcentajes, se comercializó como “bolsas potencialmente biodegradables”, para uso en empaques en las tiendas o supermercados. Cuando estas bolsas se colocaron en los basureros, se descompuso el almidón, pero el polietileno permaneció sin degradar. Este fue llamado posteriormente “plástico fracturado” y no contribuyó a prolongar el uso del suelo donde se desechó (Gennadios, A. et al. 1993).

Aunque la tecnología para producir empaques biodegradables partir de compuestos y residuos orgánicos (abundan en la región caribe) ya existe en el exterior, por el momento no hay forma de ofrecer esto en nuestra región. Se requiere por tanto, buscar alternativas para adquirir o desarrollar esta tecnología (Gontard, N. et al. 1994).

5. MATERIA PRIMA UTILIZADA EN LA PRODUCCIÓN DE EMPAQUES BIODEGRADABLES

A continuación se presentará una revisión de las materias primas que se utilizan en la actualidad para la elaboración de películas comestibles y biodegradables. Dichas materias primas se organizaron de acuerdo a su naturaleza en polisacáridos, proteínas y lípidos (Kester, J. J. y Fennema, O. R. 1989).

5.1 Materia prima celulósica

5.1.1 Almidón

El almidón es un glicano unido por enlaces β glucosídicos, formado por dos compuestos distintos a la amilasa y la amilopectina. La amilasa es un polímero lineal sencillo de la β glucosa y en muchos almidones representa aproximadamente el 25% del almidón total aunque existe una considerable variación entre las distintas especies.

La amilopectina, polímero ramificado, es el mayor componente de muchos almidones conocidos, y está formado por enlaces α (1,4) y α (1, 6) y se cree que corresponde a la molécula de almidón cristalina interpuesta entre anillos de crecimiento (Kamper, S. L., y Fennema, O. 1985).

5.1.2 Alginato

Se extrae de algas pardas de la clase feofíceas. La fuente principal del alginato comercial es el alga gigante *macrocystis pyrifera*. Los alginatos contienen unidades de ácido D-Mano piranosilurónico (M) y ácido L-gulupiranosilurónico (G). La relación M/G es distinta para las diversas fuentes y determina las propiedades en solución de los diversos alginatos. La molécula es un polímero de secciones

homogéneas de unidades de poli-M y poli-G conectados por secciones de M y G alternantes.

Las sales del alginato y metales alcalinos: amonios y aminos de bajo peso molecular son muy solubles en agua fría y caliente, mientras que por el contrario las sales de cationes di o trivalentes son insolubles. Las soluciones de los alginatos son muy viscosas, con propiedades que dependen de la relación M/G, del proceso molecular y de los electrolitos presentes en la solución. La viscosidad de las soluciones disminuye conforme aumenta la temperatura y solo es ligeramente influenciada por los cambios de pH en el intervalo de 4.0-10.0.

En el intervalo de pH 5.0-10.0 sus soluciones son estables por largos periodos de tiempo a temperatura ambiente. Los alginatos gelifican a temperatura ambiente en presencia de pequeñas cantidades de ion calcio u otros cationes metálicos di o trivalentes, o bien, en ausencia de ellos a pH 3.0 o inferior. La firmeza de los geles se incrementa con la concentración de alginatos y el grado polimérico, y puede ser controlada de modo que se obtengan geles blandos y elásticos o duros y rígidos.

5.1.3 Carragenanos

Los carragenanos son una familia de hidrocoloides naturales, constituidos por un grupo de galactanos lineales sulfatados, de gran peso molecular, se extraen industrialmente de diversas especies de algas rojas **rodofíceas**, se utilizan en industrias alimentarias como espesantes y agentes gelificantes (Mchugh, T. H. y Krochta, J. 1994).

Químicamente los carragenatos comparten el carácter común de presentar una estructura lineal regularmente, constituidas por unidades de galactosa unidas alternativamente por enlaces α -1.3 y β -1.4. Las galactosas unidas por enlaces 1.3 se presentan como monosulfato, y las que lo están por enlaces β 1.4, como

mono y disulfatos (el anhídrido y el anhídrido sulfato) (Evans, J. D. y Sikdar, S. K. 1990).

5.1.4 Pectina

Es un carbohidrato purificado, obtenido del extracto diluido en calcio, de la porción interna de la corteza de los frutos cítricos. Esta integrada por moléculas de ácido D-galacturónico unidas por enlaces glucosídicos α -D-(1,4), y en la cual algunos de los carboxilos pueden estar esterificados con metilo en forma de sal. Se encuentra asociados con otros hidratos de carbono, principalmente con hemicelulosa, en las paredes celulares de los vegetales y son responsables de la firmeza de algunos productos. La disolución de los componentes de dicha pared celular, sobre todo de las pectinas, se ha relacionado con el ablandamiento de diversos alimentos.

Por definición, las pectinas son ácidos pectínicos con diferentes grados de esterificación. Existen otros compuestos de este tipo que son las protopectinas altamente esterificadas con metanol y muy solubles en agua, que se encuentran en los tejidos inmaduros de los frutos y son responsables de su textura rígida, si embargo la acción de la enzima protopectinasa hace que se convierta en pectinas solubles, en un proceso que ocurre durante la maduración y que trae consigo el ablandamiento del fruto (Evans, J. D. y Sikdar, S. K. 1990).

Las pectinas se usan por su capacidad de gelificar, propiedad determinada por factores intrínsecos, como su peso molecular y su grado de esterificación, que depende de la materia prima y condiciones de su fabricación. Factores extrínsecos, como pH, las sales disueltas y la presencia de azúcares, la viscosidad de sus dispersiones al igual que la de otros polisacáridos, se incrementa a medida que aumenta el peso molecular y el grado de esterificación.

Su metoxilación es muy importante, razón por la cual las pectinas comerciales se han dividido en dos grandes grupos: las pectinas consideradas de alto metoxilo que contiene de 55 a 80% de grupos carboxilos de manera esterificada, y las

pectinas de bajo metoxilo, que solo presentan 18 a 45% de esterificación. Cabe aclarar que si tuviera una pectina con 100% de metoxilación, sería más bien una protopectina, por el contrario si la metoxilación es de 0% sería un ácido pectico (Mchugh, T. H. y Krochta, J. 1994).

5.1.5 Quitosano

Producido comercialmente de la quitina, obtenida por los desechos de mariscos, es biodegradable, pero aun no ha sido aprobado como un ingrediente alimenticio en Estados Unidos. Las películas de quitosano son claras, fuertes y flexibles y buena barrera al oxígeno y se forman por moldeo de solución acuosa. Los empaques basados en quitosano protegen los alimentos de la degradación por hongos y modifican la atmósfera de frutos frescos.

Las cubiertas de quitosano se usan en peras, naranjas, melocotón y ciruelas como barrera para el dióxido de carbono y oxígeno. Las coberturas de quitosano se usan en las semillas de trigo con el fin de incrementar la producción en el cultivo (Mchugh, T. H. y Krochta, J. 1994).

5.1.6 Celulosa y derivados

Es el más abundante de todos los materiales orgánicos, forma parte de los tejidos fibrosos de las plantas. Además, está presente en vegetales y otros alimentos.

Celulosa es un carbohidrato no reductor, tiene la fórmula $(C_6H_{10}O_5)_n$ la hidrólisis produce D (+) glucosa como único monosacárido. La celulosa como el almidón está constituido por cadenas de unidades de D-glucosa cada una unidas entre sí por enlaces glucosídicos β (1.4) métodos físicos dan para la celulosa pesos moleculares que oscilan entre 250.000 y 1.000.000 o más.

Análisis con rayos X y la microscopia electrónica sugieren que estas largas cadenas se agrupan a lado y lado en “haces” que se mantiene unidas por puentes de hidrogeno entre numerosos OH vecinos. Estos haces se tuercen entre si formando estructuras semejantes a cuerdas, las cuales se forman y se agrupan de de forma que podemos ver (Maté, J. I. y Krochta, J. M. 1996).

5.1.7 El celofán

Es una forma regenerada de celulosa, fue el primer empaque flexible y transparente con la introducción de las películas de empaques termoplásticas sintéticas en el año de 1950, el celofán fue desplazado en un 90%. Es biodegradable pero no comestible, es un empaque fuerte debido a que tiene fuerza de tensión y elongación buenas. Se rompen fácilmente cuando se cortan y esta característica lo hace un material excelente para aplicaciones de fácil apertura con cintas que se rompan. Otros atributos incluyen excelente impresión y buena maquinabilidad. Como otros polímeros naturales el celofán es sensible a la humedad y no es buena barrera para esta por causa de su naturaleza hidrofílica inherente. La sensibilidad a la humedad es quizás el mayor problema de todos los polímeros biológicos (Park, H. J. y Chinnan, M. S. 1995).

No es termoplástico, no puede ser sellado con calor, se reviste con cera de nitrocelulosa (NC-W) o cloruro de polivinilideno (PVDC) y se lamina adicionalmente, ejemplo con poliéster metalizado. Las cubiertas con celofán tienen o poseen permeabilidad al vapor de agua (WVP) tan bajas como el polietileno de alta densidad. El celofán es buena barrera al oxígeno, grasas, aceites y sabores, a humedad relativamente baja, pero estas propiedades de barrera se ven comprometidas a humedades relativamente intermedias y altas. Las coberturas con nitrocelulosa cera (NC-W) o polivinilideno (PVDC) reduce la influencia de la humedad relativa en esas propiedades de barrera cuando se recubre el celofán con (NC-W) se degrada completamente. Mientras que el celofán cubierto con

(PVDC) se degrada a pequeños fragmentos de PVDC) (Park, H. J. y Chinnan, M. S. 1995).

5.1.8 Acetato de celulosa

Diferente al celofán, el acetato de celulosa es un material termoplástico. Los empaques se pueden obtener por fundido con solventes, por extracción o ambas. Los empaques de acetato de celulosa son cristalinos transparentes y duros. Las propiedades de barrera contra la humedad y los gases no son buenas, pero si son para ciertas humedades altas de productos a causa de su respiración y no forman niebla sobre ellos. El acetato de celulosa es también buena barrera a las grasas y aceites, aunque la sustitución química de celulosa generalmente disminuye la biodegradabilidad. El acetato de celulosa presenta mineralización (Park, H. J. y Chinnan, M. S. 1995).

La utilidad de la celulosa: es el comienzo de la utilización de materiales para empaques comestibles o biodegradables que se pueden extender por modificaciones químicas de metil celulosa (MC), hidroxipropil MC (HPMC), (HPC) y CMC (carboximetil celulosa). Estos empaques de éter de celulosa se forman de soluciones acuosas de etanol agua de MC, HPMC, HPC y CMC, tiene fuerzas moderadas, son resistentes a los aceites y grasas y son flexibles y transparentes, inoloras, insaboras, solubles en agua, barrera moderada a la humedad y oxígeno (Evans, J.D. y Sikdar, S.K. 1990).

5.2 Materia prima de desechos orgánicos

➤ Proteínas

En años recientes el uso de empaques a base de proteínas ha recibido una gran atención, especialmente en proteínas de trigo, maíz, colágeno (gelatina) y caseínas aplicadas a frutas y verduras. Una de las características más comunes de cubiertas elaboradas a base de proteínas es que funcionan como buenas

barreras al O₂ y CO₂ pero no al vapor de agua. Esto es debido a su naturaleza hidrofílica dada por sus aminoácidos.

Otras funciones, es renovar ingredientes comestibles y que se degraden más pronto que los materiales polimérico. Esta alternativa se puede emplear en productos empacados individualmente como peras, habas, nueces y moras (Maté, J. I. y Krochta, J. M. 1996).

5.2.1 Colágeno

Este componente contribuye de modo significativo a la dureza de la carne, abunda en los tendones, piel y huesos. Las fibrillas de colágeno se organizan en forma paralela, para conseguir una gran resistencia como ocurre en los tendones o puede estar altamente ramificadas y desordenadas como ocurre en la piel. A medida que se forman los enlaces cruzados del colágeno disminuye su solubilidad en diversos solventes tales como soluciones salinas y ácidos. La desnaturalización parcial del colágeno es la “gelatina”.

- ❖ **Formación de películas:** El colágeno se convierte en películas comestibles y biodegradables, las cuales se hacen por extrusión y dispersión de un ácido coloidal viscoso en un baño neutralizado, seguido por un lavado y secado (Maté, J. I. y Krochta, J. M. 1996).
- ❖ **Propiedades y usos:** Las envolturas de colágeno han reemplazado casi completamente a las envolturas de intestino de animales, excepto para embutidos de mayor grosor que requieren envolturas gruesas, estas películas en carnes ahumadas como el jamón previenen el estiramiento externo por el hecho de estar embebidas en la carne durante la cocción. Provee integridad mecánica y funciona como barrera al oxígeno y a la humedad (Park, H. J. y Chinnan, M. S. 1995).

Aplicaciones adicionales de películas de colágeno han sido estudiadas en los filetes de cordero envueltos en películas de colágeno en refrigeración se

reduce significativamente la exudación sin afectar el color y la oxidación de los lípidos.

Las películas de colágeno a diferencia de las películas sintéticas, se adhieren al producto cocido y es consumido con este, disminuyendo los desperdicios (Maté, J. I. y Krochta, J. M. 1996).

5.2.2 Gelatina

Es un producto obtenido por hidrólisis parcial del colágeno derivado de piel blanca o tejido conectivo y huesos de animales. La gelatina comestible se prepara de tres materias primas cuidadosamente seleccionadas: huesos limpios frescos o congelados, de piel de cerdo y tejido conectivo.

El hueso se trata con ácido clorhídrico, el cual remueve las sales de calcio, los fosfatos y las sustancias conocidas como osseína. La gelatina se obtiene del colágeno cuando se calienta con agua durante un tiempo prolongado (Koelsch, C. M. y Labuza, T. P. 1992).

❖ **Propiedades y usos:** Las cubiertas de gelatina se aplican a carnes frías para almacenarlas, la cubierta provee un grado de protección limitado contra el desarrollo de la rancidez oxidativa, sin embargo se incrementa la efectividad por la incorporación de antioxidantes y antimicrobianos. Las cubiertas de gelatina encapsulan productos alimenticios y farmacéuticos de baja humedad y de fase aceitosa. La encapsulación protege contra el oxígeno y la luz (Koelsch, C. M. y Labuza, T. P. 1992).

5.2.3 Zeína

Son aislados de proteína de maíz y se produce mediante los procesos de filtración en frío, es una crema coloreada con un contenido proteico entre 92 - 98%, ha sido promovida comercialmente como película o cobertura comestible.

La barrera, adhesión de vitaminas y las propiedades como portador antimicrobial de las películas de zeína, se han utilizado en una variedad de alimentos. La zeína se usa en productos farmacéuticos, para las cápsulas de cobertura para protección, liberación controlada y para enmascarar sabores y aromas. El papel de la cubierta con zeína ha sido juzgado igual al papel de polietileno laminado para usos en los restaurantes de comidas rápidas con el fin de empacar alimentos grasos y se ha encontrado que tiene buenas características de sellamiento al calor (Kamper, S. L. y Fennema, O. 1985).

5.2.4 *Glúten de trigo*

El gluten de trigo se ha estudiado como un reemplazo en plantas para el colágeno en la manufactura de recipientes para salsas y también como un medio para mejorar la adherencia de la sal y los sabores a las nueces y pastas para las carnes y otros alimentos. Estudiando las propiedades mecánicas y de barrera de las películas de proteínas de trigo y de maíz, se ha hallado que las películas de estos cereales tienen baja resistencia a la tensión. Las películas de maíz eran quebradizas pero más elásticas que las de celofán. Ambas películas presentan baja permeabilidad a las grasas pero alta permeabilidad al vapor de agua (Gontard, N. et al. 1992).

5.2.5 *Aislados de proteína de soya*

Estos productos son la forma más purificada de la soya, ya que contienen 90% o más de proteínas. La proteína de soya se ha estudiado para la manufactura de cubiertas para salsas y en la producción de bolsas solubles en agua. La proteína de soya en aplicación de coberturas comestibles, mejora la adhesión de la pasta y reduce la migración de humedad en uvas pasas y arvejas secas (Gontard, N. et al. 1992).

5.2.6 Proteínas de la leche

Las proteínas de la leche se clasifican en dos grandes fracciones: La caseína y las proteínas del suero. Se han realizado ensayos mediante los cuales se analiza las resinas sintéticas como recubrimiento de grasas duras y semiduras con productos lácteos (caseína, caseinato y proteínas del suero), obteniendo así un película comestible, biodegradable y soluble en agua. Esta solubilidad facilita su renovación del equipo que se utiliza para aplicar la película (Feng, J. y Chen, H. 1995).

- ❖ **Recubrimientos con caseína:** Se han desarrollado cubiertas protectoras para brownies, cubos de chocolate y donuts a partir de caseinato de sodio, aceite de algodón, soya o maíz y un plastificante. Los caseínatos forman fácilmente películas en soluciones acuosas debido a su estructura desordenada y a la capacidad para formar gran número de puentes de hidrógeno e interacciones y puentes hidrofóbicos. La naturaleza anfifílica de los caseínatos hace de ellos excelentes candidatos para la formación de películas emulsionadas

Las películas de caseinato puro son atractivas para uso en alimentos debido a su transparencia, flexibilidad y naturaleza blanda. Las películas de caseinato también son solubles en agua (García, et al. 1994).

El potencial de las emulsiones comestibles para películas basadas en caseína han sido estudiadas en la preservación de frutas y vegetales frescos. La proteína matriz mejora resistencia, integridad, característica de barrera al oxígeno y adherencia a la superficie de los alimentos (García, et al. 1994).

- ❖ **Recubrimientos con proteínas del suero:** Se ha hallado que el aislado de proteínas de suero se podría utilizar en la producción de películas obtenidas por calentamiento de soluciones con 8 – 12 % de proteínas de suero en solución a 75°C -100°C.

Las películas se formaron secando la solución toda la noche sobre una superficie suave a temperatura ambiente. El calentamiento fue esencial para la formación de puentes disulfuro intermoleculares necesarios para producir películas intactas. Si no se aplica calor la película se rompe en pedazos pequeños durante el secado.

Con calentamiento resultan películas extremadamente quebradizas por lo que requiere la adición de plastificantes grado alimenticios para impartir flexibilidad a las películas. En contraste con las películas de caseínato, las películas de proteínas del suero son insolubles en agua debido a la presencia de enlaces covalentes de puentes de disulfuro (Feng, J. y Chen, H. 1995).

➤ **Lípidos**

Los empaques elaborados a base de lípidos incluyen a las ceras naturales semejantes a la cera carnauba, candelilla y cera de abeja, parafinas, aceites minerales, acetoglicéridos y ácido oleico. Actualmente, la mayoría de las cubiertas elaboradas a base de ceras son emulsiones o suspensiones. Una emulsión se define como un sistema heterogéneo, con pequeños o diminutos líquidos inmiscibles dispersos en otros. La estabilidad de los sistemas de emulsión es baja, a menos que esté reforzada con aditivos semejantes a los agentes de superficie activa. Este tipo de empaques son buenas barreras de humedad, pero como macroemulsiones, imparten brillo a los productos (Farouk, M. et al. 1990).

5.2.7 Acetoglicéridos

La acetilación del monoestearato de glicerol con anhídrido acético, produce un monoglicérido acetilado, el cual presenta la característica de solidificar a partir del estado fundido en un sólido flexible con apariencia de cera. La mayoría de los lípidos pueden estirarse en un estado sólido hasta un 102% de su longitud original antes de su ruptura. Sin embargo, el monoestearato de glicerol acetilado se puede estirar por encima de 800% de su longitud original, antes de su ruptura.

Las propiedades de barrera de los monoglicéridos acetilados se incrementan al aumentar el grado de acetilación, debido a la remoción de grupos hidroxilo libres, ya que estos interactúan directamente con la migración de moléculas de agua (Fleming, R. A. 1992).

5.2.8 Ceras

Las ceras comestibles son significativamente más resistentes al transporte de humedad que la mayoría de películas de otros lípidos o no lípidos. Las ceras son más efectivas en el bloqueo de la migración de humedad, siendo la parafina la más resistente, seguida por la cera de abejas. Las coberturas de cera se pueden usar para el mantenimiento de altas concentraciones de conservantes en la superficie de los productos alimenticios. Las coberturas de cera tradicionalmente se han aplicado a frutos y vegetales frescos para prolongar períodos de almacenaje en la poscosecha (Koelsch, C. M. y Labuza, T. P. 1992).

La aplicación de una capa de lípidos como suplemento en la superficie de frutas reemplaza las ceras naturales de la cutícula, las cuales pueden haber sido parcialmente removidas durante el lavado. Las ceras que se aplican a productos perecederos frescos para retardar la desecación son: cera de abejas, cera carnauba, cera candelilla y cera de salvado de arroz.

Es importante que las coberturas de ceras en frutos frescos o perecederos no sea totalmente impermeable, lo cual ocasiona la anaerobiosis favoreciendo los desordenes fisiológicos que acortan la vida media (Koelsch, C. M. y Labuza, T. P. 1992).

5.2.9 Surfactantes

Las coberturas de alimentos con agentes surfactantes para reducir la actividad acuosa fue estudiada por dos científicos ingleses. La actividad acuosa superficial es la actividad del agua directamente en la superficie de un alimento; está

correlacionada con la velocidad de pérdida del vapor de agua en el producto alimenticio. Estos redujeron la actividad acuosa superficial y por lo tanto la velocidad de desecación de un alimento modelo, mediante la aplicación de una capa delgada de lípido surfactante. Los alcoholes grasos de 16-18 carbonos no son tan efectivos como los monoglicéridos y monoestearato de glicerol en la reducción de la actividad acuosa.

La actividad acuosa superficial tiene influencia en otros mecanismos de deterioro además de la pérdida de agua por evaporación. Una baja actividad acuosa superficial retarda el crecimiento microbiano como también las reacciones enzimáticas en la superficie. Por lo tanto, recubrir un alimento con surfactantes ayuda a controlar estos tipos de deterioro (Martin, et al. 1992).

5.3 Otras

5.3.1 *Poliésteres microbiales*

Se pueden producir por una fermentación limitada en nutrientes de material alimenticio azucarado. Mediante la manipulación del medio de cultivo, se obtiene un copolímero aleatorio que contiene tanto el hidroxivalerato (HV) e hidroxibutirato (HB). El copolímero restante poli-3-hidroxibutirato-CO-3-Hidroxi/valerato (PHB/V) el cual es termoplástico y completamente biodegradable. Mediante el cambio de la relación HV/HB, el copolímero resultante puede fabricarse para que se asemeje bien sea al polipropileno o al polietileno con relación a la flexibilidad, fuerza de tensión y punto de presión.

El polihidroxibutirato (PHB) es fuerte, rígido y quebradizo, pero el contenido de HV mejora la flexibilidad y la dureza. El PHB/V posee una buena resistencia química y a la humedad, posee buenas propiedades como barreras al O₂, humedad y aromas (Maté, J. I. y Krochta, J. M. 1996).

5.3.2 Ácido poliláctico

El ácido poliláctico (APL) es un polímero termoplástico y biodegradable basado en el ácido láctico producido por la fermentación de azúcares simples. Los materiales basados en APL se han comportado bien en aplicaciones médicas, comerciales, tales como suturas e implantes bioabsorbibles.

El APL puede hidrolizarse fácilmente a ácido láctico, mediante la utilización únicamente de agua y entonces puede ser repolimerizado. Esto podría suministrar algunas ventajas en el reciclaje del APL. Avances recientes han producido polímeros de APL más económicamente y de suficiente peso molecular por poseer otras propiedades útiles. El APL tiene propiedades mecánicas similares al poliestireno. La modificación del peso molecular resulta en propiedades que pueden imitar el polipropileno, polietileno y el PVC.

Varias empresas de Estados Unidos y japonesas están desarrollando polímeros basados en APL. Los productos en la mira, incluyen contenedores para servicios de alimentos y utensilios, bolsas para víveres y bolsas para desechos incorporados en el compost (www.eco-sitio.com.ar/).

5.3.3 Pululano, levano, elsinano.

Son polisacáridos microbiales extracelulares que son comestibles y biodegradables. Las películas de pululano formadas en solución acuosa son claras, inoloras, insaboras y buenas barreras al oxígeno. Las coberturas de pululano se han usado exitosamente como barrera para el oxígeno y para prolongar la vida de anaquel de los alimentos.

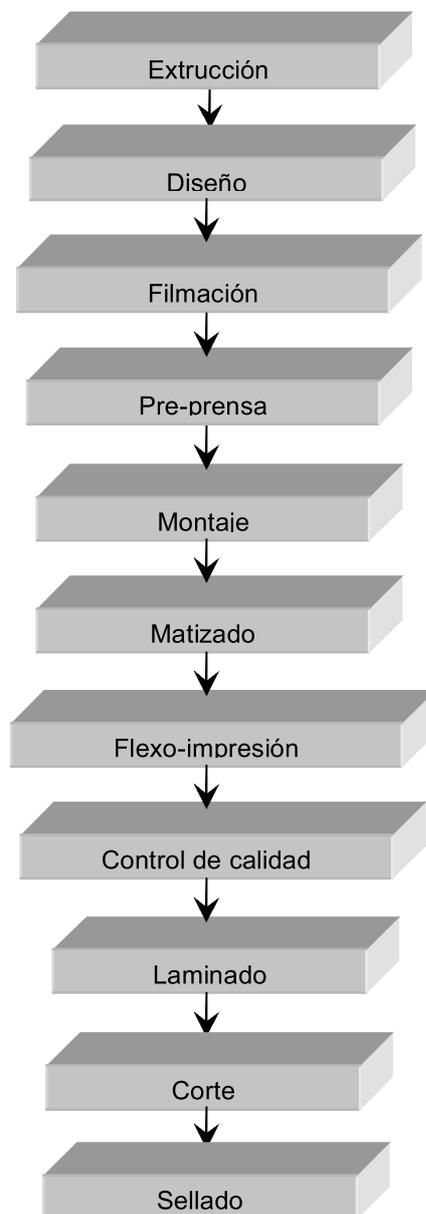
El levano y elsinano también se pueden usar como materiales comestibles de coberturas para alimentos y productos farmacéuticos debido a su baja permeabilidad al oxígeno. Las películas comestibles se preparan usando una combinación de proteína de arroz concentrada y el polisacárido pululano. La

mezcla proteína-pululano con un 50% de proteína concentrada y 50% de pululano se utiliza en el recubrimiento de recipientes de vidrio, la película es resistente a la fuerza del vapor de agua, la cual se mejora por adición de pequeñas cantidades de alginatos de propilenglicol en condiciones alcalinas. También se incorporaron aceites en las películas para mejorar la resistencia al vapor de agua (www.observatorioplastico.com).

6. PROCESOS DE OBTENCIÓN

Para la elaboración de empaques biodegradables, se siguen una serie de etapas las cuales se evidencian en el diagrama de flujo #1.

1. Diagrama del proceso de obtención de empaques biodegradables



6.1 Procesos de obtención de empaques biodegradables

Los empaques biodegradables se pueden fabricar en una variedad de formas que incluyen películas finas (por ejemplo, laminas), fibras, materiales espumados, látex y artículos conformados formados por moldeo por inyección, moldeo por soplado, conformado al vacío, extrusión, y pultrusion.

6.1.1 Extrusión: Procesando la materia prima. Esta vendría a ser la primera etapa en cuanto a todo proceso. El polímero fundido (o en estado ahulado) es forzado a pasar a través de un dado también llamado boquilla, por medio del empuje generado por la acción giratoria de un husillo (tornillo de Arquímedes) que gira concéntricamente en una cámara a temperaturas controladas llamada cañón, con una separación milimétrica entre ambos elementos. El material polimérico es alimentado por medio de una tolva en un extremo de la máquina y debido a la acción de empuje se funde, fluye y mezcla en el cañón y se obtiene por el otro lado con un perfil geométrico preestablecido.

6.1.2 Diseño: Creatividad e imagen. En esta etapa, conjuntamente con las ideas y/o bocetos propuestos al cliente se elabora la imagen del producto; para ello se utilizan modernos equipos de cómputo de última generación y equipo de diseñadores, que desarrollan propuestas para satisfacer los gustos más exigentes. A su vez, elaboran un plan de diseño, que consiste en la separación de colores a utilizarse y su distribución en un plano mecánico, así como la ganancia de puntos, el nivel de curvas, el porcentaje de colores en tricomías y cuatricomías.

6.1.3 Filmación: Elaborando el mapa. El diseño ya terminado y separado por colores se filma en películas de aluro de plata, llamados negativos; es aquí donde se controla la densidad y el ángulo de las tramas, además de su respectiva emulsión.

6.1.4 Pre - Prensa: Materializando las ideas. Llegada la película a esta área, el encargado de la Pre-Prensa revisa las imperfecciones que puedan tener el diseño

o los negativos. Conjuntamente para una verificación más exhaustiva se realiza un proceso adicional que se llama cromachek; que consiste en un filmado de las láminas de color a través de las cuales se verifica la superposición de los colores del elemento que se va a imprimir, fijando los dibujos de las películas mediante una exposición de ambas en luz ultravioleta.

Una vez aprobado esto se procede con el quemado de las planchas, que es muy semejante al cromachek; sólo que en su lugar se utilizan polímeros fotosensibles (clisés). De esta manera se obtienen los diferentes grabados y tramas que se necesitan para el proceso final de Flexo-Impresión.

6.1.5 Montaje: Exactitud y precisión. Los clisés o cireles adecuadamente acabados, son medidos en espesor para ver su uniformidad. Visto esto, se procede a la colocación de los mismos en los cilindros o camisas a usarse en las máquinas flexográficas. La precisión de éstos debe ser total, el mínimo error podría causarnos una mala sincronización de colores al momento de la impresión.

6.1.6 Matizado: Poniéndole color a la vida. El matizador es la persona encargada de proporcionar la tinta en los colores y tonalidades necesarios, mediante el uso de las pantoneras y colorímetros debidamente calibrados. A su vez, determina que tinta es la más apropiada para su utilización, con respecto a productos de impresión interna o externa.

6.1.7 Flexo - Impresión: Tecnología y destreza. Esta es la última etapa en cuanto a impresión se refiere, para ello contamos con flexo-impresoras de cuatro, seis y hasta ocho colores que complementadas con el personal calificado nos permiten entregarle un producto de la más alta calidad de imagen en el menor tiempo posible.

6.1.8 Control de calidad: Exigencia al 100%. El minucioso control que es aplicado en los diferentes procesos de producción. La experiencia obtenida a través de los años, es la base para garantizarle una óptima calidad en sus productos.

6.1.9 Laminado: Uniendo nuestras fuerzas. Una vez que el producto impreso es destinado a esta área, se procede al laminado, que es la unión de dos o más láminas, por lo general una lámina impresa con otra(s) sin impresión mediante un adhesivo. Una vez pegados, el producto debe estar en reposo por un tiempo mínimo de tres días, para asegurar así la perfecta adhesión entre éstas láminas.

Un envase laminado posee varias virtudes, como por ejemplo: mayor resistencia en el uso, prolongado tiempo de conservación del producto envasado, etc.

6.1.10 Corte: Proporciones justas a su medida de trabajo. Los rollos de los productos en proceso salidos de extrusión, impresión y laminado, son llevados a esta área para darle la medida final en el ancho, sentido, tensión de corte y diámetro exacto; además se corrigen otros defectos que pueda presentar el producto final, llámese mala tensión, encartuchamiento y telescopio.

6.1.11 Sellado: El toque final. Este es el último proceso a realizarse, la capacidad instalada para sellar diferentes tipos de materiales, la variedad de selladoras para diferentes tipos de sellos (fondo, lateral, parche con troquel, T-shirt, etc.) y selladores debidamente capacitados, garantizan que el producto será entregado, según los requerimientos establecidos, tanto en cantidad como en calidad.

Un método para fabricar productos biodegradables con una estructura espumosa por soplado, en donde una masa que comprende por lo menos polímeros naturales como almidón se pasan, bajo presión, por el interior o a través de un molde y se calienta la masa en el molde de una forma tal que se aumente el

volumen por lo menos de la reticulación de los polímeros naturales, mientras que la masa, antes de su introducción en el molde, tiene una temperatura que esta por debajo de la temperatura de gelatinización y, dentro del molde, se lleva por lo menos a la temperatura de cocción (www.enfasis.com).

6.2 Clasificación de polímeros biodegradables: En general los polímeros biodegradables obtenidos de fuentes renovables pueden dividirse en tres categorías principales de acuerdo a su origen y producción.

6.2.1 Categoría 1: Polímeros obtenidos a partir de fuentes renovables como ser biomásas. Polímeros directamente obtenidos a partir de biomásas Los polímeros encontrados dentro de esta categoría son los extraídos a partir de animales y plantas marinas y a partir de la agricultura. Ejemplos típicos de estos polímeros son polisacáridos tales como celulosa, almidón, goma y quitosan.

❖ **Polisacáridos:** Debido a la abundancia de los polisacáridos en la naturaleza estos polímeros han sido usados para preservar y extender la vida útil de frutas, vegetales, frutos de mar, y carnes. Los polisacáridos son elementos estructurales en las paredes celulares de bacterias y plantas. Los polisacáridos de principal interés son celulosa, almidón, gomas y quitosan.

❖ **Almidones y derivados:** Los almidones son polisacáridos que se encuentran en plantas, y pueden ser usados en una variedad de procesos industriales. Como materiales de envases, los almidones necesitan ser tratados con plastificantes para crear láminas con buenas propiedades mecánicas. Almidones con compuestos químicos tales como glicerol y sorbitol se están usando en el mercado. La máxima desventaja es que son frágiles e hidrófilos.

❖ **Celulosas y sus derivados:** La celulosa es uno de los polímeros más viejos usados en packaging.

La forma más usada de la celulosa en packaging es el papel y el cartón. La celulosa es un material barato, pero la producción de láminas a partir de la celulosa como el celofán es complicada dado que produce desechos que son tóxicos para el medio ambiente y las láminas son hidrófilas. El celofán se degrada antes de derretirse y no puede ser sellado. Muchas variantes de celofán son comercializadas, pero solo el acetato de celulosa es usado en packaging.

- ❖ **Chitin/Chitosan:** El chitin es una macromolécula natural que se encuentra en el esqueleto de los invertebrados y representa el polisacárido más abundante en la naturaleza después de la celulosa. El chitosan tiene un número de usos en packaging, por ejemplo láminas de cobertura. Láminas obtenidas de chitosan tienen muy buena barrera a los gases pero son más difíciles de degradar y son sensibles a la humedad. Láminas fabricados de chitosan, celulosa y polycaprolactone se han usado en envases de atmósfera modificada.

- ❖ **Proteínas:** Animales y plantas pueden usarse como fuentes de proteínas. Las proteínas son consideradas copolímeros de aminos ácidos ubicados al azar donde las cadenas laterales son fácilmente modificadas mediante manipulación química. Proteínas de animales como el colágeno, la caseína y la keratina han sido usadas por muchos años. El colágeno es una proteína estructural de tejido animal y es uno de los principales termoplásticos biodegradables o filmes comestibles. Las láminas hechas de colágenos no son tan fuertes como las de celofán, pero tienen propiedades mecánicas razonables. Estas láminas son usadas en embutidos dado que producen una adecuada protección a la carne por tener buena barrera al oxígeno y a la humedad. La keratina es la proteína mas barata obtenida de desechos pero es la mas difícil de procesar. La keratina no es soluble en agua, lo cual la hace interesante para mezclar con otros polímeros. Proteínas de plantas tales como

glúten, soja, y maíz son también usadas para producir materiales de envases principalmente debido a su excelente barrera a los gases.

El principal problema de estos materiales es que son hidrófilos. Las proteínas pueden ser modificadas químicamente, lo que hace que sean usadas en numerosas aplicaciones. Y en la actualidad, nuevos materiales poliméricos a partir de soja están siendo desarrollados.

6.2.2 Categoría 2: Polímeros manufacturados mediante síntesis clásica a partir de materiales renovables. Polímeros manufacturados mediante síntesis clásica a partir de materiales renovables En general, mediante síntesis clásica se pueden producir una variedad de poliésteres. Poliéster biodegradables como Poli(láctidos) (PLA), poli(ácidos glicoles) (PGA), poli(caprolactones) (PCL), y copolímeros de estos han sido fundamentalmente producidos para aplicaciones biomédicas. En teoría, todos los materiales convencionales derivados de aceite mineral pueden ser producidos mediante polímeros renovables obtenidos mediante fermentación.

Hasta ahora solo un par de estos polímeros han sido producidos en forma económica. El principal poliéster biodegradable producido en cantidades comerciales es PLA. Otro polímero que puede pasar esta barrera y convertirse en el siguiente poliéster biodegradable para consumo comercial es el Bionolle™, si bien en este momento su costo de producción es muy alto para producirlo en cantidades comerciales.

❖ **Poli (láctico ácido) (PLA):** PLA es producido por polimerización de monómeros de ácido láctico (LA), el cual es principalmente obtenido por fermentación de dextrosa de maíz. Polimerización a través de “lactide formación,” patentado por Cargill Inc., en 1992 es el método principal de producción de PLA en grandes cantidades. En este método, D- ácido láctico, L-

ácido láctico o una mezcla de estos dos es prepolimerizado para obtener un poli (láctico ácido) de peso molecular intermedio.

Posteriormente este es catalíticamente convertido en estereoisómeros de láctido. Después de la destilación al vacío de los láctidos, Poli(láctido) de alta pureza óptica y con una unidad constitucional de $-[\text{OCH}(\text{CH}_3)\text{CO}-\text{O}-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CO}]-$ es formado a partir de la apertura de los láctidos. PLA es un poliéster con alto potencial para aplicaciones en envases y con un amplio rango de oportunidades. Polímeros hechos de PLA pueden ser procesados por inyección, extrusión, moldeo, y termoformado.

6.2.3 Categoría 3: Polímeros producidos por microorganismos o genéticamente modificados. Polímeros producidos por microorganismos o genéticamente modificados Poly(hydroxyalkanoates) (PHAs): Polímeros hechos de PHAs son producidos en las células de las plantas y son sintetizados mediante fermentación bioquímica y fermentación de otras fuentes de polímeros naturales. Poly(3-hydroxybutyrate) (PHB) y los copolímeros poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) (PHBV) son producidos comercialmente mediante el nombre de Biopol®. PHBV copolímeros son producidos para usar en contenedores de aceites, láminas y botellas. PHB es un termoplástico altamente cristalino. PHA es un elastómero con bajo punto de fusión y bajo grado de cristalinidad. PHA tiene alta barrera al agua.

Entre los polímeros biodegradables mencionados en este artículo que se usan hoy en día en la industria del envase se pueden mencionar el celofán, el colágeno en los filmes de embutidos, los polímeros polilácticos, el PHB y sus copolímeros. Los demás polímeros biodegradables obtenidos a partir de almidón, proteínas, y polisacáridos todavía no han llegado a ser producidos comercialmente en cantidades masivas pero están siendo intensamente investigados. Finalmente, los polímeros poliláctidos son un claro ejemplo de como materiales obtenidos a partir

de fuentes renovables pueden ser usados en la industria del envase a un costo competitivo y con beneficios para al medio ambiente (www.materiales.eia.edu.co).

6.3 Procesos a pequeña escala

6.3.1 Plásticos a partir de plantas modificadas genéticamente (Biofactorías)

En ocasiones los costos de producción de bioplásticos en bacterias son altos debido a que los ingredientes que requieren las bacterias para nutrirse y producir los polímeros son caros. Los costos se elevan aún más al incluir el gasto de las instalaciones y el equipo necesarios para mantener los cultivos bacterianos. Impulsados por la necesidad de conseguir nuevas fuentes renovables de materia prima para la producción de plástico, los científicos pusieron en marcha distintos proyectos de investigación en plantas.

Fue así que se identificaron los genes de las bacterias que llevan la información para fabricar PHA y se les transfirió a distintas plantas mediante técnicas de ingeniería genética. Estas plantas producirían bioplásticos en grandes volúmenes, a partir de su propia fuente de nutrientes (como almidón y ácidos grasos), lo que reduciría significativamente los costos.

Los primeros intentos para producir PHA en plantas se realizaron en *Arabidopsis thaliana*, planta modelo utilizada en estudios de genética vegetal. Se tomaron los genes de la bacteria *Alcaligenes eutrophus* que producen polihidroxibutirato (PHB), un polímero del tipo PHA y se insertaron en la *A. Thaliana*. La planta logró producir bioplástico, pero en muy bajas concentraciones. Posteriormente, los investigadores lograron aumentar 100 veces la concentración de PHB induciendo su producción en los plástidos. En este caso, se observó que la producción de bioplástico no afectó a las plantas en su crecimiento, ni en otras características o funciones (contenido de clorofila, presencia de flores, etcétera).

Se realizaron otros ensayos en soja, canola, maíz, algodón, alfalfa y tabaco. Los resultados demuestran la posibilidad de producir PHA en plantas en volúmenes atractivos para la industria, sin requerir instalaciones especiales, y sin generar efectos nocivos en los vegetales. Se espera que en el futuro, una misma planta de colza pueda producir plástico, alimento y aceite.

Desafortunadamente, la producción de bioplásticos, como el PHA y el PLA aún es más cara que la obtención de los plásticos convencionales y por eso no se ha generalizado su uso. Pero los bajos precios de los plásticos tradicionales no reflejan su verdadero costo si se considera el impacto que tienen sobre el medio ambiente.

Actualmente, existen varios procesos desarrollados para la producción de PHA por Fermentación a partir de sustratos económicos: en Brasil se producen a partir de melaza de caña, y en Estados Unidos y Corea a partir de varios sustratos de origen vegetal (www.faculqyb.usach.cl).

6.3.2 Bioempaques a partir de almidón de yuca

Esta es la primera vez que se reporta la producción de un biopolímero termoplástico de almidón agrio de yuca. La investigación fue desarrollada por Héctor Samuel Villada, Profesor Asociado de la Universidad del Cauca como tesis de grado para obtener su título de doctorado (Ph.D.) bajo la dirección del Profesor de la Universidad del Valle Harold Acosta Zuleta del Grupo de Investigación en Ciencia y Tecnología de Biomoléculas de Interés Agroindustrial – CYTBIA³, del cual también pertenecen estudiantes de las Universidades del Valle, del Cauca y Nacional de Palmira y un estudiante del SENA, quienes realizaron sus respectivas tesis de grado y práctica sobre temas paralelos.

³ Centro y Tecnología de Biomoléculas de Interés Agroindustrial. Universidad del Valle.

En el proyecto se extrajo el almidón de la yuca mediante los procesos tradicionales. Se peló el tubérculo, se molió y se extrajo el almidón que luego de sedimentarse, se pasó a unos tanques fermentadores, durante 20 días. El almidón fermentado se secó al sol y luego se mezcló con agua y otras sustancias plastificantes de origen natural, que facilitan el deslizamiento de las moléculas del almidón y se llevó a una máquina extrusora. De allí se obtuvieron cintas extruidas que luego se transformaron en pequeñas 'lentejas', al igual que los polímeros normales. Este es un producto precursor o materia prima para la manufactura de bioplásticos finales.

El biopolímero obtenido con base en almidón comparte algunas características con los elaborados con derivados del petróleo. La mayor diferencia entre el plástico que actualmente se fabrica y el producido con base en almidón de yuca es que el segundo es completamente biodegradable, lo que quiere decir que su uso como empaques no es mayor a un año, a partir de su producción.

Otra diferencia es que las cintas extruidas, recién producidas y por un periodo de un mes, son extensibles, es decir que pueden estirarse y de inmediato recuperan su forma, lo cual se conoce como 'memoria' del polímero (www.materiales.eia.edu.co/).

6.3.3 Producción de PHA en plantas

Las plantas serían la alternativa ideal para la producción de biopolímeros, debido a la posibilidad de cultivarlas en grandes cantidades utilizando la fuente de energía más económica que existe: la luz solar. Se han logrado introducir y expresar los genes bacterianos necesarios para la síntesis de PHA en plantas de cultivo, lográndose obtener pequeñas cantidades de polímero.

Sin embargo, para poder utilizar plantas para la producción de PHA es necesario solucionar una serie de problemas. Por ejemplo, el metabolismo vegetal está altamente compartimentalizado, lo cual complica la tarea, ya que es necesario que los genes *pha* se expresen en el compartimiento celular que contiene la mayor concentración de acetil-CoA, y al mismo tiempo impedir que se vea afectado el crecimiento de la planta (www.materiales.eia.edu.co/).

6.4 Procesos a gran escala

6.4.1 Producción de los polihidroxicanoatos

Los polihidroxicanoatos (PHAs) son poliésteres de origen bacteriano que se acumulan en gránulos intracitoplasmáticos y poseen propiedades termoplásticas y elastómeras. A diferencia de los plásticos derivados del petróleo, son biodegradables y se producen a partir de sustratos renovables, pero su costo es aún demasiado elevado. Una de las estrategias utilizadas para abaratarlos es la utilización de sustratos de costo bajo o nulo, tales como los residuos agroindustriales. Donde se propone el uso de una cepa de *Escherichia coli* recombinante construida en laboratorios que expresa los genes *pha*. La cepa recombinante produce PHA a partir de lactosuero, un desecho agroindustrial contaminante. Con el fin de optimizar el diseño de la cepa productora, se analizará el efecto de la acumulación de PHA sobre el metabolismo de las recombinantes, utilizando métodos que permitan monitorear la expresión génica, tales como DNA arrays. Paralelamente, se estudiará el efecto en la producción del polímero de genes que codifican para proteínas asociadas a los gránulos de PHA analizando recombinantes conteniendo diferentes combinaciones de genes *pha*.

A partir de estos datos se diseñará la cepa recombinante más adecuada para su utilización en un proceso industrial. La optimización de la producción del PHA por fermentación se realizará mediante diseños experimentales estadísticos, utilizando fermentadores hasta 40 litros (Hagenmaier, y Shaw, P. E. 1990).

6.4.2 Producción de PHA en microorganismos

Para poder desarrollar un proceso de producción de PHAs mediante fermentación utilizando microorganismos es necesario optimizar el rendimiento y la facilidad de purificación del polímero, y fundamentalmente abaratar el costo de los sustratos utilizados para su obtención.

Los primeros procesos desarrollados para la producción de PHA en microorganismos se realizaron mediante fermentación utilizando a la bacteria *Ralstonia eutropha*, la cual es capaz de producir PHB a partir de glucosa, o polihidroxibutirato-valerato (PHBV) a partir de glucosa y propionato, sustratos cuyo alto costo incidía en el precio final del polímero obtenido (Hagenmaier, y Shaw, P. E. 1990).

6. 4.3 Producción de PHA en *Escherichia coli* recombinante

Los productores naturales de PHA, como *Azotobacter* sp., se han adaptado a la acumulación de estos polímeros durante la evolución, pero normalmente tienen un tiempo de generación largo y temperaturas de crecimiento relativamente bajas. Además, son difíciles de lisar y poseen enzimas que degradan el polímero acumulado. Estas características dificultan su uso en la producción industrial de los biopolímeros. Entre las cepas bacterianas comúnmente utilizadas en procesos biotecnológicos, *E. coli* es el microorganismo mejor conocido, ya que su metabolismo ha sido extensivamente estudiado y caracterizado. Debido a esto, es un microorganismo modelo, ideal para su uso en fermentaciones.

Además, debido al gran número de herramientas disponibles para realizar manipulaciones genéticas, es el organismo adecuado para realizar ensayos previos al traspaso de los genes a plantas. *E. coli* no posee la capacidad de sintetizar o degradar PHA pero crece rápido y es fácil de lisar. Se han expresado los genes *pha* de varias especies bacterianas en *E.coli*, obteniéndose buenos rendimientos del polímero.

Asimismo, al no poseer enzimas que degraden a los PHA, permite la acumulación de polímero de alto peso molecular. Los genes necesarios para la síntesis de PHB de *Azotobacter* sp. FA8, *phaB*, *phaA* y *phaC*, han sido clonados y caracterizados en el laboratorio y transferidos a una cepa de *E. coli* adecuada para la producción del polímero.

Para lograr una buena acumulación del polímero en *E.coli* recombinante es necesario utilizar vectores de expresión estables con un alto número de copias, pues uno de los mayores desafíos del sistema es la expresión estable y sostenida de los genes *pha*. Para esto, se construyó un plásmido recombinante introduciendo los genes *pha* de *Azotobacter* sp FA8 bajo la regulación del promotor lactosa en un vector de expresión de alto número de copias. Este plásmido se transfirió a *E. coli* y permitió la obtención de PHB en la cepa recombinante a partir de glucosa. La cepa utilizada también degrada lactosa, por lo que se analizó la producción del polímero utilizando lactosa y también lactosuero en un medio salino, obteniéndose una buena cantidad de polímero en ambos casos.

En este momento se están realizando las pruebas piloto para aumentar la escala del proceso, con el objeto de desarrollar un proceso económicamente atractivo de producción del polímero, ya que el medio de cultivo utilizado solamente contiene sales y lactosuero, un desecho de la industria lechera, como fuente de carbono. La utilización del lactosuero tiene una ventaja adicional, ya que se trata de un desecho contaminante cuya eliminación adecuada involucra un costo elevado. Su utilización como sustrato de una fermentación cuyo producto es una sustancia con un buen valor económico implica entonces un doble beneficio (Hagenmaier, y Shaw, P. E. 1990).

6.4.4 Polixidroxicanoato (PHA) y Polixidroxibutirato (PHB)

El PHA es un polímero biodegradable obtenido naturalmente en ciertos microorganismos cuando estos experimentan ciertas y peculiares condiciones ambientales.

Por ejemplo la bacteria *Alcaligenes eutrophus* crea gránulos internos de PHA cuando está en contacto con grandes concentraciones de carbono (azúcares) y carece de otros nutrientes esenciales como el nitrógeno. Dicho gránulo ejerce de almacén energético para la célula, que lo puede reconvertir en material carbonado cuando las condiciones ambientales varían. El PHA existe en muy diversas maneras, cada una de las cuales tiene pequeñas diferencias. Su forma más simple es el polihidroxibutirato, o PHB. El PHB fue descrito por vez primera en 1923 por Lemoigne. Más tarde Lemoigne caracterizó químicamente el PHB y observó que estaba involucrado en la esporulación de algunos bacilos.

Por otro lado, el PHB resulta ser un termoplástico con características muy similares a las del polipropileno: es un polímero frágil, cristalino y con un alto punto de fusión, que a pesar de tener una menor resistencia a la disolución, tiene un comportamiento óptimo ante la luz ultravioleta.

Hasta el momento el PHB ha tenido un mercado reducido, y su demanda ha estado dirigida por legislaciones medioambientales. La compañía MONSANTO produce una mezcla de PHB y polihidroxivalerato (Biopol®) con muy buenos resultados en la medicina. Recientemente, Metabolix (Cambridge, Mass) ha obtenido licencias de patentes del MIT⁴ sobre la inserción de genes para la producción de las enzimas claves en el mecanismo de producción de PHB en bacterias y cereales transgénicos.

⁴ Instituto de Tecnología de Massachussets

En los últimos años se han usado diferentes técnicas para desarrollar polímeros completamente biodegradables derivados de fuentes renovables. Los nuevos biopolímeros son derivados a partir de polisacáridos, proteínas, lípidos, polifenoles, y algunos polímeros especiales son preparados a partir de bacterias, hongos, plantas y animales (Evans, J. D. y Sikdar, S. K. 1990).

6.4.5 Preparación de artículos biodegradables a partir de trans-polímeros y sus mezclas con otros componentes biodegradables tales como el almidón.

Las películas, fibras, materiales espumados y látex fabricados a partir de estos trans-polímeros, o mezclas de estos trans-polímeros con otros componentes biodegradables tales como el almidón, tienen un gran número de usos en productos en los que se desea la biodegradabilidad (Hoyos R. M. y Urrego L. 1997).

Las películas, fibras, materiales espumados y tejidos no tejidos preparados a partir de los polímeros y mezclas tienen una utilidad particular en artículos absorbentes desechables.

Los componentes de artículos absorbentes que se pueden fabricar a partir de los polímeros y mezclas incluyen capas soporte; capas superiores, cintas de sujeción, cintas frontales para enganchar, adhesivos para aplicarse en estado fundido usados para ligar estos varios componentes uno con otro, protectores de fugas usados en la parte delantera y trasera de la cintura (en pañales), componentes absorbentes del núcleo tales como fibras y capas absorbentes no tejidas, y materiales de envasado para estos artículos.

Estos trans-polímeros o mezclas también son útiles para dispositivos de transporte que comprenden una pluralidad de secciones anulares conectadas en los que cada sección anular es capaz de asegurar un recipiente que se puede desprender,

tal como una botella o una lata. Comúnmente, estos recipientes de transporte se denominan "anillos de seis envases", aunque el dispositivo de transporte puede típicamente comprender de dos a doce de tales anillos anulares, mas típicamente de cuatro a seis anillos.

Estos trans-polímeros o mezclas además, se pueden usar como cubiertas temporales del suelo y son especialmente útiles como cubiertas orgánicas para agricultura. Típicamente, estas cubiertas para el suelo están en forma de películas o laminas que se extienden o se aplican de cualquier otra forma al suelo que se ha de cubrir. Las cubiertas de suelos fabricadas de mezclas de estos trans-polímeros con almidón pueden ser particularmente deseables, ya que la cubierta debe desintegrarse relativamente rápidamente, biodegradándose por último completamente el trans-polímero residual.

Los trans-polímeros o mezclas se pueden usar como materiales de envasado biodegradables para envolver diversos productos. Estos incluyen productos comestibles tales como alimentos y bebidas.

Los materiales de envasado fabricados de mezclas de estos trans-polímeros con almidón pueden ser particularmente deseables, ya que estos materiales se desintegraran bastante rápidamente si se desechan impropriadamente como basura desperdigada y finalmente se biodegradaran completamente.

Estos trans-polímeros o mezclas también se pueden usar para suministrar plaguicidas, agentes repelentes de insectos, y herbicidas. Por ejemplo, cuando se mezclan con plaguicidas adecuados y se conforman en tiras, estos polímeros pueden formar "collares contra pulgas" biodegradables. Mezclas similares conformadas en etiquetas con un dispositivo de unión adecuado pueden formar etiquetas biodegradables para las orejas usadas en el ganado para repeler moscas y otros insectos.

Los polímeros y mezclas son adecuados para usar como fibras o filamentos en materiales no tejidos. Estos trans-polímeros o mezclas se pueden convertir en fibras o filamentos mediante técnicas de hilado en masa fundida.

Las fibras bicomponentes se refiere a fibras termoplásticas que comprenden una fibra núcleo fabricada de un polímero que esta envainado dentro de una vaina termoplastica fabricada de un polímero diferente. Con frecuencia, el polímero que comprende la vaina funde a una temperatura diferente, típicamente menor, que la del polímero que comprende el núcleo. Como resultado, estas fibras bicomponentes pueden proporcionar un ligado térmico por fusión controlada del polímero de la vaina, a la vez que retienen las características de resistencia deseables del polímero del núcleo.

Las fibras fabricadas a partir de los polímeros y mezclas se pueden conformar en telas no tejidas mediante un número de procedimientos para proporcionar tejidos ligados por hilado y tejidos fabricados usando fibras cortadas.

Estos polímeros o mezclas también se pueden usar para fabricar plásticos espumados biodegradables. Estos incluyen recipientes espumados, y componentes espumados para el envasado.

El plástico espumado se puede fabricar mezclando el polímero o mezcla con un agente de soplado adecuado tal como pentano, y a continuación calentando para volatilizar el agente de soplado.

Típicamente, también se emplea un tensioactivo adecuado para estabilizar la interfase aire-liquido.

Los látex fabricados a partir de estos trans-polímeros o de estas mezclas son útiles para revestimientos y/o estratificados biodegradables tales como los usados para preparar papel satinado (Hoyos R. M. y Urrego L. 1997).

6.5 Empresas que actualmente fabrican empaques biodegradables

Las empresas internacionales fabricantes de empaques biodegradables están orientando sus esfuerzos en investigación y desarrollo hacia materiales producidos a partir de recursos renovables como alternativa a los combustibles fósiles, y utilizando como modelo el ciclo del carbono que se da en la naturaleza. Si hasta ahora los esfuerzos empresariales en este ámbito se concentraban sobre todo en Europa, Japón y USA, han comenzado a surgir empresas muy activas también en Australia, Brasil, Canadá, China, Corea, India y Taiwán. Respecto a los años anteriores, el incremento de la capacidad productiva ha causado un gran crecimiento relativo de su aplicación en la industria del envasado (www.enfasis.com).

AMC (Agroindustrial Management & Consulting) es representante para Colombia de la empresa inglesa Symphony Environmental Limited, pionera en el desarrollo y comercialización de empaques flexibles d²W 100% biodegradables, y de aditivos pro-biodegradantes (www.quimicaviva.qb).

La empresa Spay Nou Plàstic S. L. Ubicada en Barcelona – España, está dedicada a la fabricación, extrusión y comercialización de empaques plásticos, ecológicos, Biodegradables, reciclables y no contaminantes (www.quimicaviva.qb).

Bioplastic, crea envases y empaques biodegradables para competir contra el empaque regular, ya que puede ser mas barato y no contamina el ambiente en lo absoluto (www.hcdn.gov).

Caledonian, ubicada en Gran Bretaña fabrica embalajes biodegradables a partir de Semillas de maíz, utilizando procesos de extracción y extrusión (www.maizar.org).

Cerca de 40 fabricantes de plásticos biodegradables han decidido colaborar creando la **International Biodegradable Product Manufacturers Association (IBPMA)**. Su objetivo es promocionar los productos (empaques, embalajes, envases, entre otros) biodegradables y representar a la industria en los foros e instancias institucionales y gubernamentales. El presidente es Jyrki Hakola, que anteriormente era responsable de la promoción de plásticos biodegradables en Nestle, después integrada en Boreales (www.plastunivers.com).

Las empresas argentinas productoras de Plásticos y empaques biodegradables son **UNIPET S.A.** en Quilmes (Buenos Aires), con una capacidad instalada de 5.000 ton/año y **MAFISA S.A.** en Olmos (Buenos Aires) con 3.000 ton/año. En 2006 se importaron 69.302 toneladas, el 70% desde México, Brasil y EE.UU. (www.taller.org.ar).

En carvajal, las empresas líderes tienen como referentes competitivos los estándares y las tendencias internacionales; por ello contratan estudios con Benchmark con empresas extranjeras; en el caso de los empaques, se encuentran alianzas con empresas transnacionales; tal como **Comolsa** quien está asociada con **Chinet Co.** De Estados Unidos, **Hortman Brothers** de Dinamarca Y **Promolca Ca.** De Venezuela, para producir empaques de pulpa moldeada de bajo costo, livianos y biodegradables. Estas empresas tienen una alta vocación exportadora y además tienden a utilizar tecnologías de última generación. (www.taller.org.ar).

7. PRODUCTOS DESARROLLADOS COMO EMPAQUES BIODEGRADABLES

El empaque, cualquiera que este sea, debe garantizar la estabilidad del alimento y asegurar los procedimientos seguidos para prolongar su vida útil. Una vez utilizado debe permitir sus integraciones en el medio ambiente.

7.1 Películas poliméricas comestibles

Se definen como una cubierta de material comestible que se aplica sobre un alimento mejorando su apariencia, siendo una efectiva barrera a la transmisión de gases, vapores y solutos; solucionando problemas de migración de humedad, oxígeno, dióxido de carbono, aromas y aceite (al alimento en frituras).

También pueden prevenir el encogimiento del producto por cocción y pueden contribuir a la textura y apariencia final del producto. En algunos casos pueden ser utilizados como transportadores de antioxidantes, antimicrobianos, saborizantes, etc. Son de composición heterogénea las cuales pueden ser ingeridas sin riesgo para el consumidor y que le aportan algunos nutrientes tales como: proteínas, almidones hidrolizados, gomas, pectinas, carragenanos, alginatos, entre otros.

Dentro de las películas poliméricas comestibles tenemos:

- Films de celulosa modificada para envases de dulces, chocolates y productos de panadería.

- “Edilson – M” y “Methocel”, es una película elaborada a partir de hidroxipropil celulosa. Actúa como buena barrera en aceites y grasas.
- “Cozeen” es una mezcla de zeína, soya y semilla de aceite de algodón como acetoglicéridos, glicerol, ácido cítrico y antioxidantes en un solvente de agua y alcohol. La película es resistente, transparente, brillante e insoluble en agua. Puede ser aplicada por aspersión o inmersión.
- “Alkozeen” es un producto similar al “Cozeen”, pero no contiene acetoglicéridos. Estas cubiertas fueron usadas en el programa Apollo.

Así mismo existen una gran variedad de mezclas que poco se han reportado en la literatura y que su uso está restringido a la promoción de casas comerciales que las venden (Chen, H. 1995).

7.2 Películas poliméricas biodegradables

Son aquellas que se elaboran con sustancias de origen natural, de composición heterogénea, de tal manera que en un proceso de compostaje se transforman en compuestos de menor complejidad, es decir, sufren despolimerización. Mas adelante continúan su proceso de degradación hasta llegar a sus componentes más elementales, esto es, sufren mineralización (Conversión a $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{sales minerales}$).

El desarrollo de películas biodegradables permite minimizar el impacto ambiental de los materiales de envase sintéticos. Las películas se diseñan para combinar las ventajas de los componentes individuales. Sus propiedades mecánicas y de barrera dependen de las características de los polímeros constituyentes y de su compatibilidad, determinando sus aplicaciones potenciales (Chen, H. 1995).

- Films de PLA (Ácido poliláctico) para envasar productos frescos: frutas y verduras, quesos y productos de panadería.

- Bandejas termoformadas rígidas de PLA cristal con tapa, para productos de confitería, pastas frescas y otros productos frescos (ensaladas y ensaladas de fruta, etc.).
- Botellas de PLA para agua mineral y productos lácteos.
- Envases de PLA para CDs y componentes electrónicos.
- Films biodegradables sobre la base de almidón, con macro y microperforaciones para permitir la respiración de frutas y vegetales envasados.
- Films de Ecoflexâ (BASF) (poliésteres biodegradables) para bolsas de residuos orgánicos.
- Envases de frutas, ensaladas, hortalizas frescas y productos congelados.
- Films de mezclas de Ecoflex ® con PLA y almidón, para envasado de alimentos con atmósfera modificada (MAP), etc.

8. IMPACTO DE LOS EMPAQUES BIODEGRADABLES EN LOS SISTEMAS AMBIENTALES

La conciencia por la preservación del medio ambiente es una cuestión que va ganando terreno a nivel global. Las presiones por un “ambiente más sano” son especialmente visibles a partir de las acciones emprendidas por organizaciones ambientalistas que se tornan cada vez más atractivos para los consumidores. Por lo tanto, la protección del medio ambiente requiere de la utilización de materiales biodegradables. Siendo el plástico un claro ejemplo de material cuya biodegradación es cada vez más necesaria (Evans, J. D. y Sikdar, S. K. 1990).

Hoy día es un hecho que las reservas de petróleo se agotan y que su precio aumenta, y que la contaminación ambiental debida a los residuos plásticos alcanza niveles preocupantes. En búsqueda de una solución a los problemas ambientales que originan los plásticos se han desarrollado plásticos biodegradables a partir de materias primas renovables, derivadas de plantas y bacterias. Los empaques biodegradables causan poco impacto en los sistemas ambientales debido a que no consumen árboles para obtener la celulosa y que no existe consumo ni contaminación del agua; también porque estos productos no son sólo biodegradables, sino también compostables, lo cual significa que se descomponen biológicamente por la acción de microorganismos y acaban volviendo a la tierra en forma de productos simples que pueden ser reutilizados por los seres vivos, es decir que reingresan al ciclo de la materia.

Pero si se analiza la relación entre los envases biodegradables y la basura que es tirada fuera del circuito de recolección de residuos, llegamos a la conclusión que la biodegradación no es una solución al problema de los residuos por el

simple hecho que la biodegradación de los envases no es instantánea luego de desechado un envase. Un envase biodegradable no desaparece mágicamente cuando se arroja a la vía pública. La biodegradación de los biopolímeros lleva un tiempo considerable del orden de meses en condiciones adecuadas que favorezcan la biodegradabilidad. Además, la mayoría de los biopolímeros están diseñados para biodegradarse en condiciones de compostaje es decir en condiciones de humedad, cultivos de microorganismos, temperatura y mezclado.

Por lo tanto, si se adoptaran polímeros biodegradables las bolsas inadecuadamente dispuestas seguirían volando por la acción del viento durante muchos meses de la misma manera que sucede hoy con la consiguiente frustración de funcionarios y ciudadanos que realizaron un importante esfuerzo en el eventual cambio. Existen opiniones en el sentido de que el uso de envases biodegradables podría incrementar al problema de residuos en las calles dado que en general la gente piensa que este tipo de plástico desaparecería rápidamente del ambiente. La solución para terminar con los residuos que vuelan por acción del viento es una correcta recolección con los elementos adecuados y su disposición final en rellenos sanitarios de correcto diseño y operación. En otras palabras terminar con los basurales a cielo abierto. Para prevenir el problema de contaminación se requiere una combinación de educación, cultura ambiental, compromiso ciudadano, concientización por el cuidado del medio ambiente y un gran respeto por las normas de urbanidad (www.enfasis.com).

CAPÍTULO II

9. CONCLUSIONES

- ❖ Los empaques sintéticos, comparados con los empaques naturales mejoran notablemente las propiedades, sobre todo la del ciclo de vida. Sin embargo, dado su extenso ciclo de vida se les considera un residuo y un problema ambiental muy importantes; su disseminación en el medio ambiente no sólo provoca molestias de orden estético, sino también entre otros daños.
- ❖ Los empaques biodegradables reducen el uso de combustible fósil (aceite, gas natural o carbón). Ahorran energía y pueden estar hechos de una gran variedad de plantas, por ejemplo: almidón del maíz, trigo o papas; son una oportunidad para la expansión de las actividades nacionales agrícolas (incluyendo la creación de puestos de trabajo). Sin embargo, la agricultura consume energía y agua, requiere espacio y tierra, y los cultivos necesitan el uso de fertilizantes químicos y pesticidas, los cuales no favorecen al medio ambiente.
- ❖ Se debe distinguir entre los plásticos naturales que son biodegradables, es decir, que se descomponen en sustancias simples como dióxido de carbono y agua por la acción de los microorganismos descomponedores que se alimentan de ellos, y los meramente biodestructibles. Estos están constituidos por polímeros sintéticos, derivados del petróleo que se procesan en refinerías, e incluyen mezclas de almidón. En este caso, lo único que se degrada en el medio ambiente es su componente de almidón pero el polímero sintético queda inalterable, ya que los microorganismos no tienen las enzimas necesarias para degradarlos.

- ❖ En los últimos años se han usado diferentes técnicas para desarrollar polímeros completamente biodegradables derivados de fuentes renovables. Los nuevos biopolímeros son derivados a partir de polisacáridos, proteínas, lípidos, poli fenoles, y algunos polímeros especiales son preparados a partir de bacterias, hongos, plantas y animales.
- ❖ Los plásticos biodegradables son una alternativa ante el inminente agotamiento del petróleo y la creciente acumulación de residuos de plástico en el planeta, pero todavía es caro producirlos. La principal ventaja de estos biopolímeros es que se biodegradan muy rápido, hasta un 80% en sólo siete semanas; La desventaja es que el proceso de elaboración es muy costoso: se calcula que producir por fermentación bacteriana un kilogramo de PHA cuesta 15 dólares, mientras que hacer un kilogramo de plástico convencional cuesta sólo un dólar. Esto se debe a que las bacterias requieren fuentes externas de alimento, como la celulosa.
- ❖ Para los empaques de aplicaciones generales, médicas y en gran escala como embalaje de alimentos, bebidas y productos descartables de hospital, la biodegradabilidad les quitaría la propiedad de inertes que los hace ideales para tales aplicaciones, porque evitan la contaminación y el contagio de microorganismos.
- ❖ Si los envases de plástico fueran sustituidos por envases biodegradables (papel) el volumen de residuos sería mucho mayor (porque el plástico es fácilmente compactable) y además el papel no podría biodegradarse totalmente debido a la falta de oxígeno y microorganismos adecuados en los rellenos sanitarios.
- ❖ Si los empaques biodegradables son vertidos en condiciones aeróbicas (debido a su compresión), no son convertidos en dióxido de carbono y agua, sino que producen gas metano, que muchas veces es más común que el dióxido de carbono como gas de efecto invernadero.
- ❖ Muchos productos han sido llamados biodegradables por sus productores sin ninguna justificación válida; hay muchas medidas estándar para medir la

biodegradabilidad, cada país cuenta con las suyas particulares; estas medidas están basadas en la aplicación de métodos y pruebas de laboratorio en condiciones específicas, mientras que las condiciones reales son variadas. Además estas medidas (incluyendo las ISO) se refieren a la degradación aeróbica, principalmente causada por el compostaje.

10. RECOMENDACIONES

- ❖ Para que se pueda considerar un crecimiento de los plásticos biodegradables se deben tener en cuenta cuatro factores:
 - La respuesta de los consumidores a los costes, que hoy día son de 2 a 4 veces más altos que para los plásticos convencionales.
 - La futura legislación.
 - El logro de la biodegradabilidad total.
 - El desarrollo de una infraestructura para recoger, aceptar y procesar plásticos biodegradables con el fin de eliminar residuos.

- ❖ Las basuras sólidas y las aguas residuales son dos de los problemas medioambientales más importantes de los hogares, ya que producen los mayores impactos cotidianos sobre el entorno. En este sentido, los consumidores pueden ayudar clasificando y controlando el contenido de la basura, además de adaptar sistemas de reciclado de las aguas grises y utilizar materiales naturales biodegradables que no presentan problemas de reciclado.

- ❖ En cuanto a los residuos no recolectados, tirados en las calles y en las aguas, habrá que generar programas de capacitación a fines de lograr un cambio de hábitos en la sociedad de consumo. Informar a los ciudadanos (población, funcionarios, empresarios, ámbito legislativo, educadores) sobre el nivel de contaminación de las aguas provocado por la conducta despreocupada de arrojar cuanto residuo se tiene en mano a las aguas más cercanas. De hecho, la comida es biodegradable y no por eso es una buena práctica arrojar sus residuos a la calle.

- ❖ Si bien los empaques biodegradables abrigan la esperanza de una capacidad de consumo desmedido, la mejor alternativa ambiental es la reducción, en particular evitando el embalaje excesivo y otros productos unidireccionales.

BIBLIOGRAFÍA

Benerjee, R. Y H. Chen. 1995. Propiedades funcionales de películas comestibles usando suero en proteína concentrada. *Sci*, 78: 1673 – 1683.

Colvin, R., “Biodegradable polymers make small-scale return,” MPI

Cortázar Jorge, Malagón Dionisio. 2001. Evaluación experimental de tres métodos de recuperación de polímeros biodegradables del tipo PHA's sintetizados por pseudomonas. Medellín. Trabajo de grado Universidad Nacional.

Chen, H. 1995. Propiedades de ingeniería de películas comestibles. NABEC Paper Nro. 9515, in Proc. EN Agr/Biolo. ENSR. Conf., ASAE.

Chen, H. 1995. Paquetes rápidos individuales de partículas de comida, usando envolturas de proteínas de leche. Paper Nro. 95-6168.

Chen, H. 1995. Avances recientes basados en recursos de películas comestibles. *J. Dairy Sci.* 78 (Suppl. 1): 107 (Abstr.).

Chen, H. 1995. Propiedades de viscoelasticidad de proteínas del suero basadas en películas comestibles: *Book of Abstracts*: 275.

Chen, H. 1995. Propiedades y aplicaciones funcionales de películas comestibles hechas de proteínas de leche. *J. Dairy Sci.* 78: 2563 – 2583.

Debeaufort, F., y Voilley, A. 1994. Componentes, aroma y vapor de agua, permeabilización de películas comestibles. *J. Agric. Food Chem.* 42: 2871 – 2875.

Debeaufort, F., y Voilley, A. y Meares, P., 1994. Vapor de agua, permeabilidad difundida a través de metilcelulosa en películas comestibles. *J. Membrana Sci.* En prensa.

Documento elaborado por Brussels Biotech, Galáctica SA, “Biopolymers as viable alternatives to common plastic materials”, Julio 17 de 2002.

Enciclopedia de Tecnología farmacéutica. Coaceveración. Vol 3, pag. 21 – 29, vol 5, pag. 319 Celulosa.

Evans, J. D., Y Sikdar, S. K. 1990. Plásticos Biodegradables: Una idea cuyo tiempo ha sido? *Chem. Tech.* 20: 38 – 42.

Evans, J.D., and Sikdar, S.K. 1990. Biodegradable plastics: An idea whose time has come? *Chem. Tech.* 20: 38-42.

Farouk, M. M. , Price, J. F., y Salih, A. M. 1990. Efectos de una película comestible de colágeno sobre envolturas, exudación y oxidación lipídica en carne asada. *J. Food Sci.* 55:1510 – 1512, 1563.

Feng, J., y Chen, H. 1995. Efectos de calefacción, temperatura, tiempo y solución pH sobre propiedades físicas de películas comestibles basado sobre proteína de suero.

Fleming, R. A. 1992. Use it more than once. *Chem. Tech.* 22: 333 – 335.

García – Rodenas. C. L., Cuq, J. L. and Aymard, Ch. 1994. Comparación of in – vitro proteolysis of casein and gluten as edible films or as untreated proteins. Food chemistry. 51: 275 – 280.

Gates, K. W., Eudaly, J. G., Parker, A. H., and Pittman, L. A. 1985. Quality and nutritional changes in frozen breaded shrimp stored in wholesale and retail freezers. J. Food Sci. 50: 853.

Gennadios, A., Weller, C. L., and Testin, R. F. 1993. Temperature effect on oxygen permeability of edible protein – based films. J. Food Sci. 58: 212 – 214, 219.

Gontard, N., Duchez, C., Cuq, J. L., and Guilbert, S. 1994. Edible composite films of wheat gluten and lipids: water vapour permeability and other physical properties. Int. J. Food Sci. Technol. 29: 39 – 50

Gontard, N., Guilbert, S. and Cuq, J. L., 1992. Edible wheat gluten films: influence of the main process variables on film properties using response surface methodology. J. Food Sci. 57: 190 – 199.

Hagenmaier, and Shaw, P. E. 1990. Moisture permeability of edible films made with fatty acid and (hydroxypropyl) methylcellulose. J. Agric. Food Chem. 38: 1799 – 1803.

Hosokawa, J., Nishiyama, M., Yoshihara, K., Kubo, t. And Terabe, A. 1991. Reaction between chitosan and cellulose on biodegradable composite film formación. Ind. Eng. Chem. Res. 30 (4): 788- 192.

Hoyos R, Margarita, Urrego Libia. 1997. Empaques y/o películas comestibles y biodegradables. Facultad de Química Farmacéutica. U de A. Pag. 8-107.

Kester, J. J. and Fennema, O. R. 1989. Resistance of lipid films to water vapor transmission. *J. Am. Oil Soc.* 66 (8): 1139 – 1146.

Kemper, S. L., and Fennema, O. 1985. Use of an edible film to maintain water vapor gradients in foods *J. Food Sci.* 50: 382 – 384.

Kester, J. J. and Fennema, O. R. 1989. An edible film of lipids and cellulose ethers: Barrier properties to moisture vapor transmission and structural evaluation. *J. Food Sci.* 54: 1383 – 1389.

Koelsch, C. M., and Labuza, T. P. 1992. Functional, physical and morphological properties of methyl cellulose and fatty acid – based edible barriers. *Lebensm. Wiss. U. Technol.* 25: 404 – 411.

Kopetz H., Weber T., Palz W., Chartier P., Ferrero G.L. (Eds.). 2000. Proceedings of the 10th European Conference Biomass for energy and Industry, C.A.R.M.E.N., Rimpfing, Würzburg, Germany, p. 446–449.

Mario Demicheli, "Plásticos biodegradables a partir de fuentes renovables," IPTS , vol 10. p. 33 - 36.

Martin – Polo, M., Mauguin, C., and Voilley, A. 1992. Hydrophobic. Films and their efficiency against moisture transfer. 1. Influence of the film preparation technique. *J. Agric. Food Chem.* 40: 407 – 412.

Maté, J. I., and Krochta, J. M. 1996. Whey protein coating effect on the oxygen uptake of dry roasted peanuts. *J. Food Sci.* 61(6): 1202 – 1206, 1210.

Mchugh, T. H. and Krochta, J. 1994. Permeability properties of edible films. Cap. 7. In edible coatings and films to improve food quality. J. M. Krochta, E. A.

Baldwin and M. O. Nisperos – Carriedo (Eds.), 139 – 188. Technomi Publishing, Co. Pennsylvania. USA.

Mchugh, T. H. and Krochta, J. M. 1994. Sorbitol vs. Glycerol – plasticized whey protein edible films: Integrated oxygen permeability and tensile property evaluation. *J. Agric. Food Chem.* 42: 841 – 845.

Mchugh, T. H. and Krochta, J. M. 1994. Dispersed phase particle size effects on water vapor permeability of whey protein – beeswax edible emulsion films. *J. Food Process. Preserv.* 18: 173 – 188.

Nelson, K. L., and Fennema, O. R. 1991. Methylcellulose films to prevent lipid migration in confectionery products. *J. Food Sci.* 56: 504 – 509.

Park, H. J., and Chinnan, M, S. 1995. Gas and water vapor barrier properties of edible films from protein and cellulosic materials. *J. Food Eng.* 25: 497 – 507.

Pearce F., “Dead in the water,” *New Scientist*, Febrero 4, 1995, p. 26

Documento elaborado por Brussels Biotech, Galáctica SA, “ Biopolymers as viable alternatives to common plastic materials”, Julio.

REFERENCIAS DE INTERNET

<http://www.wikilearning.com/biodegradabilidad-wkccp-17537-2.htm>. Revisado el 12 de febrero de 2007.

http://www.cce.org.mx/cespedes/publicaciones/revista/revista_2/biodegradabilidad.htm. Revisado el 12 de febrero de 2007.

<http://www.monografias.com/trabajos33/residuos-hospitalarios/residuos-hospitalarios.shtml>. Revisado el 16 de febrero de 2007.

<http://materiales.eia.edu.co/ciencia%20de%20los%20materiales/articulo-materiales%20biodegradables.htm>. Revisado el 22 de febrero de 2007.

<http://waste.ideal.es/plastico.htm>. Revisado el 24 de febrero de 2007.

<http://www.poscosecha.com/article.php?sid=66788>. Revisado el 28 de febrero de 2007.

<http://www.wikilearning.com/biodegradabilidad-wkccp-17537-2.htm>. Revisado el 5 de marzo de 2007.

http://www.eco-sitio.com.ar/ea_12_plasticos_biodegradables.htm. Revisado el 8 de marzo de 2007.

http://72.14.209.104/search?q=cache:Svw7ALByPzwJ:www.faculqyb.usach.cl/faculztad/profesores/villarroel/sem13.pdf+obtenci%C3%B3n+de+pol%C3%ADmeros+biodegradables&hl=es&ct=clnk&cd=17&gl=co&lr=lang_es. Revisado el 10 de marzo de 2007.

http://www.rec.uba.ar/ubacyt_2004-7/archivos/X134.doc. Revisado el 14 de marzo de 2007.

http://www.enfasis.com/packaging/seccion_historial_detalle.asp?ID=228. Revisado el 17 de marzo de 2007.

<http://www.observatoriplastico.com/publicaciones/IT-01.pdf>. Revisado el 20 de marzo de 2007.

[http:// www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar/v3n3/pettinari.pdf](http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar/v3n3/pettinari.pdf). Revisado el 25 de marzo de 2007.

[http:// www.hcdn.gov.ar/folio-cgi-](http://www.hcdn.gov.ar/folio-cgi-). Revisado el 30 de marzo de 2007.

<http://www.maizar.org.ar/2006/vertext.php?id=142>. Revisado el 3 de abril de 2007.

[http://www.plastunivers.com/Tecnica/ Hemeroteca /ArticuloCompleto.asp?ID=3894](http://www.plastunivers.com/Tecnica/Hemeroteca/ArticuloCompleto.asp?ID=3894). Revisado el 10 de abril de 2007.

[http:// www.taller.org.ar/Ciudades_sustentables /La%20industria%20plastica.pdf](http://www.taller.org.ar/Ciudades_sustentables/La%20industria%20plastica.pdf). Revisado el 18 de abril de 2007.