

117
20j



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**COMPORTAMIENTO DE UN COPOLIMERO PHB-PHV
FRENTA A DIFERENTES PRODUCTOS
ALIMENTICIOS**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A :
EDUARDO REYNA BARBOSA

MEXICO, D. F.

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

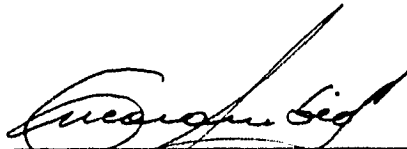
Jurado asignado:

Presidente: Prof. Malanco Covarrubias Fernando
Vocal: Prof. Marambio Dennet Eduardo
Secretario: Profra. García Charreton Alma Rosa
1er. Suplente: Prof. Padilla Ramírez Amando José
2do. Suplente: Prof. Cruz Gómez Modesto Javier

Sitio donde se desarrolló el tema:

Facultad de Química, U.N.A.M.

Laboratorio 4-D, Anexo.



M. en C. Eduardo Marambio Dennet
Asesor del Tema



Eduardo Reyna Barbosa
Sustentante

Í N D I C E

OBJETIVOS	6
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 El Plástico	8
1.2 Plásticos Sintéticos	9
1.3 Contaminación por desechos plásticos	11
1.4 Una opción contra la contaminación por desechos plásticos	13
2. RECICLADO VS BIODEGRADACIÓN	
2.1 Reciclado	15
2.2 Biodegradación	19
2.3 Legislación sobre biodegradación	24
2.4 Biodegradación en terraplén	25
2.5 Composteo	27
3. BIOPOL (PHB-PHV)	
3.1 Producción de biopol	29
3.2 Campo de aplicación	32
3.3 Biodegradación del biopol	35
4. DESARROLLO EXPERIMENTAL	
4.1 Materiales	38
4.2 Determinación de pérdida de peso y peso molecular	43
4.3 Análisis de resultados de pérdida de peso	45

4.4 Análisis de resultados de cambio de peso molecular	57
4.5 Compatibilidad con otros plásticos	65
4.6 Discusión de resultados	66
5. CONCLUSIONES	70
6. BIBLIOGRAFÍA	73

Agradezco ...

A mi Madre, por que me ha dado la más grande herencia que pude recibir, mi educación. Con respeto, admiración y cariño te digo Gracias.

A Maritza, por apoyarme y motivarme.

A mi Abuelita, por consentirme.

A mis Hermanos, por ser apoyo y ejemplo.

Al Mtro. Marambio, por darme la oportunidad.

A la Facultad, por brindarme la gran responsabilidad de responder por su nombre.

A mis Amigos, por ser eso, amigos.

Este trabajo lo dedico al amigo que se fue pero siempre estará conmigo, Miguel Burle Lomelí.

OBJETIVOS

1. Conocer las diferentes opciones que existen para enfrentar el problema de acumulación de residuos plásticos.

2. Analizar el comportamiento que tiene un copolímero comercial de poli(3-hidroxibutirato-co-3-hidroxivalerato) frente a diferentes productos alimenticios.

3. Evaluar la compatibilidad del PHB-PHV con otros plásticos usados en envases.

CAPITULO 1
INTRODUCCION

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 EL PLÁSTICO

La industria del plástico ha trabajado por décadas para crear materiales de larga duración. Además, los materiales plásticos tienen la ventaja de ser más ligeros y baratos que otros materiales como el aluminio y el vidrio.

El incremento del uso de envases plásticos redujo el volumen de botellas de vidrio y otros envases retornables. El 38.7% del total de la producción de plásticos en México se destina para envases, y de éste la mayor parte es para envasado de alimentos (Business México, Junio 1996).

Sin embargo, también la basura plástica ha ganado terreno en los basureros municipales. En respuesta a ello, la industria del plástico, legisladores y reguladores ambientales han buscado soluciones. El reciclaje del plástico ha sido plenamente promovido pero poco se ha logrado. Así mismo, se han promovido los materiales plásticos degradables, pero la mayoría de estos sólo se degradan bajo condiciones ambientales muy específicas.

1.2.- PLÁSTICOS SINTÉTICOS

La tendencia en la ciencia de los polímeros durante el último siglo ha girado alrededor del desarrollo de plásticos sintéticos que reemplacen los productos naturales existentes. Estos fueron creados para parecerse lo más posible a los materiales naturales: el nylon fue llamado "seda artificial" y el pvc plástico se volvió "tela de piel".

Existen dos razones principales para el presente dominio de los plásticos sintéticos. En primer lugar, las fibras de plantas y las proteínas animales son sujetos de dramáticas fluctuaciones en calidad y disponibilidad. Una cantidad de polietileno es muy parecida a otra, pero lo mismo no se aplica a las pacas de yute o a los barriles de aceite de madera. En segundo lugar, el desarrollo de la industria petroquímica ha asegurado que, al menos, en los países desarrollados, los polímeros derivados del petróleo son de más bajo costo que sus contrapartes naturales.

El factor por el que se trató de sustituir a los polímeros naturales por sintéticos es la facilidad con la que los plásticos sintéticos pueden ser preparados y procesados en comparación con los polímeros naturales. Además, los procesos para los sintéticos resultan en términos generales más

rentables y por lo tanto proporcionan al mercado productos muy accesibles para una gran variedad de aplicaciones.

Pese a esto, los polímeros naturales siguen siendo extensivamente utilizados y tienen un gran número de ventajas sobre sus rivales sintéticos. Algunos de éstos derivan de incuantificables efectos importantes: la tibieza de la lana, la textura de la seda, la fuerza del hilo de henequén. Pero todos los polímeros naturales tienen la ventaja fundamental de ser recursos renovables.

Además, se sabe que se puede disponer de ellos después de usados con la clara conciencia de que son biodegradables y que no contribuyen al serio problema del desecho plástico.

1.3.- CONTAMINACIÓN POR DESECHOS PLÁSTICOS

Hasta la década de los 80's, la industria del plástico trabajó en diseñar fórmulas para crear materiales de larga duración resistentes a los factores ambientales. La producción estadounidense ha crecido progresiva y rápidamente, llegando en 1993 aproximadamente a 30 millones de toneladas por año. Cerca de una tercera parte de la producción de plásticos se utiliza para envases. En México se producen alrededor de 15.2 millones de toneladas al año de materiales plásticos (Huerta, 1993), de ellos el 49% se convierte en desperdicio a corto plazo. Sólo en 1994 el plástico contribuyó con 1,290,893 toneladas de desperdicio (Business México, Junio 1996). En la medida en que el uso de los plásticos se ha hecho prevalente, así también su venta.

Los desechos plásticos son vistos en su mayoría como un desorden en ambientes marinos, y como una porción acumulada de desperdicio sólido depositada en terraplén. Su presencia y casi indestructibilidad han sido percibidos como un problema y han hecho de los plásticos un objetivo para el manejo de los desechos sólidos. En esencia, el problema de los desechos plásticos no se debe a que estos afecten al medio ambiente. sino que, al ser tan elevada la cantidad de plástico en

desecho, resultan un problema por ocupación de espacio debido a su acumulación.

El componente plástico de la basura sólida municipal es ligeramente más del 7% en peso y de acuerdo con cifras recientes de la investigación realizada en Gran Bretaña por la firma Franklin Associates, Prairie Village, Kan., cerca del 18% en volumen. Con el curso del siglo, se espera que esta cifra aumente al 10% en peso.

1.4 UNA OPCIÓN CONTRA LA CONTAMINACIÓN POR DESECHOS PLÁSTICOS

En México se producen 10 millones de metros cúbicos al mes de desechos sólidos, y de éstos un 30% a 40% lo constituyen envases. Sólo el 6% del total de desechos son reciclados o reusados (Business México, Abril 1996), y sólo la sexta parte de ello, es decir, el 1% pertenece al plástico reciclado.

El plástico desarrollado a través del copolímero PHB-PHV presenta una biodegradación total, sin necesidad de condiciones ambientales inducidas o específicas. Esta degradación lo hace especialmente atractivo para la fabricación de artículos cuyo destino final no sea el reciclaje, sino los terraplenes o la composta.

En el presente trabajo se analizarán algunas de las acciones que se han puesto en práctica a nivel mundial para resolver el problema de la acumulación de desechos sólidos: terraplén, composta, reciclado y degradación.

Además se presentarán los resultados experimentales del trabajo en laboratorio para proponer un plástico biodegradable a partir del copolímero PHB-PHV que puede servir como material de envase de alimentos.

CAPITULO 2
RECICLADO VS BIODEGRADACION

C A P I T U L O 2

RECICLADO VS BIODEGRADACIÓN

2.1 - RECICLADO

En respuesta a la atención centrada en los desechos plásticos, la industria plástica, legisladores, reguladores y grupos ambientales han buscado soluciones y tomado posiciones sobre como ocuparse de los programas administrativos. El reciclaje del plástico ha sido plenamente promovido por la industria plástica como una opción de solución al problema de acumulación de desechos, pero solamente alrededor del 1% de los plásticos son reciclados (C&EN, Junio 1990).

Ejemplos de productos que son reciclados en Gran Bretaña son (BP&R, mayo 1990):

- Por lo menos 25 mil toneladas de películas de polietileno usado en aplicaciones tales como envolturas.
- Por lo menos 15 mil toneladas de polipropileno utilizado en acumuladores eléctricos y en canastillas de botellas.
- Por lo menos, 2 mil toneladas de poliestireno utilizados en ganchos para ropa y en envolturas para películas fílmicas.

- Varios cientos de toneladas de ABS de equipo electrónico, como por ejemplo, auriculares de teléfonos.

- Por lo menos 10 mil toneladas de plásticos usados son convertidas directamente en nuevos productos tales como envases moldeados por extrusión y cercas para aplicaciones de agricultura.

La mayoría de las compañías que reciclan plásticos en Gran Bretaña pueden manejar sólo materiales de homopolímeros, los cuales están esencialmente limpios. Los contaminantes son removidos mediante operaciones tales como separación magnética, separación por aire, filtración, etc. Algunas de estas plantas en el Reino Unido se emplean, por ejemplo, para la recuperación del polipropileno de los acumuladores eléctricos y la recuperación de película de polietileno de algunas aplicaciones de agricultura.

Las plantas de reciclado más sofisticadas y costosas están diseñadas para procesar materiales con alta suciedad para justificar el proceso profundo de lavado.

Los plásticos reciclados con esta tecnología producen finalmente un material polimérico que puede ser reutilizado en sustitución de un material virgen en un rango similar de aplicaciones, con excepción de envolturas para alimentos.

Estos procesos también se aplican en la recuperación de mezclas de plásticos, por conversión directa a productos finales, tales como cercas y envases.

En los procesos de reciclado se puede usar algo de material contaminado que no haya sido lavado y pueden producir láminas de gran tamaño de polímeros diferentes. Dichos procesos son, de cualquier forma, ineficientes con relación a los procesos que emplean polímeros vírgenes para su re aplicación y deben ofrecer un costo muy bajo de materia prima. El "reciclaje de plásticos mezclados o compenetrados" es la terminología usada normalmente y la tecnología cuenta con el beneficio de procesar grandes cantidades de material.

La recuperación de productos de plástico de homopolímeros para usos secundarios se expande rápidamente.

Varias de las iniciativas de reciclado de plásticos conciernen sólo a la recuperación de botellas utilizadas para usos domésticos. Este es un sector importante, probablemente representa el 25% del total de desechos plásticos (BP&R, mayo 1990).

Las actividades relacionadas con el plástico reciclado deben resultar procesos eficientes en cuanto a la disminución de

desechos acumulados y emisiones de gases de efecto invernadero

Siempre existirán residuos plásticos tan contaminados y tan diluidos que no son una opción viable para la recuperación del material. Para esta proporción del desecho plástico, la incineración con energía recuperada es una de las mejores alternativas.

Otra opción es la incineración de residuos para disminuir la contaminación por gases de efecto invernadero, con un potencial de recuperación de energía. Los gases de efecto invernadero de la incineración se recuperan en forma de energía eléctrica.

desechos acumulados y costos bajos de materia prima.

Siempre existirán residuos plásticos tan contaminados o tan diluidos que no son una opción sensible para la recuperación de material. Para esta proporción del desecho plástico, la incineración con energía recuperada se observa como una de las mejores alternativas.

Otra opción en la búsqueda de soluciones para disminuir la contaminación por desechos sólidos, son los plásticos degradables, los cuales tienen un lugar en aplicaciones especializadas en donde el costo es un factor secundario.

2.2 BIODEGRADACIÓN

Una propuesta formulada por un pequeño segmento de la industria plástica, fabricantes y otros, ha sido la de elaborar plásticos degradables. Después de años desarrollando aditivos para mantener la apariencia y las propiedades del plástico, los fabricantes ahora buscan promover la fotodegradación o biodegradación.

La mayoría de los plásticos sintéticos puros de un solo monómero son sensitivos a la degradación por la inducción ultravioleta debido a la introducción de impurezas que pueden iniciar reacciones de radicales libres. La adición de compuestos organometálicos o de metales, o bien, la incorporación de grupos funcionales fotosensitivos en las cadenas de polímeros pueden ayudar a que se dé el proceso de fotodegradación en presencia de luz solar.

Las resinas (presentación comercial de algunos polímeros) más comunes no se biodegradan fácilmente. Debido al elevado peso molecular de los polímeros sintéticos, no pueden ser digeridos por microorganismos. El polietileno se degrada menos de 0.5% en un periodo de 100 años (Barak et al. 1991). Así que, el término "plástico biodegradable", aun es tema de frecuentes debates. Este es generalmente aplicado a artículos

en cuya composición el plástico ha sido modificado para que su desintegración se realice bajo acción ambiental

Otra propuesta que se presenta como opción es combinar un pequeño porcentaje de almidón con un polímero. Los microorganismos fácilmente digieren el almidón, desintegrando / desintegrando el artículo plástico. Esto se ha logrado con partículas de almidón insertadas en la cadena polimérica que digieren por microorganismos, cambiando así las características mecánicas requeridas en el material plástico.

Una tercera opción es la incorporación de enzimas específicas a través de las que se digieren partes del plástico y se desintegrando el material a la vez que los microorganismos descomponen el material. En la actualidad se están realizando trabajos para incorporar los microorganismos a la estructura del plástico en el momento de su fabricación o en etapas posteriores a la fabricación del artículo.

El objetivo principal de este estudio es determinar las posibilidades de aplicación de estos materiales. Para ello se han realizado ensayos de laboratorio, considerando los factores que influyen en el proceso de desintegración de estos materiales, como son: el tipo de microorganismo, la temperatura, el tiempo, la humedad, etc. Los resultados obtenidos en estos ensayos demuestran que es posible diseñar materiales que se desintegren de forma controlada en condiciones ambientales.

en cuya composición el plástico ha sido modificado para que su desintegración se realice bajo acción ambiental.

Otra propuesta que se presenta como opción es combinar un pequeño porcentaje de almidón con un polímero. Los microorganismos fácilmente digieren el almidón, debilitando y desintegrando el artículo plástico. Esto se da porque las partículas de almidón insertadas en la cadena polimérica son digeridas por microorganismos, resultando así cadenas poliméricas menores en el material plástico.

Los fabricantes opinan que los fragmentos de residuos plásticos, a través del uso de aditivos, pueden ser inducidos a la fotodegradación si se exponen a la luz o se descomponen oxidándose si se entierran. Si no se degradan completamente mediante este proceso, un incremento en el área expuesta o una reducción en el peso molecular es propensa a hacer los fragmentos más susceptibles al ataque.

El tiempo que tome la degradación del plástico depende de diversos factores. Estos incluyen: peso molecular promedio, composición, características físicas tales como espesor, condiciones del medio, incluyendo textura, oxígeno contenido y temperatura para biodegradables; y exposición de rayos UV para los fotodegradables. La ingestión por insectos o babosas

y las reacciones químicas también pueden contribuir. Un material dado sólo puede degradarse por sus mecanismos para ello diseñados, donde se pongan o dispongan bajo condiciones favorables.

La mayoría de los productos comerciales hechos con plásticos degradables están diseñados ya sea para fotodegradarse, biodegradarse, o ambos. Particularmente en el área de productos biodegradables, existen unos cuantos grandes productores de polímero base almidón, además de varias compañías pequeñas y medianas. Algunos fabricantes de resina han tenido intención de producir plásticos "biodegradables", fabricando en su lugar materiales fotodegradables (C&EN, Junio 1990).

Esto puede atribuirse en parte a los recursos económicos y métodos de producción para los dos tipos de material. Producir materiales fotodegradables generalmente requiere únicamente la adición de agentes fotosensitivos o la formación de copolímeros con grupos fotosensitivos tales como unidades de grupos carbonilo -las aproximaciones van en sentido de la experiencia que tiene la industria plástica. Y, porque las características de los materiales realmente no cambian, pueden ser fácilmente procesados con el equipo existente. Así sólo puede haber un pequeño porcentaje

variable en el costo de la producción.

Compañías europeas tales como Plastigon Technologies, Rhone-Poulenc, Ecoplastics y Princeton Polymer Laboratories producen aditivos o materiales fotodegradables que comúnmente son sales de metales de transición fotosensitivas o compuestos organometálicos. Las grandes compañías productoras de resina, Dow Chemical, Du Pont y Union Carbide producen copolímeros de polietileno con aproximadamente 1% de monóxido de carbono para utilizarse en six pack (anillos sujetadores de seis latas). Películas fotodegradables y bolsas son producidas, entre otras, por Mobil Chemical, First Brands, Webster Industries, Ecoplastics y SunBags.

Los materiales de los anillos sujetadores se degradan en unos cuantos días en condiciones soleadas y en unos cuantos meses en condiciones de viento. Las variaciones en proporción no sólo se deben a las diferencias entre los fabricantes y sus fórmulas, sino también a causa de las condiciones utilizadas en las pruebas (C&EN, Junio 1990).

Cuanto más alto sea el peso molecular, los polímeros sintéticos se hacen resistentes a la biodegradación. Los materiales basados en polímeros de almidón, celulosa, ácido láctico o proteínas, u otros producidos por bacterias a

través de procesos de fermentación pueden ser fácilmente biodegradados. Como los avances son hechos en la producción y el procesamiento, los plásticos biodegradables son aptos para tomar ventaja sobre los materiales basados enteramente en polímeros naturales degradables.

La mayoría de los materiales foto y biodegradables han sido diseñados para ser utilizados en aplicaciones específicas y dispuestos bajo ciertas condiciones. Los primeros usos del plástico degradable fueron y continúan siendo, para artículos tales como los anillos de six pack; bolsas para: dulces, basura y composta; películas protectoras y pañales desechables. Estos eran artículos vistos como un problema, como causas de contaminación en ambientes marinos y para la vida silvestre, e iban a dar a terraplenes. Ahora son vistos como útiles para la composta o en programas de agricultura.

2.3 LEGISLACIÓN SOBRE BIODEGRADACIÓN

Únicamente dos leyes federales en los Estados Unidos de América relativas al plástico han sido promulgadas. Una es de acuerdo con el convenio internacional MARPOL, anexo V que proclama la inundación del plástico en los mercados a precios rebajados. La segunda es una ley emitida en 1987 donde se ordena que los anillos de six pack deberán ser degradables. La ley que dirige EPA (Agencia de Protección al Ambiente por sus siglas en inglés) para investigar el impacto ambiental del plástico degradable, entró en efecto en octubre de 1990 y será aplicada a menos que el impacto encontrado sea negativo. A nivel estatal, en los Estados Unidos, 29 estados han promulgado leyes para los anillos de six pack degradables y bolsas; y seis han legislado estudios sobre plásticos degradables. En el estado de Florida, se muestra preocupación por la basura plástica en el ambiente marino, ya que cuenta con una gran extensión costera, y se está amonestando a los fabricantes de anillos de six pack no degradables, bolsas y contenedores de poliestireno en espuma para alimentos. En Rhode Island y West Virginia se cobran impuestos a algunos productos no biodegradables y no reciclables. En Nebraska se ha emitido una ley para anillos sujetadores, bolsas y pañales degradables. Similarmente Iowa y Dakota del Norte y del Sur apoyan la legislación para plásticos degradables.

2.4 BIODEGRADACIÓN EN TERRAPLÉN

Gran parte de la controversia acerca de los plásticos degradables se centra en su comportamiento en terraplén. Los resultados se enfocan principalmente en los plásticos biodegradables, ya que no se espera que los fotodegradables se comporten diferente a los plásticos convencionales a menos que la fotodegradación comience antes de su disposición. Han surgido dudas acerca de qué tan efectivamente se degradarán los materiales y qué tanto se degradarán los subproductos. A diferencia de los plásticos no degradables más comunes, ahora se debe considerar cuáles aditivos, tales como pigmentos, se filtrarán del material y pondrán en riesgo la salud del medio ambiente.

Recientes resultados de varios estudios sobre terraplén han demostrado que la proporción de descomposición de cualquier material degradable es extremadamente lenta. Ni aún el 50% del material depositado en terraplén es degradable. Alrededor del 7% del volumen total cambia en aproximadamente diez años (C&EN, Junio 1990). A pesar de ser lento el proceso en escala humana de tiempo, es un proceso rápido considerándose que toneladas de sólidos son convertidos en gas. Bajo condiciones anaeróbicas, en terraplenes diseñados hasta

ahora, la degradación será lenta. Terraplenes mantenidos, favorecidos por EPA, están diseñados para mantenerse a largo con el fin de evitar filtraciones, controlar la contaminación de materiales y evitar riesgos en la salud.

Puede haber variación entre terraplenes dependiendo en qué región del país se encuentren, así que el porcentaje de degradación de un bloque de tierra puede variar significativamente de una ubicación a otra dependiendo de las condiciones de textura del terreno, temperatura y pH.

ahora, la degradación será lenta. Terraplenes sanitarios, favorecidos por EPA, están diseñados para mantenerse secos con el fin de evitar filtraciones, controlar la conversión de materiales y evitar riesgos en la salud.

Puede haber variación entre terraplenes dependiendo en qué región del país se encuentren, así que el porcentaje de degradación de un hueco de tierra puede variar significativamente de una locación a otra dependiendo de las condiciones de textura del terreno, temperatura y pH.

2.5 COMPOSTEO

La composta puede ser fundamentalmente un elemento para la solución global del desecho sólido. Una bolsa de basura es una parte insignificante en el flujo de desechos, de cualquier forma, ésta puede contener su peso y su volumen en basura. El objetivo de la degradación es lograr que la bolsa se desintegre tan rápido como sea posible, para que así los contenidos también puedan ser expuestos a su propia degradación. El argumento más común para utilizar la composta en contra de los terraplenes es que éstos no son una forma efectiva para tratar los desechos. Los terraplenes diseñados como hasta ahora, no hacen más que almacenar materiales en lugar de reducir el volumen de los desechos.

CAPITULO 3

BIOPOL

C A P I T U L O 3

BIOPOL (PHB-PHV)

POLI(3- HIDROXIBUTIRATO-CO-3-HIDROXIVALERATO).

3.1 PRODUCCIÓN DE BIOPOL

La compañía ICI Biological Products, de Billingham, al noreste de Inglaterra, donde la División de Productos Biológicos tiene su centro de operación, ha sacado al mercado un polímero cuyo nombre comercial es Biopol, el cual es un grupo de poliésteres producido mediante fermentación de azúcares. Bajo condiciones normales de almacenamiento y uso, éste es durable y estable, pero en disposición es convertido progresivamente en dióxido de carbono y agua por proceso metabólico de microorganismos.

La comercialización del material tiene su origen en estudios iniciados por ICI en la década de los 70. El abasto principal para la fabricación del Biopol es un carbohidrato, producido naturalmente y que por ello es un recurso renovable. La compañía continúa utilizando glucosa, pero puede utilizar otros materiales naturales, incluyendo desechos de agricultura como residuos de sueros y remolacha.

El polímero básico llamado polihidroxibutirato o PHB es también de origen natural, y fue identificado por primera vez en 1926 en el Instituto Pasteur de París, Francia. Descrito por ICI como un polímero natural, éste es producido por varios microorganismos para almacenar carbón y energía, tal y como los humanos almacenan glucógeno en el cuerpo.

ICI utiliza la bacteria *Alcaligenes eutrophus* no patógena, la cual es un eficiente productor de PHB, por fermentación. El PHB es por sí mismo un homopolímero, que de cualquier forma es rígido y relativamente frágil. El rasgo innovador en el proceso de ICI es la suma de un ácido orgánico simple a la solución de glucosa, la cual causa que la bacteria produzca un copolímero aleatorio; la compañía frecuentemente utiliza ácido hidroxivalérico (HV) o clorovalérico, y produce PHB-PHV, abreviatura de poli(hidroxibutirato-co-hidroxivalerato). La composición del copolímero puede variar mediante variaciones en composición de materia prima, y por lo tanto, pueden ser producidos materiales con un rango de propiedades óptimas. La flexibilidad y resistencia, por ejemplo, se perfeccionan con el aumento del contenido de ácido hidroxivalérico (BP&R, mayo 1990).

Los copolímeros son menos cristalinos y tienen punto de fusión y módulo de Young decrecientes según el contenido de

HV aumenta, es decir, aumenta la resistencia mecánica del polímero al aumentar la cantidad de unidades de hidroxivalerato. Los materiales pueden ser procesados sin aditivos, pero tienen un pequeño rango de recristalización desde la fusión, dificultando el proceso. Por lo que ICI recomienda el uso de agentes nucleicos como nitrato de boro, talco, yeso y mica micronizada, los cuales hacen el proceso de mezclado más fácil y también mejora las propiedades mecánicas.

El valor de T_m (Temperatura de fusión) para el homopolímero de PHB es de 178°C , y el valor de T_m para el poli(3-hidroxibutirato-co-3-hidroxivalerato) con un 95% en mol de hidroxivalerato es de 108°C . Un valor mínimo de T_m (alrededor de 75°C) se observa para una composición aproximada de 40% en mol de hidroxivalerato, que es donde se da la transición de la red cristalina (Gómez, 1994).

Los grados estándar de Biopol se describen entre 95% y 96% puros con pesos moleculares entre 4,000 y 750,000.

3.2 CAMPO DE APLICACIÓN

El biopol puede convertirse en una gran variedad de productos tales como botellas, películas y fibras.

En el futuro, será particularmente relevante en productos donde la biodegradación sea favorable, por ejemplo, aquellos artículos caseros que tienen como destino los sistemas de aguas negras, basureros y terraplenes o materiales de uso agrícola.

Hongos y bacterias naturales terminan completamente con el Biopol, al convertirse en CO₂ y agua, al igual que las demás materias orgánicas.

En uso normal, no obstante el Biopol es comparable en cuanto a durabilidad, estabilidad y resistencia al agua, con respecto a termoplásticos convencionales.

El PHB y sus copolímeros están probados para ser particularmente ajustables a este tipo de aplicaciones, ya que los materiales cuentan con propiedades que pueden ser explotadas.

Primeramente, el PHB es ópticamente activo. Esto es, cada unidad de hidroxibutirato monómero y cada unidad de hidroxivalerato en los copolímeros, poseen un centro de carbón quiral y cada uno de éstos en configuración D(-) (en la forma R, en nomenclatura alternativa). En este aspecto, las películas y las soluciones de PHB rotarán en el plano de luz polarizada.

Hasta ahora no se ha encontrado ningún uso comercial para este efecto, pero la particular geometría del PHB tiene un gran número de consecuencias. Por ejemplo, el polímero puede ser utilizado en cromatografía para separar isómeros ópticos si una de las formas interactuara más fuertemente con el centro quiral del polímero que la otra. La configuración D(-) es la más comúnmente encontrada en la naturaleza. En realidad el monómero D(-)3-hidroxibutirato es un elemento de la sangre humana. Los trabajos realizados en el Hospital Middlesex de Gran Bretaña han demostrado que este compuesto, que se puede obtener mediante hidrólisis simple del polímero, puede ser usado como una fuente de carbono de administración oral o intravenosa y tiene un gran número de ventajas clínicas sobre la glucosa comúnmente usada (Holmes, 1985).

Un punto interesante a resaltar, es que el PHB tiene propiedades piezoeléctricas similares a las de los huesos

naturales. Más aún, se sabe que el hueso se puede fortalecer y reparar mediante estimulaciones eléctricas. Así, se puede considerar una fijación de hueso roto con una placa hecha de PHB reforzado para aumentar las propiedades mecánicas. Posteriormente, el hueso estimulado crece y cicatriza. Pero la mayor ventaja del PHB sobre los termoplásticos convencionales es que una placa en hueso puede ser biodegradable y se puede dejar ubicada dentro del cuerpo humano, el cual lentamente la absorberá, evitando la necesidad de una segunda operación para removerla.

3.3.- BIODEGRADACIÓN DEL BIOPOL

Estudios en ambiente natural han demostrado que 1.0 mm de película inmersa en una alcantarilla, tiende a desaparecer en 7 días, y otros ambientes han producido pérdidas de peso del 50% en 25 semanas, y del 90% en 32 semanas. El rango de peso perdido después de haber sido dispuestos depende de varios factores, incluyendo el área de la superficie, la acidez en el ambiente, presencia de oxígeno y agua y de otros nutrientes, pero los productos finales de la degradación ambiental son agua y bióxido de carbono, en la misma proporción, tal como en la descomposición de cualquier otro material orgánico. ICI explica que el polímero también es completamente degradable bajo condiciones anaeróbicas. Puede ser segura su incineración en postcombustión controlada (ya que desprende ácido crotonico), con valores de energía comparables con otros plásticos.

Manuel Gomez Gerardo en su tesis titulada Estudio de Degradación de un Copolímero Comercial de FHB-PHV concluye:
" la velocidad de degradación del Biopol en un basurero es mucho más rápida que la de otros plásticos comunes como el polietileno...en resultados experimentales de degradación se puede observar como el Biopol ha llegado a degradarse más de

un 50% a los 90 días de prueba...el Biopol se degradará en términos de años y no de siglos como los demás polímeros."

CAPITULO 4
DESARROLLO EXPERIMENTAL

C A P I T U L O 4

DESARROLLO EXPERIMENTAL

4.1 MATERIALES

El copolímero PHB-PHV utilizado en este trabajo fue adquirido a la compañía ICI. El nombre comercial del producto es BIOPOL y el fabricante reporta una composición de 92%mol PHB y 8%mol PHV. La presentación del poliéster es en forma de pellets blancos.

Para conocer el comportamiento del biopol frente a diferentes productos alimenticios fue necesario elaborar una lámina plástica con el poliéster por medio de extrusión. Dicho trabajo se efectuó en el Instituto de Materiales de la U.N.A.M.

Los alimentos seleccionados fueron líquidos que comercialmente se ofrecen en envases plásticos, de vidrio, de cartón o en lata, como: aceite de cártamo, jugo de piña, leche entera líquida, leche condensada, puré de tomate, antiácido líquido y jugo de manzana. Además, se utilizó como producto no alimenticio shampoo para cabello, ya que existe el antecedente de un envase base biopol para shampoo (Mercados de la Industria Química, 1990).

Con el conocimiento de que el pH es un factor decisivo en el proceso de degradación de biopol, se midió el pH de los productos seleccionados, con excepción del aceite de cártamo debido a que no presenta esta propiedad. Los resultados se presentan en la tabla 1.

Tabla 1

PRODUCTO	pH(25°)
Shampoo	5.86
Jugo de Piña	1.30
Leche Entera Líquida	5.70
Leche Condensada	5.56
Puré de Tomate	2.23
Antiácido	8.09
Jugo de Manzana	2.92

Para observar el comportamiento del biopol en los diferentes alimentos se sumergió una muestra del polímero en cada uno de los productos contenidos en frascos de vidrio.

Para determinar la mejor manera de preparación de muestras, se lavaron 3 frascos de vidrio con alcohol etílico y se expusieron al calor de un mechero. Después se llenaron con medio de cultivo (solución buffer de pH 7.0) y se burbujeó nitrógeno. Por último fueron sellados con papel parafilm. Todo esto frente a una campana de succión laminar. Después de tres semanas de permanecer en estufa a temperatura de 30°C se

observó que no había crecimiento biológico en ninguno de los tres casos.

Se tomaron 10 muestras de biopol de 1 mm de espesor para cada producto. Cada muestra se pesó previamente en balanza analítica. Se procuró que el peso de las muestras estuviera dentro de un rango de 0.1 a 0.25 gramos.

Se siguió el procedimiento descrito anteriormente para preparación de muestras: los frascos de vidrio fueron lavados con alcohol etílico y expuestos al calor de un mechero Bunsen. Después fueron llenados con producto líquido y la muestra de biopol fue sumergida en el producto, se burbujeó en éste gas nitrógeno con el fin de desplazar el oxígeno presente y disminuir así una contaminación biológica. Este trabajo se realizó frente a una campana de succión laminar. Cada frasco de vidrio fue sellado con papel parafilm y etiquetado con el número correspondiente a la muestra. Los frascos fueron puestos en estufa a temperatura entre 25°C a 30°C.

Las muestras se dejaron reposando durante un tiempo conocido. Se tomaron cinco periodos de tiempo para cada producto, los cuales fueron:

Tiempo 1: 21 días
Tiempo 2: 54 días
Tiempo 3: 110 días
Tiempo 4: 137 días
Tiempo 5: 188 días

Se tomaron ocho productos comerciales como muestra. Con cada producto se llenaron 10 frascos en los que se sumergió biopol (de acuerdo al procedimiento antes descrito). Cada frasco se etiquetó con el número de muestra correspondiente, según la lista siguiente:

- A) Aceite de cártamo. Muestras 1 a 10
- B) Shampoo para pelo. Muestras 11 a 20
- C) Jugo de piña. Muestras 21 a 30
- D) Leche entera líquida. Muestras 31 a 40
- E) Leche condensada. Muestras 41 a 50
- F) Puré de tomate. Muestras 51 a 60
- G) Antiácido líquido. Muestras 61 a 70
- H) Jugo de manzana. Muestras 71 a 80

Después de transcurrido cada periodo de tiempo estipulado, se determinó pérdida de peso y peso molecular de cada

producto por duplicado. Las muestras se analizaron de la siguiente forma:

Tiempo 1.

Muestras: 1 y 2, 11 y 12, 21 y 22, 31 y 32, 41 y 42, 51 y 52,
61 y 62, 71 y 72.

Tiempo 2.

Muestras: 3 y 4, 13 y 14, 23 y 24, 33 y 34, 43 y 44, 53 y 54,
63 y 64, 73 y 74.

Tiempo 3.

Muestras: 5 y 6, 15 y 16, 25 y 26, 35 y 36, 45 y 46, 55 y 56,
65 y 66, 75 y 76.

Tiempo 4.

Muestras: 7 y 8, 17 y 18, 27 y 28, 37 y 38, 47 y 48, 57 y 58,
67 y 68, 77 y 78.

Tiempo 5.

Muestras: 9 y 10, 19 y 20, 29 y 30, 39 y 40, 49 y 50, 59 y 60,
69 y 70, 79 y 80.

4.2 DETERMINACIÓN DE PÉRDIDA DE PESO Y PESO MOLECULAR

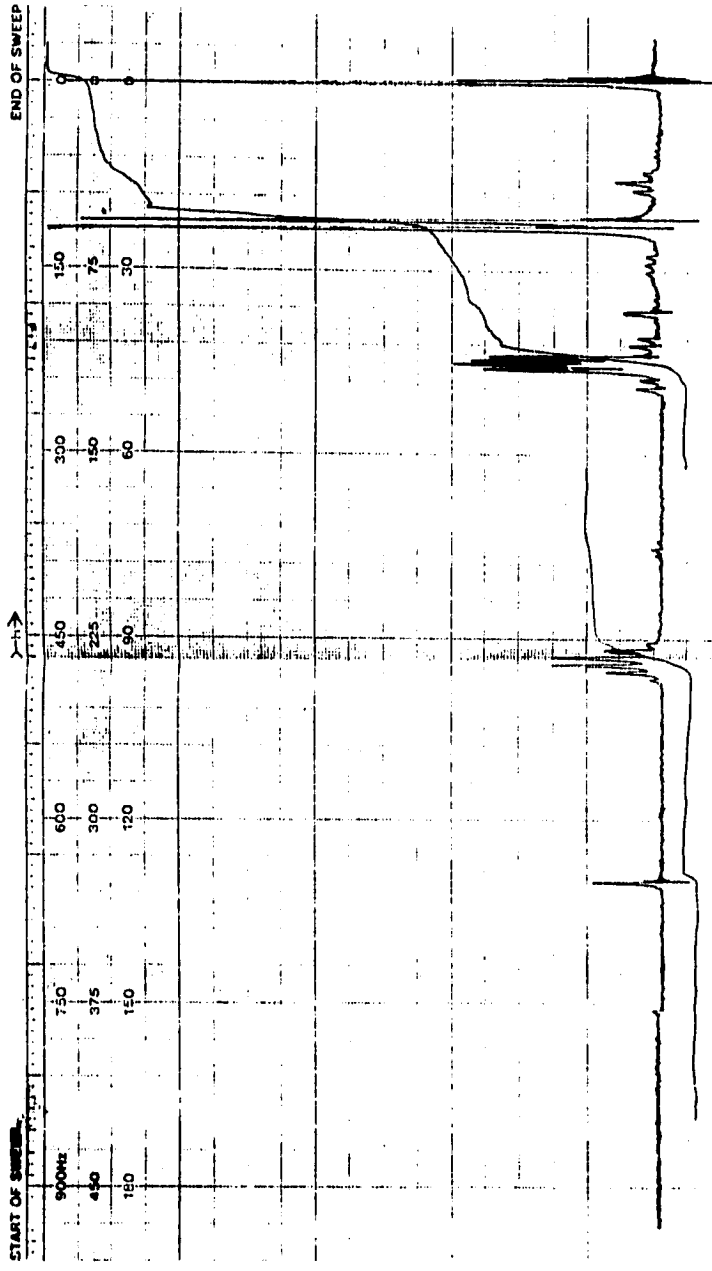
Una vez transcurrido cada tiempo de prueba se analizó peso de cada muestra, así como su peso molecular.

Para determinar la pérdida de peso se lavó por separado cada muestra con agua y jabón. Una vez seca la muestra se pesó en balanza analítica. Estos valores se compararon con el peso original de la muestra y se determinó la pérdida de peso.

De cada muestra se tomó una fracción (de 30mg en promedio) y se depositó en el frasco que originalmente la contenía, agregando también p-diclorobenceno. Los frascos se sellaron nuevamente con parafilm.

Posteriormente se determinó el peso molecular de las muestras mediante Resonancia Magnética Nuclear. El equipo empleado fue un espectrómetro Varian EM-390 operando a 90 MHz. Se hicieron diluciones del PHB-PHV (30 mg) en deuterio-cloroformo (0.5 ml). El estándar interno en la corrida de espectros fue el p-diclorobenceno, ya que su señal es distinguible del resto del espectro, como se observa en el ejemplo del espectro correspondiente a la muestra 8 (biopol después de 137 días de contacto con aceite).

ET-390 90 MHz NMR SPECTROMETER



10ppm
5ppm
2ppm

ppm (τ) 10 5 0

LOCK FOS _____ MHz SPECTRUM AMPL. 1.000 SWEEP TIME 5.000 MHz NUCLEUS *13C*

LOCK POWER _____ mW FILTER 0.05 sec SWEEP WIDTH 10.000 MHz ZERO REF. *MS*

DECOUPLE FOS _____ ppm DECOUPLING POWER _____ mW RF POWER 6.05 mW END OF SWEEP 0.000 ppm SAMPLE TEMP *7*

SAMPLE *Chloroform* OPERATOR *Aljazeera*
Aljazeera DATE *11/1/55*
 SOLVENT *MS* SPECTRUM NO. *2-112*

Varian Instrument Division Palo Alto, California

4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE PÉRDIDA DE PESO

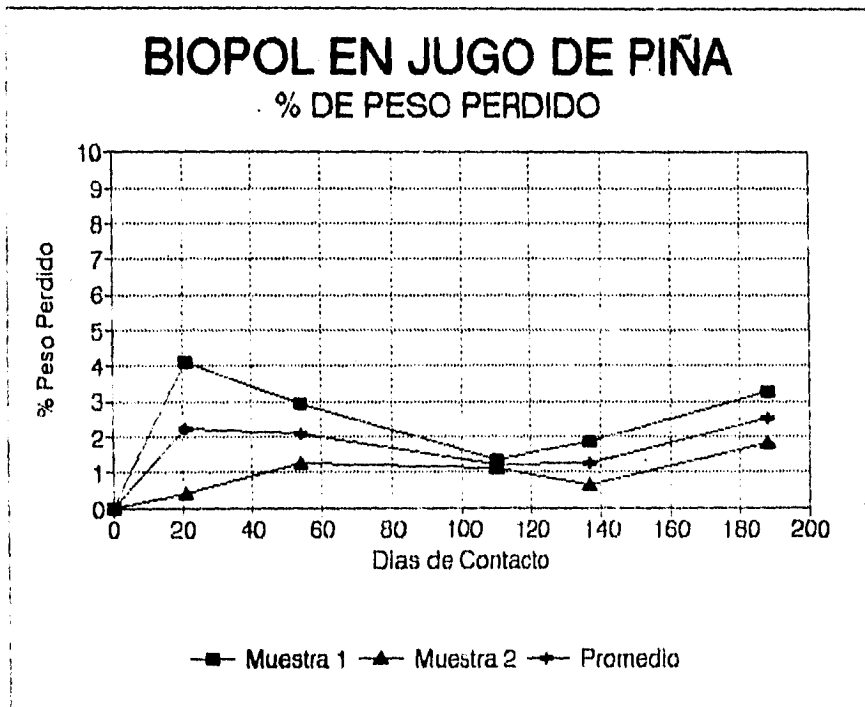
Las gráficas de pérdida de peso respecto al tiempo de exposición (gráficas 4.3.1 a 4.3.8) muestran el porcentaje de biopol que se perdió en el producto. Cada una de las gráficas indica los valores de pérdida de peso de las dos muestras (ya que cada corrida se hizo por duplicado) y la curva del valor promedio de ambas.

Los productos que presentan una mayor pérdida de peso son el jugo de piña, puré de tomate y jugo de manzana. Los valores de pH para estos productos se encuentran en un rango de 1 a 3.

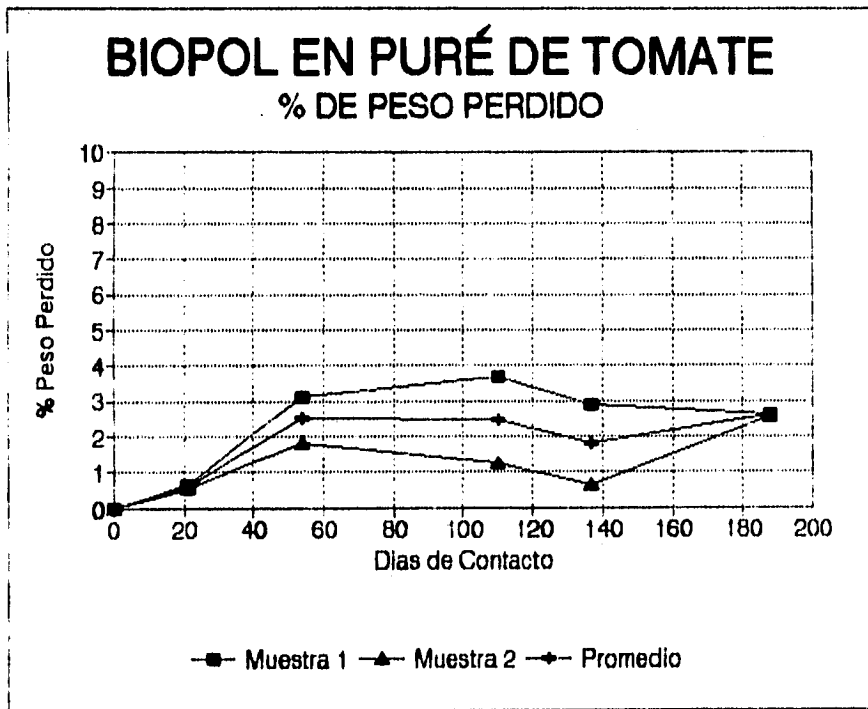
El biopol en jugo de piña (gráfica 4.3.1) presentó un valor máximo de 4.2% de peso perdido a los 21 días de contacto. En un tiempo máximo de 188 días la pérdida de peso fue de 2.5% como valor promedio.

El puré de tomate (gráfica 4.3.2) presentó una influencia al contacto con biopol similar a la del jugo de piña. El valor máximo de pérdida de peso fue 3.7% en 110 días de contacto y 2.5% como valor máximo promedio en 188 días.

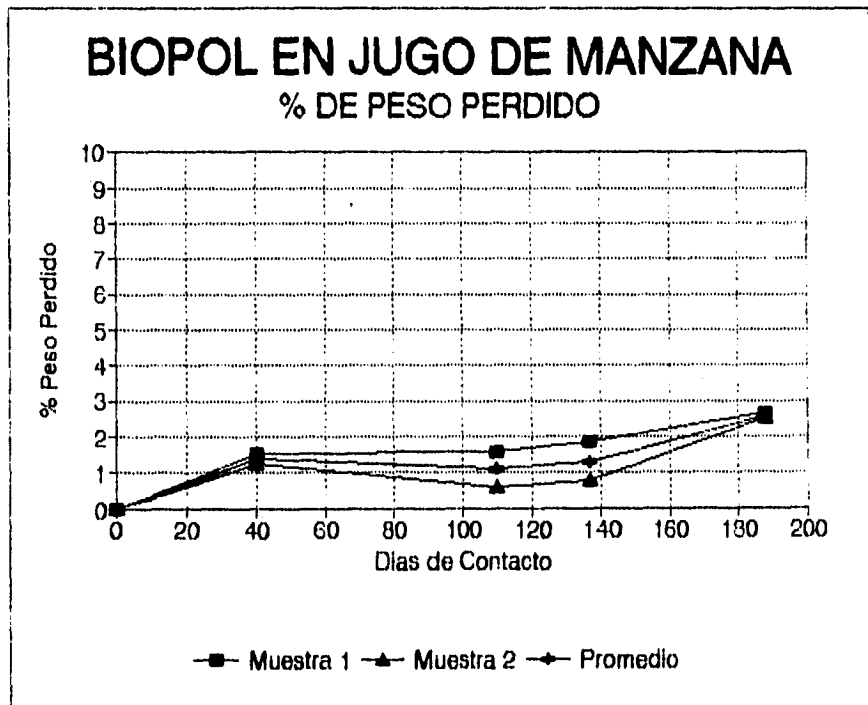
GRÁFICA 4.3.1



GRÁFICA 4.3.2



GRÁFICA 4.3.3



Apesar de que el biopol en jugo de manzana (gráfica 4.3.3) también presentó un valor máximo promedio de 2.5% de pérdida de peso en 188 días de contacto, los valores correspondientes a tiempos menores de contacto difieren respecto al jugo de piña y puré de tomate. El valor máximo de pérdida de peso se presentó precisamente a los 188 días y también fue de 2.5%.

Las muestras de biopol en contacto con leche entera líquida y leche condensada presentaron una tendencia muy similar de pérdida de peso. Los valores de pH de la leche son 5.7 para la entera líquida y 5.56 para la condensada.

El biopol en leche entera (gráfica 4.3.4) mostró una tendencia prácticamente lineal los primeros 54 días de contacto, tiempo en el cual se perdió un máximo de 1.1% de peso; y un valor máximo promedio de 4.7% de pérdida de peso después de 188 días. Respecto a las muestras en leche condensada (gráfica 4.3.5), también se observó una tendencia casi lineal durante los primeros 54 días, tiempo en el cual el biopol perdió un máximo de 1.5% de peso. El valor máximo promedio correspondiente a 188 días de contacto es 2.2%.

La tendencia en pérdida de peso de biopol en ambos tipos de leche es muy similar. Sin embargo, en la leche condensada se obtuvieron valores ligeramente superiores los primeros 137

GRÁFICA 4.3.4

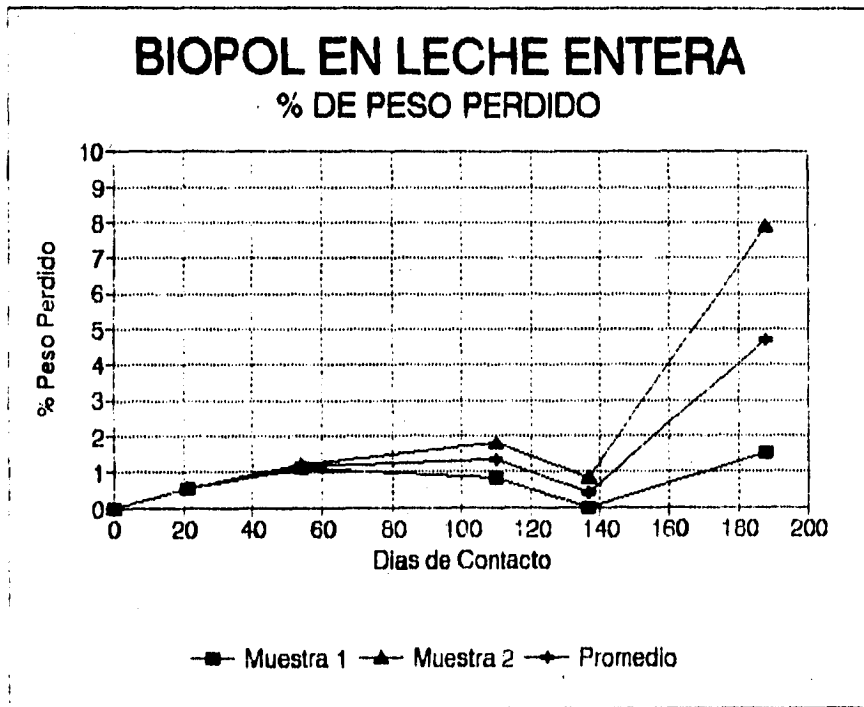
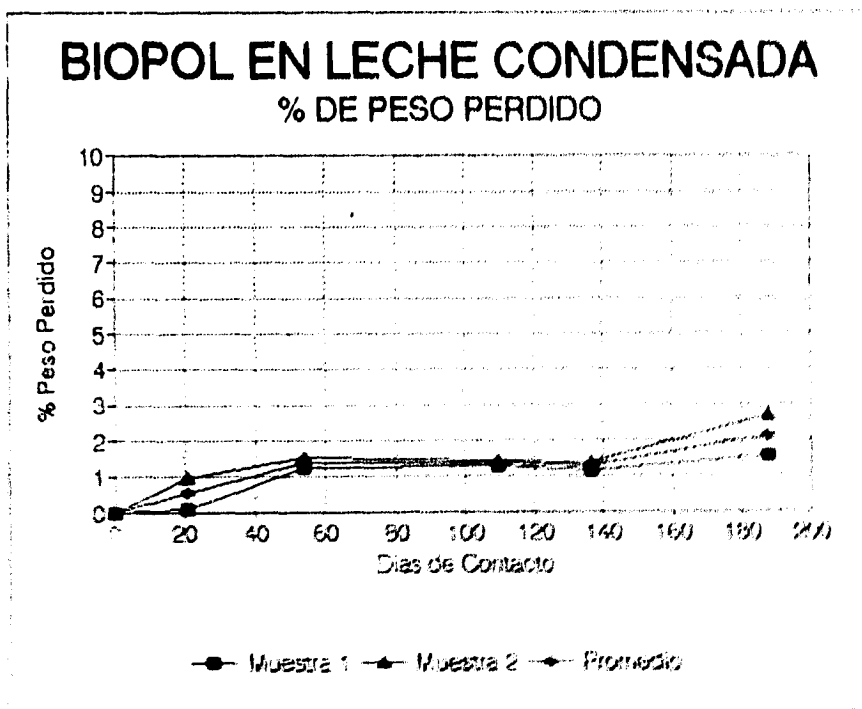
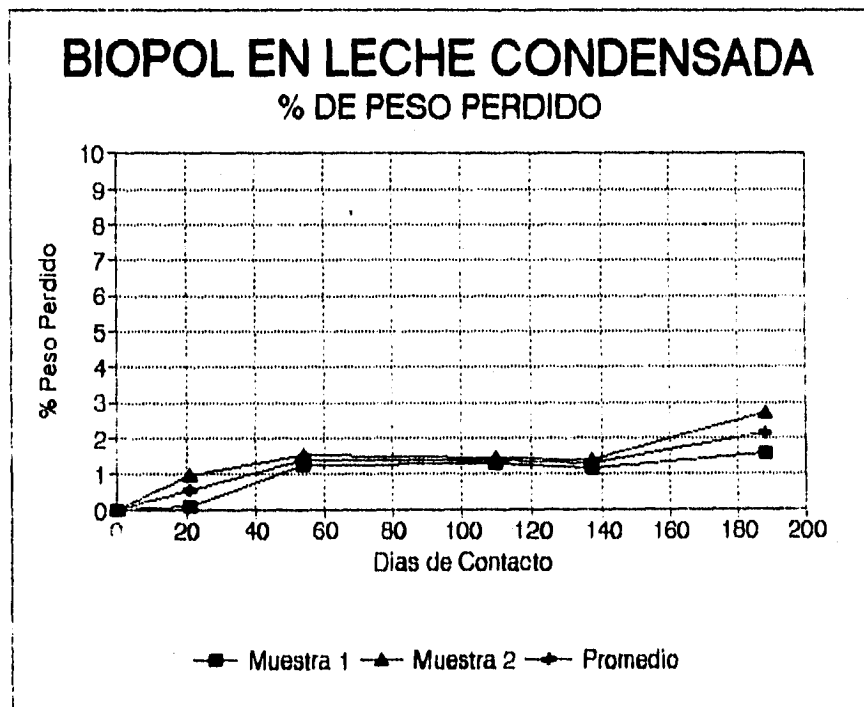


GRÁFICO 4.3.5



GRÁFICA 4.3.5

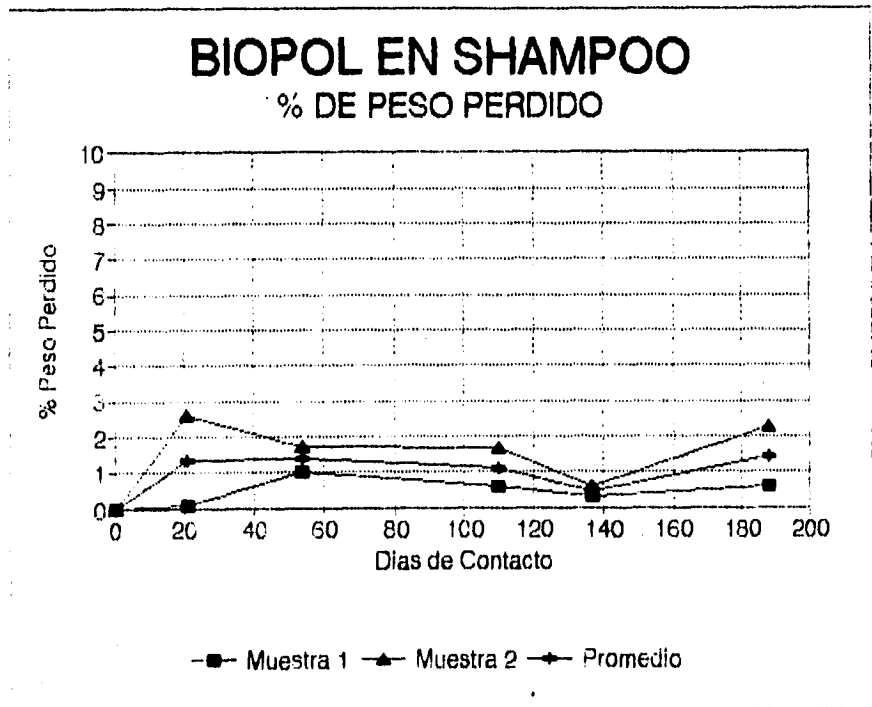


días de contacto. En este punto se nota la influencia del pH como factor decisivo de degradación. Posteriormente a los 137 días de exposición en las muestras sumergidas en leche entera se notó un cambio súbito de pérdida de peso, cambio que en la leche condensada también se observó, pero no tan pronunciado. Este cambio pudo ser ocasionado por cambios físicos de separación de fases en la leche.

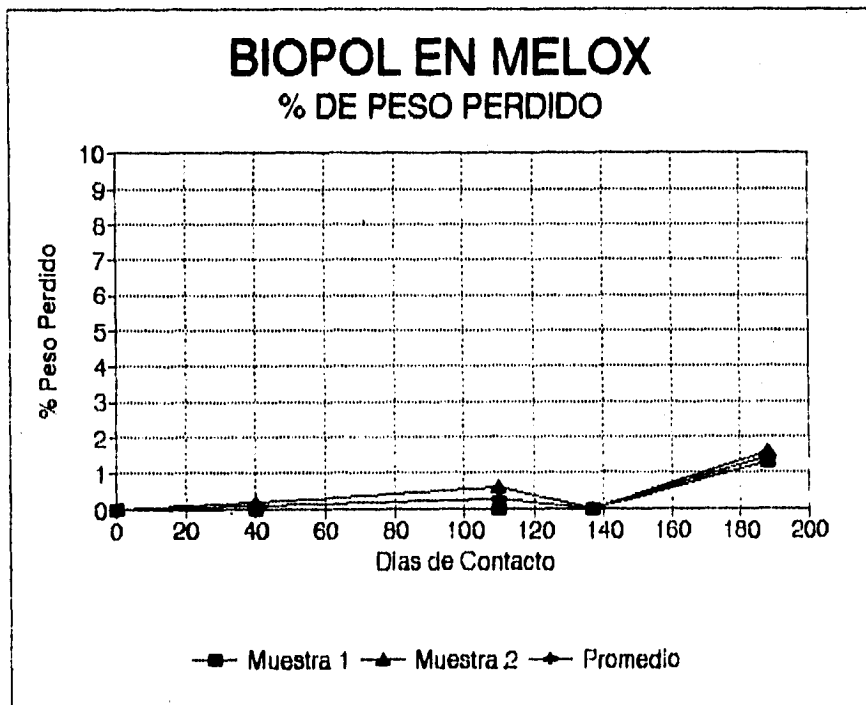
El biopol en contacto con shampoo (gráfica 4.3.6) perdió como máximo 2.5% de peso en 21 días, y 1.4% como valor promedio en 188 días. El pH de este producto es 5.86. Se puede observar que los valores promedio de pérdida de peso son similares a los de las leches, así como su pH.

La menor pérdida de peso de biopol durante los primeros 137 días de contacto fue al contacto con melox (gráfica 4.3.7). Durante este periodo de tiempo el valor máximo fue 0.6% de peso perdido. Sin embargo, en un tiempo posterior se observó un cambio súbito en el que se perdió 1.5% de peso como valor promedio en 188 días. La pérdida de peso tan baja se explica por su pH es 8.09, a diferencia de los pH ácidos de otros productos. El cambio súbito después de 137 días de contacto puede deberse, al igual que en la leche, a un cambio físico de la suspensión (el antiácido melox tiene una presentación comercial de suspensión).

GRAFICA 4.3.6

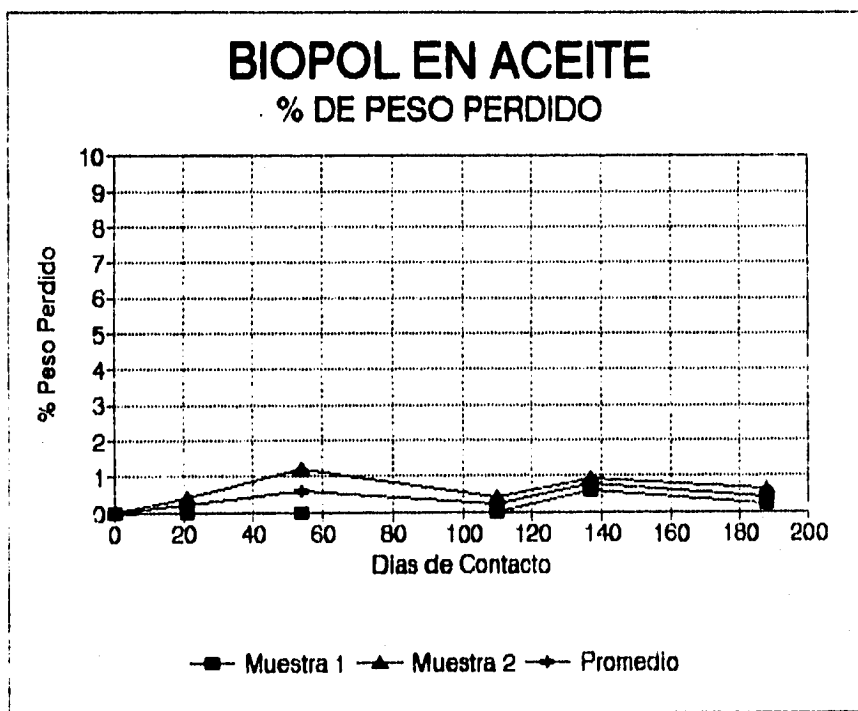


GRÁFICA 4.3.7



El biopol en contacto con aceite de cártamo (gráfica 4.3.8) perdió como máximo 1.2% de peso en 54 días, y 0.4% como promedio al cabo de 188 días. Este producto no mostró una influencia lineal en la pérdida de peso de biopol, sin embargo, la pérdida de peso del biopol en contacto con aceite es casi tan baja como con el melox. Esto se puede explicar debido a que el aceite no provoca una degradación hidrolítica.

GRÁFICA 4.3.8



4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE CAMBIO DE PESO MOLECULAR

El estudio de RMN (resonancia magnética nuclear) no consideró bajo la siguiente fórmula $M = (I_s \cdot \mu \cdot W \cdot M_s) / (I \cdot \mu_s \cdot W_s)$, donde: I_s es la intensidad del estándar, I es la intensidad de la señal del metilo del butirato, μ es el número de hidrógenos de la señal problema, μ_s es el número de hidrógenos del estándar, W es el peso en gramos de la muestra de polímero, W_s es el peso en gramos del estándar y M_s el peso molecular del estándar.

El peso molecular inicial del biopol fue de 349,000 unidades. Los valores de peso molecular del biopol obtenidos en las diferentes corridas después de contacto con productos prueba resultaron iguales para algunas muestras que estuvieron en contacto con diferentes productos. De ello se encontró la siguiente relación:

a) Con el melox y el aceite, el biopol presentó una disminución de 37,000 unidades de peso molecular en 198 días de exposición (grafico 4.4.1), es decir, una posible degradación de 11%

b) Para las leches y el shampoo la posible degradación en 198 días fue de 29% con 91,001 unidades de peso molecular perdidas (grafico 4.4.2).

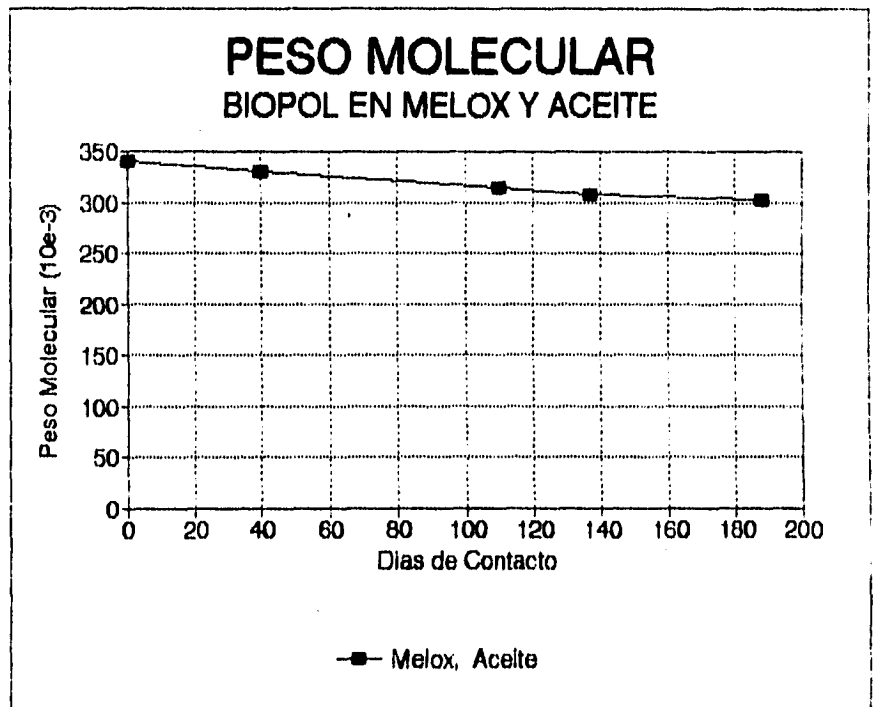
4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE CAMBIO DE PESO MOLECULAR

El estudio de RMN (resonancia magnética nuclear) se consideró bajo la siguiente fórmula $M = (I_s * \mu * W * M_s) / (I * \mu_s * W_s)$, donde: I_s es la intensidad del estándar, I es la intensidad de la señal del metilo del butirato, μ es el número de hidrógenos de la señal problema, μ_s es el número de hidrógenos del estándar, W es el peso en gramos de la muestra de polímero, W_s es el peso en gramos del estándar y M_s el peso molecular del estándar.

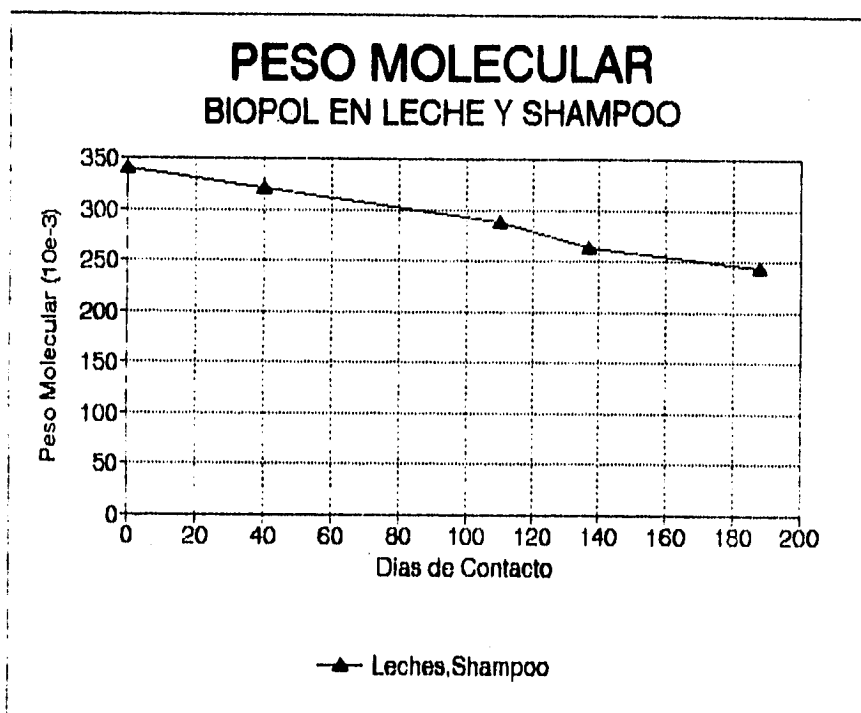
El peso molecular inicial del biopol fue de 340,000 unidades. Los valores de peso molecular del biopol obtenidos en las diferentes corridas después de contacto con productos prueba resultaron iguales para algunas muestras que estuvieron en contacto con diferentes productos. De ello se encontró la siguiente relación:

- a) Con el melox y el aceite, el biopol presentó una disminución de 37,000 unidades de peso molecular en 188 días de exposición gráfica (4.4.1), es decir, una posible degradación de 11%.
- b) Para las leches y el shampoo la posible degradación en 188 días fue de 29% con 96,000 unidades de peso molecular perdidas (gráfica 4.4.2)

GRÁFICA 4.4.1



GRÁFICA 4.4.2



c) El biopol en jugo de manzana y en puré de tomate presentó una posible degradación de 45% al perder 152,000 unidades de peso molecular (gráfica 4.4.3) en 188 días.

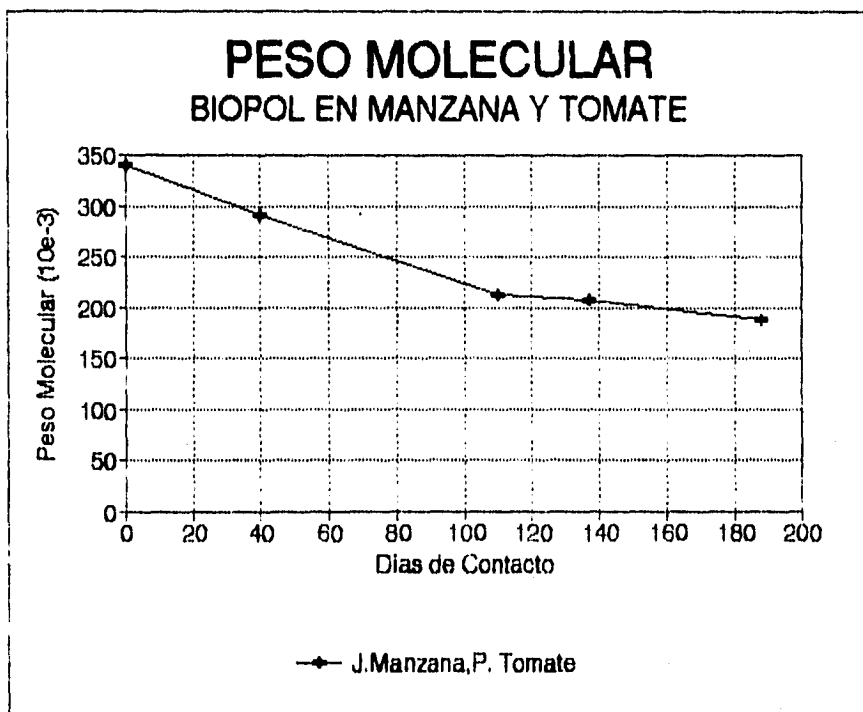
d) La mayor posibilidad de degradación fue con el jugo de piña (gráfica 4.4.4), 173,000 unidades de peso molecular perdidas que representan 51% de degradación en 188 días.

La posible igualdad de degradación de biopol en diferentes productos se relaciona directamente con sus los valores de pH (gráfica 4.4.5). Así, la mayor degradación se presentó con el jugo de piña, cuyo pH es 1.03; degradación poco menor se presentó al contacto con jugo de manzana y puré de tomate, cuyos valores de pH son 2.92 y 2.23 respectivamente.

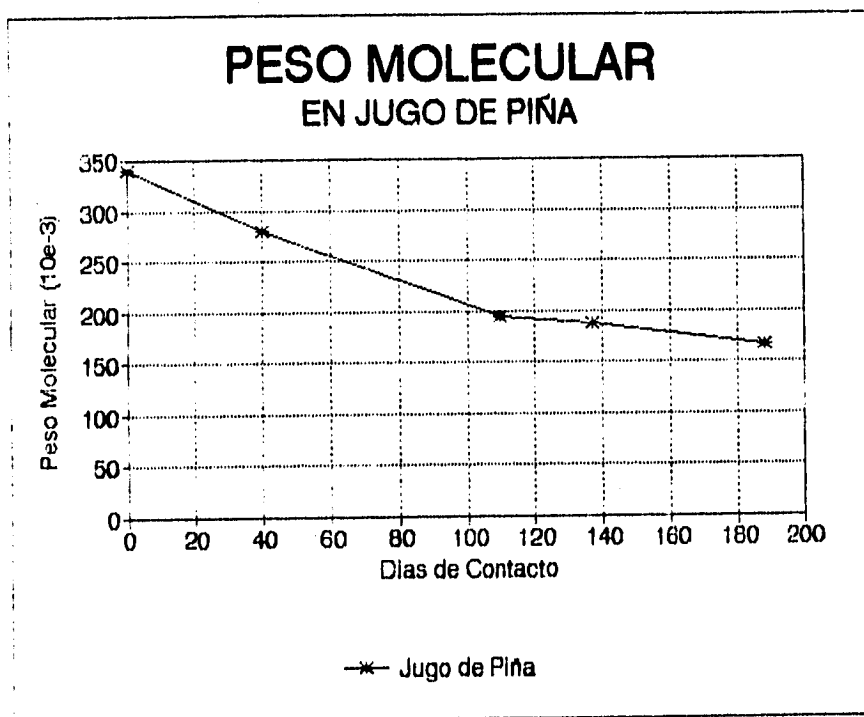
La menor degradación de biopol se presentó al contacto con melox (pH 8.09). Igual degradación presentó ante el aceite de cártamo, el cual no tiene influencia hidrolítica con el biopol.

Es importante considerar que algunos de estos productos, y en general los productos alimenticios, tienen un tiempo de exposición en anaquel menor al evaluado. En el caso de la leche envasada al alto vacío es de 90 días; para este caso en

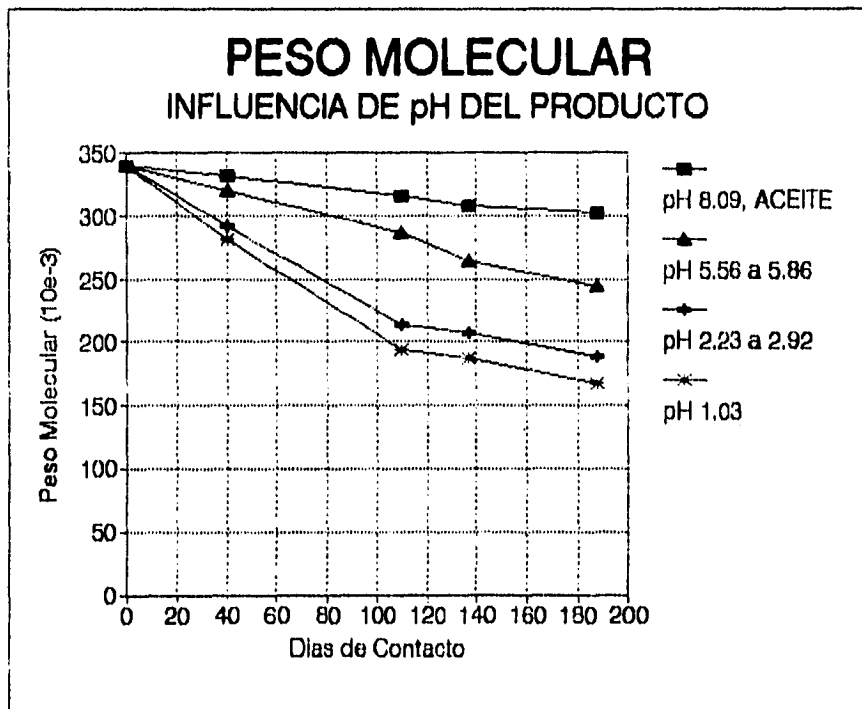
GRÁFICA 4.4.3



GRÁFICA 4.4.4



GRÁFICA 4.4.5



particular, el biopol en leche entera líquida presentó una degradación de 12% y al menos 98.5% de retención de peso.

Las muestras de biopol después del contacto con los diferentes productos no cambiaron en apariencia ni textura.

4.5 COMPATIBILIDAD CON OTROS PLÁSTICOS

Se hizo una prueba de miscibilidad de biopol con otros plásticos con el fin de encontrar una combinación que haga posible la introducción del poliéster en los procesos actuales de manufactura de envases.

Para esta prueba se alcanzó el valor de T_m del biopol (92%mol PHB) de 150°C mediante calentamiento controlado en émbolo casero (simulando el proceso de extrusión). Posteriormente se agregó una pequeña cantidad de plástico y continuó el calentamiento hasta alcanzar el T_m de éste último. Los plásticos que se utilizaron fueron PET (polietilentereftalato), PVC (cloruro de polivinilo), y polietileno de alta y baja densidad.

Para los cuatro casos la prueba resultó negativa. El biopol no presentó miscibilidad aparente con ninguno de estos plásticos. Para comprobarlo se utilizó un microscopio Microlux modelo MX-T y se enfocó con un objetivo 4x. En los cuatro casos se observa claramente que no existe interfase entre ambos polímeros.

4.6 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El material conocido comercialmente como biopol y que comprende una familia de copolímeros de poli(3-hidroxi-butirato-co-3-hidroxi-valerato) producidos por la empresa Imperial Chemical Industries (ICI), es un polímero biodegradable y biocompatible, fabricado por medio de un proceso biotecnológico. Sus características de termoplástico le permiten ser moldeado y producido en fibras o películas en equipos convencionales de procesamiento.

El biopol ha mostrado un grado de degradación microbiológica y degradación en basura corriente mucho mayor que otros polímeros como el polietileno (Manuel Gómez, 1994).

Los resultados de tesis indican que el biopol (92% PHB) no es recomendable para el envasado de jugos de frutas u otros alimentos cuyo pH sea menor a 5 y su tiempo de permanencia en anaquel sea prolongado, ya que el biopol podría perder sus propiedades de envase por degradación o disolución.

Es ideal para sustituir el envase de plástico convencional de leche, ya que en 90 días que es el tiempo máximo que este producto puede permanecer en anaquel, el biopol retiene hasta un 98.5% de su peso y se degrada menos del 15%. Además, sus

propiedades biocompatibles descartan la posibilidad de toxicidad ante este nivel de pérdida de peso y degradación.

El consumo masivo de leche en nuestra sociedad y su consecuente contaminación por envases plásticos puede ser solucionada por medio del envasado en biopol moldeado.

También presentó excelentes resultados de retención de peso y una posible degradación muy baja al contacto con aceite de cártamo, melox y shampoo para pelo. Estos productos pueden tener un tiempo de anaquel mayor a 188 días. Resultaría muy interesante realizar un estudio con estos productos al contacto con biopol durante un tiempo más prolongado.

Así como el biopol puede sustituir a los plásticos no degradables y a los fotodegradables en el envasado de alimentos líquidos, pueden encontrarse muchas aplicaciones para el envasado de alimentos sólidos o para la fabricación de vasos, cubiertos y platos desechables.

La posible degradación un envase de biopol dependiente del pH del producto a envasar, característica que lo hace un material selectivo respecto a los alimentos en los que puede servir como envase.

Ya que la compañía fabricante del biopol, Imperial Chemical Industries (ICI) produce diferentes copolímeros mediante la variación del contenido de PHV, sería interesante analizar la compatibilidad del PHB-PHV con otros plásticos a diferentes contenidos de PHV. Para el caso del biopol con 8%mol de PHV resultaron negativas las pruebas de miscibilidad, por lo que este copolímero no es compatible con PET, PVC o polietileno en los procesos de moldeo.

Definitivamente, el biopol se puede considerar como una contribución en la solución al problema de contaminación por desechos plásticos. A medida que el polímero sea accesible a los productores de envases, que la industria del plástico encuentre más aplicaciones para el biopol, y en conjunto con los programas de reciclado de plástico, la contribución a la contaminación por este tipo de desechos disminuirá apreciablemente.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

CAPITULO 5
CONCLUSIONES

CAPITULO 5

CONCLUSIONES

Las conclusiones a las que se llegaron después de este trabajo son:

1. La pérdida de peso del PHB-PHV al contacto con diferentes productos líquidos tiene relación directa con el pH de dichos productos. La pérdida de peso es mayor cuanto más ácido es el pH del producto.

2. La pérdida de peso del biopol al contacto con un producto líquido puede ocurrir por una posible degradación de la capa superficial del poliéster que estuvo en contacto con el producto, o bien, por disolución de biopol en el líquido.

3. El biopol resulta un material ideal para el envase de leche, ya sea entera líquida o condensada, con tiempo de anaquel no mayor a 120 días.

4. El biopol puede ser un material ideal para el envasado de aceite de cártamo y melox, si estudios posteriores demuestran que no hay degradación progresiva del poliéster en tiempos mayores a 190 días de uno o ambos productos.

5. El copolímero PHB-PHV (92%mol PHB) no tiene compatibilidad aparente con PET, PVC, ni polietileno.

CAPITULO 6
BIBLIOGRAFIA

CAPITULO 6
BIBLIOGRAFÍA

1. Ballisteri A., Montaudo, G., Garozzo, D., Giuffrida, M.
Macromolecules, 24, 1231-1236. (1991).
2. Barak, P., Coquet, I., Halbach, T., Molina, J.
J. Environ. Qual., 20, 173-179. (1991).
3. Doi, Y. Kanesawa, Y., Kunioka, M. Macromolecules, 23, 26-31. (1990).
4. Doi, Y., Tamaki, A., Kunioka, M., Soga, K.,
Makromol. Chem., Rapid Commun, 8, 631-635. (1987).
5. Gómez, M. Estudio de degradación de un copolímero PHB-PHV.
Tesis. Facultad de Química, UNAM. (1994).
6. Holmes, P. A. Phys. Technol., 16, 32-36. (1985).
7. Huerta, J. O. Técnicas y proceso para el reciclado de polietilentereftalato, grado envase, aplicados a la Ciudad de México. Tesis. Facultad de Química. UNAM. (1993).

8. Inoue, Y., Kamiya, N., Yamamoto, Y. *Macromolecules*, 22, 3800-3802. (1989).

9. Kaminaya, N., Sakurai, M. Inoue, Y. Doi, Y. *Macromolecules*, 24, 2178-2182. (1991).

10. Kamiya, N., Yamamoto, Y., Inoue, Y. *Macromolecules*, 22, 1676-1682. (1989).

11. Kunikoa, M. Tamaki, A., Doi, Y. *Macromolecules*, 22, 694-697. (1989).

12. Marchessault, R. H., Nedeo, M. E. *Polymer Commun*, 30, 261-263. (1989).

13. Thayer, A.M. *Chem. & Engineering N. Junio*, 7-14. (1990).