

**ESTUDIO DE LA PRODUCCION DE EMPAQUES PLASTICOS BIODEGRADABLES A  
PARTIR DE BIORRESINAS EN LA EMPRESA HALCON PLASTICOS LTDA DE  
BUCARAMANGA**

**DOLLY ESPERANZA MENDOZA REATIGA**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO - QUIMICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  
BUCARAMANGA**

**2009**

**ESTUDIO DE LA PRODUCCION DE EMPAQUES PLASTICOS BIODEGRADABLES A  
PARTIR DE BIORRESINAS EN LA EMPRESA HALCON PLASTICOS LTDA DE  
BUCARAMANGA**

**DOLLY ESPERANZA MENDOZA REATIGA**

**Trabajo de grado como requisito para optar al título de Ingeniero Químico**

**DIRECTOR:**

**HUMBERTO ESCALANTE HERNANDEZ**

**Ingeniero Químico Ph. D.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO – QUIMICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  
BUCARAMANGA**

**2009**

## **DEDICATORIA**

*A Dios por darme la oportunidad de vivir, y lograr mis metas más altas*  
*A mis padres por su dedicación, ejemplo y confianza en la consecución de mis sueños*  
*A mi hermana por su apoyo y comprensión en cada momento de mi vida*  
*A la memoria de mis nonos porque un día creyeron que yo sería una gran persona*  
*A Benjamín por su amor en los momentos difíciles de esta etapa*

*DOLLY MENDOZA R.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Expreso mis más sinceros agradecimientos a:

HALCON PLASTICOS LTDA, en cabeza de Arnulfo Contreras Grandas, quien hizo realidad el sueño de ejercer mi profesión en una empresa.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER por permitir formarme no solo académicamente, sino también personalmente.

Profesor Humberto Escalante por su paciencia y ayuda en la dirección de este proyecto.

Jaime Cadena y Eduardo Carreño, técnicos de laboratorio por sus aportes y ayuda en la elaboración de este proyecto.

PLADESAN, Plásticos de Santander, por sus servicios prestados.

Todas las personas que de una u otra forma colaboraron e hicieron parte de este proyecto.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCION	13
1. DESARROLLO EXPERIMENTAL	25
1.1 IDENTIFICACION DE PRODUCTORES Y ADQUISICION DE LA MATERIA PRIMA	25
1.2 PROCESAMIENTO DE LA BIORESINA	26
1.3 PRUEBA DE TENSION	30
1.4 PRUEBA DE BIODEGRADACION [17]	31
2. RESULTADOS Y ANALISIS	34
2.1 PRUEBA DE LAS PROPIEDADES DE TENSION	34
2.2 PRUEBA DE BIODEGRADABILIDAD	35
2.2.1 Emisión de CO <sub>2</sub>	35
2.2.2 Porcentaje de biodegradabilidad	36
2.3 ANALISIS ECONOMICO	38
CONCLUSIONES	40
RECOMENDACIÓN	41
BIBLIOGRAFIA	42

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Estructura molecular del almidon	18
Figura 2. Diagrama de un extrusor con sus partes principales	23
Figura 3. Diagrama del procedimiento del estudio de producción de bioempaques	25
Figura 4. Extrusión de películas biodegradables	29
Figura 5. Diagrama de proceso de la extrusión de películas plásticas	29
Figura 6. Películas extruidas. a) empaque de polietileno b) empaque de bioresina.	30
Figura 7. Montaje de muestras en mordazas para prueba de tensión.	31
Figura 8. Batería de reactores para la realización de la prueba de biodegradación	33
Figura 9. Películas biodegradables y sintéticas sometidas a prueba de tensión.	34
Figura 10. Emisión de CO <sub>2</sub> durante prueba de biodegradabilidad	36
Figura 11. CO <sub>2</sub> acumulado al final de la prueba de biodegradabilidad.	36

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Definiciones de plásticos biodegradables	15
Tabla 2. Normas para la determinación de biodegradabilidad de plásticos.	20
Tabla 3. Proveedores de bioresinas a nivel mundial.	26
Tabla 4. Guía de procesamiento para la bioresina	27
Tabla 5. Temperaturas de extrusión en experimentos previos	28
Tabla 6. Temperaturas de extrusión para la bioresina.	28
Tabla 7. Resultados de la prueba de tensión	35
Tabla 8. Resultados de prueba de biodegradabilidad.	37
Tabla 9. Costos de empaques por kilogramo producido en Halcón Plásticos.	38

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
ANEXO A. RESULTADOS PRUEBA DE TENSION	44
ANEXO B. RESULTADOS DE PRUEBA DE BIODEGRADABILIDAD	48

## RESUMEN

**TITULO** ESTUDIO DE LA PRODUCCION DE EMPAQUES PLASTICOS BIODEGRADABLES A PARTIR DE BIORESINAS EN LA EMPRESA HALCON PLASTICOS LTDA DE BUCARAMANGA.\*

**AUTOR** DOLLY ESPERANZA MENDOZA REATIGA†

**PALABRAS CLAVES** Empaques biodegradables, bioresinas, biodegradabilidad.

Los plásticos son estables y no entran fácilmente en los ciclos de degradación de la biosfera, lo que hace que al ser desechados permanezcan en el ambiente sin descomponerse. Aproximadamente el 60 % de las basuras en el mundo son plásticos.

La empresa Halcón Plásticos decidió iniciar con la producción de empaques biodegradables y para lograrlo ha realizado este estudio en el que se determinaron bioresinas a utilizar, condiciones de operación y propiedades mecánicas y biológicas para el nuevo producto, utilizando la metodología: identificación y adquisición de materia primas, procesamiento de la bioresina, aplicación de pruebas mecánicas y biológicas a los bioempaques, análisis de los resultados y un análisis económico.

De la prueba de tensión se obtuvieron resultados similares a los de una película sintética, determinando que de tres muestras biodegradables con las que se trabajó las más semejante al plástico común correspondía a la del experimento 2, este bioplástico resistió una tensión de 19,61 N/cm<sup>2</sup> y una elongación de 65,8%, y la película sintética resistió una tensión de 19,61 N/cm<sup>2</sup> y una elongación del 68%; de la prueba de biodegradabilidad se obtuvo que el nuevo producto degradó en un 60% en un periodo de 45 días, lo que hizo suponer que a un tiempo mayor el plástico se descompondrá totalmente.

Además, se realizó un análisis económico en el que se determinó que el costo total de empaque biodegradable sobrepasaba al del sintético en \$1090 por kilogramo, concluyendo, que si se pueden producir empaques plásticos biodegradables con un incremento no muy alto pero si con una gran ayuda al medio ambiente.

---

\* Proyecto de grado.

† Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Ingeniería Química, Director Ingeniero Químico Ph.d. Humberto Escalante Hernández.

## ABSTRACT

**TITLE** STUDY OF THE BIODEGRADABLE PLASTIC PACKINGS PRODUCTION FROM BIORESINS IN THE COMPANY HALCON PLASTICOS LTDA OF BUCARAMANGA

**AUTHOR** DOLLY ESPERANZA MENDOZA REATIGA<sup>‡</sup>

**KEYWORDS** Biodegradable packaging, bioresinas, biodegradability.

The plastics are stable and they do not enter the cycles of degradation of the biosphere easily, which causes that when being rejected they remain in the atmosphere without being disturbed. Approximately 60% of sweepings in the world are plastic. The plastic Halcon company decided to initiate with the production of biodegradable packings and obtain it, it has realized this study in which determined bioresins to use, mechanical and biological conditions of operation and properties for the new product using the methodology: identification and acquisition of raw material, processing of the bioresin, application of mechanical and biological test to biopacking, analysis of the results and an economic analysis.

From the test of tension results similar to those of synthetic films were obtained, determining that out of there biodegradable samples, the similar one to the common plastic corresponded to the one of experiment 2, this bioplastic resisted a tension of 19,61 N/cm<sup>2</sup> and one elongation of 65,8%, and the synthetic film resisted a tension of 19,61 N/cm<sup>2</sup> and one elongation of 68%; from the test of biodegradability which was obtained that the new product degraded in a 60% in a period of 45 days, which it made suppose that at a greater time the plastics will be totally disturbed. In addition, an economic analysis was made, and it was determined that the total cost of biodegradable packing exceeded to the one of the synthetic one in \$1090 by kilogram, concluding, that if biodegradable plastic packings with an increase not very high but with a great aid to the environment can be produced.

---

<sup>‡</sup> Ability of Physiochemical Engineerings, School of Chemical Engineering. Director. PhD. Humberto Escalante Hernández.

## INTRODUCCION

Aproximadamente 140 millones de toneladas de polímeros sintéticos se producen en todo el mundo cada año. Los plásticos comunes son polímeros derivados del petróleo con largas cadenas y elevado peso molecular. Los plásticos son extremadamente estables y al ser desechados no entran fácilmente en los ciclos de la degradación de la biosfera y permanecen en el ambiente sin descomponerse, debido a que poseen un alto poder calorífico que evita que la desintegración molecular se dé con facilidad [1].

En la actualidad el plástico se ha convertido en material de gran utilidad teniendo diversidad de usos industriales como: películas para envolver, tuberías, envases, aislamientos eléctricos, etc lo que genera un gran problema ambiental [2]. Según reportes del Programa para el Medio Ambiente de las Naciones Unidas a través de su (PNUMA), en cada kilómetro cuadrado de agua salada hay alrededor de 18.000 restos de plásticos flotando, desechos que actualmente representan entre el 60% y el 80% de todos los residuos (6,4 millones de toneladas al año) que van a parar a mares y ríos del planeta [3].

El alto precio de las resinas derivadas del petróleo, la creciente conciencia ambiental de los consumidores y la madurez tecnológica está impulsando el crecimiento y aceptación de los plásticos biodegradables. Por lo anterior se vienen presentando alternativas al respecto como: adecuación de la capacidad global instalada, que se estima corresponda a un crecimiento del 75 % respecto a la presente para el año 2010 [4], en países como EE.UU. se han firmado convenios para la fabricación de materiales químicos a partir de cultivos agrícolas renovables a menores costos, además, empresas como Metabolix han obtenido licencias de patentes para la producción de enzimas claves en la obtención de

termoplásticos biodegradables [5], también, un equipo científico del departamento de biotecnología de la universidad de Milán, ha trabajado por la obtención de un material de extracto a base de corcho que logra degradarse en un tiempo menor a veinte días sin emitir a la atmósfera clorofluorcarbonados [6], y como un gran aporte la empresa Nature Works de EE.UU. mediante sus estudios a aportado que PLA tiene grandes ventajas frente a la película plástica convencional, ya que este proviene de una fuente natural lo que le confiere la propiedad de biodegradable, su producción requiere 65 % menos energía que la producción del plástico sintético y general el 68 % menos de gases de efecto invernadero [7],

En resumen la mejor solución al problema ambiental generado por los residuos plásticos es una alternativa innovadora para producir empaques plásticos flexibles biodegradables, elaborados a partir de bioresinas, con el beneficio de una fácil degradación sin llegar a alterar las características propias de las películas.

La empresa HALCON PLASTICOS LTDA, ubicada en la ciudad de Bucaramanga ha decidido dar un paso adelante para iniciar en el país la producción de Bioplásticos a partir de resinas de origen renovable, y como consecuencia ha decidido realizar el presente estudio de producción para la determinación de materias primas, condiciones y propiedades mecánicas y biológicas para el nuevo empaque.

## **BIODEGRADACION**

La biodegradación es la capacidad metabólica de los microorganismos para transformar o mineralizar contaminantes orgánicos en compuestos menos peligrosos, que puedan integrarse en los ciclos biogeoquímicos naturales. Sin embargo, en la biodegradación natural de los contaminantes se debe dar una serie de factores y condiciones vitales para el crecimiento de la bacteria, como son la humedad, los nutrientes, el oxígeno, el pH o la temperatura. Así mismo en este

proceso influye la composición, concentración y disponibilidad de los contaminantes, o las características físicas y químicas del lugar contaminado. [8]

## PLASTICOS BIODEGRADABLES

Existen diferentes definiciones para un plástico biodegradable, (tabla 1) [9]. Sin embargo la más general explica que los plásticos biodegradables son aquellos en los cuales la degradación resulta de una acción natural en la presencia de microorganismos, como bacterias, hongos y algas.

**Tabla 1. Definiciones de plásticos biodegradables**

NORMA	DEFINICION
ISO 472: 1988-A	Plásticos destinados a someterse a un cambio significativo en su estructura química, en determinadas condiciones ambientales que dan lugar a una pérdida de propiedades que pueden variar según lo medido por la prueba estándar de métodos adecuados a los plásticos y su aplicación en un período de tiempo que determina su clasificación. El cambio en la estructura química son los resultados de la acción de microorganismos de origen natural.
ASTM subcomité D20.96	Son materiales plásticos que sufren escisión en la columna vertebral a través de un polímero químico, biológico y/o fuerzas físicas en el medio ambiente, lo que lleva a la fragmentación o desintegración de los plásticos.
Sociedad Japonesa de plástico biodegradable	Son materiales poliméricos que se transforman en compuestos de menor peso molecular en la que al menos un paso en el proceso de degradación es a través de metabolismo en presencia de organismos de origen natural.
DIN 103.2	Son materiales que por un proceso que conduce al final de la naturaleza terminan su vida.

A fines del siglo XIX el precio del petróleo disminuyó, y de la misma manera decayó el interés por los plásticos biodegradables. En los últimos años además de producirse un aumento en el precio del petróleo, se ha tomado mayor conciencia de que las reservas petroleras se están agotando de manera alarmante. Dentro de este contexto, se observa un marcado incremento en el interés científico e industrial en la investigación para la producción de plásticos biodegradables o EDPs (environmentally degradable polímeros and plásticos) [10].

Los plásticos susceptibles de ser utilizados como composta pasan por un proceso de degradación biológica durante este proceso. El tiempo de compostaje del bioempaquete es de tres meses y da como productos: dióxido de carbono, agua, compuestos inorgánicos y biomasa (consistente en otros materiales compostables); sin dejar ningún residuo tóxico distinguible a simple vista.

Existe una línea muy delgada entre los plásticos biodegradables y los susceptibles de composteo; cuando los polímeros naturales, sintetizados en plantas, animales y microorganismos son incorporados en la polimerización de plásticos, el producto resultante es un plástico biodegradable. Estos aditivos pueden ser polímeros de féculas, celulosa, polisacáridos, solubles en agua, PHB (polyhydroxybutyrate) o productos de poliolefinas, cuando son expuestos a la luz solar, específicamente los rayos ultravioleta, los compuestos fotodegradables actúan como catalizador del oxígeno del aire y desprende bases libres, cortando la cadena molecular haciendo biopolímeros más pequeños a medida que el peso molecular se reduce, el polímero continúa rompiéndose en partículas más pequeñas, lo que puede ser absorbido por los microorganismos. Es así que una población de microorganismos con el crecimiento significativo es un excelente indicador de que el proceso de degradación es exitoso. [11]

Los bioplásticos se pueden degradar por acción biológica, química, fotodegradación, o una combinación de algunas de ellas. La degradación final de todos los materiales plásticos degradables, sea que inicialmente se degraden química o por luz, será la acción de microorganismos. [11]

Los bioplásticos son biodegradables, desintegrantes y carecen por completo de ecotoxicidad, también pueden ser incinerados, porque el CO<sub>2</sub> producido por la incineración es equivalente al que anteriormente fue absorbido por las plantas utilizadas para su fabricación durante su crecimiento. Los nuevos materiales cumplen con la norma europea EN 13432 que verifica el control de los compo-

nentes y verifica la ausencia de metales pesados. El umbral de biodegradabilidad exigido por la norma es del 90% y un máximo de seis meses. En cuanto a la desintegración, no debe quedar fragmentado el material en fragmentos superiores a 2mm x 2mm después de 12 semanas. También se controla la ecotoxicidad del humus. [12]

La producción del biopolímeros es compleja y costosa, por ende los artículos elaborados con ellos tienen costos altos. Sin embargo se espera que el mercado sea adsorbido por personas con conciencia ambientalista [12].

### **CLASIFICACION DE LOS POLIMEROS BIODEGRADABLES**

Los polímeros biodegradables se clasifican como [13]:

- *Polímeros naturales*: la celulosa, el almidón, y las proteínas.
- *Polímeros naturales modificados*: el acetato de celulosa o los polialcanoatos.
- *Materiales compuestos*: mezclas de almidón y poliestireno, o almidón y policaprolactona.
- *Polímeros sintéticos*: los poliésteres, las poliesteramidas y los poliuretanos.

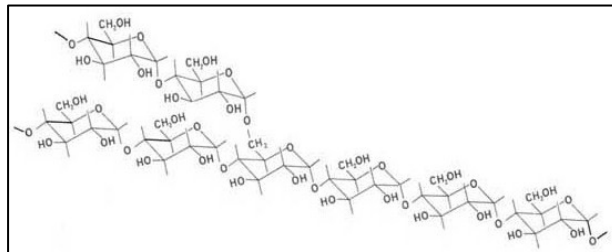
A su vez los biopolímeros naturales provienen de cuatro grandes fuentes: origen animal (colágeno/ gelatina), origen marino (quitina/quitosan), origen agrícola (lípidos y grasas e hidrocoloides: proteínas y polisacáridos) y origen microbiano (ácido poliláctico (PLA) y polihidroxialcanoatos (PHA)) [14].

Con respecto a la constitución química, los materiales biodegradables de mayor uso pueden clasificarse en tres categorías: derivados de azúcares, poliésteres y alcohol polivinílico. La primera engloba a polímeros que, con diferencia, son los de mayor aplicación.

## EL ALMIDON [14]

El almidón (figura 1), termoplástico de carácter fuertemente hidrofílico, de bajo costo y de alta disponibilidad, puede utilizarse como aditivo biodegradable o material de sustitución en plásticos tradicionales.

**FIGURA 1. Estructura molecular del almidon<sup>§</sup>**



El almidón acelera la degradación o la fragmentación de las cadenas de los polímeros sintéticos. La acción microbial consume el almidón creando poros en el material, que pueden llevar a su rotura. [13]

El almidón es materia prima en abundancia, específicamente el que proviene del maíz, tiene propiedades termoplásticas cuando se realiza la disrupción estructural a nivel molecular. La presencia de amilosa en un 70% en almidones de amilo-maíz da una estructura fuerte y más flexible a la película. La estructura ramificada de la amilopectina generalmente le da a la película pobres propiedades mecánicas.

El problema que han presentado las películas fabricadas con almidón es la sensibilidad a la humedad, la cual se ha reducido utilizando en las formulaciones polivinilalcohol (PVA), glicerina, sorbitol, bases nitrogenadas.

Los empaques biodegradables se obtienen de recursos naturales renovables. Pueden ser mezclados con plastificantes para mejorar las propiedades mecánicas, de barrera y transmisión de luz. Además, son amigables al medio ambiente, ventaja comparativa con respecto a los polímeros sintéticos usados en el

<sup>§</sup> <http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/azucares/almidon.html>

empacado de alimentos dada su biodegradabilidad. Por estas razones la producción, el beneficio, la transformación y mercadeo agroindustrial de los biopolímeros autónomos latinoamericanos pueden utilizarse en el desarrollo de bioempaques.

### **TECNICAS PARA LA BIODEGRADACION DE COMPUESTOS [8]**

*Bioaugmentación:* se añade al suelo un pool de microorganismos que posea comprobada capacidad degradadora del contaminante específico.

*Bioestimulación:* se modifican las condiciones ambientales del suelo, para aumentar la velocidad de degradación del contaminante, haciendo proliferar *in-situ* los microorganismos autóctonos con capacidad degradadora. La mejor efectividad de tratamiento se obtiene por bioestimulación de los microorganismos autóctonos.

### **EVALUACION DE BIODEGRADACION [11]**

Los nuevos polímeros que ofrecen propiedades mejoradas relativas a la susceptibilidad de ataques microbianos han sido introducidos a los mercados internacionales. Esto necesita de una evaluación de la propensión de los materiales de ser degradados biológicamente. La prueba inicia con la muestra de los plásticos para estimar las propiedades de un lote y proveer material para evaluar un método de prueba. El muestreo es un medio utilizado para solucionar el problema de estimar la calidad de un lote a partir de la inspección de sólo una parte de él.

La sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM) y la Organización Internacional de Estándares (ISO) han desarrollado estándares para la prueba de biodegradabilidad en diferentes condiciones específicas. Muchos de estos métodos dan resultados similares, aunque generalmente se complementan uno a otro. Basados en la naturaleza de los plásticos y en las rutas disponibles para su disposición final en un país, ejemplos de algunos de estos métodos utilizados para evaluar las propiedades biodegradables de plásticos (tabla2).

**Tabla 2. Normas para la determinación de biodegradabilidad de plásticos.**<sup>\*\*</sup>

<b>Código</b>	<b>Nombre</b>
ASTM G21-96	Determina la resistencia de materiales poliméricos a hongos.
ASTM 5247	Determina la biodegradación anaeróbica de plásticos degradables por microorganismos.
ASTM 5338-98	Determina la biodegradación aeróbica de plásticos degradables por microorganismos.
ASTM 5988-96	Determina la biodegradación aeróbica en suelos de materiales plásticos o residuos plásticos después de composteo.
ASTM 6002-96	Evalúa la posibilidad de composteo de plásticos degradables ambientalmente.
ASTM 6400-99	Especificaciones estándares para plásticos de composteo.

## **METODOS PARA COMPROBAR DEGRADACION [11]**

El aspecto más importante es seleccionar el procedimiento apropiado basado en la naturaleza de los plásticos y las condiciones climáticas del país. Las propiedades biodegradables son evaluadas bajo las siguientes condiciones:

### ◆ MÉTODO DE CULTIVO PURO

El método de cultivo puro utiliza bacterias u hongos específicos. El método de laboratorio determina el efecto de bacterias u hongos en las bolsas plásticas cuando los plásticos son conservados en las instalaciones del mismo bajo condiciones de temperatura y humedad favorables a dicho ataque.

### ◆ MÉTODO DE COMPOSTEO

El composteo es un proceso administrado que controla la descomposición biológica y la transformación de materiales biodegradables es una sustancia llamada composta. Por tratarse de actividad biológica, durante el proceso, se

<sup>\*\*</sup> [www.todoenplastico.com/noticias/noticia.asp?id\\_noticia=91](http://www.todoenplastico.com/noticias/noticia.asp?id_noticia=91)

produce elevación de temperatura, en ocasiones suficientemente alta como para causar ignición de los materiales.

El tiempo de biodegradación es variable, dependiendo de los materiales que se utilicen y de la cantidad pero en promedio se puede empezar a utilizar el producto de este proceso, a partir de unas pocas semanas o meses a un año.

◆ **DEGRADACIÓN ANAERÓBICA EN PRESENCIA DE LODOS RESIDUALES.**

El hecho de que en todos los ambientes donde los hidrocarburos naturales se forman el oxígeno no está presente, ha hecho pensar que los hidrocarburos no podrían ser degradados anaeróbicamente.

◆ **CONDICIONES DE RELLENO ACTIVAS**

Los suelos con vegetación son ambientes activos, tienen una población bacteriana de orden de  $10^9$ - $10^{11}$  organismos por gramo. Enterrar bolsas de plástico en dichos rellenos expone a los plásticos a una biodegradación e hidrólisis. Estos cambios pueden afectar la degradación así como el volumen de reducción.

**EL FUTURO DE LOS PLÁSTICOS BIODEGRADABLES [11]**

Existen expectativas de que en el futuro, la mayor parte de los plásticos serán degradables y susceptibles de convertirse en composta. Para este propósito, el primer requerimiento debe ser la evaluación de sus propiedades biodegradables. El productor deberá proveer información por parte de laboratorios independientes sobre sus productos y su respeto a las especificaciones de criterios de biodegradabilidad establecidos por los métodos ASTM. La introducción de bolsas biodegradables en los mercados de consumo requiere de educación efectiva al público en el sentido de que los plásticos biodegradables no se degradan instantáneamente y, por lo tanto, evitar el potencial incremento de basura.

## **EXTRUSION DE PELICULAS PLASTICAS [15]**

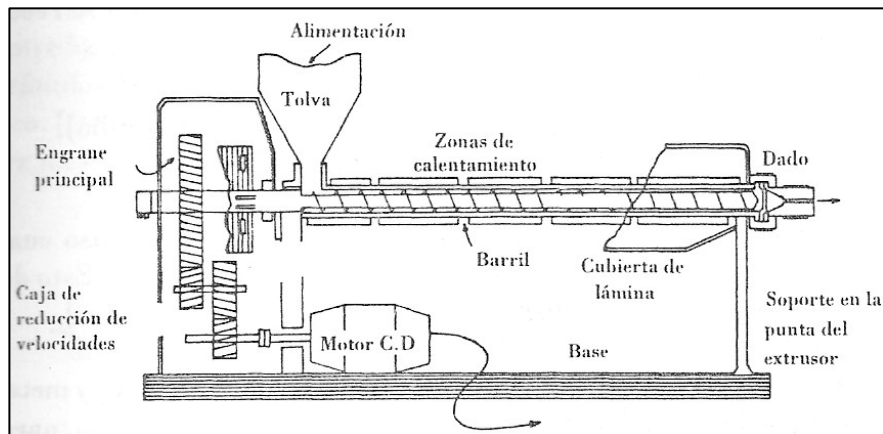
El proceso de extrusión se utiliza, además, para mezclar y formular compuestos de plástico y producir materia prima, como, por ejemplo, gránulos de concentrado o de compuesto.

El corazón de un extrusor es un husillo o tornillo que gira dentro de un barril o cilindro, y es capaz de bombear (empujar) un material a una velocidad específica, bajo ciertas condiciones de operación, cuando el material es demasiado suave, es decir de consistencia blanda se trabaja a grandes velocidades, pues por sus características no necesitan largo tiempo dentro del barril para transformarse en un fluido fácil de manipular.

Los materiales utilizados en el proceso de extrusión son, por lo general, termoplásticos. Estos materiales se suavizan cuando se calientan y se transforman en fluidos, que posteriormente se endurecen cuando se enfrían y se transforman en sólidos.

Cuando un material termoplástico se alimenta al extrusor, el husillo lo empuja hacia adelante a lo largo del barril, donde se calienta y se transforma en fluido; este fluido continúa y al final se le hace pasar a través de un dado que proporciona el perfil o la forma final deseada. Una vez que sale del dado, el fluido debe ser enfriado rápidamente para mantener la forma que se obtiene en el dado. La figura 2 muestra un diagrama típico de un extrusor, donde se señalan las partes principales.

**Figura 2. Diagrama de un extrusor con sus partes principales<sup>††</sup>**



El husillo y el barril de un extrusor tienen cuatro funciones principales: presurizar, calentar, mezclar y bombear. Para hacer cada función más eficiente es normal dividir esta parte del extrusor en tres zonas: alimentación, compresión y dosificación. La zona de dosificación va seguida por el cabezal y el dado. La función de la zona de alimentación es coleccionar los gránulos de la tolva y transportarlos hacia adelante en el canal del husillo. Para un buen transporte (bombeo), los gránulos deben adherirse a la pared del barril y mostrar un alto grado de deslizamiento en la pared del canal del husillo.

En la zona de dosificación, la masa del polímero fundido alcanza la consistencia correcta y la presión requerida para extrusión. En la zona de dosificación se requiere de una presión relativamente alta para obtener un mejor mezclado del material y, por ende, propiedades constantes en el producto. Este incremento en la presión se obtiene al imponer restricciones al flujo del plástico fundido, ya sea en la zona de dosificación del husillo o en el cabezal. Al finalizar la zona de dosificación es común incluir un plato rompedor. Este es usualmente un disco con perforaciones que en cierto modo hace las funciones de una coladera. Este plato rompedor cumple varias funciones como ayudar a aumentar la presión y detener

<sup>††</sup> Ramos. Extrusión de Plásticos, principios básicos.

impurezas y material no plastificado. El husillo debe tener la longitud y el diámetro suficientes para poder acomodar las zonas de alimentación, comprensión y dosificación, de modo que la masa de plástico fundido se encuentra en las condiciones requeridas para su extrusión a través del dado.

Para aumentar la eficiencia del conjunto barril y husillo en sus diversas funciones, se puede variar la temperatura a lo largo del barril. Es normal tener de dos a seis zonas de calentamiento a lo largo del barril y el dado. La salida de un extrusor dependerá de las dimensiones del husillo y del dado, así como la velocidad de rotación del husillo.

## 1. DESARROLLO EXPERIMENTAL

En la figura 3 se esquematiza la metodología desarrollada para la elaboración del presente estudio.

**Figura 3. Diagrama del procedimiento del estudio de producción de bioempaques**



### 1.1 IDENTIFICACION DE PRODUCTORES Y ADQUISICION DE LA MATERIA PRIMA

Por medio de búsquedas bibliográficas, vía internet y base de datos se determinaron los proveedores de bioresinas a nivel mundial, los cuales arrojaron un resultado de 10 empresas que utilizan material renovable como materia prima para la elaboración de sus productos.(Tabla 3).

Ya identificados los proveedores, se realizó la clasificación de estos teniendo en cuenta las aplicaciones de las bioresinas producidas por ellos, de igual manera se

selecciono la resina a trabajar de acuerdo a variables como: materia prima utilizada por los proveedores, condiciones de tecnología para el procesamiento, capacidad de distribuidores para la venta, y costos; llegando de esta manera a la elección de dos proveedores como posibles candidatos para la producción de bioempaques.

A continuación se realizó un estudio económico en el que se determinó que solo con uno de ellos se aplicarían economías de escala, por que se determinó trabajar con este único proveedor.

**Tabla 3. Proveedores de bioresinas a nivel mundial.**

<b>PROVEEDOR DE MATERIA PRIMA</b>	<b>PAIS</b>	<b>BIOPOLIMERO</b>
Nature Works LLC	EE.UU.	LLC
Telles	EE.UU.	Mirel
Novamont	Italia	Mater-Bi
Biop	Alemania	Biopar
Cereplast Inc.	EE.UU.	Cereplast resin
Dupont	EE.UU.	Sorona
Biotec	Alemania	Bioplast
Basf	Alemania	Ecovio
Biopearls	Holanda	Biopearls
Plantic	Australia	Plantic resin

## **1.2 PROCESAMIENTO DE LA BIORESINA**

Para la elaboración de este estudio, en el que la empresa Halcón Plásticos que cuenta con una experiencia de 22 años en la fabricación y comercialización de empaques plásticos flexibles para industrias como: panadería, almacenes, golosinas, entre otras, quería producir empaques plásticos para usos comunes, se seleccionaron como variables “de entrada” del proceso de extrusión de películas

plásticas por soplado: las temperaturas en las cinco zonas de calentamiento a través de la extrusora y la velocidad de empuje que no se tomo como una variable de entrada significativa por tratarse de un material proveniente del almidón que le confiere la propiedad de ser blando, considerado por la literatura que debe ser trabajado a altas velocidades, que en este caso fueron de 1200 rpm.

Se realizaron experimentos previos en los que se procesaron cantidades pequeñas de materia prima (3 kg) en una extrusora por soplado para determinar las condiciones máximas y mínimas de trabajo, pues al realizar la extrusión del material a las temperaturas sugeridas por el proveedor (tabla 4) no se permitió formación de película plástica, que era requerida para el fin con que se realizaba la extrusión, el material que salía en el dado de la extrusora permanecía como una masa sin lograr llegar a un soplado normal, en la tabla 5 se observan los resultados obtenidos:

**Tabla 4. Guía de procesamiento para la bioresina<sup>‡‡</sup>**

<b>Parámetros para el proceso de extrusión</b>	<b>Temperaturas en la extrusora (°C)</b>
Zona de recibo	145-160
Zona de alimentación	175-185
Zona media de compresión	180-195
Zona de medición delantera	185-200
Zona de adaptación	195-205
Temperatura de fundición	195-205
<i>Velocidad de empuje</i>	

<sup>‡‡</sup> Blown film processing guide, Cereplast Inc.

**Tabla 5. Temperaturas de extrusión en experimentos previos**

<b>TEMPERATURAS (°C)</b>	<b>RESPUESTA</b>
110-150-170-160-150	No formo película
100-140-160-150-140	No formo película
90-130-150-140-130	formo película
80-100-140-130-120	formo película
70-90-130-120-110	formo película
60-80-120-110-100	No formo película
50-70-110-100-90	No formo película

Al analizar estos resultados se tomaron como experimentos de estudio aquellos en los cuales se formo película; siendo distribuidas las temperaturas de la siguiente manera (Tabla 6):

**Tabla 6. Temperaturas de extrusión para la bioresina.**

<b>Experimento</b>	<b>Temperaturas de extrusión (°C)</b>				
	<b>Zona 1</b>	<b>Zona 2</b>	<b>Zona 3</b>	<b>Zona 4</b>	<b>Zona 5</b>
<b>1.</b>	70	90	130	120	110
<b>2.</b>	80	100	140	130	120
<b>3.</b>	90	130	150	140	130

La extrusión de los empaque plásticos se realizó en una extrusora de la empresa Halcón plásticos Ltda. (Figura 4). Los experimentos se realizaron con 7 kg de bioresina, a las temperaturas indicadas en grados Celsius y a una velocidad constante de empuje de 1200 rpm. Las películas obtenidas, en los experimentos, fueron de 0,0013 pulgadas de espesor, es decir 0,033 mm” con textura similar a los empaques producidos a partir de resinas sintéticas. A las películas fabricadas con la bioresina elegida como materia prima, se les determinó como variables de

salida la resistencia tensil que fue medida con la prueba de tensión y la degradación biológica que fue evaluada mediante el porcentaje de biodegradación calculado durante la aplicación de la prueba de biodegradabilidad.

**Figura 4. Extrusión de películas biodegradables**



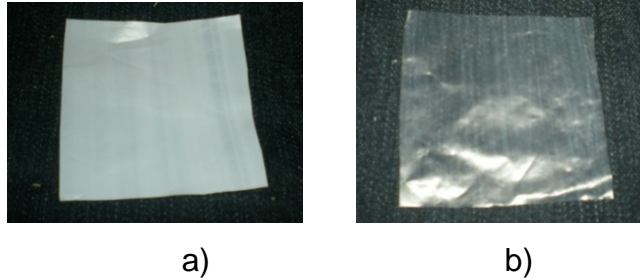
El diagrama de proceso de la extrusión presentado en la figura 5. deja ver que a la maquina extrusora entra una corriente que contiene un kilogramo de materia prima, el cual es procesado dentro de ella a las diferentes temperaturas, y una corriente de salida en la que se obtienen como resultados 0,97 kg de películas en buen estado y son consideradas como producto final, y 0,03 kg de desechos que corresponden a producto con imperfecciones que debe ser desechado.

**Figura 5. Diagrama de proceso de la extrusión de películas plásticas**



Las películas obtenidas en la producción a escala de laboratorio se muestran en la figura 6.

**Figura 6. Películas extruidas. a) empaque de polietileno b) empaque de bioresina.**



### 1.3 PRUEBA DE TENSION

Esta prueba fue basada en la norma ASTM D882, se realizó por medida continua de la fuerza que es desarrollada mientras la muestra es alargada a velocidad constante de tensión, al cumplir con esta prueba se busca simular la utilización que tendrá el empaque al llegar al consumidor, y demostrar con cuanta carga y hasta que estiramiento podrá resistir antes de romperse.

Para la determinación de la resistencia a la tensión de los empaques plásticos, se adecuaron mordazas para plástico en una maquina universal de ensayos marca Trebel de la escuela de Ingeniería Civil, en la que se trabajo con valores de carga que iniciaban en 20 kg-f, aumentando en 10 unidades cada medida a una velocidad constante. Se tomaron 10 muestras de cada uno de los especímenes, producidos en el laboratorio a partir de bioresinas, al igual que 10 muestras de empaque proveniente de polietileno, estas muestras fueron cortadas en forma rectangular tomando como referencia las indicaciones de la norma, de longitudes de 20 cm X 4 cm, de lo cual se realizaba la prueba con un muestras de 10 cm X 4 cm, teniendo en cuenta que los 10 cm sobrantes correspondía a asegurar la muestra en la mordaza respectiva.

Se tomo cada muestra puesta en las mordazas cilíndricas (figura 7) y se empezó a aumentar la carga suministrada al empaque, determinando el instante en que fallaba, además se tomaron lecturas de carga y deformación presentada durante la tensión.

**Figura 7. Montaje de muestras en mordazas para prueba de tensión.**



#### **1.4 PRUEBA DE BIODEGRADACION [17]**

Para comprobar degradación biológica del empaque producido se tomo como referencia las normas ASTM D6400 y ASTM D5338 para determinar la biodegradación aeróbica de materiales plásticos en condiciones de compostaje. Se utilizaron 12 buques de compostaje distribuidos de la siguiente manera: 3 buques con material biodegradable (bioempaque), tres buques con material no biodegradable (empaque de polietileno), tres buques con celulosa (cartón), tres buques sin material de prueba (blanco).

Como medio degradativo se tomo abono proveniente de lombricultivo, con 4 meses de edad, procedente de residuos sólidos urbanos, que fue tamizado para obtener una porosidad suficiente y de esta manera lograr que fuese más aeróbico.

Se pesaron 600g de sólidos secos del compostaje y se ajustaron a 50 % con agua destilada, para cada buque de compostaje.

Las muestras para cada buque fueron preparadas pesando 50 g de material, y cortadas en áreas de 2 cm X 2 cm cada una para obtener una mayor degradación, estas fueron colocadas en los recipientes que contenían el compost, agitándolas para lograr una mejor expansión dentro de cada uno de los buques.

Se airearon los buques de compostaje y se incubaron en la oscuridad en un recinto libre de vapores tóxicos para los microorganismos. Para cada material se tomaron dos reactores: en el primero se incluyó el compost con la muestra permitiéndole una entrada de aire, en el segundo que era alimentado por la salida del anterior fue diluido Hidróxido de bario al 0,025 N con el fin de atrapar el CO<sub>2</sub> proveniente de la degradación; el dióxido de carbono era capturado a través de la reacción entre este y el hidróxido de bario obteniendo como producto agua y carbonato de bario; el carbonato es insoluble y por lo tanto precipitó.

Cada 4 días se determinó por medio de titulación la cantidad de hidróxido de bario en los buques que contenían empaque biodegradable y los que contenían solo compost, para de esta manera calcular la cantidad de CO<sub>2</sub> producida y así demostrar el crecimiento de microorganismos en el compost.

Finalmente se determinó la cantidad total de CO<sub>2</sub> producido después de 45 días prueba y de esta manera el porcentaje de biodegradación de los empaques producidos a partir de bioresinas, por medio de la ecuación (1):

$$\%biodegradacion = \frac{media\ de\ Cg\ (test) - media\ de\ Cg\ (blanco) \times 100}{Ci} \quad (1)$$

Donde: Cg: cantidad de carbono producido

Ci: Cantidad de carbono en el compuesto de prueba añadido, para esta prueba correspondió a 0,55 g.

En la figura 8. se puede observar la adecuación de recipientes involucrados en la prueba de biodegradación como reactores en los que se degradaba el material y en los que se atrapaba el CO<sub>2</sub> como producto de la degradación.

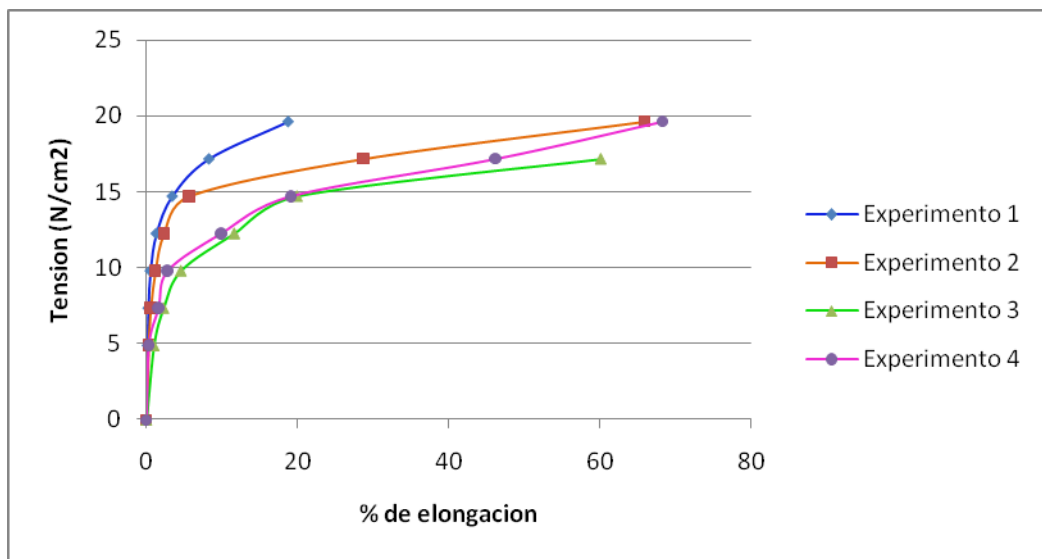
**Figura 8. Batería de reactores para la realización de la prueba de biodegradación**



## 2. RESULTADOS Y ANALISIS

### 2.1 PRUEBA DE LAS PROPIEDADES DE TENSION

Figura 9. Películas biodegradables y sintéticas sometidas a prueba de tensión.



En esta prueba se obtuvo un comportamiento típico de películas plásticas flexibles, en el gráfico obtenido los experimentos 1, 2 y 3 corresponden a material biodegradable y el 4 a sintético. Los resultados indican que las muestras 1, 2 y 4 fallaron a una tensión de 19,61 N/m<sup>2</sup>, mientras que la 3 falló a una resistencia de 17,16 N/m<sup>2</sup>; se puede deducir que de los bioempaques, tienen un mayor porcentaje de elongación los empaques de los experimentos 2 y 3 con 65,85% y 60,2 % respectivamente.

Los resultados calculados a partir de los datos obtenidos mediante esta prueba son presentados en la tabla 7.

**Tabla 7. Resultados de la prueba de tensión**

Experimento	Resistencia a la tensión (N/cm <sup>2</sup> )	% máximo de elongación
1	19,6133	18,8
2	19,6133	65,85
3	17,1616	60,2
4	19,6133	68,2

Para determinar cuál de las películas extrusadas tenía las mismas o similares características que la actualmente producida en Halcón plásticos, se tomo como base las propiedades mecánicas de tensión. Los resultados de la prueba arrojaron que los empaques de origen renovable generados en los experimentos 1 y 2, con valores de resistencia 19,61 N/cm<sup>2</sup> cada uno, fueron los mejores. La muestra 2 se escogió como la dominante, porque contaba con un mayor porcentaje de elongación correspondiente a 65,85 %. Con el empaque escogido en esta etapa se procedió a realizar la prueba para cerciorar la biodegradabilidad del material.

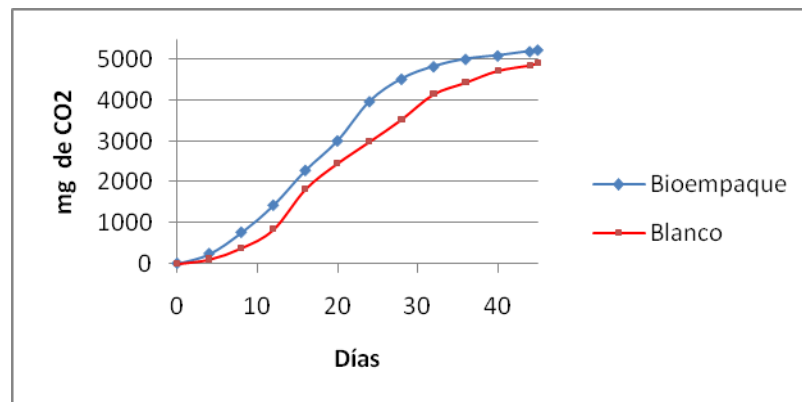
## **2.2 PRUEBA DE BIODEGRADABILIDAD**

### **2.2.1 Emisión de CO<sub>2</sub>**

Se realizaron lecturas cada cuatro días del CO<sub>2</sub> producido por los buques que contenían como material de prueba el bioempaque y el blanco. Se obtuvieron resultados favorables durante la aplicación de la prueba de biodegradabilidad; los datos obtenidos evidenciaron que el aumento de la actividad microbiana fue proporcional al tiempo de degradación. El crecimiento de microorganismos fue constante durante los días 5 y 35 en ambos buques, empezando con generaciones de dióxido de carbono de 240 a 5000 mg, desde el día 36 la

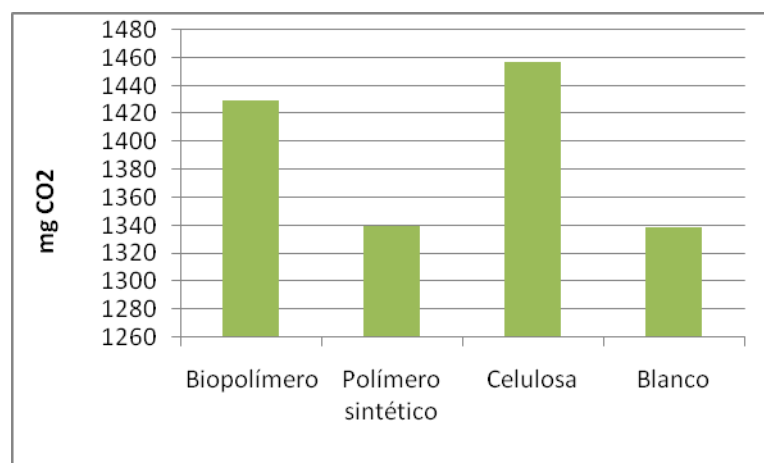
actividad tendió a estabilizarse en una producción de 5200 para la muestra de resina biodegradable. Estos resultados llevaron a concluir que la degradación se estaba llevando a cabo.

**Figura 10. Emisión de CO<sub>2</sub> durante prueba de biodegradabilidad**



### 2.2.2 Porcentaje de biodegradabilidad

**Figura 11. CO<sub>2</sub> acumulado al final de la prueba de biodegradabilidad.**



En la figura 11 se presentan los resultados de mg de CO<sub>2</sub> producidos en total al terminar la prueba de biodegradabilidad, con los cuales se noto la mayor actividad microbiana en el buque que contenía celulosa y en el buque que contenía el biopolímero.

En la tabla 5 se exponen los datos utilizados para el cálculo del porcentaje de biodegradación mediante la ecuación (1).

**Tabla 8. Resultados de prueba de biodegradabilidad.**

MUESTRA	mg de CO <sub>2</sub>	mg de C	% BIODEGRADACION
BIOEMPAQUE	1429,36	5240,97	60,36
PLASTICO SINTETICO	1340,20	4914,08	0,93
CELULOSA	1457,22	5343,13	78,94
BLANCO	1338,81	4908,97	

El estudio de biodegradabilidad realizado en este trabajo concluye que el crecimiento microbiano del inculo utilizado fue efectivo y contribuyo a la descomposición del material en prueba. En la figura 11 se observa que el proceso de degradación fue mayor para el bioempaque; correspondiente a una alta producción dióxido de carbono (1429,36 mg), producto principal de la biodegradación. Por otra parte la degradación del material sintético, que actualmente produce la empresa Halcón Plásticos, arrojo un valor de CO<sub>2</sub> (1340,20 mg) muy bajo; indicando que el proceso biológico no es eficiente.

De esta prueba, también, se puede afirmar que el empaque producido a partir de la bioresina cuenta con propiedades netamente biológicas, la película plástica de origen renovable alcanza un porcentaje de biodegradación del 60 % en 45 días, tiempo estipulado por la norma para realización de la prueba, de lo anterior se

deduce que a un tiempo mayor se consigue una desintegración total, además, comparando los buques de la celulosa y el bioempaque con porcentajes de biodegradación de 78,94 y 60,36 respectivamente se deduce que estos valores son próximos concluyendo que en condiciones de compost el empaque producido degradará en menos de 3 meses, se puede considerar el empaque producido como un plástico compostable que cumple con los parámetros establecido en la norma ASTM 6400 [18]

### 2.3 ANALISIS ECONOMICO

Para el presente análisis se tuvieron en cuenta los factores que generaban costo durante la elaboración del producto como: la materia prima tomando como base de cálculo para el análisis 1 kg, las horas laboradas por operarios distribuidas dentro de la empresa en tres turnos de ocho horas cada uno, procesando en promedio 50.000 kg de materia prima al mes, las pérdidas de material que han sido estimadas por estudios realizados anteriormente en la empresa como un 3% del material alimentado y la energía gastada calculada a partir del conocimiento de energía gastada mensualmente y producción mensual de empaques.

**Tabla 9. Costos de empaques por kilogramo producido en Halcón Plásticos.**

Factores generadores de costos	Costos en el procesamiento de resina sintética (pesos)	Costos en el procesamiento de bioresina (pesos)
Materia prima	4596	5720
Trabajadores	1150	1150
Perdidas de material	134	170
Energía	150	80
Total	6030	7120

Se realizó una comparación económica en la que se evaluó el costo final de los empaques (tabla 9), el precio de la película biodegradable supera el de la sintética en un 18% equivalente a \$1090 por kilogramo, valor asequible para el consumo humano, y realmente valioso desde el punto de vista ambiental, la utilización de este empaque implicaría un cambio no muy significativo pero de gran ayuda a la disminución de contaminación generada por los residuos plásticos.

## CONCLUSIONES

- ❖ Teniendo en cuenta los resultados de las pruebas aplicadas se eligieron como condiciones de trabajo, para el procesamiento en la extrusora, las temperaturas determinadas en el experimento número dos, con velocidad constante de 1200 rpm, se noto claramente que esta muestra cubre las propiedades similares a un empaque producido actualmente, además, esta película cuenta con la característica de producto compostable biodegradable.
- ❖ Este trabajo permitió llegar a unas condiciones de procesamiento ajustadas al ambiente y tecnología utilizada en la actual industria plástica común; para este fin, se tuvieron en cuenta las propiedades mecánicas, biológicas y como factor importante el costo final del nuevo producto.
- ❖ De acuerdo con la prueba de degradabilidad biológica, en la que se obtuvieron resultados de porcentajes de biodegradabilidad del 60,36% para el bioempaque y 0,93% para la película sintética, se concluye que el nuevo producto cuenta con la característica de ser biodegradable y se deduce que a un tiempo mayor la película puede alcanzar una desintegración total.
- ❖ El precio del bioempaque supera en un 18%, equivalente a \$1090 por kg, a la película sintética, este precio es asequible para la empresa Halcón Plásticos; pues implica un aumento de costos, esta inversión será amortiguada con beneficios económicos estatales y de gran ayuda a la reducción de la contaminación generada por los residuos plásticos.

## **RECOMENDACIÓN**

- ❖ El presente estudio llego hasta la producción de empaques plásticos flexibles biodegradables, se recomienda como paso a seguir el estudio de mercado y lanzamiento comercial para el consumo.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] SHIMAO M.,(2001) Biodegradation of plastics. Current Opinion in Biotechnology, vol 12, Pag 242-247.
- [2] AMC agroindustrial,(2008) El plástico como problema ambiental.  
<http://www.degradable.com.co/problema/index.shtml>
- [3] DIARIO EL MUNDO, (2008) Los residuos plásticos ponen en peligro la vida de los animales.  
<http://anele1979.spaces.live.com/blog/cns!D17483C29675A4CE!1281.entry>
- [4] EQUIPO EDITORIAL DE TECNOLOGIA DEL PLASTICO, (2007) Llego la hora de los plásticos biodegradables, Revista Tecnología del plástico. Edición 6, vol. 22, Págs. 20-26.
- [5] DEMICHELI, M.,(1996) Plásticos biodegradables a partir de fuentes renovables, the IPTS report, Num 10.
- [6] Reciclaje de plásticos, consultado el día 19 de Diciembre de 2008 en la Word wide web: <http://waste.ideal.es/plastico>.
- [7] VERD L.,(2008) La verdad sobre los plásticos biodegradables. Tecnología del plástico, vol. 23, edición 1, pág. 22-27.
- [8] MONTRAS A. y VICENT T., (2002) Biodegradación y biorremediación, Ectopia, Universidad Autónoma de Barcelona.

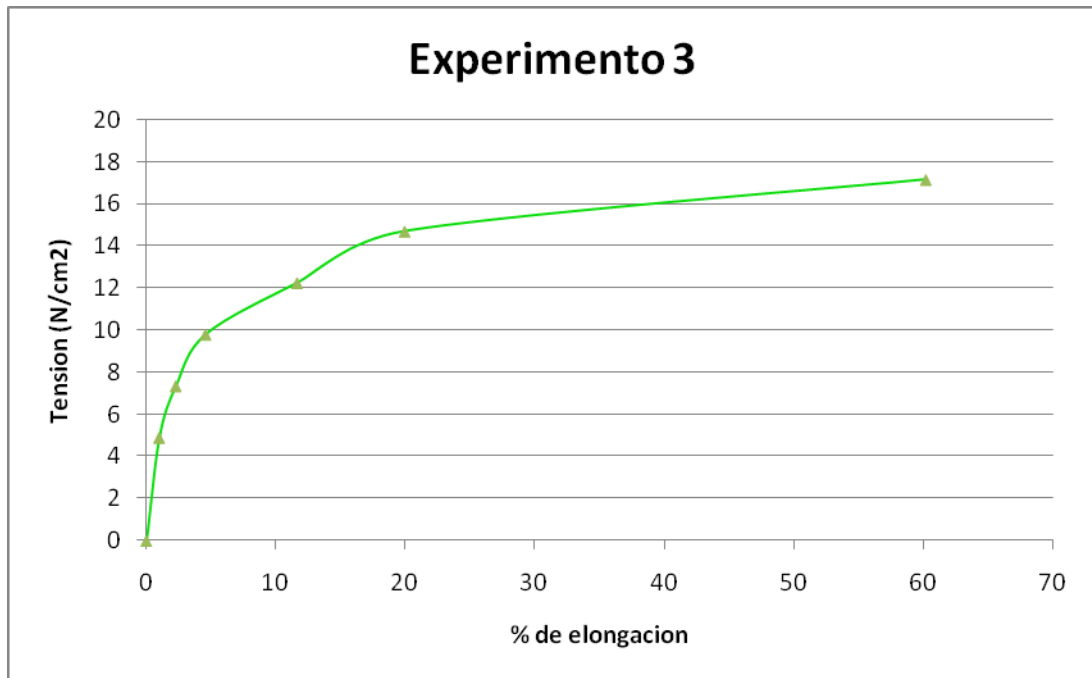
- [9] CHANDRA R. y RUSTGI R. (1998) Biodegradable polymers. Progress in polymer science, vol 23, pages 1273-1335.
- [10] PLASTICO, Consultado el día 28 de Agosto de 2008 de la World Wide Web:  
<http://es.wikipedia.org/wiki/Pl%C3%A1stico>
- [11] NAIR S., (2007) Evaluación de bolsas plásticas y su biodegradabilidad, Revista Todo en plástico.
- [12] EQUIPO EDITORIAL DE AMBIENTA, (2007) Bolsas de plástico 100% biodegradables. En Ambienta. Págs. 68- 69.
- [13] POLIMEROS BIODEGRADABLES DE USO COMERCIAL, Consultado el día 7 de Julio de 2008 de la World Wide Web:  
[http://www.tdx.cbuc.es/TESIS\\_UPC/AVAILABLEINTRODUCCION.pdf](http://www.tdx.cbuc.es/TESIS_UPC/AVAILABLEINTRODUCCION.pdf)
- [14] VILLADA H, ACOSTA H, VELASCO R, (2007) Biopolímeros naturales usados en empaques biodegradables, revista unicordoba, Publicación Julio.
- [15] RAMOS. (2007) Principios básicos de extrusión de plásticos, editorial Limusa, primera edición. Pág. 69-91
- [16] ASTM D882. Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting
- [17] ASTM D5338. Determining Aerobic Biodegradation of Plastic Materials Under Controlled Composting Conditions
- [18] ASTM 6400. Standard Specification for Compostable Plastics





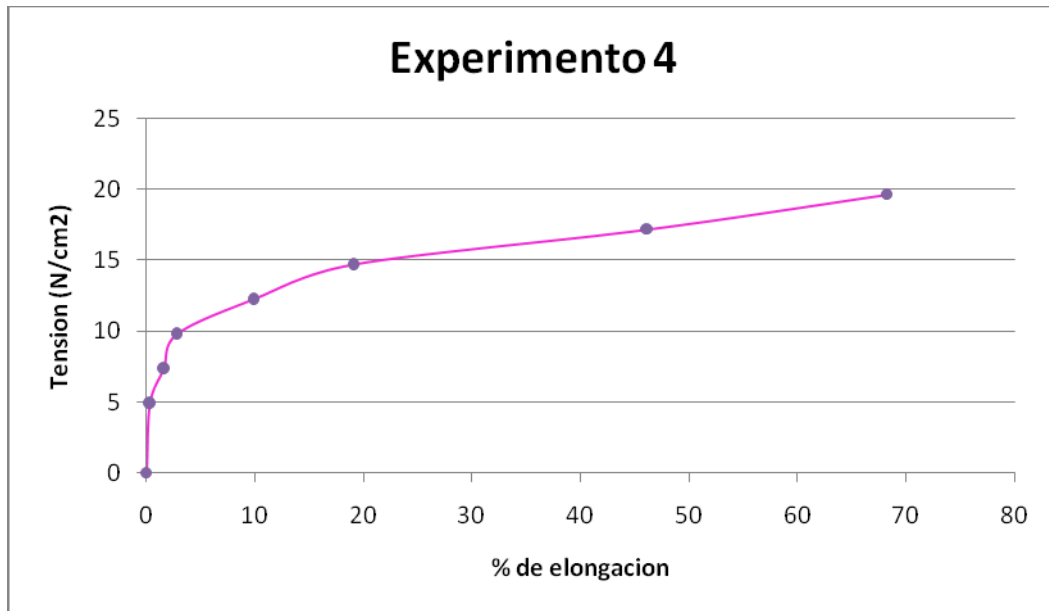
- Experimento 3

CARGA (Kg-f)	fuerza (N)	Tensión (N/cm <sup>2</sup> )	% elongación
0	0	0	0
20	1,47	4,90	0,99
30	2,45	7,35	2,27
40	5,10	9,81	4,57
50	12,94	12,26	11,64
60	33,64	14,71	19,95
70	81,40	17,16	60,20
área (cm <sup>2</sup> )	40		
Lo (mm)	100		



- Experimento 4

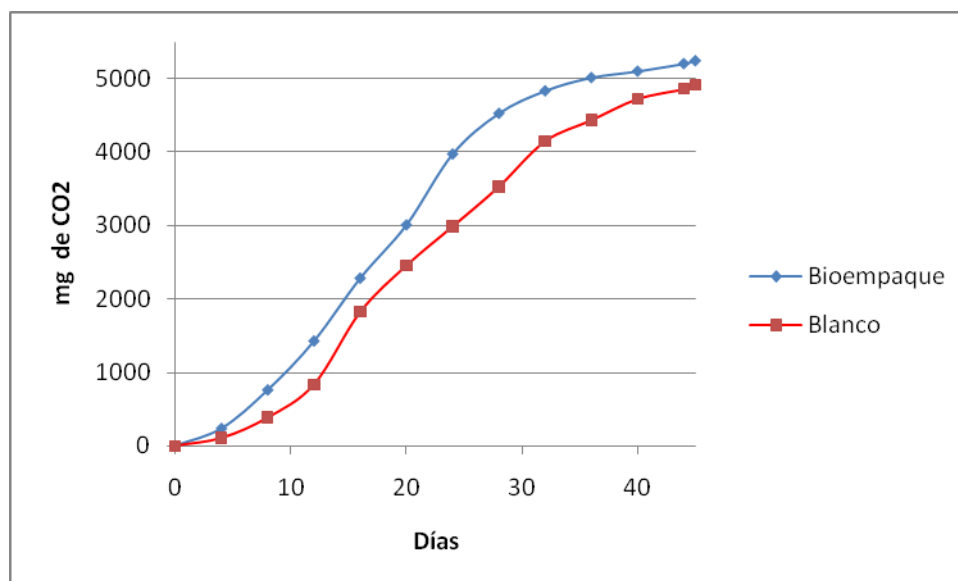
CARGA (Kg-f)	fuerza (N)	Tensión (N/cm <sup>2</sup> )	% elongacion
0	0	0	0
20	196,13	4,90	0,29
30	294,20	7,35	1,56
40	392,27	9,81	2,79
50	490,33	12,26	9,86
60	588,40	14,71	19,10
70	686,47	17,16	46,10
80	784,53	19,61	68,20
area (cm <sup>2</sup> )	40		
Lo (mm)	100		



## ANEXO B. RESULTADOS DE PRUEBA DE BIODEGRADABILIDAD

- Resultados durante la prueba

Día	Bioempaque	blanco
0	0	0
4	239,48	108
8	763,29	386,4
12	1428,34	838,28
16	2283,4	1823,38
20	3008,28	2456,23
24	3972,43	2987,38
28	4525,16	3528,38
32	4832,34	4146,63
36	5012,48	4432,75
40	5099,28	4721,87
44	5201,89	4856,32
45	5240,97	4908,97



- Resultados al final de la prueba

reactor	vlm de acido en la titulación (ml)	[base]	moles HCl	moles de CO <sub>2</sub>	gr de CO <sub>2</sub>	gr de C	mg de C	% biodegradación
bioempaque	0,18	0,000044	0,0051	0,032	1,43	5,24	5240,97	60,36
empaque sintético	0,32	0,000088	0,0091	0,03	1,34	4,91	4914,08	0,93
celulosa	0,13	0,000033	0,0037	0,033	1,46	5,34	5343,12	78,94
blanco	0,32	0,000081	0,0092	0,03	1,34	4,91	4908,97	

[acido]	0,05
vol. base (ml)	200
[base inicial]	0,024
gramos base	6
PM base	171,34
moles iniciales base	0,035
densidad acido	1,04
PM acido	36,5