





FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ING. QUÍMICA

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**COMPORTAMIENTO DE COMPUESTOS DE
POLIOLEFINAS CON ALMIDÓN DE YUCA BAJO LA
ACCIÓN DE UN MEDIO DEGRADATIVO**

BR. LUIS JOSE LIPORACI Z.

CONTENIDO:

- INTRODUCCIÓN O PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
- OBJETIVOS
- ANTECEDENTES
- MARCO TEÓRICO
- METODOLOGÍA
- RESULTADOS Y DISCUSIÓN
- CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

INTRODUCCIÓN

El Polietileno es un polímero sintético que por sus características y bajo costo se utiliza altamente en la producción de envases. Sin embargo, estas cualidades se ven afectadas por ser un material no degradable y luego de haber culminado su utilización, los productos elaborados con él se convierten en residuos que contaminan el ambiente.



INTRODUCCIÓN

El aumento considerable de los rellenos sanitarios, ha hecho que los investigadores trabajen arduamente en la búsqueda de un material que no contamine el ambiente y que tampoco permanezca en él por largo tiempo. De allí nace la idea de generar plásticos biodegradables capaces de suplir los plásticos sintéticos existentes.





OBJETIVO GENERAL

Estudiar las propiedades mecánicas, térmicas y la morfología del Polietileno de Baja Densidad (PEBD), de la mezcla de Polietileno de Baja Densidad (PEBD) con Polietileno Lineal de Baja Densidad (PELBD) en proporciones de: 80/20 en peso; y ambas con almidón natural de yuca en proporciones de poliolefina / almidón: 90/10 en peso, después de estar sometidas a un proceso de degradación por *Penicillium aculeatum* (BM-83).



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Evaluar las propiedades mecánicas, térmicas y la morfología de las muestras de estudio para determinar el efecto de la carga de almidón natural de yuca, antes del proceso degradativo.

Evaluar el efecto de la radiación gamma de baja intensidad (18 a 25 kGy) sobre las muestras de estudio mediante la determinación de variaciones en las propiedades mecánicas y térmicas



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Estudiar el efecto de la acción degradativa del hongo BM-83 en las muestras de estudio mediante el análisis de propiedades mecánicas, térmicas y la morfología después de haber sido sometidas durante 4 y 8 semanas al ataque microbiano.

Analizar el nivel de degradación al comparar las mezclas degradadas con respecto a las no degradadas.



ANTECEDENTES

Griffin en 1977 desarrolló formulaciones basadas en almidón granular con un contenido típico entre 6 y 12% en peso de almidón. El primer producto en el mercado fueron bolsas para las compras de mercado hechas de polietileno con aproximadamente 7% en peso de almidón incorporado.

M. Amin; S. Halim. "Handbook polymer degradation" 2nd edition (2000)



ANTECEDENTES

En 1991, Evangelista fue capaz de cargar hasta 25% del almidón de maíz que había sido modificado con octenil succinato en polietileno lineal de baja densidad. Estas mezclas mostraron mejores propiedades mecánicas que las mezclas donde el almidón no fue modificado debido a que el almidón modificado reduce la naturaleza hidrofílica del almidón natural.

C. Albano; J. González; M. Hernández; M. Ichazo "Characterization of polypropylen/cassava starch compound obtained in an internal mixer" (2008).



ANTECEDENTES

Pierre y Favis en 1997 estudiaron las propiedades mecánicas del polietileno de baja densidad mezclado con almidón modificado y las del polietileno lineal de baja densidad mezclado con almidón modificado. Observaron que estos compuestos tenían mejor procesabilidad y propiedades mecánicas que las de almidón sin tratar.

C. Albano; J. González; M. Hernández; M. Ichazo "Characterization of polypropylen/cassava starge compound obtained in an internal mixer" (2008).



ANTECEDENTES

En el año 2000, T. Volke, G. Saucedo, M Gutierrez, Z Manzur y E. Favela realizaron estudios de degradación de polietileno de baja densidad termo-oxidado e incubaron *Aspergillus niger* y *Penicillium pinophilum* con y sin etanol durante 31 meses. Se encontraron cambios significativos en la morfología y estructura del material, adicionalmente la biodegradación se ve favorecida con la presencia de etanol y por último la mineralización mas alta se obtuvo con *Penicillium pinophilum* con etanol.

T. Volke, G. Saucedo, M Gutierrez, Z Manzur y E. Favela "termally treated low density polyethylene biodegradation by penicillium pinophilum and aspergillus niger" Journal of Applied. Polymer Science. Vol 83. p. 305 - 314. (2002)



ANTECEDENTES

En el año 2004 A. Pedroso y D. Rosa fabricaron películas de polietileno de baja densidad reciclado con 30, 40 y 50% en peso de almidón de maíz para compararlo con muestras de polietileno virgen, encontrando que la elongación al quiebre disminuye considerablemente con el aumento del contenido del almidón.

A. Pedroso; D. Rosa "Mechanical, thermal and morphological characterization of recycled LDPE/corn starch blends". Carbohydrate Polymers. Vol 59, p. 1-9 (2005)



ANTECEDENTES

En el 2005 A. Sivan, M. Szanto, y V. Pavlov estudiaron durante 8 semanas el comportamiento del *Rhodococcus ruber* como microorganismo capaz de degradar películas de polietileno. Destacándose los signos de degradación después del día 16 de experimentación.

A. Sivan, M. Szanto y V. Pavlov "Biofilm development of the polyethylene – degrading bacterium Rhodococcus ruber" Appl. Microbiology Biotechnol. Vol 72. p. 346 – 352 (2006).



ANTECEDENTES

En 2007, C. Méndez, G. Vergaray, V. Bejar y K. Cárdenas analizaron muestras de polietileno obtenidas de un relleno sanitario e inocularon diferentes tipos de hongos, a diferentes temperaturas y a diferentes pH para determinar las condiciones que generaban mayor actividad. Se utilizaron temperaturas entre 20 y 30°C, 20 cepas diferentes y variaciones en el pH entre 4,5 y 8,0. Obteniéndose como resultado que a 20°C y con un pH de 6,5 el polietileno muestra las condiciones óptimas para ser biodegradado por *Aspergillus flavus* o por *Penicillium Implicatum*.

C. Méndez, G. Vergaray, V. Bejar y K. Cárdenas "Aislamiento y caracterización de micromicetos biodegradables de polietileno" Rev. Perú biológica. Vol 13(3). p. 203 – 205 (2007)



MARCO TEÓRICO

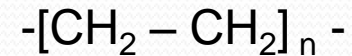
Polietileno:

Las poliolefinas constituyen la mayor parte de los termoplásticos que suelen ser utilizados como materiales para empaques. Estos materiales son por lo general inertes y además gozan de un balance óptimo en sus propiedades físicas.

Entre sus propiedades químicas resaltan su resistencia a la corrosión y a los agentes químicos. Su alta resistencia a la degradación se debe a:

- 1.- La presencia de enlaces covalentes
- 2.- Su alto peso molecular
- 3.- Su carácter hidrofóbico.

Estructura:





MARCO TEÓRICO

La clasificación de los tipos de polietileno según su estructura y las ramificaciones que presenten se puede clasificar principalmente en:

- 1.- Polietileno de baja densidad (PEBD)
- 2.- Polietileno lineal de baja densidad (PELBD)
- 3.- Polietileno de alta densidad (PEAD)





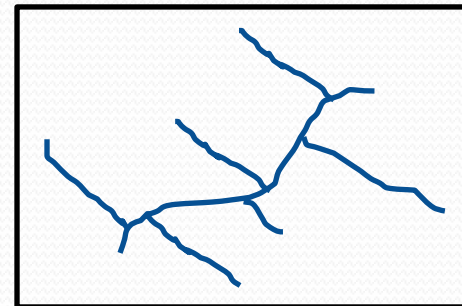
MARCO TEÓRICO

1.- Polietileno de baja densidad (PEBD):

Esta poliolefina posee cadenas asociadas por medio de débiles fuerzas de Van der Waals y una estructura altamente ramificada la cual, logra disminuir la densidad y generar un alto peso molecular.

El polietileno de baja densidad se caracteriza por:

1. Buena resistencia térmica y química.
2. Buena resistencia al impacto.
3. Es traslúcido.
4. Es mas flexible que el PEAD.
5. Buena procesabilidad (inyección ó extrusión).





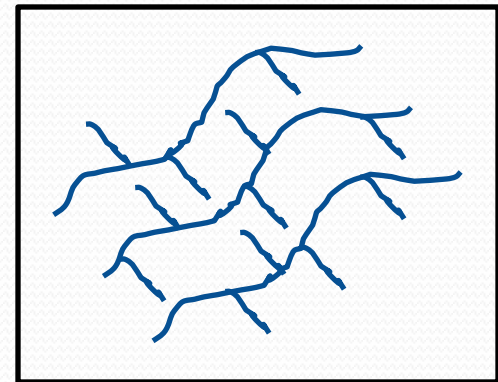
MARCO TEÓRICO

2.- Polietileno lineal de baja densidad (PELBD):

Es un copolímero de etileno con alfa-olefina y los co-monómeros mas frecuentemente utilizados son buteno, hexeno, u octeno.

El polietileno lineal de baja densidad se caracteriza por:

1. Bajo costo.
2. Alta resistencia al impacto.
3. Resistencia química a ácidos, y solventes acuosos
4. Menor claridad óptica comparado con el PEBD





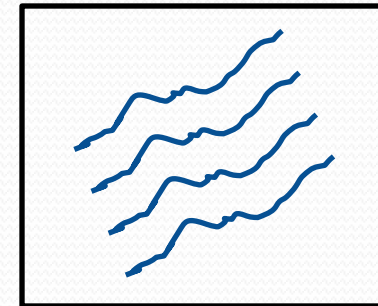
MARCO TEÓRICO

3.- Polietileno de alta densidad (PEAD):

Es un polímero que, a diferencia del PEBD, tiene una cadena principal muy poco ramificada, lo que genera una estructura compacta.

El polietileno de alta densidad se caracteriza por:

1. Resistente a bajas temperaturas.
2. Altísima resistencia química.
3. Polietileno de mayor grado de cristalinidad.
4. Alta resistencia a la tensión, compresión y tracción en comparación al PEBD





MARCO TEÓRICO

Polimezclas:

Las polimezclas han sido desarrolladas con la finalidad de mejorar el comportamiento mecánico y la tenacidad del componente mayoritario. Sin embargo, desde el punto de vista termodinámico pueden distinguirse varios tipos de mezclas: miscibles, inmiscibles y parcialmente miscibles.

Una condición para que exista miscibilidad es que para una temperatura y una presión determinada se cumpla que:

$$\left(\frac{\partial^2 \Delta G_M}{\partial X_i^2} \right)_{T,P} > 0$$

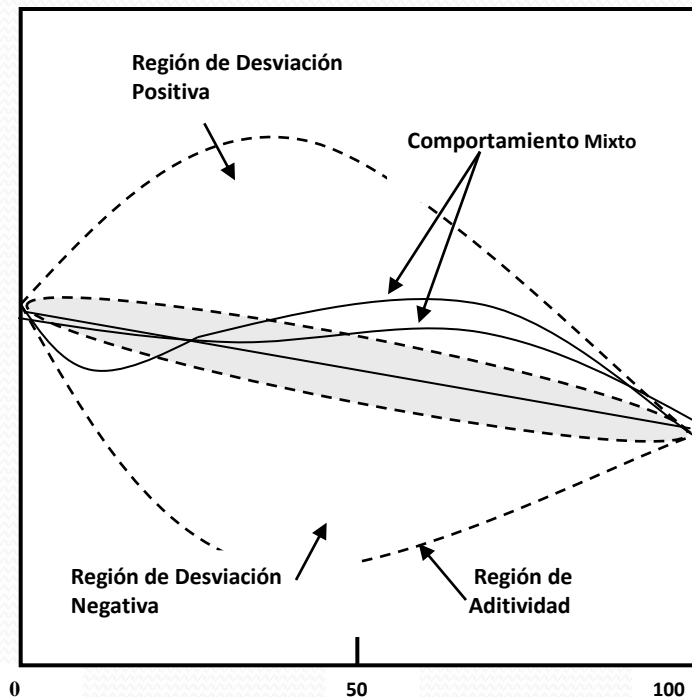
Donde X_i es la fracción molar del componente i y ΔG la variación de la energía libre de Gibbs.



MARCO TEÓRICO

Sin embargo, la termodinámica mediante el uso de la Ley aditiva de mezclas (LAM) se ha estructurado un gráfico, el cual puede llegar a revelar desviaciones positivas, negativas o un comportamiento mixto de la propiedad evaluada.

El nivel de miscibilidad tiene un importante efecto en el comportamiento final de polímero. Si no existe interacción la capacidad del sistema se reduce y por ende, habrá una disminución de las propiedades finales y viceversa.





MARCO TEÓRICO

Cargas

Se define como carga a todo aquel material sólido que al ser agregado al polímero se volumen aumenta y además modifica sus propiedades. Las cargas se utilizan por una variedad de razones como reducción de costos y mejoría en las propiedades mecánicas, térmicas y/o en la morfología.

En los últimos años se han utilizado materiales orgánicos como materiales de carga, aunque estos se oponen al comportamiento hidrofóbico de la mayoría de los polímeros, en este caso, poliolefinas.



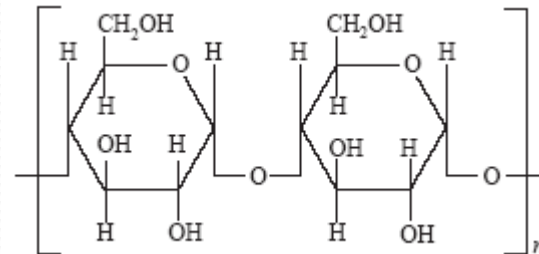


MARCO TEÓRICO

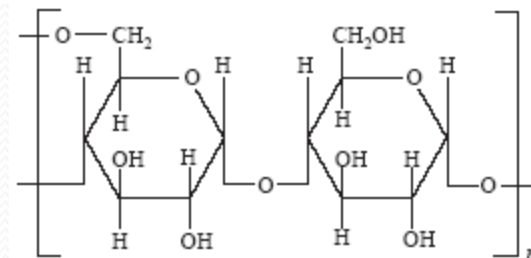
Almidón:

Es un polisacárido cuya principal reserva se encuentra en el reino vegetal. Se diferencia de los demás carbohidratos, debido a que se presenta en forma de gránulos complejos. Los componentes principales del almidón son la amilosa y la amilopectina.

Los almidones mas comunes, poseen de 75 – 80% de amilopectina. La amilopectina es ramificada debido a que contiene mas puentes por donde polimerizarse.



Amilosa



Amilopectina



MARCO TEÓRICO

El almidón nativo de yuca es de color blanco, con partes cristalinas y otras no. Es relativamente poco sólido al tacto, sin olor e insoluble en agua fría. Pero en agua caliente produce una suspensión coloidal que al enfriarse se vuelve gelatinosa.

El almidón de yuca por lo general tiene una forma elíptica en el gránulo. Posee aproximadamente 17% de amilosa y 83% de amilopectina. Su rango en la temperatura de gelatinización varía entre 52 y 64°C



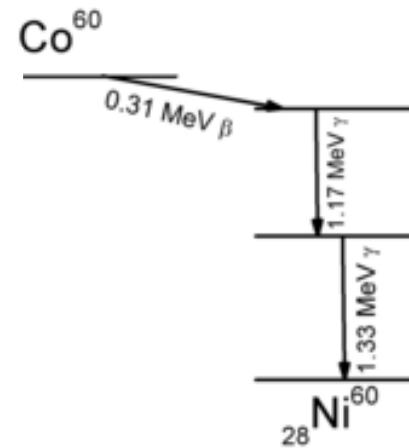


MARCO TEÓRICO

Radiación gamma:

Los rayos gamma son una forma de radiación electromagnética con una longitud de onda mucho mas corta que la luz del espectro visible, motivo por el cual se encuentra en un punto elevado de energía.

La fuente mas común para la radiación gamma es Cobalto 60, la cual produce 2 emisiones de casi igual intensidad: una de 1,17 MeV. y otra de 1,33 MeV.





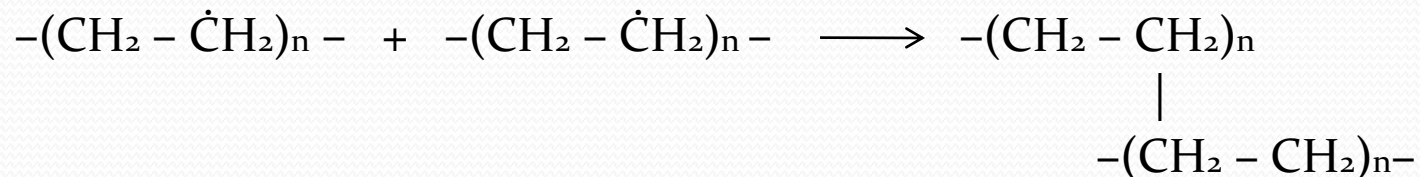
MARCO TEÓRICO

Efecto de la radiación gamma:

Cuando el polietileno es expuesto a estos niveles de energía, se produce la sustracción de un electrón (e-) generando que la molécula quede en estado excitado. Sin embargo, esto depende de la dosis absorbida, de la atmosfera, y la temperatura a la cual se realiza la irradiación.

Estos cambios originan variaciones en sus propiedades como el entrecruzamiento, oxidación, formación de insaturaciones, entre otras.

Entrecruzamiento:





MARCO TEÓRICO

Polímeros Biodegradables:

Se sabe que el polietileno tiene una tasa de degradación extremadamente lenta, aunque se considera que la utilización de cargas, fácilmente degradables como el almidón natural, contribuiría a acelerar su degradación. Los expertos sugieren que el término biodegradación sólo sea utilizado cuando exista transformación o deterioro en el material cuando actuaron sobre él, microorganismos y/o enzimas segregadas por éstos.



MARCO TEÓRICO

Los factores que afectan la degradación de los polímeros aparte de las condiciones externas como pH, presión y temperatura son:

1.- ***Peso Molecular:***

La miles unidades de etileno no permiten el paso de enzimas intracelulares de los microorganismos.

2.- ***Hidrofobicidad:***

La hidrofobicidad dificulta la actividad microbiana por la baja actividad de agua

3.- ***Morfología:***

Estudios demuestran que la partes cristalinas son mas dificiles de degradar que las partes amorfas.

4.- ***Complejidad Estructural:***

Los enlaces no permiten ataques nucleofílicos y electrofílicos.

5.- ***Aditivos.***



MARCO TEÓRICO

Caracterización Mecánica:

El comportamiento mecánico de un material depende de su peso molecular, estructura, grado de cristalinidad, la forma de la probeta y las condiciones de ensayo. El ensayo de tracción, tensil o ensayo universal es una de las técnicas que arroja mayor información acerca de las propiedades mecánicas del material.

Caracterización Térmica:

El análisis térmico es la medida de una propiedad física de una sustancia cuando es sometida a un programa de calentamiento controlado. Las utilizadas en el trabajo son la calorimetría diferencial de barrido, y la termogravimetría.



MARCO TEÓRICO

Caracterización de la morfología:

Lo que se busca es examinar la superficie, dispersión y/o aglomeración de la carga en la matriz polimérica y este sentido, tratar de relacionar estas variables con el comportamiento mecánico y térmico.



MARCO TEÓRICO

Ensayos de tracción:

El ensayo de tracción, ensayo tensil o universal es el mas utilizado para conocer las propiedades mecánicas de un polímero debido a la información que arroja.

Este ensayo consiste en someter a una muestra del material llamada probeta, a un estiramiento de manera unidireccional, a baja velocidad, hasta provocar la ruptura del material.

El resultado es un gráfico de esfuerzo – deformación.

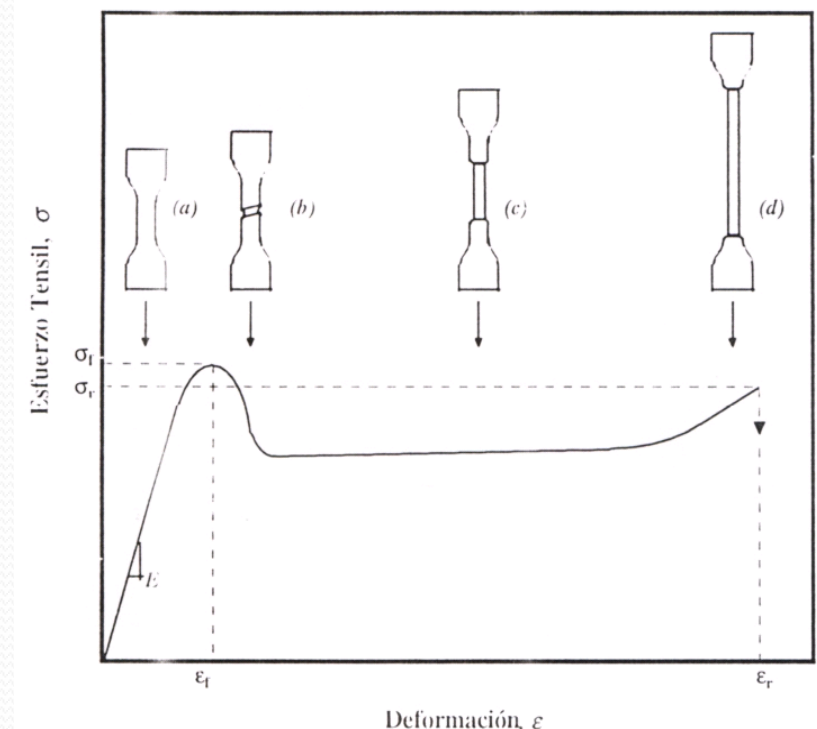
La probeta posee un área transversal, la cual tiene una region uniforme en el centro y mas pequeña que los extremos. Esto con la finalidad de que la fuerza aplicada suponga valores de mayor tensión en el área central de la probeta.



MARCO TEÓRICO

En la figura se muestra el diagrama de esfuerzo – deformación particular del polietileno.

- Muestra una elongación inicial homogénea.
- Punto donde se produce el efecto cuello. Inicio de la deformación plástica.
- Propagación del cuello, hasta los extremos.
- Elongación homogénea hasta alcanzar la ruptura.





MARCO TEÓRICO

Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC):

Por sus siglas en inglés Differential Scanning Calorimetry, es una técnica versátil usada para determinar características térmicas de las muestras que se examinen, que son fundamentales para investigaciones morfológicas.

Los resultados que arroja permite conocer transiciones térmicas por medio de un termograma del flujo de calor en función de la temperatura.

El termograma muestra 3 cambios bruscos de nivel a diferentes temperaturas: el primero corresponde a la temperatura de transición vítrea, la segunda la temperatura de cristalización y la tercera la temperatura de fusión.



MARCO TEÓRICO

Termogravimetría (TGA):

El análisis termogravimétrico o la termogravimetría (TGA) proporciona una medición cuantitativa de cualquier cambio en peso asociado a transiciones térmicas inducidas.

Los cambios de pesos resultan del rompimiento y formación de enlaces físicos y químicos a temperaturas elevadas. Estos procesos pueden generar productos volátiles que ocasionan las variaciones de peso.

El estudio de la termodegradación de un material es importante, ya que al obtener los datos de los parámetros cinéticos de las curvas termogravimétricas permite determinar su estabilidad térmica

El polietileno encuentra una limitación con este análisis.



METODOLOGÍA

Materiales:

Polímeros:

Poliolefina	Nombre comercial	Densidad (g/cm ³)
Polietileno de baja densidad	PEBD 0241	0,9219
Polietileno lineal de baja densidad	PELBD 11U4	0,9225

Cargas:

Almidón de Yuca, originario del estado Miranda, obtenido de forma artesanal.



METODOLOGÍA

Experimentación:

- Preparación de la carga orgánica
 - Tamizado a 120 μm
 - Secado a 90°C durante 24 horas.
- Preparación de las mezclas
 - Mezcla física. 90/10
 - Mezcla física de polímeros 80/20
 - Extrusión con un perfil de temp. (190,180,170,150)
 - Granular las muestras
 - A: PEBD.
 - B: PEBD + Almidón.
 - C: PEBD/PELBD.
 - D: PELB/PELBD + Almidón.
 - Secado de los gránulos a 90°C



METODOLOGÍA

- Moldeo de películas

Con una prensa hidraulica a 200°C Según el ciclo:

Tiempo (s)	Presión (Lbs)
0 – 60	0
60 – 120	7000
120 – 150	0
150 – 210	7000
210 – 240	0
240 – 300	10000
300 – 310	0
310 – 360	10000

- Irradiación de las muestras.

Con Cobalto 60 a 36 kGy



METODOLOGÍA

- Ensayo de biodegradación.

Penicillium acuelatum en concentración: 20×10^4 cel/ml

10 probetas por fiolas

16 fiolas distribuidas de la siguiente forma:

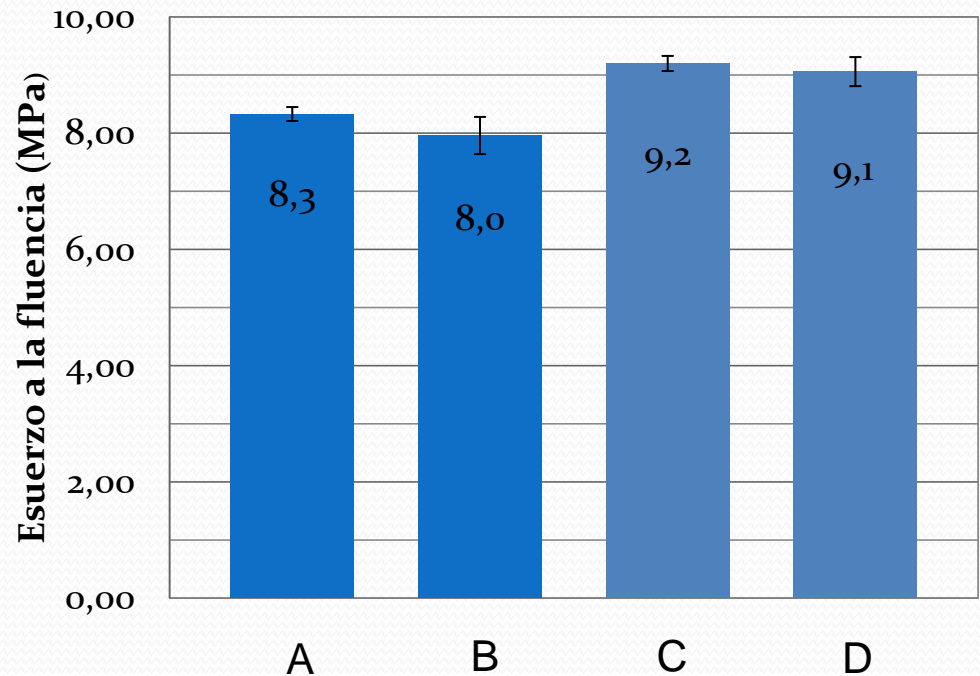
A con hongo 4 semanas	B con hongo 4 semanas	C con hongo 4 semanas	D con hongo 4 semanas
A sin hongo 4 semanas	B sin hongo 4 semanas	C sin hongo 4 semanas	D sin hongo 4 semanas
A con hongo 8 semanas	B con hongo 8 semanas	C con hongo 8 semanas	D con hongo 8 semanas
A sin hongo 8 semanas	B sin hongo 8 semanas	C sin hongo 8 semanas	D sin hongo 8 semanas

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de la carga de almidón:

Ensayos Tensiles

Los datos de la figura revelan que ocurre una ligera disminución en el esfuerzo a la fluencia cuando se agrega almidón al polímero, en comparación al polímero sin carga, indicando que el almidón no se comporta como agente reforzante (A.G. Pedroso, 2005)

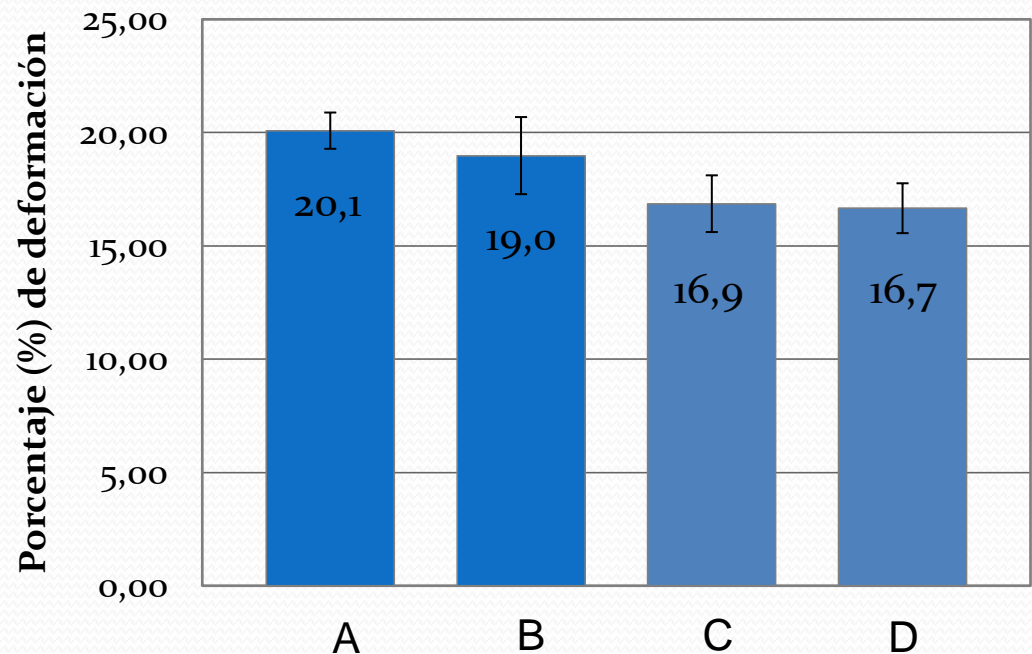


RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de la carga de almidón:

Ensayos Tensiles

En la figura cuando se compara A con B y C con D se observa que en ambos casos la reducción en la propiedad no es significativa, de hecho pudiera aseverarse que entre C y D no existe diferencia ocasionada por el 10% de almidón agregado

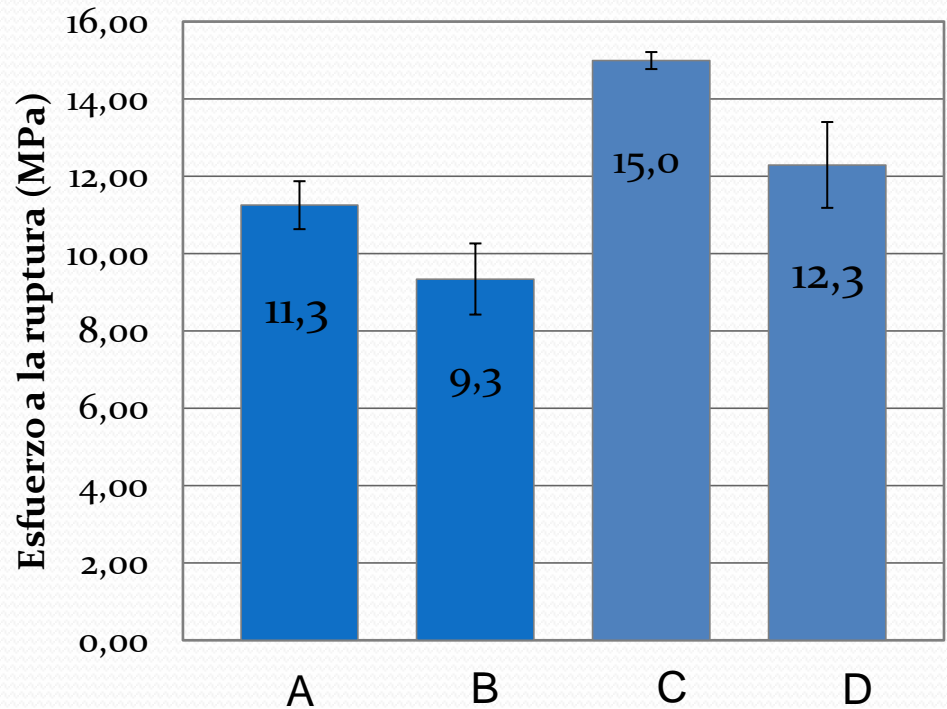


RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de la carga de almidón:

Ensayos Tensiles

El efecto obtenido en el esfuerzo a consecuencia de la incorporación de almidón en polímeros, se presenta en la figura donde se aprecia nuevamente una disminución en la propiedad evaluada

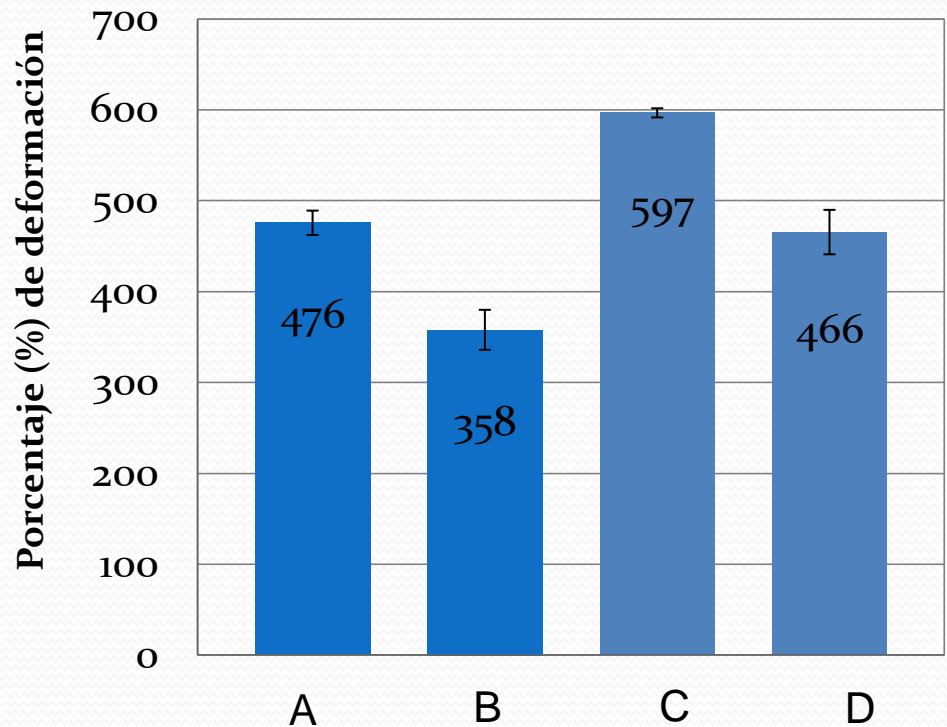


RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de la carga de almidón:

Ensayos Tensiles

En la figura se pueden observar las caídas abruptas de 32,89% y 28,18% en los valores de deformación a la ruptura, cuando se comparan B con A y D con C respectivamente, permiten comprobar que la propiedad es considerada altamente sensible al grado de adhesión de la carga al polímero

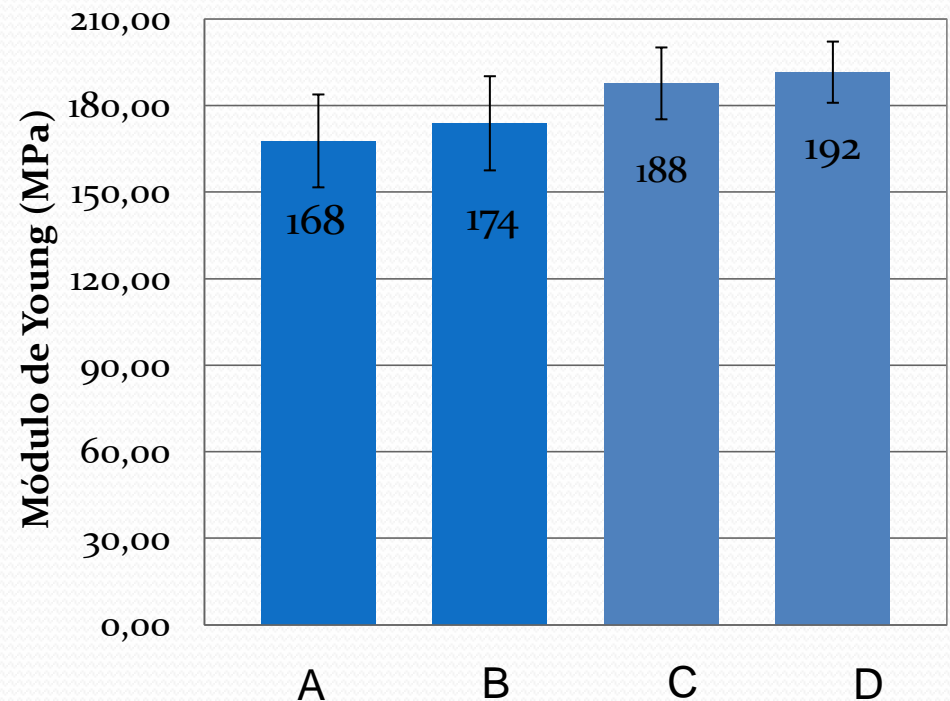


RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de la carga de almidón:

Ensayos Tensiles

Los autores P. Hwan-Man (2002), A.G. Pedroso (2005) y Peacock (2001) coinciden que la adición de almidón a la matriz polimérica incrementa el módulo, a medida que se incrementa el contenido de almidón.

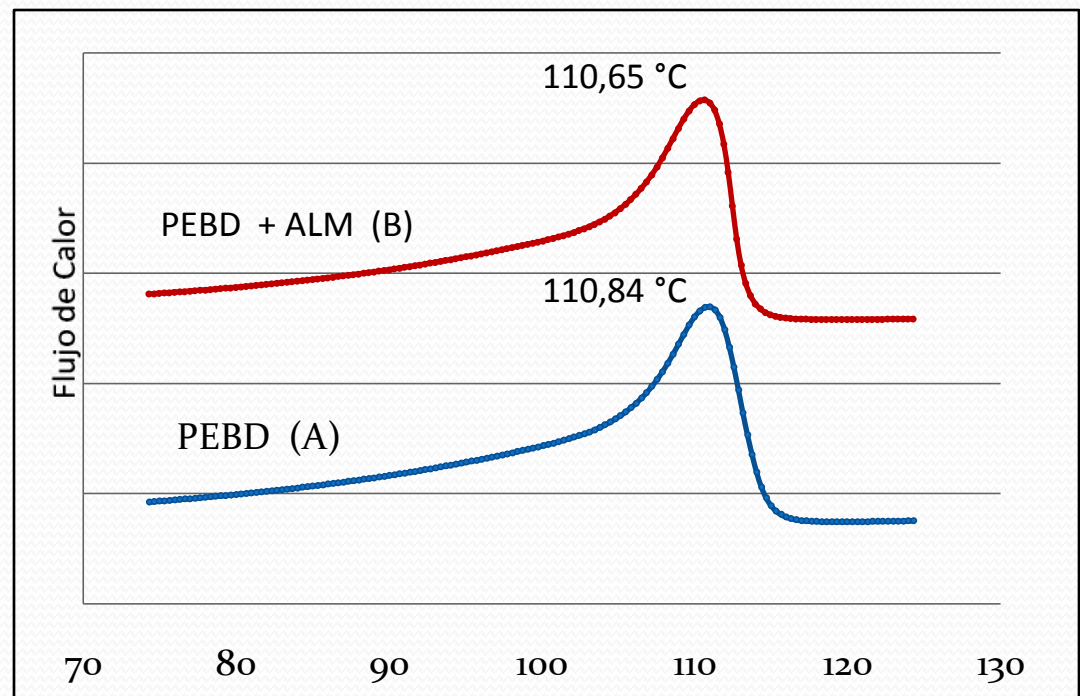


RESULTADOS Y DISCUSION

Efecto de la carga de almidón:

Ensayos DSC

Las temperaturas de fusión de cada tipo de muestra son mostradas en la figura donde nuevamente se observa poca variación a consecuencia del almidón. Además, hay que destacar que las curvas de la muestras A y B presentan un único pico

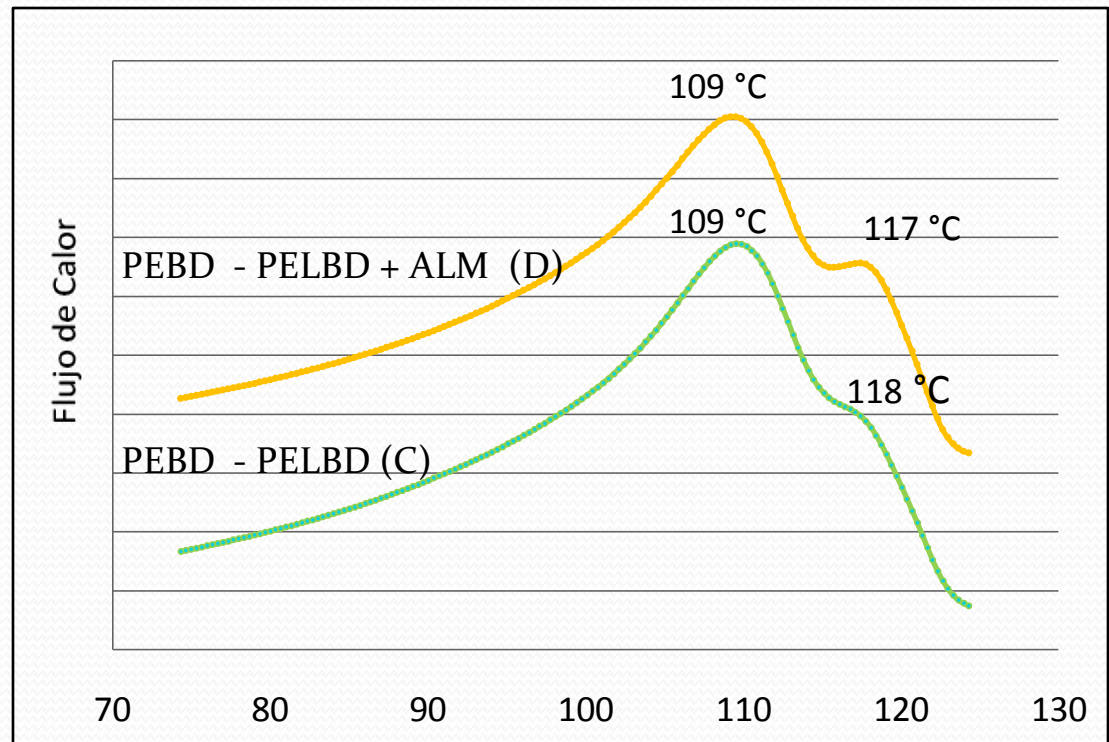


RESULTADOS Y DISCUSION

Efecto de la carga de almidón:

Ensayos DSC

La presencia de dos o más picos es un indicativo de que las mezclas están segregadas en dos poblaciones cristalinas, ricas en cada uno de los componentes. El primer pico corresponde al PEBD y el segundo al PELBD

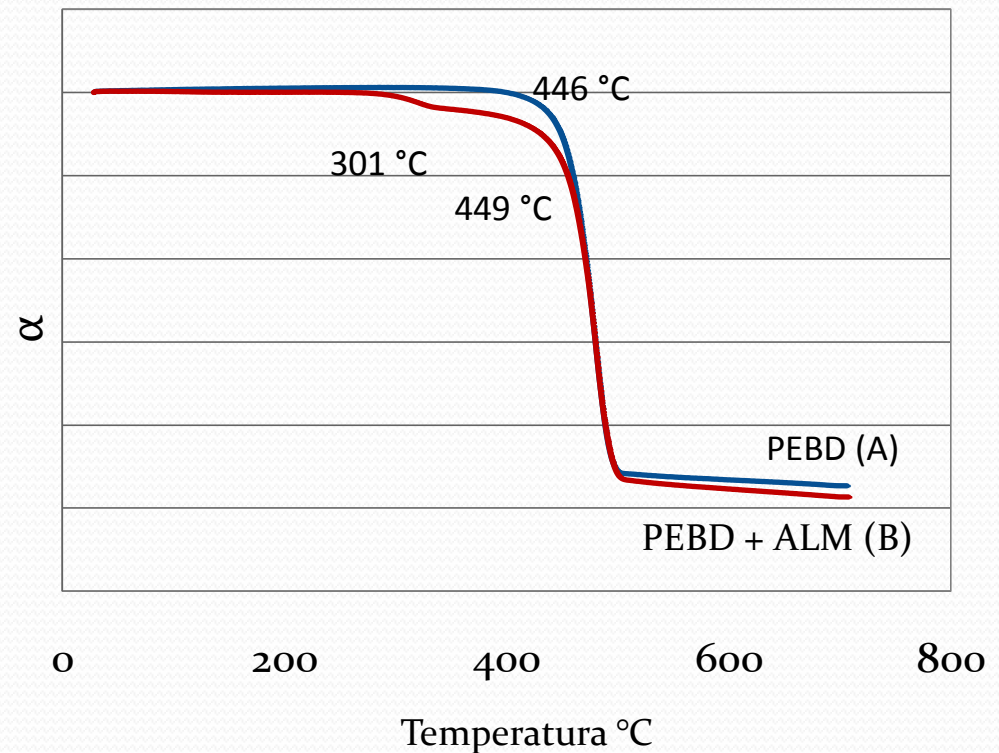


RESULTADOS Y DISCUSION

Efecto de la carga de almidón:

Ensayos TGA

La diferencia más importante resulta ser la existencia de una sola etapa de descomposición, en los termogramas de la muestra A (que solo contiene polímero) y de dos etapas de descomposición en el termograma B.

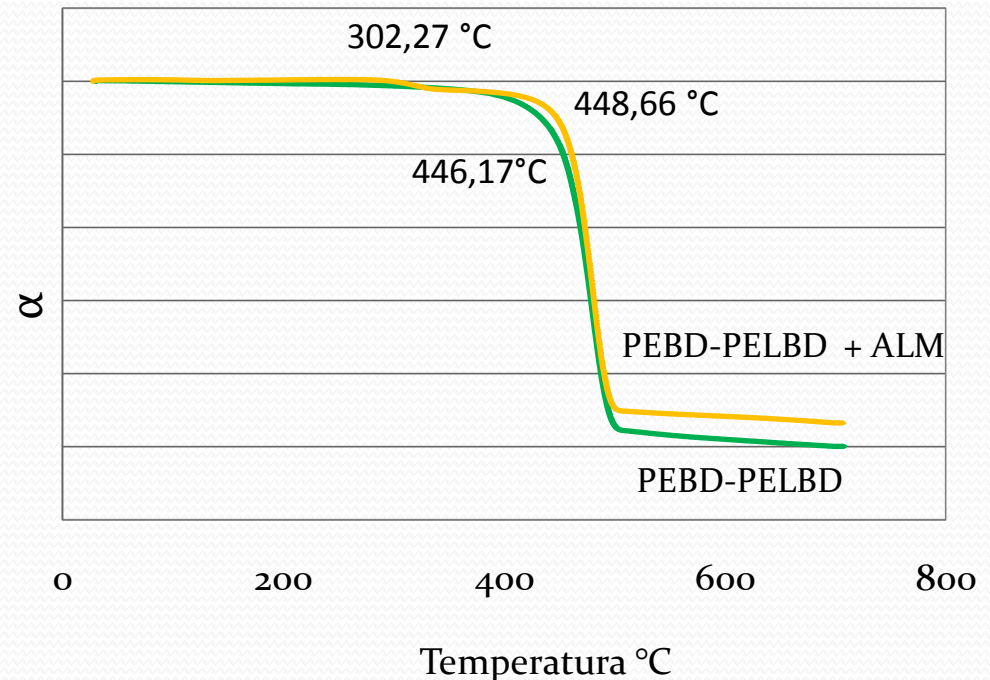


RESULTADOS Y DISCUSION

Efecto de la carga de almidón:

Ensayos TGA

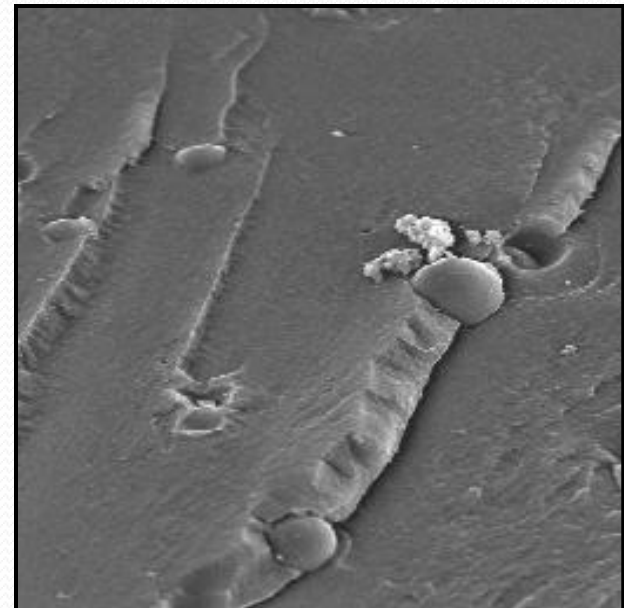
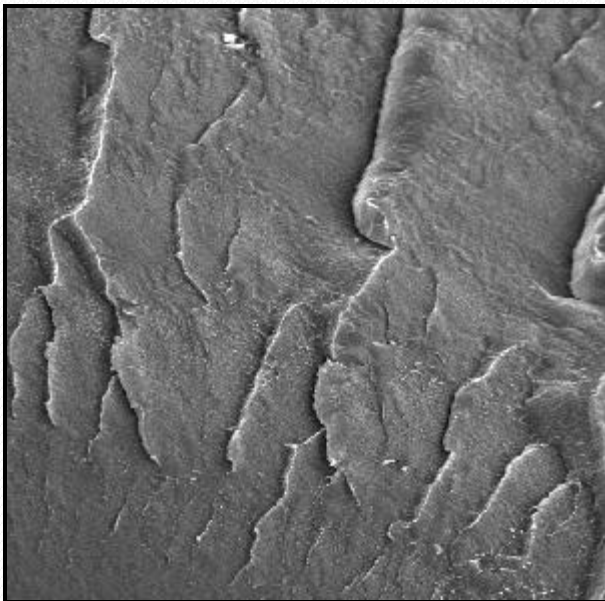
Resulta importante señalar que los porcentajes de composición obtenidos a través de los diagramas peso – temperatura de los ensayos de TGA, son inferiores a los valores de composición reales manejados originalmente cuando se mezcló 10% de almidón con 90% de polímero.



RESULTADOS Y DISCUSION

Efecto de la carga de almidón:

Ensayos MEB

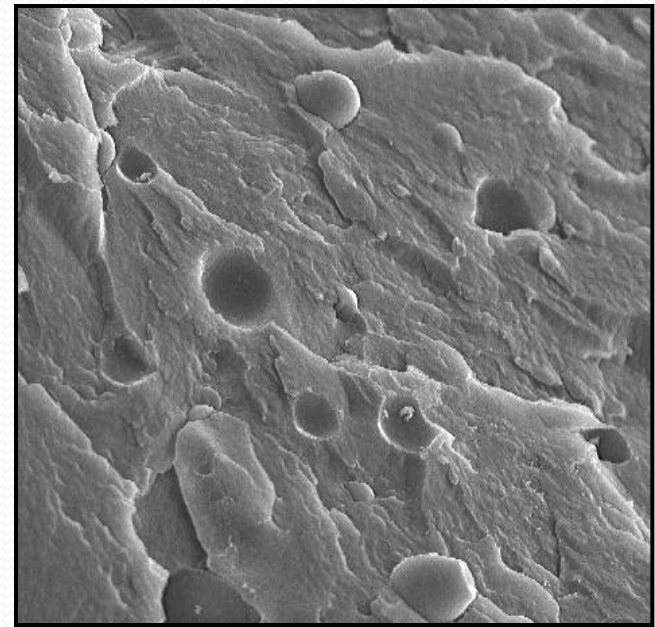
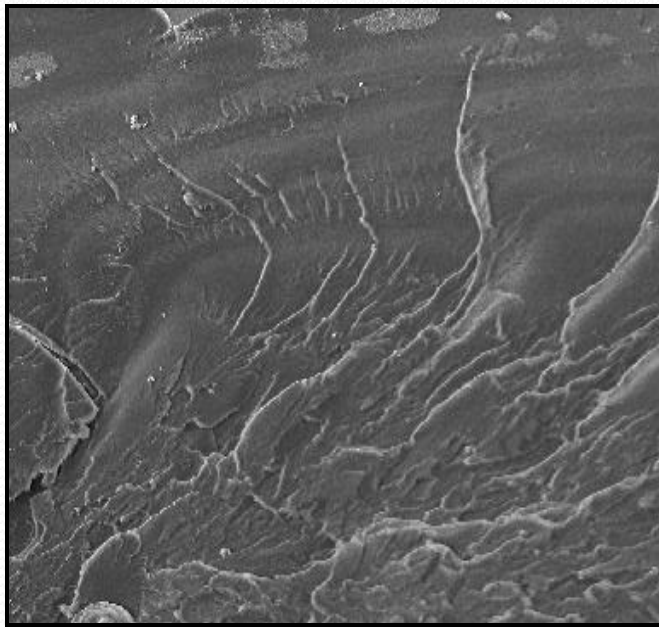


Micrografías de PEBD (A) y PEBD+ALM (B) a 50 μ m

RESULTADOS Y DISCUSION

Efecto de la carga de almidón:

Ensayos MEB



Micrografías de PEBD/PELBD (C) y PEBD/PELBD+ALM (B) a 50µm

RESULTADOS Y DISCUSION

Efecto de la radiación gamma:

Ensayos Tensiles

Propiedades mecánicas de las muestras A, B, C y D irradiadas y no irradiadas.

	Esf. (MPa) Fluencia	% Def. Fluencia	Esf. (MPa) Ruptura	% Def. Ruptura	Modulo Y. (MPa)
PEBD	8,3±0,1	20,1±0,8	11,3±0,6	476±13	168±16
PEBD (Irr.)	8,4±0,2	19,5±1,0	11,2±0,8	456±17	188±11
PEBD + ALM	8,0±0,3	19,0±1,7	9,3±0,9	358±22	174±17
PEBD + ALM (Irr.)	8,0±0,3	18,1±1,3	9,2±0,8	324±24	197±13
PEBD-PELBD	9,2±0,1	16,9±1,3	15,0±0,2	597±5	188±12
PEBD-PELBD (Irr.)	9,2±0,2	16,1±1,0	14,6±0,5	544±14	201±11
PEBD-PELBD + ALM	9,1±0,3	16,7±1,1	12,3±1,1	466±24	192±11
PEBD-PELBD + ALM (Irr.)	9,1±0,3	16,3±0,9	12,1±0,5	452±18	204±13

(Irr.) Muestras Irradiadas a 36 kGy.

RESULTADOS Y DISCUSION

Efecto de la radiación gamma:

Ensayos DSC

Temperaturas y cambios de entalpía de cristalización y fusión de las muestras irradiadas y no irradiadas.

	T(°C) Cristalización	T(°C) Fusión	ΔH (J/gr) Cristalización	ΔH (J/gr) Fusión	X Cristalinidad
PEBD	94	111	-80	86	0,30
PEBD (Irr.)	93	111	-104	105	0,36
PEBD + ALM	94	111	-77	78	0,27
PEBD + ALM (Irr.)	94	110	-96	100	0,34
PEBD-PELBD	96	110	-106	117	0,40
PEBD-PELBD (Irr.)	96	109	-110	110	0,38
PEBD-PELBD + ALM	96	109	-108	107	0,37
PEBD-PELBD + ALM (Irr.)	96	109	-108	112	0,39

(Irr.): Muestras Irradiadas a 36 kGy.

RESULTADOS Y DISCUSION

Efecto de la radiación gamma:

Ensayos TGA

Datos obtenidos de ensayos de TGA de las muestras irradiadas y no irradiadas.

	T(°C) Inicio	Porcentaje de Composición			Ea
	Descomp.	% Agua	% Almidón	% Olefinas	(kJ/mol)
PEBD	445	0	0	100	188
PEBD (Irr.)	443	0	0	100	184
PEBD + ALM	448	0,1	6,5	94,4	186
PEBD + ALM (Irr.)	443	0,5	5,3	94,2	182
PEBD-PELBD	447	0	0	100	185
PEBD-PELBD (Irr.)	448	0	0	100	185
PEBD-PELBD + ALM	448	0,2	3,4	96,4	185
PEBD-PELBD + ALM (Irr.)	445	0,1	3,3	96,6	182

(Irr.): Muestras Irradiadas a 36 kGy.

RESULTADOS Y DISCUSION

Efecto del ensayo de biodegradación:

Ensayos Tensiles

Propiedades mecánicas de las muestras después del ensayo de biodegradación.

	Esf. (MPa) Fluencia	% Def. Fluencia	Esf. (MPa) Ruptura	% Def. Ruptura	Modulo Y. (MPa)
PEBD	8,3 ± 0,2	19,5 ± 1,0	11,2 ± 0,8	456 ± 17	188 ± 11
PEBD (4C)	8,3 ± 0,1	17,3 ± 1,1	12,3 ± 0,4	471 ± 24	177 ± 9
PEBD (4H)	8,3 ± 0,2	16,3 ± 0,9	12,0 ± 1,0	466 ± 19	155 ± 13
PEBD (8C)	8,4 ± 0,3	17,7 ± 1,0	11,5 ± 1,0	462 ± 26	151 ± 12
PEBD (8H)	8,4 ± 0,2	17,2 ± 1,0	12,2 ± 0,7	463 ± 22	158 ± 12
PEBD + ALM	8,0 ± 0,3	18,1 ± 1,3	9,2 ± 0,8	324 ± 24	197 ± 13
PEBD+ALM (4C)	8,0 ± 0,2	16,2 ± 1,2	9,2 ± 0,1	328 ± 9	195 ± 16
PEBD+ALM (4H)	7,7 ± 0,4	16,0 ± 1,4	7,4 ± 0,5	219 ± 18	150 ± 14
PEBD+ALM (8C)	8,0 ± 0,1	16,0 ± 1,2	8,5 ± 0,7	273 ± 21	159 ± 16
PEBD+ALM (8H)	8,4 ± 0,3	16,5 ± 1,0	8,5 ± 0,5	240 ± 23	165 ± 16

RESULTADOS Y DISCUSION

Efecto del ensayo de biodegradación:

Ensayos Tensiles

Propiedades mecánicas de las muestras después del ensayo de biodegradación.

	Esf. (MPa) Fluencia	% Def. Fluencia	Esf. (MPa) Ruptura	% Def. Ruptura	Modulo Y. (MPa)
PEBD-PELBD	9,2 ± 0,2	16,1 ± 1,0	14,6 ± 0,5	544 ± 14	201 ± 11
PEBD-PELBD (4C)	10,0 ± 0,5	17,4 ± 1,3	16,7 ± 1,0	588 ± 31	201 ± 10
PEBD-PELBD (4H)	9,0 ± 0,3	16,9 ± 1,1	15,1 ± 0,8	586 ± 37	186 ± 15
PEBD-PELBD (8C)	9,6 ± 0,3	17,1 ± 1,3	14,3 ± 0,9	551 ± 27	191 ± 14
PEBD-PELBD (8H)	8,9 ± 0,2	16,9 ± 1,0	13,9 ± 1,1	549 ± 33	203 ± 8
PEBD-PELBD+ALM	9,1 ± 0,3	16,3 ± 0,9	12,1 ± 0,5	452 ± 18	204 ± 13
PEBD-PELBD+ALM (4C)	9,1 ± 0,2	16,3 ± 0,5	12,6 ± 1,0	456 ± 29	223 ± 16
PEBD-PELBD+ALM (4H)	9,0 ± 0,1	16,9 ± 1,1	12,4 ± 0,6	457 ± 24	191 ± 12
PEBD-PELBD+ALM (8C)	9,1 ± 0,2	16,2 ± 1,0	11,3 ± 0,8	405 ± 36	209 ± 11
PEBD-PELBD+ALM (8H)	9,1 ± 0,1	16,7 ± 0,8	10,9 ± 0,6	427 ± 39	209 ± 12

(4C) (8C) Muestras control a 4 y 8 semanas, (4H) (8H) Muestras con hongo durante 4 y 8 semanas

RESULTADOS Y DISCUSION

Efecto del ensayo de biodegradación:

Ensayos DSC

Propiedades térmicas de las muestras control y de las muestras con hongo después de 4 y 8 semanas biogradación.

	T(°C) Cristalización	T(°C) Fusión	ΔH (J/gr) Cristalización	ΔH (J/gr) Fusión	Xc
PEBD	93	110	-104	105	0,36
PEBD (4C)	93	110	-98	107	0,37
PEBD (4H)	93	110	-100	89	0,30
PEBD (8C)	93	110	-98	107	0,37
PEBD (8H)	93	110	-105	107	0,37
PEBD + ALM	94	110	-95	100	0,34
PEBD+ALM (4C)	93	110	-91	102	0,35
PEBD+ALM (4H)	93	110	-106	110	0,38
PEBD+ALM (8C)	91	111	-97	98	0,34
PEBD+ALM (8H)	93	110	-91	98	0,34

(4C) (8C) Muestras control a 4 y 8 semanas, (4H) (8H) Muestras con hongo durante 4 y 8 semanas

RESULTADOS Y DISCUSION

Efecto del ensayo de biodegradación:

Ensayos DSC

Propiedades térmicas de las muestras control y de las muestras con hongo después de 4 y 8 semanas biogradación.

	T(°C) Cristalización	T(°C) Fusión	ΔH (J/gr) Cristalización	ΔH (J/gr) Fusión	Xc
PEBD-PELBD	96	109	-109	109	0,38
PEBD-PELBD (4C)	96	109	-109	109	0,38
PEBD-PELBD (4H)	96	109	-110	120	0,41
PEBD-PELBD (8C)	96	109	-115	113	0,39
PEBD-PELBD (8H)	96	110	-107	96	0,33
PEBD-PELBD+ALM	96	109	-108	112	0,39
PEBD-PELBD+ALM (4C)	96	109	-89	106	0,37
PEBD-PELBD+ALM (4H)	98	108	-102	106	0,37
PEBD-PELBD+ALM (8C)	96	109	-106	115	0,40
PEBD-PELBD+ALM (8H)	96	109	-104	106	0,37

(4C) (8C) Muestras control a 4 y 8 semanas, (4H) (8H) Muestras con hongo durante 4 y 8 semanas

RESULTADOS Y DISCUSION

Efecto del ensayo de biodegradación:

Ensayos TGA

Temperaturas de inicio de descomposición, porcentajes de pérdida de masa y energía de activación de las 4 formulaciones a las 4 y 8 semanas de biodegradación.

	T(°C) Inicio	Porcentajes de Masa de Pérdida			Ea
	Descomp.	% Agua	% Almidón	% Olefinas	(kJ/mol)
PEBD	442	0	0	100	184
PEBD (4C)	445	0	0	100	185
PEBD (4H)	445	0	0	100	185
PEBD (8C)	445	0	0	100	185
PEBD (8H)	442	0	0	100	184
PEBD + ALM	443	0,5	5,3	94,2	182
PEBD+ALM (4C)	445	1,5	7,8	90,7	180
PEBD+ALM (4H)	446	0,1	5,6	94,3	182
PEBD+ALM (8C)	444	2,0	4,0	94,0	181
PEBD+ALM (8H)	444	0,1	6,2	93,7	183

(4C) (8C) Muestras control a 4 y 8 semanas, (4H) (8H) Muestras con hongo durante 4 y 8 semanas

RESULTADOS Y DISCUSION

Efecto del ensayo de biodegradación:

Ensayos TGA

Temperaturas de inicio de descomposición, porcentajes de pérdida de masa y energía de activación de las 4 formulaciones a las 4 y 8 semanas de biodegradación.

	T(°C) Inicio	Porcentajes de Masa de Pérdida			Ea
	Descomp.	% Agua	% Almidón	% Olefinas	(kJ/mol)
PEBD-PELBD	448	0	0	100	185
PEBD-PELBD (4C)	447	0	0	100	184
PEBD-PELBD (4H)	443	0,9	0	99,1	186
PEBD-PELBD (8C)	450	2,3	0	97,7	186
PEBD-PELBD (8H)	450	0	0	100	186
PEBD-PELBD+ALM	445	0,1	3,3	96,6	182
PEBD-PELBD+ALM (4C)	445	0,9	4,9	94,2	182
PEBD-PELBD+ALM (4H)	445	0,4	4	95,6	182
PEBD-PELBD+ALM (8C)	447	1	3,2	96,7	183
PEBD-PELBD+ALM (8H)	450	0,6	3,1	96,3	183

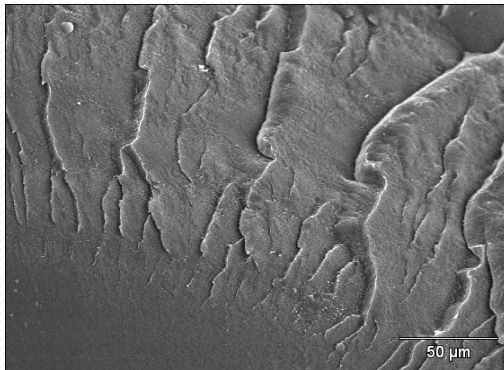
(4C) (8C) Muestras control a 4 y 8 semanas, (4H) (8H) Muestras con hongo durante 4 y 8 semanas

RESULTADOS Y DISCUSION

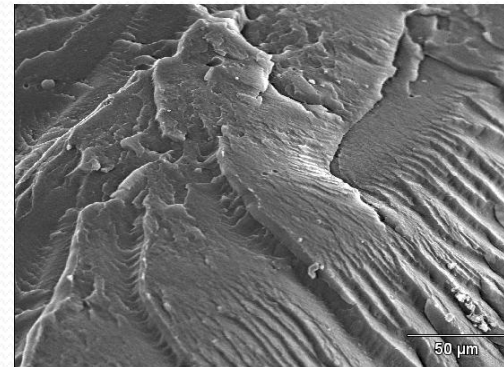
Efecto de la carga de la biodegradación:

Ensayos MEB

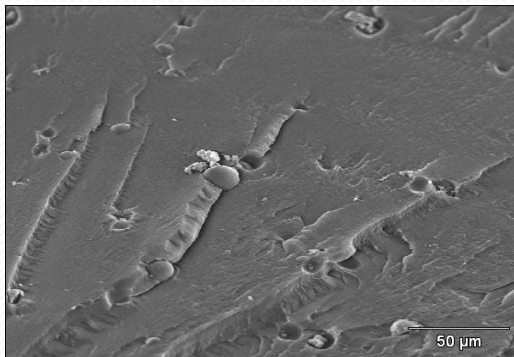
A 8S C



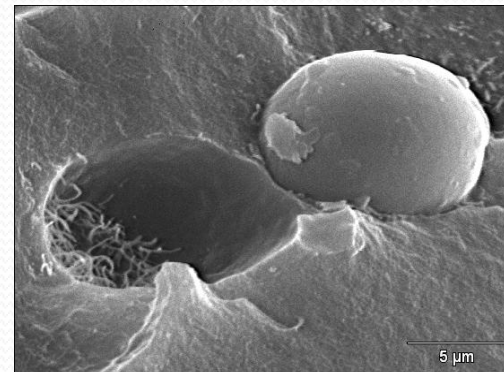
A 8S H



B 8S C



B 8S H

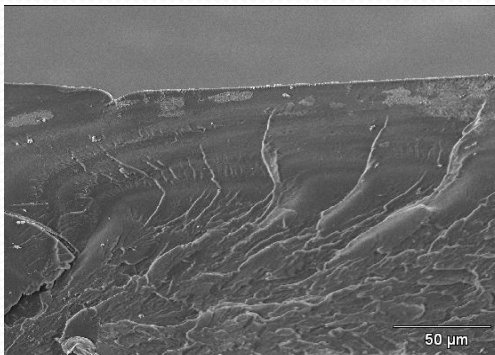


RESULTADOS Y DISCUSION

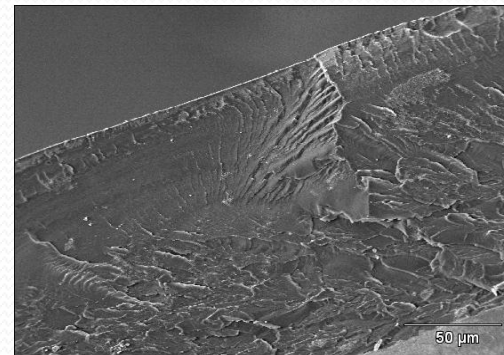
Efecto de la carga de la biodegradación:

Ensayos MEB

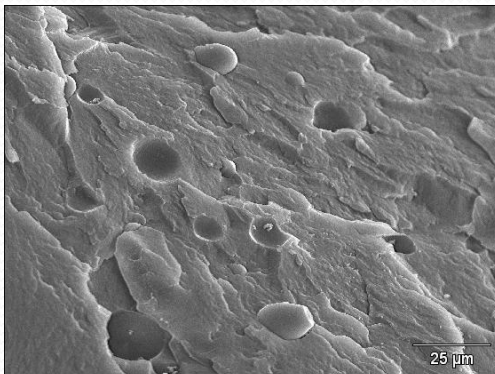
C 8S C



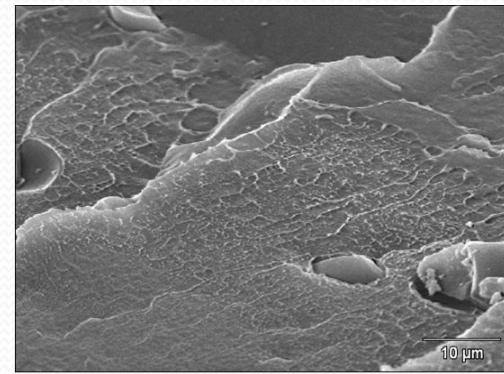
C 8S H



D 8S C

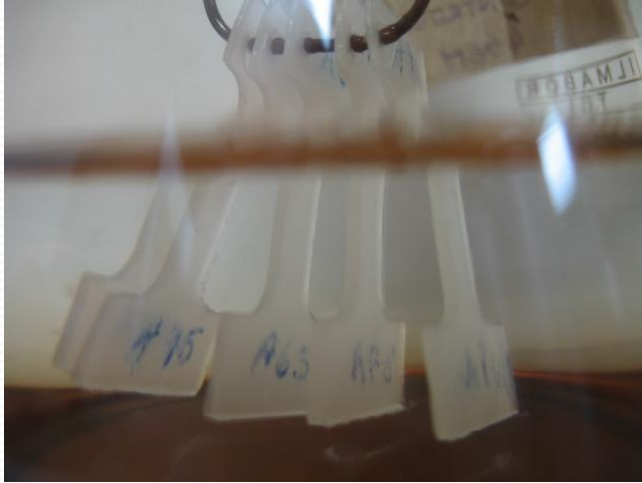


D 8S H

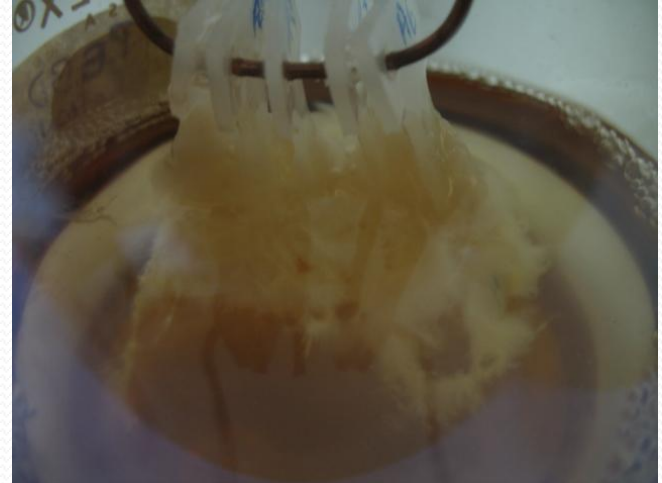


RESULTADOS Y DISCUSION

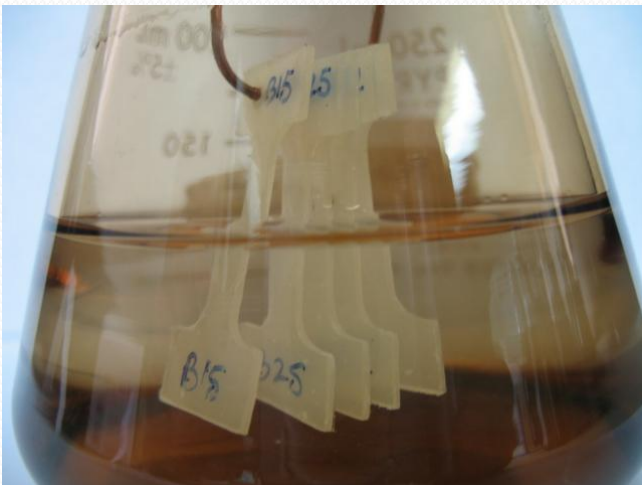
A 8S C



A 8S H



B 8S C

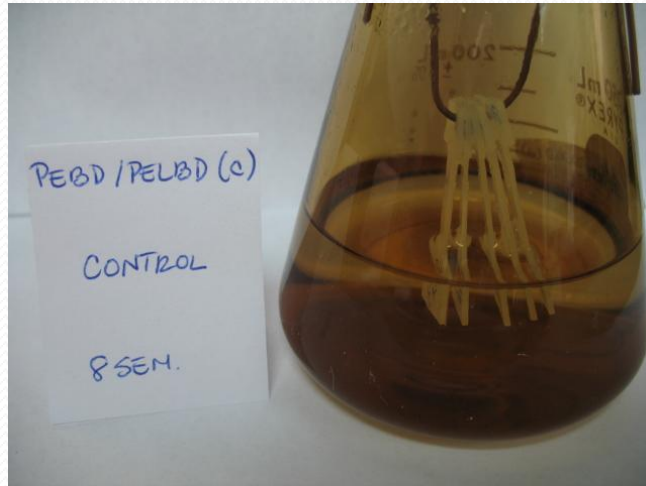


B 8S H

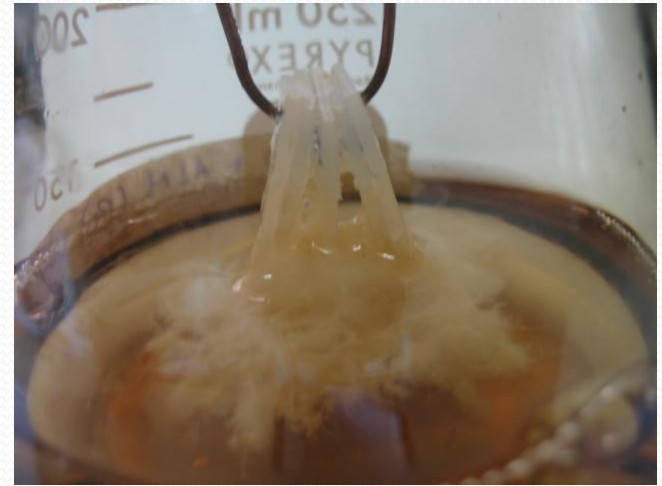


RESULTADOS Y DISCUSION

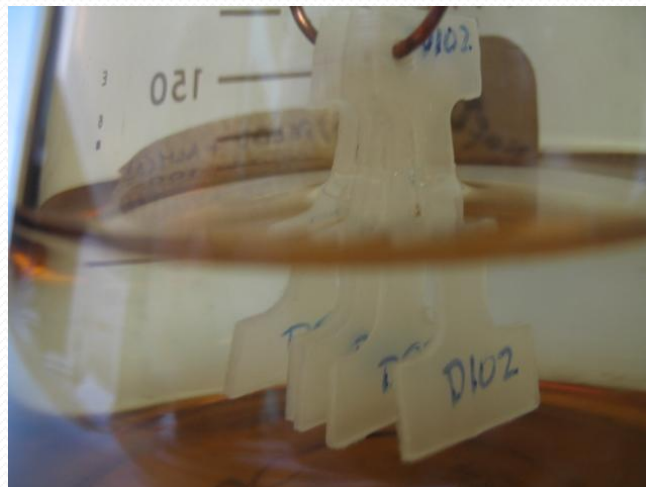
C 8S C



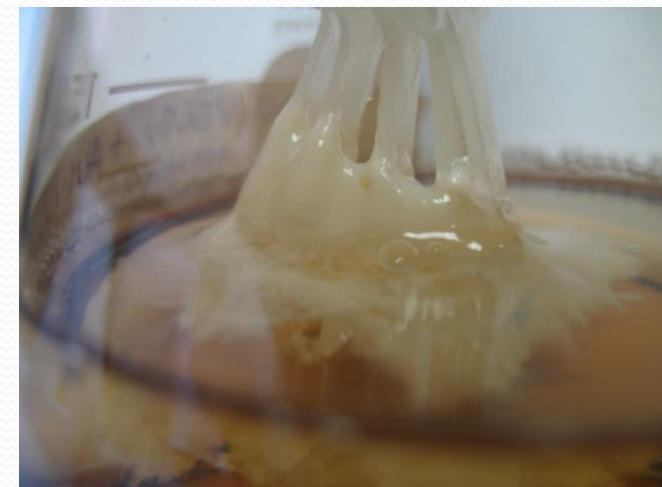
C 8S H



D 8S C



D 8S H



CONCLUSIONES

- La adición de 10% en peso de almidón en los polímeros, ocasionó una ligera desviación con respecto a los materiales puros en la evaluación de las propiedades mecánicas, generando un aumento en el módulo de Young debido a la rigidez que proporciona el almidón en las zonas amorfas de los polímeros y una disminución en los esfuerzos y deformación tanto a la fluencia como a la ruptura debido a la incompatibilidad e ineficiente adhesión interfacial entre el almidón y los polímeros estudiados
- La radiación gamma a niveles de esterilización no origina cambios significativos en las propiedades térmicas, aunque en las propiedades mecánicas se presenta una tendencia al incremento de sus propiedades a excepción de la deformación de la ruptura que muestra una disminución debido al posible entrecruzamiento en el polímero que dificulta el efecto cuello.

CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos del ensayo de biodegradación muestran que las propiedades térmicas son similares a las muestras no degradadas, por lo que se inclina a pensar que la acción degradativa del hongo no fue lo suficientemente agresiva como para evidenciar cambios significativos en 4 ni 8 semanas de ensayo.

RECOMENDACIONES

- (a) Mejorar el proceso de mezclado almidón – polímero que se lleva a cabo en la extrusora, debido a que la humedad presente en el ambiente ocasiona aglomeraciones de gránulos de almidón en el material extruido, impidiendo la homogenización de la mezcla.
- (b) Se recomienda limpiar con etanol en alta concentración y esterilizar todos los instrumentos que vayan a ser utilizados para trasegar el contenido que vaya ser utilizado para el ensayo de biodegradación, y así evitar futura contaminación
- (c) Esterilizar los medios de crecimiento microbiano de cada grupo de estudio por separado y por duplicado, para minimizar la posible contaminación de algún medio



GRACIAS POR SU ATENCIÓN



Para contactarme vía electrónica:

lj.liporaci@gmail.com