



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

“OBTENCIÓN DE ACIDO POLI LÁCTICO A PARTIR DE LACTOSUERO PARA LA FABRICACIÓN DE EMPAQUE PRIMARIOS”

AUTOR

Ing. REMIGIO ISMAEL CUICHÁN GUANOLUISA

Tesis presentada ante la Instituto de Postgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del Título de Magister en Industrias Pecuarias, Mención en Industrias de Lácteos.

RIOBAMBA - ECUADOR

2015



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DE TESIS CERTIFICA QUE:

El trabajo de investigación titulado “OBTENCIÓN DE ACIDO POLI LÁCTICO A PARTIR DE LACTOSUERO PARA LA FABRICACIÓN DE EMPAQUE PRIMARIOS”, de responsabilidad del Sr. Ing. Remigio Ismael Cuichán Guanoluisa, ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Tribunal de tesis:

Dr. Juan Vargas G.
PRESIDENTE

FIRMA

Ing. M.Cs. Jesús López S.
DIRECTOR

FIRMA

Ing. M.Cs. Hermenegildo Díaz B.
MIEMBRO

FIRMA

Ing. M.Cs. Manuel Almeida G.
MIEMBRO

FIRMA

DOCUMENTALISTA SISBIB ESPOCH

FIRMA

Riobamba, Julio 2015

DERECHOS INTELECTUALES

Yo, Remigio Ismael Cuichán Guanoluisa, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el presente Proyecto de Investigación, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



FIRMA
171347889 7

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, al Instituto de Postgrado y Educación Continua, a la Facultad de Ciencias Pecuarias.

Al finalizar mis estudios superiores no puedo dejar pasar por alto el agradecimiento a quienes confiaron en mí y me ayudaron a lograr la meta planteada. Por ello doy gracias a Dios por ser mi refugio y mi fortaleza, a mis Padres y hermanos por ser el pilar fundamental en mi vida y mi carrera y a mi familia y amigos por ser parte de mi existencia y me animaron en las etapas más difíciles.

A demás quiero agradecer a la Facultad de Ciencias Pecuarias y en su nombre a mis profesores quienes para formar profesionales han sabido entregar lo mejor de sí. Al Ing. M.Cs. Jesús López S. Director de Tesis, al Ing. M.Cs. Hermenegildo Díaz, y al Ing. M.Cs. Manuel Almeida, miembros de tesis, por sus consejos técnicos y científicos que de una manera desinteresada supieron enfocar la realización y culminación de esta investigación.

De aquí en adelante el ejemplo y la ética profesional que he aprendido durante la etapa de estudiante de maestría la llevaré en mi mente para dar lo mejor y a todos nuevamente de verdad Gracias.

DEDICATORIA

Este trabajo que es de paciencia, tiempo, y esfuerzo se lo dedico: a todas las personas que han cruzado por mi vida haciendo de ella más productiva.

A mis padres Remigio y Mariana, hermanos y sobrinos, quienes me apoyaron incondicionalmente en todo momento permitiendo que no me falte nada para poder culminar esta etapa de mi vida

A mi mentor quien con sus palabras y consejos siempre estuvo ahí para apoyarme y salir adelante para poder culminar esta dura y maravillosa etapa de la vida.

A mis abuelitos Luchito y Juanita que desde el cielo me han protegido y cuidado de todo corazón se los dedico a ellos gracias.

Remigio Ismael

INDICE

	Pág.
Lista de Cuadros	ix
Lista de Gráficos	x
Lista de Anexos	xi
CAPITULO I	14
1. INTRODUCCIÓN	14
A. ANTECEDENTES	14
B. OBJETIVOS:	15
1. Objetivo general	15
2. Objetivos específicos	15
C. HIPÓTESIS:	15
CAPITULO II	16
2. REVISIÓN DE LITERATURA	16
A. PLÁSTICOS PARA EMBALAJE DE ALIMENTOS	16
1. Plásticos convencionales	16
2. Plásticos biogenerados	17
a. Historia de los biogenerados	17
b. Obtención de polímeros biooriginados	18
c. Panorama del mercado	19
3. Bioplásticos	20
a. Materiales utilizados para la elaboración de bioplásticos	21
b. Propiedades y Aplicaciones del bioplásticos	22
c. Dificultades en la producción	22
4. Plásticos biodegradables	22
5. Plásticos biodesintegrables	23
6. Métodos para medir la biodegradación	24
B. ACIDO LÁCTICO	25
1. Aspectos generales	25
2. Obtención	27
a. Ruta biotecnológica	27
b. Vía fermentativa	27
3. Producción industrial del ácido láctico	28
4. Recuperación y purificación del ácido láctico	30
5. Aplicaciones y usos del ácido láctico	32

a.	Cosmética	32
b.	Alimentos	32
c.	Otras aplicaciones	33
6.	Importancia biológica	33
7.	Polímeros del ácido láctico	34
C.	ÁCIDO POLILÁCTICO (PLA)	35
1.	Historia del PLA	36
2.	Obtención de ácido poliláctico	36
a.	Síntesis del ácido láctico	37
b.	La Polimerización	38
3.	Características	40
4.	Propiedades del PLA	40
5.	Propiedades físicas del PLA	41
6.	Propiedades mecánicas del PLA	41
7.	Biodegradación del PLA	42
8.	Biorreabsorción	43
9.	Aplicaciones	44
a.	En la industria de alimentos	45
b.	Industria del empaquetado	46
c.	Industria textil	47
d.	Industria médica y farmacéutica	47
10.	Información medioambiental	48
11.	Demanda de ácido poliláctico	49
12.	El futuro de materiales a base de APL	49
D.	INVESTIGACIONES SOBRE LA OBTENCIÓN DE ENVASES PLÁSTICOS A PARTIR DEL EXCEDENTE DE LA PRODUCCIÓN DE QUESO	50
E.	INVESTIGACIONES DESARROLLADAS A PARTIR DE DIVERSAS FUENTES BIOLÓGICAS.	51
	CAPITULO III	54
	3. MATERIALES Y MÉTODOS	54
A.	LOCALIZACIÓN Y DURACIÓN DEL EXPERIMENTO	54
B.	UNIDADES EXPERIMENTALES	54
C.	MATERIALES, EQUIPOS E INSTALACIONES	54
1.	Materiales	54
2.	Equipos	55
3.	Insumos	55
4.	Instalaciones	55

D.	TRATAMIENTO Y DISEÑO EXPERIMENTAL	55
E.	MEDICIONES EXPERIMENTALES	56
F.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y PRUEBAS DE SIGNIFICANCIA	57
G.	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	57
H.	METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN	59
1.	Espesura	59
2.	Máximo esfuerzo o Resistencia	59
3.	Porcentaje de elongación	59
4.	Módulo de elasticidad	59
5.	Degradación	60
	CAPITULO IV	61
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	61
A.	CARACTERÍSTICAS DE LAS PROBETAS	61
1.	Espesor, mm	61
2.	Anchura, mm	63
3.	Sección transversal, mm ²	64
B.	PROPIEDADES MECÁNICAS	65
1.	Módulo de elasticidad, kg/cm ²	65
2.	Carga máxima, kg	67
3.	Esfuerzo máximo, kg/cm ²	68
4.	Elongación, %	70
5.	Degradación, días	71
	CONCLUSIONES	74
	RECOMENDACIONES	75
	LITERATURA CITADA	63
	ANEXOS	

LISTA DE CUADROS

Nº		Pág.
Cuadro 1-2.	ESPECIFICACIONES DEL ÁCIDO LÁCTICO.	33
Cuadro 2-2.	ALGUNAS PROPIEDADES DE POLÍMERO UTILIZADOS COMO MATERIALES DE EMPAQUE.	43
Cuadro 3-3.	ESQUEMA DEL EXPERIMENTO.	56
Cuadro 4-3.	ESQUEMA DEL ADEVA.	57
Cuadro 5-4.	CARACTERÍSTICAS DEL BIOPLÁSTICO ELABORADOS CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE ÁCIDO POLILÁCTICO OBTENIDO DEL LACTOSUERO.	62

LISTA DE GRÁFICOS

Nº		Pág.
Grafico 1-2.	Diferentes rutas en la manufactura de bases poliméricas de ácido láctico.	37
Grafico 2-3.	Diagrama de flujo para la elaboración de Bioplástico.	58
Grafico 3-4.	Comportamiento del espesor (mm) de los bioplásticos por efecto de diferentes niveles de ácido poliláctico obtenido del lactosuero.	63
Grafico 4-4.	Anchura de la probeta utilizada (mm), de los bioplásticos elaborados con diferentes niveles de ácido poliláctico obtenido del lactosuero.	64
Grafico 5-4.	Sección transversal de la probeta utilizada (mm ²), de los bioplásticos elaborados con diferentes niveles de ácido poliláctico obtenido del lactosuero.	65
Grafico 6-4.	Comportamiento del módulo de elasticidad (kg/cm ²), de los bioplásticos elaborados con diferentes niveles de ácido poliláctico obtenido del lactosuero.	67
Grafico 7-4.	Comportamiento de la carga máxima (kg/cm ²), de los bioplásticos elaborados con diferentes niveles de ácido poliláctico obtenido del lactosuero.	68
Grafico 8-4.	Comportamiento del esfuerzo máximo (kg/cm ²), de los bioplásticos elaborados con diferentes niveles de ácido poliláctico obtenido del lactosuero.	69
Grafico 9-4.	Comportamiento de la elongación (%), de los bioplásticos elaborados con diferentes niveles de ácido poliláctico obtenido del lactosuero.	71
Grafico 10-4.	Tiempo de degradación (días), de los bioplásticos elaborados con diferentes niveles de ácido poliláctico obtenido del lactosuero.	73

LISTA DE ANEXOS

- A. Reporte de los resultados del laboratorio del ensayo de tracción aplicados a los bioplásticos elaborados con diferentes niveles de ácido poliláctico.
- B. Resumen de los resultados experimentales de la evaluación de la calidad de los bioplásticos elaborados con diferentes niveles de ácido poliláctico obtenido del lactosuero.
- C. Análisis estadístico del espesor (mm), del bioplástico utilizando diferentes niveles de ácido poliláctico (APL), obtenido del lactosuero.
- D. Análisis estadístico de la anchura (mm), del bioplástico utilizando diferentes niveles de ácido poliláctico (APL), obtenido del lactosuero.
- E. Análisis estadístico de la sección transversal (mm²), del bioplástico utilizando diferentes niveles de ácido poliláctico (APL), obtenido del lactosuero.
- F. Análisis estadístico del módulo de elasticidad (kg/cm²), del bioplástico utilizando diferentes niveles de ácido poliláctico (APL), obtenido del lactosuero (valores ajustados por medio de Ln).
- G. Análisis estadístico de la carga máxima (kg), del bioplástico utilizando diferentes niveles de ácido poliláctico (APL), obtenido del lactosuero (valores ajustados por medio de raíz cuadrada).
- H. Análisis estadístico del esfuerzo máximo (kg/cm²), del bioplástico utilizando diferentes niveles de ácido poliláctico (APL), obtenido del lactosuero (valores ajustados por medio de raíz cuadrada).
- I. Análisis estadístico la elongación (%), del bioplástico utilizando diferentes niveles de ácido poliláctico (APL), obtenido del lactosuero (valores ajustados por medio de raíz cuadrada).
- J. Análisis estadístico la degradación (días), del bioplástico utilizando diferentes niveles de ácido poliláctico (APL), obtenido del lactosuero.

RESUMEN

“OBTENCIÓN DE ACIDO POLI LÁCTICO A PARTIR DE LACTOSUERO PARA LA FABRICACIÓN DE EMPAQUE PRIMARIOS”

En la Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, se evaluó la obtención de ácido poliláctico (APL), a partir de lactosuero para la fabricación de empaques primarios, teniendo un total de 16 unidades experimentales, distribuidas en 4 tratamientos (4 niveles de plastificante 1.5, 2.0, 2.5 y 3.0 %) y 4 repeticiones en cada uno. Los resultados experimentales fueron analizados mediante el análisis de varianza y la separación de medias con la prueba de Tuckey, con la finalidad de determinar el nivel óptimo. Determinándose que las características de las probetas utilizadas para realizar las pruebas mecánicas del bioplástico, presentaron espesores entre 1.0 y 1.30 mm, que estadísticamente son diferentes, en cambio en la anchura (de 9.68 a 10.03 mm) y la sección transversal (entre 10.40 y 10.81 mm²), estadísticamente fueron iguales. En base las pruebas mecánicas, se concluyó que las mejores respuestas se consiguieron con el empleo de 3.0 % de APL, con un módulo de elasticidad de 9.44 kg/cm², máxima carga de tensión (1.07 kg), resistencia máxima antes de la ruptura (10.22 kg/cm²), y este bioplástico se degradó a los 42 días; por lo que se recomienda elaborar bioplástico utilizando 3.0 % de ácido poliláctico obtenido del lactosuero.

Palabras claves: <ACIDO POLILÁCTICO> <LACTOSUERO>
<BIOPLASTICO> <EMPAQUE> <PRUEBAS LABORATORIO> <DEGRADA>
<INDUSTRIAS PECUARIAS> <LACTEOS>

ABSTRACT

“OBTAINING POLYLACTIC ACID FROM WHEY FOR MANUFACTURING PACKAGING UNITS”

In Chimborazo Province, Riobamba City, obtaining polylactic acid (APL), was evaluated from whey for the manufacture of primary packaging, taking a total of 16 experimental units, distributed in 4 treatments (4 levels of plasticizer 1.5, 2.0, 2.5 and 3.0%) and 4 repetitions each one. The experimental results were analyzed by analysis of variance and mean separation test with Tuckey, in order to determine the optimum level. Determining that the characteristics of the samples used for mechanical testing of bioplastic, had thicknesses between 1.0 and 1.30 mm, that are statistically different in change in width (9.68 and 1.30 mm) and cross section (between 10.40 and 10.81 mm) were statistically similar. Based on mechanical tests, it was concluded that the best responses were obtained with the use of 3.0% of APL, with an elastic modulus of 9.44 kg / cm, maximum tensile load (1.07 kg), maximum resistance before rupture (10.22 kg / cm), and this bioplastic was downgraded to 42 days; so we recommend using 3.0% develop bioplastic polylactic acid obtained from whey.

KEY WORDS: <POLYLACTIC ACID>< WHEY><BIOPLASTIC>< PACKING><LAB
TESTS><DEGRADE><LIVESTOCK INDUSTRY><DAIRY>



CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

A. ANTECEDENTES

En el mundo que vivimos, el plástico satisface ampliamente infinidad de necesidades del hombre en la vida diaria y que en tiempos pasados no era posible imaginar. Desde un pequeño arreglo en la dentadura, hasta en los chips de las computadoras, el plástico parece estar en todos lados. Lo que no está en todos lados y no abunda es su fuente principal, el petróleo. Aproximadamente ocho mil millones de personas en el planeta constituyen la sociedad de consumo, solo con esta cantidad los vertederos están al borde del colapso. El plástico como material presente en la mayoría de productos de consumo es también generador de un número muy elevado de residuos.

Así pues que una buena alternativa es pensar en otros materiales; que permitan lograr lo que hasta el momento conocemos pero con mayores posibilidades. La fabricación de plásticos biodegradables a partir de materiales naturales es uno de los grandes retos de diferentes sectores industriales, agrícolas, materiales para servicios. Se trata de conseguir un material que tras ser utilizado para bolsas, cubiertas de invernaderos, etc. se autodestruya tras ser desechado. Los bioplásticos de nueva generación retienen sus propiedades fisicoquímicas termoplásticas a lo largo del ciclo de vida del producto manufacturado pero, una vez depositados en condiciones de compostaje o producción de metano, se biodegradan completamente del mismo modo que los residuos orgánicos, es decir, son transformados por microorganismos en agua, dióxido de carbono y/o metano a un ritmo equivalente o superior al de la celulosa.

Los plásticos biodegradables pueden ser fabricados a partir de recursos renovables de origen animal o vegetal, o de recursos fósiles. Las materias primas más comunes son el PLA (ácido Poliláctico), y los PHA (poli-hidroxi-alcanoatos). La estructura química es lo que hace a un polímero biodegradable diferenciarse de un polímero convencional, y permite que pueda ser destruido por microorganismos, como hongos y bacterias en ambientes biológicamente activos.

En la presente investigación se aprovecha el Lactosuero para la elaboración de empaques y disminuir los niveles de polución y contaminación ambiental; encontrar nuevas formas de fabricación de productos favorables al ambiente, es una preocupación de la sociedad en general. Este tema de trabajo está pensando en esta necesidad mundial se ha inclinado a trabajar un producto que tiene una degradación muy lenta.

B. OBJETIVOS:

1. Objetivo general

Obtener mediante un proceso de fermentación ácido Poliláctico a partir del lactosuero.

2. Objetivos específicos

Determinar la concentración optima utilizando diferentes niveles de ácido poliláctico (1.5, 2.0, 2.5 y 3.0 %) en la elaboración del bioplástico.

Realizar pruebas mecánicas del bioplástico elaborado a partir del Lactosuero

Evaluar la biodegradabilidad del bioplástico elaborado a partir del lactosuero

C. HIPÓTESIS:

Ho: El ácido Poliláctico obtenido del lactosuero presenta similares características a los plásticos convencionales con la diferencia que estos (APL), se biodegradan en un período no prolongado.

CAPITULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

A. PLÁSTICOS PARA EMBALAJE DE ALIMENTOS

1. Plásticos convencionales

Los plásticos son hidrocarburos derivados del petróleo, que pueden ser moldeados o procesados en una gran variedad de formas. En la actualidad se producen más de 700 tipos de plásticos, entre ellos, poliestireno, nylon, poliuretano, PVC, siliconas y poliamidas. Según la Fundación de la Industria Plástica para la preservación del medio ambiente, el primer material plástico comercial, el celuloide, se creó en 1869 en Estados Unidos por iniciativa de John Wesley Hyatt. Al mismo tiempo, en Inglaterra avanzó la utilización de piroxilina en la fabricación de lacas y otros materiales. Desde entonces, el crecimiento en la producción y el consumo de plásticos se ha convertido en un serio problema ambiental (Frid, D. 2009).

La palabra plástico, procede de la voz griega plastikós, que significa "capaz de ser moldeado" y que destaca la principal característica de las sustancias plásticas: su deformabilidad ante la aplicación de fuerzas relativamente débiles y a temperaturas no muy alejadas de la ambiental. El plástico ha reemplazado en parte, a la madera en la fabricación de muebles y en la construcción de edificios; se utiliza con mucha frecuencia como substitutivo del cuero en la industria del calzado, y de la lana en la textil; ha reemplazado a la goma como aislante en las instalaciones eléctricas y al metal en muchas piezas de automóviles; entre otros.

Los plásticos pueden ser producidos mediante métodos fáciles y económicos. El sistema de conformación más utilizado es el de moldeado en caliente, que permite la fabricación en serie de piezas con gran variedad de formas, colores y consistencias. Normalmente los plásticos son ligeros y resisten bien la corrosión ambiental -lo cual si bien a nivel práctico es una de sus ventajas, es uno de los grandes escollos respecto al entorno-, son buenos aislantes térmicos y eléctricos. Puesto que las materias plásticas tienen propiedades específicas muy diferentes, presentan también una amplia gama de

aplicaciones y resultan, en comparación, más baratas que otros materiales (Gil, D. 2014).

2. Plásticos biogenerados

<http://www.textoscientificos.com>. (2009), indica que si bien los productos biogenerados compiten con polímeros derivados del petróleo, también introducen nuevos compuestos innovadores e irremplazables. La biogeneración puede reducir la dependencia de los combustibles fósiles y otras fuentes no renovables, mejorando el desempeño de los productos y la productividad. Simultáneamente presenta una alternativa para el desarrollo económico en países sin reservas petrolíferas, eliminando la clásica síntesis química y sus impactos medioambientales.

Un material es biogenerado (también biooriginado o biobasado) cuando se produce, en todo o en gran parte, a partir de un compuesto biológico vivo o renovable, ya sea animal o vegetal.

Un bioplástico es un plástico de origen natural producido por un organismo vivo y sintetizado a partir de fuentes de energía renovables. Se fabrican a partir de almidón, celulosa y aceites vegetales, entre otros compuestos.

Un material biodegradable, en cambio, es aquel en el que sus estructuras químicas se pueden degradar con hongos, bacterias y otros microorganismos que existen en la naturaleza en un período de tiempo determinado.

En principio, los polímeros biodegradables pueden ser fabricados enteramente a partir de materias primas petroquímicas. Sin embargo, los biogenerados han tenido un rol más importante en el campo de los biodegradables y esto ha impulsado asimismo la investigación y el desarrollo de polímeros biobasados no biodegradables.

a. Historia de los biogenerados

Los orígenes de los bioplásticos datan de 1926, cuando científicos del Instituto Pasteur de Francia lograron producir poliéster a partir de la bacteria *Bacillus megaterium* (2009, <http://www.textoscientificos.com>).

A pesar de que la crisis del petróleo en la década del 70 atrajo renovado interés hacia las

materias primas no derivadas del petróleo, esto solo disminuyó temporalmente el crecimiento de los polímeros petroquímicos.

A partir de los años 80 se introdujeron una serie de polímeros del almidón. Sin embargo, debido a la incompleta biodegradabilidad de las poliolefinas del almidón, estos productos tuvieron un impacto en la opinión pública y dañaron la imagen de las compañías involucradas.

Desde los años 80 y principalmente los 90, se produjo un retorno de los polímeros biobasados en algunas áreas de aplicación. Uno de los elementos determinantes a la hora de este desarrollo fue la necesidad de proveer al mercado con polímeros biodegradables.

Cargill y Dow comenzaron en 2001 la operación de una planta para fabricar ácido poliláctico (PLA) en Nebraska (EE.UU.), con una capacidad total de 140 mil toneladas por año.

En 2004 la empresa japonesa NEC creó un plástico vegetal muy resistente al fuego que no requiere componentes químicos tóxicos como halógenos o derivados del fósforo.

En 2005, la empresa nipona Fujitsu introdujo bioplásticos en la fabricación de algunas computadoras portátiles.

En 2006 se presentaron varios modelos de discos DVD en formato Blu-ray elaborados a partir de bioplásticos.

b. Obtención de polímeros biooriginados

Existen tres formas principales de producción de polímeros biooriginados (<http://www.textoscientificos.com>. 2009):

Utilizar polímeros naturales que pueden ser modificados pero permanecen intactos en su mayor parte (como el caso de los polímeros de almidón);

Producir monómeros biooriginados por fermentación, que luego son polimerizados (por

ejemplo ácido poliláctico);

Fabricar polímeros biogenerados en microorganismos o en cultivos genéticamente modificados.

Actualmente, el tercer camino sólo resulta relevante para los PHA y a pesar de existir iniciativas comerciales, los volúmenes necesarios para producción en masa aparecen todavía lejanos en el futuro. En los últimos tiempos las dos primeras opciones parecen estar ganando importancia.

c. Panorama del mercado

Los plásticos biogenerados se fabrican actualmente en pequeñas plantas productivas (la capacidad total instalada es de alrededor de 300.000 ton/año), por lo que sus costos de desarrollo son altos y todavía no existe el beneficio de las economías de escala. La variedad de productos actualmente disponible cubre aproximadamente del 5 al 10% del mercado de plásticos. Su porción del mercado es actualmente inferior al 1%, se estima un consumo de 50.000 ton/año en Europa(<http://www.textoscientificos.com>. 2009).

Según estudios efectuados en la Unión Europea, la máxima sustitución potencial de los plásticos petroquímicos por otros biogenerados es del orden de 33% (en peso). Sin embargo, se espera que el market-share de los productos biobasados se mantenga alrededor de 1 a 2% para el 2010 y 1 a 4% para el 2020: esto significa que no presentarán una verdadera amenaza a los polímeros convencionales (Crank, M. y Patel, M. 2005).

Los fundamentos económicos para el desarrollo del mercado biotecnológico son las legislaciones, las reducciones de costos en situaciones de altos precios del petróleo, el reemplazo de los combustibles fósiles como fuente de energía, la eficiencia energética y la introducción de nuevos productos. En este sentido, existen nuevas aplicaciones cuyo potencial técnico está lejos de su completo aprovechamiento: el desarrollo de los plásticos biogenerados recién está comenzando. Latinoamérica presenta algunas ventajas competitivas en el uso de materias primas renovables:

Líder mundial en la producción de caña de azúcar y soja.

Capacidad de producción de aceites vegetales.

Climas templados a tropicales adecuados para la productividad.

Tierras disponibles para los cultivos.

Disponibilidad de recursos humanos para la investigación y desarrollo.

3. Bioplásticos

Bajo la denominación de bioplásticos se engloba a los tipos de plásticos derivados de productos vegetales, tales como el aceite de soja o el maíz, que a diferencia de los plásticos convencionales provienen del petróleo. El plástico tradicional está compuesto por el polímero denominado polietileno, sintetizado a partir del petróleo por la industria petroquímica. Uno de los principales problemas del plástico convencional son las emisiones de efecto invernadero que se producen en su fabricación. El bioplástico emite entre 0,8 y 3,2 toneladas menos de dióxido de carbono por tonelada que el plástico derivado del petróleo, siendo esto muy importante en los tiempos actuales que corren hacia un desarrollo más sostenible. Además, estos plásticos tienen la particularidad de que son realmente biodegradables, a diferencia del derivado del petróleo, al que hay que añadir una pequeña parte de metales pesados para que las cadenas de polímeros se desintegren (Guerra, F. y Vallejo, H. 2005).

Los bioplásticos son productos naturales y biodegradables. Se reciclan, no se acumulan residuos, y evitan el uso del petróleo, un recurso escaso y contaminante. Hace años la estrategia de las tres R: Reducir, Reutilizar y Reciclar, intenta incorporar en la población un comportamiento a favor del medioambiente y contra el uso de recursos no renovables y contaminantes, como el petróleo. Con esta idea de protección ambiental, y tomando en cuenta la utilidad y la importancia económica de los plásticos, la biotecnología ha desarrollado plásticos biodegradables, o bioplásticos (Frid, D. 2009).

Con respecto a la industria alimenticia, el principal desafío es producir embalajes y envases para alimentos que además de ser biodegradables sean tan durables como los productos que contienen. Esto es particularmente importante si se considera que hay una serie de factores relacionados con la conservación de los alimentos que pueden afectar a los envases y envoltorios, como la temperatura, humedad, presencia de bacterias y hongos, exposición a rayos UV, etc. Estos factores pueden deteriorar a los alimentos, y al mismo tiempo degradar a los materiales que los envuelven, un hecho a tener en cuenta al

momento de producir bioplásticos con estos fines (<http://cisan.org.ar>. 2011).

a. Materiales utilizados para la elaboración de bioplásticos

Los bioplásticos se producen esencialmente a partir de los cultivos o sus desechos (almidón, celulosa) o a través de procesos de fermentación bacteriana. El mayor foco se ha centrado en el uso del almidón como materia prima, debido a su disponibilidad, sus antecedentes como parte de plásticos compostables, y a que es económicamente competitivo con el petróleo. Se emplea generalmente almidón de maíz, aunque se están investigando otras fuentes, como la papa, cebada y avena. Los bioplásticos hechos de almidón resultan quebradizos, y a menos que el almidón se mezcle con otros materiales, o se lo modifique químicamente, no sirve para fabricar films flexibles y resistentes como los requeridos para envolver y envasar alimentos (<http://cisan.org.ar>. 2011).

Además, la naturaleza higroscópica del almidón hace que estos plásticos no puedan emplearse para alimentos frescos o con un contenido importante de humedad. Sin embargo, resultan interesantes para bandejas rígidas de bombones u otros productos secos, ya que desde el punto de vista de su degradación, prácticamente se disuelven en agua.

Otra materia prima que puede usarse para hacer bioplásticos es la celulosa. Este polímero es el principal componente de los tejidos vegetales, y por lo tanto el polímero más abundante en la naturaleza. Como el almidón, está compuesto de moléculas de glucosa, pero en este caso unidas de forma diferente, impidiendo la firme compactación de las fibras. Por eso la celulosa rinde bioplásticos quebradizos, poco flexibles y bastante permeables a la humedad.

Como una alternativa, las investigaciones se han volcado al desarrollo de materiales basados en celulosa modificada químicamente, como el acetato de celulosa. Este compuesto es empleado para hacer envoltorios para alimentos, ya que tiene buenas propiedades para hacer films, flexibles y resistentes a rupturas y perforaciones. Sin embargo, aún así mantiene un escaso poder de barrera a la humedad y a los gases, e inclusive en ciertas condiciones, puede hidrolizarse, generando ácido acético.

b. Propiedades y Aplicaciones del bioplásticos

Los biopolímeros o bien provienen de organismos naturales, o los imitan presentando funciones similares al material del que proceden. En un principio, estos productos se aplicaban exclusivamente en los campos de alimentación o de la medicina, pero recientemente se ha incrementado el interés de estas materias en otros sectores como el de la información y las comunicaciones. En la industria textil, destaca el campo de la fibrología, pues forman parte de la última generación de fibras que se obtienen a partir de materiales de alta tecnología (Guerra, F. y Vallejo, H. 2005).

c. Dificultades en la producción

La producción de estos bioplásticos está limitada y no es competitivo, pero se espera que en un breve periodo de tiempo esta tendencia cambie a medida que se ven mejoradas las características de los bioplásticos, asemejándose más a las características del polietileno, y entrando en lucha con los precios en alza del petróleo, aunque para ello se deberá trabajar en plásticos que retarden un poco el proceso de biodegradación (Guerra, F. y Vallejo, H. 2005).

4. Plásticos biodegradables

Los plásticos biodegradables son materiales capaces de desarrollar una descomposición aeróbica ó anaeróbica por acción de microorganismos tales como bacterias, hongos y algas bajo condiciones que naturalmente ocurren en la biosfera. Son degradados por acción enzimática de los microorganismos bajo condiciones normales del medio ambiente (Plastivida ®. 2009).

Guerra, F. y Vallejo, H. (2005), señalan que los plásticos biodegradables son de origen animal o vegetal, y se clasifican en cuatro categorías según su origen:

Fuentes naturales.

Química a partir de monómeros biológicos.

Por bacterias silvestres y/o modificadas genéticamente.

Derivados del petróleo.

Los plásticos biodegradables ofrecen una serie de ventajas cuando se comparan con los

plásticos convencionales. Estos son completamente degradados en compuestos que no dañan el medio ambiente: agua, dióxido de carbono y humus. Además estos plásticos son producidos a partir de fuentes renovables de energía, lo que contribuye con el mantenimiento de las reservas fósiles (no renovables) en el planeta. Los polímeros biodegradables se dividen en cuatro grandes grupos: naturales como las proteínas, el almidón, la celulosa; los naturales modificados como el acetato de celulosa; los materiales compuestos que combinan partículas biodegradables como el almidón con polímeros sintéticos como el poliestireno y el último grupo formado por los polímeros sintéticos como las poliésteres y los poliuretanos. Es importante conocer que de manera general, los plásticos biodegradables tienen malas propiedades mecánicas. Ellos no son estables frente al agua, son fotodegradables y biodegradables. Debido a estas y otras propiedades los plásticos biodegradables son utilizados por cortos períodos de tiempos ejemplo: para la confección de jabas, envolturas de utensilios domésticos, etc.(Gil, D. 2014).

5. Plásticos biodesintegrables

Son materiales compuestos que están constituidos por una mezcla de una parte orgánica biodegradable con poliolefinas por ejemplo mezclas de almidón con Polietileno, Polipropileno y sus copolímeros, etc. Los microorganismos metabolizan y biodegradan la fracción orgánica (almidón) mientras que la fracción polimérica queda sin atacar con lo cual la fracción de poliolefina no sufre cambios importantes. Estos materiales no son plásticos biodegradables propiamente dicho y a pesar que se conocen desde la década del 70 no son usados comercialmente. Se han producido bolsas de comercio con mezclas de Polietileno con almidón que no han tenido éxito comercial debido a que el agregado del almidón reduce significativamente todas las propiedades físicomecánicas con lo cual se debe aumentar mucho el espesor de la bolsa con el consecuente aumento del costo. Existen empresas que venden concentrado (Masterbatch) de polímero con almidón que se agregan durante la extrusión de la película ó inyección de artículos diversos para transformarlos en biodesintegrables. Una desventaja adicional de esta técnica es la gran sensibilidad del almidón a la humedad (higroscópico) lo que hace que deban tomarse precauciones especiales durante la transformación para evitar defectos provocados por la humedad del polímero (Plastivida ®. 2009).

6. Métodos para medir la biodegradación

Plastivida ®. (2009), señala que según Steven Mojo, Director del Instituto de Productos Biodegradables, “no se puede utilizar indistintamente los términos “biodegradable” y “aptos para compostaje”. Uno describe un proceso, mientras que el otro describe dónde y cuándo el proceso tomará lugar.

La biodegradación es un proceso que puede tener lugar en diferentes ambientes como los suelos, las tierras de compostaje, plantas de tratamiento de aguas, ambientes marinos, etc. No todos los materiales son biodegradables bajo todas las condiciones.

Cuando se dice que un material es “apto para compostaje” se habla del lugar donde ocurrirá el proceso y en qué período de tiempo. Cuando un producto está diseñado para el compostaje, debe cumplir con normas.”

Existen normas internacionales que regulan y miden la velocidad de los procesos de degradación y de biodegradación tanto en Estados Unidos como en Europa. Las más conocidas son:

Estados Unidos:

ASTM D6400-99 “Especificación Standard para los plásticos compostables” que es una norma que establece los requisitos y la norma ASTM D5338-98 “Método de ensayo estándar para la determinación de la degradación aeróbica de los materiales plásticos en condiciones controladas de compostaje” que es una norma de procedimiento para medir la degradación aeróbica.

Europa:

EN 13432 “Requisitos de los envases y embalajes valorizables mediante compostaje y biodegradación” y la norma EN 14855 “Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final y desintegración de materiales plásticos en condiciones de compostaje controladas” que es la norma que describe el procedimiento del análisis.

El objetivo de estas normas es especificar los plásticos y los productos fabricados con plásticos que son designados como compostables en instalaciones municipales ó industriales de compostaje aeróbico; así como los requerimientos para que productos para envasado puedan llevar la inscripción ó etiqueta “Compostable en instalaciones industriales ó municipales”. Además las propiedades de estas especificaciones son las requeridas para determinar si los productos fabricados con los plásticos se compostan adecuadamente incluyendo la biodegradación a una velocidad compatible con materiales que normalmente se someten al proceso de compostaje (por ejemplo restos de comestibles). Así mismo las propiedades requeridas en las normas son las necesarias para determinar que el proceso de degradación de estos materiales no disminuya la calidad y el valor del compost resultante.

B. ACIDO LÁCTICO

1. Aspectos generales

Guerra, F. y Vallejo, H. (2005), reporta que el ácido láctico, o su forma ionizada, el lactato (del lat. lac, lactis, leche), también conocido por su nomenclatura oficial ácido 2-hidroxi-propanoico o ácido α -hidroxi-propanoico, es un compuesto químico que juega importantes roles en diversos procesos bioquímicos, como la fermentación láctica. Es un ácido carboxílico, con un grupo hidroxilo en el carbono adyacente al grupo carboxilo, lo que lo convierte en un ácido α -hidroxílico (AHA) de fórmula $\text{H}_3\text{C-CH(OH)-COOH-}$ ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$).

El ácido láctico es un ácido orgánico con tres carbonos: en un terminal el átomo de carbón es parte del grupo carboxílico; el otro átomo de carbón terminal es parte de un metilo; y el átomo de carbón central está unido a un grupo alcohol (<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com>. 2011).

El ácido láctico (ácido 2-hidroxipropanoico, $\text{CH}_2\text{-CHOH-COOH}$), contiene un átomo de carbono asimétrico y es el hidroxiaácido más sencillo que existe. Hay dos isómeros ópticos, el D(-) láctico y L(+) láctico y una modificación racémica constituida por fracciones equimolares de las formas L(+) y D(-). A diferencia del isómero D(-), la configuración L(+) es metabolizada por el organismo humano. Fue descubierto en 1780 por el químico sueco Scheele, quien lo aisló de leche agria. Posteriormente se encontró

este mismo ácido en la sangre (Suriderp, C. 1995).

El ácido láctico, es un líquido siruposo, incoloro, soluble en éter, miscible con agua y alcohol e insoluble en cloroformo, éter de petróleo y disulfuro de carbono o un sólido de punto de fusión bajo en estado puro. Es una biomolécula presente en gran parte de los seres vivos y un componente normal en la sangre y los músculos de los animales. Fue descubierto por Scheele en 1780. El ácido láctico se hidroliza a dióxido de carbono y agua. Tiene dos formas ópticamente activas (dextro y levo) y la forma racémica, ópticamente inactiva, que es la comercial. Desde hace tiempo los estudios se dirigen a la obtención de ácido láctico a partir de materias residuales y su posterior transformación en compuestos químicos intermedios, disolventes, plastificantes y resinas (Sun, X. y Seib, P. 2001).

Los microorganismos que producen ácido láctico son diversos y dependen de cada industria y están protegidos bajo patente. En general, pertenecen al género *Lactobacillus*. Hay dos clases de bacterias, las homofermentativas, que producen ácido láctico casi exclusivamente y las heterofermentativas, que producen subproductos en cantidades apreciables. Las empleadas en la industria son las homofermentativas. En el proceso de fabricación se busca que los microorganismos fermenten rápida y completamente sustratos baratos, con adición mínima de nutrientes nitrogenados y alta estereoespecificidad, en condiciones de valores reducidos de pH y elevadas temperaturas, que se produzca muy poca biomasa y que la cantidad de subproductos sea despreciable (Sun, X. y Seib, P. 2001).

En cuanto a las materias primas, existe una gran variedad y deben reunir las siguientes características: costo reducido, bajo nivel de contaminantes, alta velocidad de fermentación, gran rendimiento en ácido láctico, poca o ninguna formación de subproductos, posibilidad de ser fermentada con poco o ningún pre-tratamiento y disponibilidad durante todo el año (Herryman, M. y Blanco, G.. 2005).

Los sustratos empleados comercialmente son sacarosa del azúcar de caña y remolacha azucarera, suero de queso conteniendo lactosa y maltosa y dextrosa de almidón hidrolizado. La sacarosa refinada y la dextrosa son los más utilizados. Otros posibles sustratos son materiales celulósicos y licores sulfíticos, aunque este último precisa de un pre-tratamiento; también se puede usar miel final de caña, pero éstas presentan

problemas en las etapas de recuperación (Sun, X. y Seib, P. 2001).

Actualmente, se realizan investigaciones para la obtención del ácido con otras materias primas vegetales para disminuir los costos de producción. Alrededor del 85 % del ácido láctico que se produce se emplea en la industria alimentaria como acidulante y preservante en confitería, extractos, zumos de frutas, esencias, limonadas, jarabes, cervecería y otros y, dependiendo de la pureza, encuentra aplicaciones en distintas ramas de la industria como farmacéutica, química, textil, cuero y calzado, microbiológica, agroquímica y cosméticos (Licensintorg. 2005)

Un gran número de compañías en el mundo produce el ácido, pero debido al alto costo de producción éste, sus sales y ésteres se utilizan en aplicaciones limitadas en las diferentes industrias. Sin embargo, el mercado potencial para un ácido láctico de menor precio basado en una nueva tecnología provocaría un incremento considerable del mercado existente y la aparición de nuevas aplicaciones (Herryman, M. y Blanco, G.. 2005).

2. Obtención

Existen dos procesos básicos de obtención de ácido láctico (LA) que consisten en rutas químicas y biotecnológicas. Actualmente la ruta biotecnológica produce más del 95 % del consumo mundial de LA (<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com>. 2011)

a. Ruta biotecnológica

La ruta biotecnológica consiste en la fermentación de carbohidratos con bacterias y hongos, aunque industrialmente está más extendida la fermentación vía bacteriana. Una de las principales ventajas de las rutas biotecnológicas, es obtención de LA en sus formas enantioméricas, y no como mezcla racémica, tal y como ocurre en la vía química. Sus principales desventajas son: largos tiempos de fermentación (6 días), bajas productividades (<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com>. 2011).

b. Vía fermentativa

La obtención de LA por vía fermentativa discurre básicamente a través de cuatro etapas (<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com>. 2011).

Fermentación

Hidrólisis del lactato de calcio

Esterificación y destilación

Hidrólisis del éster

Los procesos comerciales de obtención se basan en la utilización de bacterias termófilas, de fermentación rápida, y que permiten que el uso de sustratos baratos, con mínima adición de nutrientes.

3. Producción industrial del ácido láctico

El ácido láctico puede ser obtenido por vía química o biotecnológica. La producción química está basada en la reacción de acetaldehído con ácido cianhídrico (HCN) para dar lactonitrilo, el cual puede ser hidrolizado a ácido láctico; otro tipo de reacción se basa en la reacción a alta presión de acetaldehído con monóxido de carbono y agua en presencia de ácido sulfúrico como catalizador. La síntesis química tiene la desventaja que el ácido láctico producido es una mezcla de D y L ácido láctico ópticamente inactivo (Litchfield, J. 1996).

La producción biotecnológica está basada en la fermentación de sustratos ricos en carbohidratos por microorganismos y tiene la ventaja de formar enantiómeros D(+) ó L(+), ópticamente activos. En la producción por fermentación, se busca que los microorganismos utilizados sean preferiblemente termófilos, que fermenten rápida y completamente sustratos baratos, con adición mínima de nutrientes nitrogenados, que crezcan en condiciones de valores reducidos de pH, presenten poca producción de biomasa y una despreciable cantidad de subproductos. Los microorganismos que pueden utilizarse para la producción de ácido láctico, pertenecen a los géneros *Lactobacillus*, *Carnobacterium*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Streptococcus*, *Tetragenococcus*, *Lactococcus*, *Vagococcus*, *Enterococcus* y *Aerococcus*; pero además es posible usar cepas de hongos como *Rhizopus* que producen ácido L(+) láctico (Dominguez, J, y Vasquez, M. 1999).

Lactobacillus delbrueckii es el microorganismo utilizado en la producción industrial, ya que tiene la ventaja de consumir eficientemente glucosa y ser un microorganismo termófilo con temperatura óptima de crecimiento en el rango de 45 a 62°C, lo que reduce

costos de enfriamiento y esterilización, así como riesgos de contaminación microbiológica en el fermentador. Presenta un pH óptimo entre 5.5 y 6.5, por lo cual el ácido producido es continuamente neutralizado con CaCO_3 . No presenta actividad amilolítica ni celulolítica. En medio lactosado la bacteria recomendada es *Lactobacillus bulgaricus* que también es termófila (García, M. et al. 1993).

Otros microorganismos como *Zymomonas mobilis*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Kluiveromyces lactis* y *E. Coli*, han sido también utilizadas para producir ácido láctico (Bianchi, M. et al. 2001).

Industrialmente se utilizan como sustratos, sacarosa proveniente de azúcar de caña y remolacha azucarera, lactosa proveniente de lactosuero, y dextrosa procedente de almidón hidrolizado. La sacarosa refinada y glucosa son los más utilizados. Otros posibles sustratos son materiales celulósicos y licores sulfíticos, aunque estos precisan de pretratamiento. También es posible usar melazas, aunque plantean problemas en las etapas de recuperación (Menéndez, I. 1999).

Sin embargo, Monteagudo, J. y Aldaveno, M. (1999), utilizaron con éxito, melazas de remolacha para la producción de ácido láctico. Además los sustratos almidonosos disponibles en la forma de desechos agrícolas, granos dañados y porciones comestibles de granos y tubérculos sirven como materia prima para la producción del ácido.

A partir de almidón la producción de ácido láctico, se lleva a cabo en dos pasos, el proceso de sacarificación llevado a cabo mediante ácidos o amilasas microbianas y el proceso de fermentación mediante *Lactobacillus*. Otros sustratos reportados en la literatura reciente, son: fibras de alfalfa], permeado de lactosuero, almidón de yuca, paja de trigo y residuos de papa adicionados de residuos generados en el proceso de producción de concentrados para alimentación animal como jugos verdes y pardos (Serna, L. et al. 2003).

En el método de obtención comercial, al sustrato se le adiciona una fuente de vitaminas y de cofactores, se utiliza una mezcla de 10 a 15 % de glucosa, 10% CaCO_3 , cantidades menores de fosfato de amonio y extracto de levadura. El medio se inocula y se agita sin aireación para optimizar la neutralización del ácido formado. La fermentación dura entre 2 a 4 días y se termina cuando todo el azúcar es consumido, con el fin de facilitar la purificación. Al final de la fermentación el medio es ajustado a pH 10 y calentado para

solubilizar el lactato de calcio y coagular proteínas presentes. Posteriormente el medio se filtra para remover sustancias insolubles, así como biomasa. Después de concentrar por evaporación, el ácido libre se obtiene por adición de ácido sulfúrico seguido de filtración para remover el sulfato de calcio formado (Garcia, M, et al. 1993).

4. Recuperación y purificación del ácido láctico

En la mayoría de los procesos, el ácido láctico es recuperado bajo la forma de lactato de calcio. Los tratamientos posteriores, van a depender de la pureza deseada e incluyen: esterificación con metanol, purificación con resinas de intercambio iónico, extracción con solventes, uso de tecnología de membranas como ultrafiltración, ósmosis inversa y electrodiálisis. La electrodiálisis puede utilizarse simultáneamente a la fermentación, empleando un sistema de recirculación, este método permite remover el ácido a medida que se produce, eliminando la necesidad de agregar agentes neutralizantes (Garcia, M, et al. 1993).

La extracción y purificación del ácido láctico del medio fermentado es una operación difícil y bastante compleja. Durante la fermentación de carbohidratos no solo se produce ácido láctico, el caldo final de fermentación también contiene diversas sustancias en solución y 1opcionalmente en suspensión carbohidratos no fermentados, subproductos de la fermentación y nutrientes utilizados para el cultivo de las bacterias. El grado de pureza de la disolución acuosa de ácido láctico es un factor para determinar su posible empleo y consiguientemente su precio en el mercado. Además, para empleo industrial es también necesario que la purificación y el proceso de concentración de la disolución acuosa de ácido láctico sea simple y económico. Es también preferible que el proceso permita operar de modo continuo, reciclando las células fermentativas y el caldo de fermentación después que el ácido láctico se haya recuperado, minimizando así problemas ambientales (Gil, D. 2014).

El proceso fermentativo del ácido láctico produce una disminución brusca del pH por la propia producción del ácido láctico y otros ácidos orgánicos. A pH ácidos disminuye la viabilidad y el crecimiento de la mayoría de los microorganismos y por tanto disminuye también la producción de ácido láctico. Es por esto que el pH de la fermentación se debe mantener sobre la neutralidad mediante la adición de álcalis como: hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos, lo cual aumenta considerablemente el contenido iónico en el

caldo de fermentación (lactatos de sodio, potasio, calcio y amonio).

Para llevar a cabo la desmineralización del ácido láctico producido en la fermentación, y una vez eliminada por microfiltración la biomasa, existen tres técnicas principales: la electrodiálisis, el intercambio iónico, mediante resinas intercambiadoras catiónicas para eliminar sodio, calcio y magnesio y las aniónicas para la eliminación de cloruro y sulfato; y por último las membranas de ultrafiltración y ósmosis inversa. La electrodiálisis es una técnica con muy buenos rendimientos cuando la cantidad de sales a eliminar es elevada, por otro lado el costo de los equipos es muy alto y son tecnológicamente sofisticados.

El intercambio iónico es poco adecuado para altas concentraciones, el equipamiento es sencillo y el costo de las resinas no es elevado. Por último las técnicas de desmineralización por membranas son muy eficaces a concentraciones intermedias, los equipos tienen costos elevados ya que requieren el uso de altas presiones para conseguir la filtración a través de la membrana.

Tradicionalmente el ácido láctico puede purificarse a partir del caldo de fermentación por tratamientos con ácidos como el sulfúrico. Este método presenta como principales desventajas los consumos elevados de ácido sulfúrico, los bajos rendimientos y la formación de un precipitado que complica notablemente el proceso de purificación en cuestiones de tratamientos de residuales. $\text{lactatos de calcio} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CaSO}_4$ (precipitado) + ácido láctico libre. En otros trabajos se combinan métodos de intercambio iónico con electrodiálisis, así se obtiene un producto con mayor pureza pero tiene como desventajas los altos consumos de resinas y de ácidos, los cuales son utilizados para la regeneración de las resinas. Por otra parte las técnicas de electrodiálisis son caras. También se pueden usar procesos ligados a la formación de sales para purificar el ácido láctico. Para esto han sido muy empleadas alquilaminas secundarias y terciarias. Este método ha resultado ser efectivo en términos de pureza del ácido láctico pero inviable a gran escala debido al gasto energético que provoca. Una de las tecnologías más utilizadas para extraer el ácido láctico del caldo de fermentación es la esterificación. Esto presupone la obtención de éster de ácido láctico, la destilación del mismo para remover impurezas y el recobrado del ácido láctico libre y el alcohol por hidrólisis (Gil, D. 2014)

5. Aplicaciones y usos del ácido láctico

Suriderp, C. (1995), señala que el ácido láctico y sus derivados como sales y ésteres es ampliamente utilizado en las industrias alimenticia, química, farmacéutica, del plástico, textil, la agricultura, alimentación animal entre otros.

En la industria alimenticia se usa como acidulante y preservante. Las industrias químicas lo utilizan como solubilizador y como agente controlador de pH. En las curtiembres es utilizado para remojar los cueros y desencalarlos. En la producción de pinturas y resinas, puede ser utilizado como solvente y como removedor biodegradable. En la industria farmacéutica, las sales de hierro y calcio tienen un importante uso terapéutico en la producción de drogas.

En la industria textil es ayudante en el teñido e impresión y en la agricultura se utiliza como acidulante.

En la industria de plásticos, es utilizado como precursor del ácido poliláctico.

a. Cosmética

Se utiliza como la alternativa más amplia al uso de la glicerina como suavizante. Es usado principalmente como químico anti-edad para suavizar contornos; reducir el daño producido por la luz solar; para mejorar la textura y el tono de la piel, y el aspecto en general. Sin embargo deben tomarse serias precauciones al utilizar cosméticos con ácido láctico, porque aumentan la sensibilidad a los rayos ultravioleta del sol (Guerra, F. y Vallejo, H. 2005).

b. Alimentos

El ácido láctico es utilizado en varios productos como regulador de acidez. Aunque puede obtenerse de la lactosa (azúcar de la leche), la mayor parte del ácido láctico empleado comercialmente deriva del uso de bacterias como la *Bacillus acidilacti*, *Lactobacillus delbrueckii* o *Lactobacillus bulgaricus* para fermentar fuentes de carbohidratos como la maicena y las papas. Así, lo que comúnmente se denomina "leche ácida" en alimentos vegetarianos o veganos tienen ácido láctico como ingrediente (Guerra, F. y Vallejo, H. 2005).

c. Otras aplicaciones

Según Guerra, F. y Vallejo, H. (2005), al ácido láctico también se le utiliza en:

Alimento para niños.

Purgante, en la forma de lactato de calcio o lactato de magnesio.

Aditivo en alimentos o fragancias, en la forma de lactato de etilo.

Removedor de sales de calcio.

Como mordiente.

Curtimiento de pieles.

Materia prima para síntesis orgánica.

Acción acaricida: Es utilizado en el control del varroasis, ácaro que ataca la abeja melífera *Apis mellifera*.

Materia prima para Biopolimeros.

Las especificaciones de calidad dependen del uso. En el cuadro 1 se muestran las especificaciones del ácido láctico en la industria farmacéutica y en la industria de alimentos de USA (basada en especificaciones de la FCC).

Cuadro 1-2. ESPECIFICACIONES DEL ÁCIDO LÁCTICO.

Parámetro	Grado farmacéutico	Grado FCC	Grado alimenticio
Pureza (%)	88	95 a105	80
Cloruros (%)	0.008	0.2	0.02
Sulfatos (%)	0.02	0.25	0.05
Arsénico (ppm)	4	3	0.2
Metales pesados (ppm)	33	10	10
Hierro (ppm)	10	10	10
Cenizas (%)	0.1	0.1	0.1

Fuente: Bianchi, M. et al. (2001).

6. Importancia biológica

Guerra, F. y Vallejo, H. (2005), señalan que el ácido L-láctico se produce a partir del piruvato a través de la enzima lactato deshidrogenasa (LDH) en procesos de fermentación. El lactato se produce constantemente durante el metabolismo y sobre todo durante el

ejercicio, pero no aumenta su concentración hasta que el índice de producción no supere al índice de eliminación de lactato. El índice de eliminación depende de varios factores, como por ejemplo: transportadores monocarboxilatos, concentración de LDH y capacidad oxidativa en los tejidos. La concentración de lactatos en la sangre usualmente es de 1 o 2 mmol/l en reposo, pero puede aumentar hasta 20 mmol/l durante un esfuerzo intenso.

El proceso de la producción de lactato es regenerar la dinucleótido adenina nicotinamida (NAD⁺) necesario para la glucólisis y entonces para que continúe la producción de ATP. El lactato producido sale de la célula muscular y circula mediante el torrente sanguíneo hasta el hígado, dónde se vuelve a transformar en glucosa por gluconeogénesis. Al ciclo que comprende la glicólisis en la célula muscular y su reciclaje por gluconeogénesis en el hígado se conoce como ciclo de Cori. La fermentación de ácido láctico también la produce las bacterias *Lactobacillus*. Estas bacterias pueden encontrarse en la boca, y puede ser las responsables del progreso de la caries previamente iniciada por otras bacterias.

7. Polímeros del ácido láctico

La polimerización del ácido láctico da lugar a polímeros de ácido poliláctico (PLA) que, con otras moléculas poliméricas naturales, permiten la obtención de productos reabsorbibles y biodegradables (Lozano, J. 1999).

Entre los materiales plásticos biodegradables, el PLA es uno de los de mayor potencial para sustituir a los plásticos convencionales por sus excelentes propiedades físicas y mecánicas y porque puede procesarse utilizando las maquinarias existentes con solo ajustes menores. El PLA es también un material altamente versátil que puede elaborarse con distintas formulaciones para satisfacer la mayor parte de las especificaciones de los productos (Galactic Laboratories. 2000)

Mezclado con distintos polímeros naturales permite desarrollar materiales con mejores propiedades de resistencia al agua (Biresaw, G. 2003).

Los polímeros de PLA son totalmente composteables en las instalaciones existentes. Con equipamiento apropiado, se puede convertir de nuevo en monómero, que puede ser convertido nuevamente en polímero. Como alternativa, puede biodegradarse en agua,

dióxido de carbono y material orgánico. Al final del ciclo de vida de un producto basado en PLA, éste puede descomponerse en sus partes más simples de manera que no quede ninguna señal del producto original. La Universidad de la Florida está desarrollando una tecnología de composteo a escala industrial que consiste en un proceso anaeróbico secuencial en batch conocido como SEBAC. Este método puede emplearse para transformar una cantidad significativa de desechos en un compost utilizable (Balkcom, M. 2002).

C. ÁCIDO POLI LÁCTICO (PLA)

El ácido poliláctico (APL) es un polímero termoplástico, amorfo o semicristalino, de alta resistencia mecánica, de plasticidad térmica, maleable, biodegradable, útil en: la liberación controlada de fármacos, en la industria alimenticia para la elaboración de plástico (Sánchez, J. 2014).

El poliácido láctico o ácido poliláctico (PLA) es un poliéster alifático termoplástico derivado de recursos renovables, de productos tales como almidón de maíz (en los Estados Unidos), tapioca (raíces, o almidón principalmente en Asia) o caña de azúcar (en el resto de mundo). Se pueden biodegradar bajo ciertas condiciones, tales como la presencia de oxígeno, y es difícil de reciclar (<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com>. 2011).

El nombre de "ácido poliláctico" debe utilizarse con precaución, ya que no se ajusta a las nomenclaturas estándar (como la IUPAC) y que podría dar lugar a la ambigüedad (PLA no es un poliácido, sino más bien un poliéster)

El ácido poli-láctico (PLA) es un polímero biodegradable derivado del ácido láctico. Es un material altamente versátil, que se hace a partir de recursos renovables al 100%, como son la maíz, la remolacha, el trigo y otros productos ricos en almidón. Este ácido tiene muchas características equivalentes e incluso mejores que muchos plásticos derivados del petróleo, lo que hace que sea eficaz para una gran variedad de usos (Guerra, F. y Vallejo, H. 2005).

El ácido poliláctico (PLA), es un biopolímero termoplástico cuya molécula precursora es el ácido láctico. Debido a su biodegradabilidad, propiedades de barrera y biocompatibilidad, éste biopolímero ha encontrado numerosas aplicaciones ya que presenta un amplio rango inusual de propiedades, desde el estado amorfo hasta el estado cristalino;

propiedades que pueden lograrse manipulando las mezclas entre los isómeros D(-) y L(+), los pesos moleculares, y la copolimerización (Serna, L. et al. (2003).

1. Historia del PLA

El PLA ha sido objeto de muchas investigaciones desde hace algo más de un siglo. En 1845, Pelouze condensó ácido láctico por medio de una destilación con agua para formar PLA de poco peso molecular y un dímero cíclico del ácido láctico llamado lactida. Cincuenta años más tarde, en 1894, Bischoff y Walden intentaron sin éxito la producción de PLA a partir de la lactida.

En 1932, Wallace Carothers, científico en Dupont, produjo un producto de poco peso molecular calentando el ácido láctico y sometándolo al vacío. En 1954, después de otros refinamientos, Dupont patentó el proceso de Carothers. Debido a los altos costes, este descubrimiento fue utilizado principalmente para la fabricación de suturas médicas, de implantes y como medio para dosificar medicamentos. Más adelante, Watson (1948) publicó posibles aplicaciones del PLA para revestimientos y como constituyente en las resinas. Así mismo, en 1986, Lipinsky y Sinclair publicaron también sus hallazgos (<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com>. 2011).

Un impedimento importante en el desarrollo del polímero ha sido el elevado costo de producción. Pero gracias a los avances en la fermentación de la glucosa para obtener ácido láctico, ha experimentado una bajada importante el costo de producción del ácido láctico y por consiguiente, un interés creciente en el polímero.

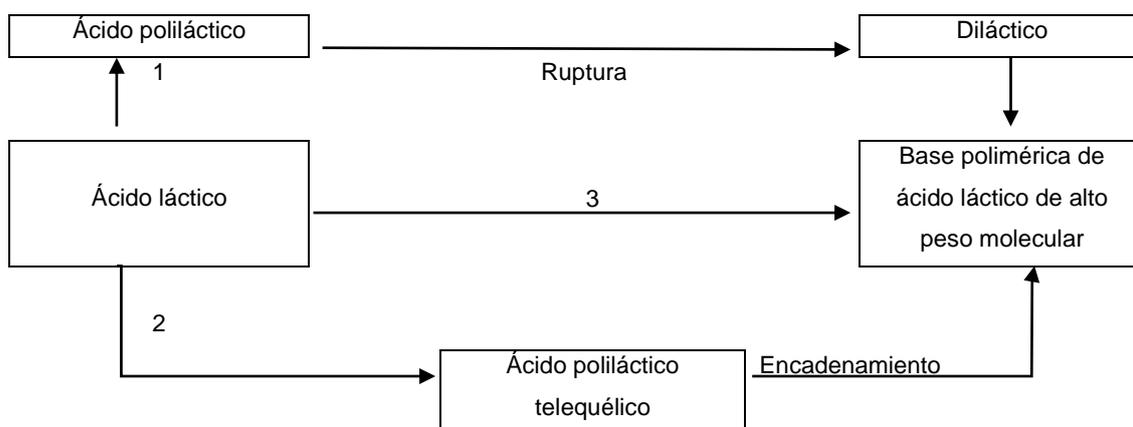
2. Obtención de ácido poliláctico

Serna, L. et al. (2003), señalan que los polímeros basados en ácido láctico, pueden manufacturarse en diferentes rutas de polimerización, las cuales se esquematizan en el gráfico 1.

La primera ruta indicada en el gráfico 1, incluye una policondensación del ácido láctico, seguido por una depolimerización hacia el dímero diláctido, el cual puede polimerizarse abriendo el anillo, en polímeros de alto peso molecular.

En la segunda ruta indicada en el gráfico 1, el ácido láctico es policondensado en presencia de un monómero difuncional, por ejemplo diol o diácido, produciendo un polímero telequérico, el cual puede unirse a otro para producir polímeros de alto peso molecular.

Gráfico 1-2. DIFERENTES RUTAS EN LA MANUFACTURA DE BASES POLIMÉRICAS DE ÁCIDO LÁCTICO.



Fuente: Serna, L. et al. (2003).

En la tercera ruta el ácido láctico es policondensado directamente en polímeros de alto peso molecular, manipulando el equilibrio entre: ácido láctico, agua y ácido poliláctico en un solvente orgánico.

Estas reacciones se producen por simple calentamiento o por la acción de catalizadores como alcoxidos metálicos y complejos quirales de aluminio metoxilado.

Por su parte, en <http://www.textoscientificos.com>. (2009), se señala que la obtención del ácido poliláctico ocurre generalmente en dos etapas consecutivas: la primera la síntesis del ácido láctico y la segunda la polimerización.

a. Síntesis del ácido láctico

<http://www.textoscientificos.com>. (2009), reporta que el primer paso en el proceso es la extracción del almidón de la biomasa. Industrialmente se utilizan como sustratos, sacarosa proveniente de azúcar de caña y remolacha azucarera, lactosa proveniente de lactosuero, y dextrosa procedente de almidón hidrolizado. La sacarosa refinada y glucosa

son los más utilizados. Para la extracción del almidón de productos no refinados se realiza un molido húmedo. El almidón obtenido se convierte en azúcar por hidrólisis enzimática o ácida. Bacterias fermentan entonces el licor azucarado. *Lactobacillus delbrueckii* es el microorganismo utilizado en la producción industrial, ya que tiene la ventaja de consumir eficientemente glucosa y ser termófilo con temperatura óptima de crecimiento en el rango de 45 a 62°C, lo que reduce costos de enfriamiento y esterilización, así como riesgos de contaminación microbiológica.

En el método de obtención comercial, al sustrato se le adiciona una fuente de vitaminas y de cofactores, se utiliza una mezcla de 10 a 15 % de glucosa, 10% CaCO₃, cantidades menores de fosfato de amonio y extracto de levadura. El medio se inocula y se agita sin aireación para optimizar la neutralización del ácido formado. La fermentación dura entre 2 a 4 días y se termina cuando todo el azúcar es consumido, con el fin de facilitar la purificación. Al final de la fermentación el medio es ajustado a pH 10 y calentado para solubilizar el lactato de calcio y coagular proteínas presentes. Posteriormente el medio se filtra para remover sustancias insolubles, así como biomasa. Después de concentrar por evaporación, el ácido libre se obtiene por adición de ácido sulfúrico seguido de filtración para remover el sulfato de calcio formado.

La conversión alcanza en general valores por encima del 95% en sustrato de carbohidratos. La fermentación puede realizarse tanto en procesos batch como continuos. El ácido láctico debe separarse del cultivo fermentable y purificarse antes de la polimerización en la mayoría de los casos. Los procesos de purificación más comunes involucran neutralización con bases seguido por filtración, concentración y acidificación.

b. La Polimerización

La polimerización del ácido láctico para producir polilactatos puede seguir tres rutas diferentes (Gil, D. 2014):

El ácido láctico es polimerizado en grandes cantidades para rendir moléculas de PLA de bajo peso molecular, de apariencia vidriosa y frágil. Este producto tiene aplicaciones reducidas, a menos que agentes de acoplamiento externo sean adicionados para aumentar su peso molecular (Condensación "polimerización directa).

El ácido láctico es polimerizado en presencia de solventes para rendir PLA de un peso molecular alto. (Condensación azeotrópica deshidrativa)

La tercera ruta comprende la purificación , apertura y polimerización del anillo de lacturo (ROP) para rendir moléculas de alto peso molecular, desarrollado por Cargill Inc. en 1992.

La existencia de dos grupos funcionales en el ácido láctico posibilita convertirlo directamente en poliéster vía reacción de policondensación. Sin embargo la reacción de policondensación convencional no rinde productos de alto peso molecular, a menos que se usen solventes orgánicos para la destilación azeotrópica del H₂O condensada y los tiempos de polimerización son largos. La policondensación convencional rinde un polímero frágil y de aspecto vidrioso que tiene un rango de aplicaciones limitado. Una de las metodologías más utilizadas en la obtención de PLA de alto peso molecular es la ROP, esta vía presupone la obtención de un intermediario, el lacturo, dímero de ácido láctico. La tecnología consta de tres etapas fundamentales:

Polimerización, obtención de oligómeros.

Depolimerización catalítica de los oligómeros y obtención de los lacturos (L, D y meso lacturo) por destilación. Durante la depolimerización tres estereofomas de lacturos se pueden obtener: L-Lacturo, D-Lacturo y meso-lacturo o rac-lacturo (50% L y 50% D)

Apertura del anillo de lacturo y polimerización. Para esto son usados catalizadores o iniciadores de la polimerización. Puesto que la condensación es una reacción de equilibrio, existen dificultades para eliminar cierta cantidad de agua durante las últimas etapas de la polimerización, lo cual limita el peso molecular del polímero obtenido por este método. En consecuencia la mayoría de las investigaciones se han centrado en el método ROP (Guerra, F. y Vallejo, H. 2005).

Debido a la complicación relativa, el costo de la polimerización vía ROP y la necesidad de la modificación de las propiedades de PLA para diferentes tipos de aplicaciones, una ruta alternativa de polimerización ha adquirido mayor interés. La misma comprende la condensación del polímero usando extensores de cadena para rendir moléculas de PLA de alto peso molecular. Los extensores de cadena son usualmente compuestos

bifuncionales de bajo peso molecular que incrementan el peso molecular del polímero mediante reacciones rápidas (Tuominen, J. 2003).

3. Características

El PLA es un polímero permanente e inodoro. Es claro y brillante como el poliestireno (se utiliza para fabricar baterías y juguetes). Resistente a la humedad y a la grasa. Tiene características de barrera del sabor y del olor similares al plástico de polietileno tereftalato, usado para las bebidas no alcohólicas y para otros productos no alimenticios. La fuerza extensible y el módulo de elasticidad del PLA es también comparable al polietileno. Pero es más hidrofílico que el polietileno, tiene una densidad más baja. Es estable a la luz U.V., dando como resultado telas que no se decoloran. Su inflamabilidad es demasiado baja (Guerra, F. y Vallejo, H. 2005).

El PLA se puede formular para ser rígido o flexible y puede ser copolimerizado con otros materiales. El PLA se puede hacer con diversas características mecánicas dependiendo del proceso de fabricación seguido.

4. Propiedades del PLA

Además de su capacidad para biodegradarse, el PLA tiene propiedades que comparan favorablemente con las de los plásticos comúnmente empleados, por ejemplo, para envolturas. Este es un factor importante pues permite sustituir por PLA a polímeros de la petroquímica sin necesidad de rediseñar productos o ejecutar grandes inversiones en nuevos equipos de proceso (Galactic Laboratories. 2000).

El PLA se puede formular para ser tanto rígido como flexible y copolimerizarse con otros materiales; también producirse con propiedades mecánicas apropiadas para procesos de fabricación específicos como moldeo por inyección, extrusión de lámina, moldeo por soplado, termoformación, formación de películas e hilado, con la mayoría de las técnicas y equipos convencionales. El PLA se clasifica como GRAS (generalmente reconocido como seguro) por la Food and Drug Administration de Estados Unidos (Balkcom, M. 2002).

Según Sánchez, J. (2014), es un polímero que reemplaza a los basados en hidrocarburos, es termoplástico, amorfo o semicristalino, forma parte de los hidroxiacidos molécula

precursora del APL, con un átomo de carbono asimétrico, esta molécula tiene cuatro formas estereoisoméricas: L, D, meso y mezcla racémica hecha de maíz, remolacha, trigo y otros granos ricos en almidón, desde el estado amorfo al cristalino por manipulación de mezclas (23,37) de los isómeros D(-) y L(+).

5. Propiedades físicas del PLA

Las propiedades físicas y mecánicas, farmacéuticas y de reabsorción dependen de la composición del polímero, de su peso molecular y de su cristalinidad. La cristalinidad puede ajustarse desde un valor de 0% a 40% en forma de homopolímeros lineales o ramificados, y como copolímeros al azar o de bloque (Naitove, M. 1998).

Una forma cristalina (en su mayor parte compuesta de forma L-láctido) y de alto peso molecular (>100.000 Daltons) garantiza una reabsorción larga (aproximadamente de 1 a 2 años). Formulaciones diferentes y la adición de radicales en las cadenas, permiten controlar o modelar la velocidad de reabsorción. Utilizando 100% de L-PLA, resulta un material con alto punto de fusión y alta cristalinidad. Si se usa una mezcla D y L, se obtiene un polímero amorfo con una temperatura de transición vítrea de 60°C. Con 90% D y 10% L, se obtiene un material copolimérico, el cual puede polimerizarse en forma orientada, con temperaturas por encima de su temperatura de transición vítrea. La temperatura de procesamiento está entre 60 y 125°C y depende de la proporción de D o L ácido láctico en el polímero. Sin embargo el PLA puede ser plastificado con su monómero o alternativamente con ácido láctico oligomérico y esto permite disminuir la temperatura de transición vítrea (Weber, C. 2000).

6. Propiedades mecánicas del PLA

Södergard (2000), indica que el PLA tiene propiedades mecánicas en el mismo rango de los polímeros petroquímicos, a excepción de una baja elongación. Sin embargo esta propiedad puede ser afinada durante la polimerización (por copolimerización) o por modificaciones post polimerización (por ejemplo plastificantes). El cuadro 2, muestra una comparación de algunas propiedades mecánicas de plásticos de origen petroquímico con las propiedades del PLA.

Una de las limitaciones del PLA, comparado con otros empaques plásticos, es la baja temperatura de distorsión (HDT); esto puede ser un problema en aplicaciones donde el material de empaque es expuesto a picos de calentamiento durante el llenado, transporte o almacenamiento y puede finalmente deformarse (Södergard 2000).

El PLA puede ser tan duro como el acrílico o tan blando como el polietileno, rígido como el poliestireno o flexible como un elastómero. Puede además ser formulado para dar una variedad de resistencias. Las resinas de PLA pueden ser sometidas a esterilización con rayos gama y es estable cuando se expone a los rayos ultravioleta. Al PLA se le atribuyen también propiedades de interés como la suavidad, resistencia al rayado y al desgaste (Naitove, M. 1998).

7. Biodegradación del PLA

En presencia de PLA, los microorganismos (hongos y bacterias) colonizan la superficie del polímero y son capaces de segregar enzimas que rompen en pequeños fragmentos el polímero. La colonización de la superficie depende de factores tales como la tensión superficial, porosidad y textura superficial y accesibilidad a las cadenas de polímeros. Los grupos hidrófilos de las enzimas (-COOH, -OH, -NH) atacan los grupos éster de las cadenas de polímeros mediante reacciones de hidrólisis seguida por reacciones de oxidación, de esta forma reducen el polímero a fragmentos de peso molecular inferiores a 500g/mol, los cuales pueden ser digeridos por los microorganismos.

Cuadro 2-2. ALGUNAS PROPIEDADES DE POLÍMERO UTILIZADOS COMO MATERIALES DE EMPAQUE.

Polímero	Fuerza de Tensión (Megapascales)	Módulo de Tensión (Gigapascales)	Temperatura Máx. Usada (°C)
LDPE (polietileno de baja densidad)	6.2 - 17.2	0.14 - 0.19	65
MDPE (polietileno de mediana densidad)	20 - 37.2		121
PET (poliéster)	68.9	2.8 - 4.1	204
PS (poliestireno)	41.3 - 51.7	3.1	78
PA (poliamida, nylon)	62 - 82.7	1.2 - 2.8	-
PP (polipropileno)	33 - 37.9	1.1 - 1.5	121
PLA (L+)	40 - 60	3 - 4	50 - 60

Fuente: Södergard (2000).

Las reacciones enzimáticas ocurren generalmente en medio acuoso. Las condiciones necesarias para que se pueda producir el proceso de biodegradación son: Presencia de microorganismos, oxígeno, humedad, nutrientes minerales, temperaturas entre 20 a 60°C dependiendo del microorganismo y pH entre 5-8 (Kimura, H et al. 1994).

Una de las características que ha suscitado gran interés en el PLA es su capacidad de biodegradarse bajo condiciones adecuadas a diferencia del resto de los polímeros. Lo que le confiere una gran ventaja desde el punto de vista ecológico. Además es un polímero obtenido de recursos renovables (<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com>. 2011).

8. Biorreabsorción

En los tejidos vivos, el PLA se despolimeriza totalmente por hidrólisis química. La degradación del polímero comienza por una pérdida de peso molecular (sin pérdida de masa) y se termina por una pérdida de masa, con descomposición del polímero en monómeros y fagocitosis por los macrófagos (Kimura, H et al. 1994).

El hecho de que no haya un proceso enzimático, realizado por la reabsorción del polímero acarrea una débil reacción de los tejidos, que se limita a una reacción a cuerpo extraño. Después de solubilización, el ácido láctico se degrada por vía de los lactatos y piruvatos, y seguidamente es eliminado en forma de CO₂, esencialmente por vía

respiratoria (Biotech. 1999).

Las investigaciones actuales se centran en disminuir los costos de producción del precursor (a través del uso de desechos agroindustriales como sustratos de fermentación, en la búsqueda de microorganismos altamente productores y en la aplicación de nuevas tecnologías para los procesos de extracción); en el mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas del polímero, en el perfeccionamiento de los métodos para evaluar la estabilidad microbiana de los empaques hechos en base a PLA , y en estudios de legislación y compatibilidad para empaques en contacto con alimentos. El amplio rango de aplicaciones que tiene el PLA se debe a la gran variedad de propiedades físicas, químicas y mecánicas que presenta el ácido láctico y su polímero, las cuales resultan poco usuales en los polímeros. (Serna, L. et al. 2003).

9. Aplicaciones

El APL es uno de los polímeros aprobados por la FDA desde 1995, su principal ventaja y de los biodegradables, sobre los implantes metálicos en ortopedia, es que los primeros transfieren las cargas al área dañada con el tiempo, permiten la reparación del tejido evitan una segunda cirugía para retirar el implante. El APL se utiliza en materiales mecánicos como clavos en la unión de ligamentos, en la reparación de meniscos, suturas, tornillos, en la fijación de fracturas y cirugía maxilofacial, cardiovascular y fármacos de lenta liberación (Whateley, T. 1993).

El APL no se vende comercialmente en placas de osteosíntesis en el soporte de huesos largos por los altos requerimientos mecánicos, aunque investigación de biodegradables intenta generar aquellos con mayor resistencia y rigidez en placas de osteosíntesis, con una matriz polimérica reforzada con fibras o partículas cerámicas o vítreas o del mismo polímero. En ingeniería de tejidos terapia para la regeneración de células de piel, hepáticas, cardiovasculares y recientemente de cartilago y óseas (Kawashima, Y. et al. 1998).

El criterio de selección del APL depende de sus aplicaciones ya sea mayor fuerza mecánica como la amorfa (DL-APL) o biodegradables a largo plazo como la forma semicristalina (L-APL). Los copolímeros de L/DL-APL se usan para conservar tanto las propiedades mecánicas como la velocidad de biodegradables (Sánchez, J. 2014).

<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com>. (2011), señala que sus principales aplicaciones industriales se han basado en sectores como:

Alimentario (acidulante, saborizante, emulsificante, y conservante)

Farmacéutico (humectantes y pomadas de uso tópico)

Cosmético (típicamente emulsificante en forma de éster)

Plásticos (aditivo, agente de terminado, como disolvente en forma de éster)

La aplicación más prometedora del PLA es en envases y empaques para alimentos y producción de películas para la protección de cultivos en estadios primarios. Sin embargo, el alto crecimiento fúngico en los materiales obtenidos de bases biodegradables es un factor negativo para el uso en alimentos. Por lo tanto los bioempaques son más convenientes para alimentos con alta respiración y de vida de almacenamiento corto como vegetales, y para el empaque de algunos productos de panadería (<http://www.textoscientificos.com>. 2009).

a. En la industria de alimentos

El PLA fue objeto de un minucioso estudio por la F.D.A. en el que se encontró que la migración del ácido láctico, lactido y ácido lactoiláctico; fueron limitados y por tanto concluyeron que el PLA es una sustancia reconocida como segura y puede ser utilizada como material de empaque para alimentos (Södergard 2000).

Materiales constituidos de 10% de PLA más 90% de copoliéster, 10% de PLA más 90% de copoliámidas, 10% de PLA más 90% de almidón, 10% de PLA más 90% de policaprolactona (PLC), han sido utilizados como material de empaque de yogurt, mantequilla, margarina y quesos de untar. Estos empaques, han cumplido funciones de protección mecánica, barrera a la humedad, a la luz, a las grasas y a los gases. Han sido utilizados además como "ventanas" en empaques para productos secos como el pan, donde cumplen una función de barrera contra la humedad, y en la elaboración de recipientes de papel recubiertos de PLA para el envasado de bebidas, donde cumple también una función de barrera a la humedad (Haugaard, V. et al. 2000).

Södergard (2000) dice que la aplicación más prometedora del PLA en materiales de empaque, es en productos que deben permanecer fríos y que tienen tiempos de vida

limitados, como los productos lácteos [24]. Sin embargo, en un estudio realizado en la Universidad Tecnológica de Dinamarca, en el cual se evaluaba la conveniencia de utilizar biobases en los materiales de empaque para alimentos, concluyeron que el alto crecimiento fúngico en los materiales obtenidos de bases biodegradables, es un factor negativo para el uso en alimentos y afirman que los bioempaques son más convenientes para alimentos con alta respiración y de vida de almacenamiento corto como vegetales, y para el empaque de algunos productos de panadería (Petersen, K. and Nielsen, P. 2000).

b. Industria del empaquetado

Cuatro tipos de ácido poliláctico están disponibles para la industria del empaquetado: Polímeros 4041D, 4031D, 1100D, y 2000D del PLA (Guerra, F. y Vallejo, H. 2005).

El polímero 4041D es un film para fines generales. Está “orientado biaxialmente” lo cual le confiere unas características de estabilidad frente a temperaturas altas (hasta 130°C).

El polímero 4031D es también una película orientada biaxialmente para los usos a elevadas temperaturas (hasta 150°C). 4041D y 4031D ofrecen características ópticas excelentes, fácil procesado y características excelentes frente a la torsión. Se espera que estos polímeros sean ofrecidos en la forma común, pequeñas perlas para ser sometidas a una extrusión convencional.

El polímero 1100D es una resina termoplástica obtenida por extrusión convencional y a temperaturas inferiores a las del PE. Los usos potenciales del PLA 1100D incluyen: los bolsos, las tazas, las placas de la comida campestre, empaquetado de verduras congeladas, recipientes de alimentos líquidos...etc.

El polímero 2000D es una resina termoplástica diseñada para ser sometida a procesos de extrusión y termoconformado. Las aplicaciones potenciales para 2000D incluyen los envases para la leche, los envases transparentes de alimentos, los paquetes blister, y las tazas.

c. Industria textil

Guerra, F. y Vallejo, H. (2005), reportan que el PLA también tiene muchas aplicaciones potenciales en su presentación como fibra. Presentan unas características muy atractivas para muchos usos tradicionales. Los polímeros de ácido poliláctico son más hidrofílicos que el PET, tienen una densidad más baja, alta resistencia al moldeado y doblado.

La contracción de los materiales del PLA y sus temperaturas respectivas son fácilmente controlables. Estos polímeros tienden a ser estables a la luz ultravioleta dando como resultado telas con poca decoloración. Es un material ignífugo y de baja generación de humos.

Entre sus aplicaciones destacamos: las prendas de vestir, la tapicería de ciertos muebles, los pañales, los productos femeninos de la higiene, las telas resistentes a la radiación UV para el uso exterior (toldos, cubiertas... etc.).

d. Industria médica y farmacéutica

En el campo de la cirugía el L-P.L.A. tiene grandes aplicaciones; los materiales disponibles en el mercado son: Material de sutura reabsorbible (cirugía oftalmológica, conjuntival, toracoabdominal, anastomosis neurológicas), material de cirugía ortopédica (implantes reabsorbibles), tornillos, broches, placas, grapas, cirugía reconstructiva craneofacial maxilofacial en tejidos óseos y tejidos blandos (Purac. 1998).

El PLA es utilizado en la creación de matrices para regeneración guiada de tejidos como piel, cartílagos, huesos, estructuras cardiovasculares, intestino, tejido urinario entre otros (Marler, J. 1998).

Es utilizado para microencapsular y nanoencapsular medicamentos de liberación lenta como insulina; cisplatino, taxol, somatostatina, antiinflamatorios, ganciclovir, inhibidores angiogénicos, etc. El medicamento es absorbido en el centro de una matriz de microesferas de polímeros de PLA, la cual es capaz de proteger el medicamento o el organismo. A medida que la matriz se hidroliza, el medicamento se va liberando. También se utiliza en la aplicación de quimioterapia anticancerosa o en contracepción (Serna, L. et al. 2003).

Según Herryman, M. y Blanco, G.. (2005), los siguientes son algunos de los usos en este

campo.

Estructuras biodegradables para la ingeniería de tejido

Implantes reconstructivos y bioabsorbibles

Equipos e instrumental para cirujanos

Implantes para fijación de fracturas

Tratamiento de la lipoatrofia de la cara

Placas absorbibles para fijación interna en fracturas de cara, cirugía ortognática y cráneo facial

Preparación de microesferas biodegradables

Dispositivos bioabsorbibles de fijación en reconstrucciones orbitarias

Administración intravítrea de antivíricos

10. Información medioambiental

Guerra, F. y Vallejo, H. (2005), señalan que el ácido Poliláctico parece ser un producto increíble. Es biodegradable, así que la basura de PLA una vez finalizado su ciclo de vida puede ser tirada al campo. También procede de recursos renovables, así que la materia prima puede estar siempre disponible. El PLA resulta ser demasiado bueno para ser verdad.

Una crítica importante del polímero ocurre durante su fase de interrupción biológica. El PLA lanza dióxido de carbono y metano durante este proceso, sustancias que participan al efecto invernadero. Siendo nulo el balance neto en dióxido de carbono, pues el CO₂ lanzado a la atmósfera es aquel que fue absorbido durante la fotosíntesis de la planta.

Otra crítica es que los combustibles fósiles todavía son necesarios para producir el PLA. Aunque los combustibles fósiles no se utilizan en el polímero sí mismo, son necesarios en los procesos de cosechas y recogida de la planta así como en su producción química. Los productores del PLA reconocen que los combustibles fósiles se están utilizando para producir el plástico, pero indican que su fabricación requiere entre 20 y 50 por ciento menos de recursos fósiles que aquellos que provienen del petróleo. Además hacen uso de recursos fósiles abundantes como son el carbón y el gas natural e investigan sobre la utilización de la biomasa.

El ácido láctico, y por lo tanto el PLA, también pueden derivar del trigo, de la remolocha y otras cosechas permitiendo adaptarse a los climas específicos de cada región.

Es importante resaltar que la tecnología de fabricación del PLA es reciente, solamente diez años frente a los casi 100 años de existencia de la petroquímica del plástico, durante los cuales ha ido mejorando.

Por último, el PLA para degradarse necesita ser compostado correctamente y por lo general es mezclado con residuos orgánicos lo que será utilizado como abono. La tecnología para esta clase de abonamiento a nivel industrial se está desarrollando en la universidad de la Florida y recibe el nombre de SEBAC (sequential batch anaerobic composting).

11. Demanda de ácido poliláctico

La demanda global de ácido poliláctico y esteres de lactato para el 2001 fue de 86,000 toneladas, con un mercado dominado por el sector de alimentos y bebidas y la industria del cuidado personal [9]. PURAC BIOCHEM (Holanda) es el líder mundial en producción biotecnológica del ácido láctico (Purac. 2001).

La producción mundial actual de APL es de 100,000 toneladas/año se utiliza en la industria de: alimentos, química y farmacéutica, en el 2004 la corporación NEC desarrollo un plástico vegetal a base APL de alta resistencia al fuego, sin tóxicos: halógenos o derivados del fósforo, en ese año la compañía japonesa de fonogramas Sanyo® introdujo un disco compacto (CD) de APL, los envases plásticos formados a partir de espumas por mezclas de almidón con APL, amortiguan y protegen contra golpes y vibraciones al transporte (Sánchez, J. 2014).

12. El futuro de materiales a base de APL

Sánchez, J. (2014), señala que para el 2010, se esperaba que el crecimiento de la capacidad global instalada para la producción de biodegradables sea de 75%. Aunque los valores no alcanzan el 1% de la demanda total de resinas plásticas en el mundo, su avance es vigoroso, en el mercado de empaques. El crecimiento y aceptación de las resinas biodegradables depende del alto precio de las producidas de petróleo, de la

conciencia de los consumidores para proteger el ambiente, la tecnológica alcanzada en la generación de resinas biodegradables y las leyes gubernamentales países europeos, en los últimos cinco años los proveedores de empaques lanzan al mercado formas de plásticos biodegradables vegetales como el maíz, algunas compañías predicen que el mercado crecerá en Europa a una tasa de 20% anual, la Asociación de Polímeros Biodegradables (IBAW), estiman que con la calidad y precios existentes es posible un potencial para cerca del 10% del mercado materiales plásticos, que en Europa es 40 millones de toneladas/año.

Además, indica que en la industria alimenticia en empaque alimentos, juguetería, envoltura de dulces y de flores, en la elaboración de cajas, envases para leche, botellas de refrescos, botellas de aceite; en el hogar en cortinas, sábanas, almohadas, manteles, tapicería, fibras textiles, los productos del APL son útiles las bolsas para los contenedores de residuos orgánicos en platos y vasos desechables, se espera que el mercado de productos a base de APL tengan un incremento importante en los próximos años.

D. INVESTIGACIONES SOBRE LA OBTENCIÓN DE ENVASES PLÁSTICOS A PARTIR DEL EXCEDENTE DE LA PRODUCCIÓN DE QUESO

El proyecto LIFE+ WHEYPACK está desarrollando envases plásticos para productos lácteos 100% biodegradables y viables económicamente, a partir del suero de leche derivado de la producción de queso. La investigación, que cuenta con el apoyo del programa LIFE de la Unión Europea, está liderada por Ainia Centro Tecnológico (España), participando como socios del proyecto, AIMPLAS (España), Central Quesera Montesinos (España) y EMBALNOR (Portugal). Esto, basado en que el proceso de fabricación del queso genera por la producción de una tonelada de queso, 9 toneladas de suero de leche. Sólo en Europa se estima que se producen anualmente 75 millones de toneladas de suero de leche procedente de los fabricantes de queso. Aunque parte de este subproducto vuelve nuevamente a la cadena alimentaria para la realización de otros productos lácteos, cerca del 40% del suero es desechado y gestionado como residuo en las industrias alimentarias. Con este proyecto, el propio generador del residuo podría obtener un beneficio, dándole un nuevo valor añadido a este subproducto al convertirlo, a través de un proceso de bioproducción controlada, en un nuevo material para envases de quesos, medioambientalmente sostenibles, viables económicamente y que cumplan las funciones de seguridad, calidad sensorial, vida útil, propios de los productos lácteos.

En <http://www.informador.com.mx>. (2012), se informa que en la ciudad de México, Hazael Pinto y Álvaro Rodríguez, buscan producir plástico biodegradable con el aprovechamiento del suero de leche, un subproducto de la industria láctea. Después de cuatro años de trabajo, el proyecto se encuentra a un paso de producir ácido láctico, el principal insumo para la creación de plástico PLA (ácido poliláctico cuyo principal fabricante a nivel mundial es Nature works) y que no se genera en el país. Para obtener el ácido láctico; utilizan el lacto-suero, la lactosa, y la transforman a través de un proceso de fermentación después la purifican y finalmente el ácido puro lo polimerizan y generan la resina con las condiciones que el mercado demanda. Con ello, buscan asegurar la tecnología y salir al mercado con un producto, como lo es el ácido láctico que se utiliza como conservador en la industria alimenticia, principalmente, en salsas, carnes, embutidos y, a partir de ahí, generar recursos que ayuden a continuar con el proceso del 1plástico biodegradable.

E. INVESTIGACIONES DESARROLLADAS A PARTIR DE DIVERSAS FUENTES BIOLÓGICAS.

Se han realizado estudios para desarrollar bioplásticos utilizando como materia prima las algas verdes, debido a ventajas, tales como un alto rendimiento, la capacidad de crecer en una diversidad de entornos, alta tasa de crecimiento de todas las plantas, proteína natural y de polímeros a base de carbohidratos, se puede remediar aguas residuales y las emisiones de CO₂ como fuente de nutrientes, recolección frecuente y se puede cultivar durante todo el año en climas cálidos y que no compite con la producción de alimentos. El uso de estas abre la posibilidad de la utilización de carbono, neutralizando las emisiones de gases de efecto invernadero de las industrias y centrales eléctricas. Los polímeros obtenidos a partir de altas concentraciones de algas verdes muestran relativa alta resistencia y un color negro profundo. La durabilidad y elasticidad varían de acuerdo a la cantidad de algas verdes utilizadas. Es evidente en los estudios que altos niveles de algas produjeron plásticos ecológicos de calidad. El plástico de algas podría ser comercializado para la producción de materiales que requieren fuerza relativa (Hillary, M. 2012).

También se han producido bioplásticos a partir de gluten de trigo, que constituye la proteína subproducto de la fabricación de almidón, es una interesante materia prima para el desarrollo de biopolímeros, porque es fácilmente disponible en grandes cantidades y a precios bajos. Una característica sobresaliente del gluten de trigo de entre otras proteínas

es su propiedad viscoelástica. Sus propiedades termoplásticas y su alta capacidad para la modificación química pueden ofrecer la posibilidad de desarrollar una serie de materiales que encuentran su aplicación en el sector no alimentario, por ejemplo, materiales compuestos, películas para uso agrícola u objetos moldeados (Domenek, S. 2004).

Además, por mezcla directa de las proteínas de la clara de huevo, con un plastificante, glicerol, y, finalmente, un proceso de moldeo térmico el cual le da forma a la materia y les proporciona propiedades mecánicas adecuadas para ser utilizados como materiales sustitutivos de polímeros sintéticos para aplicaciones concretas en el desarrollo de nuevos materiales bioplásticos. Las proteínas de la clara de huevo de gallina (albúmina) se han utilizado con frecuencia como ingredientes en la elaboración de alimentos por sus propiedades funcionales únicas, tales como gelificación, formación de espuma, la termofijación y la adhesión de los enlaces. Los bioplásticos a partir de proteínas de clara de huevo han demostrado ser más termoestables que los hechos a partir de gluten de trigo (Jerez, A. et al. 2007).

Otra de las alternativas es el ácido poliláctico (PLA), polímero del ácido láctico obtenido en la fermentación del almidón. Las investigaciones de Tejeda (2007) y Silva (2012), demostraron la alta producción de almidón a partir de ñame espinoso y también de la papa. Para la producción de ácido láctico por fermentación de este almidón se pueden utilizar microorganismos que pertenezcan a los géneros: *Lactobacillus*, *Carnobacterium*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Streptococcus*, *Tetragenococcus*, *Lactococcus*, *Vagococcus*, *Enterococcus* y *Aerococcus*.

Mediante la polimerización del ácido láctico se obtiene el ácido poliláctico, el ácido poliláctico es un biopolímero termoplástico biodegradable que ha encontrado numerosas aplicaciones como empaques para la industria de alimentos, como yogurt, mantequilla, margarina y quesos debido a que ofrece una barrera protectora contra la luz, grasas, humedad y gases. Gracias a su transparencia y brillo y su facilidad de procesado en la extrusión y el termoconformado, se utiliza ya en piezas rígidas de termoconformado. Su rigidez permite además utilizar paredes más delgadas, rebajando el peso de las piezas frente a las mismas hechas en polietileno. Se usa como implante en cirugía estética y reconstructiva. Se ha usado en la fabricación de vasos desechables, platos y similares,

así como en otros ámbitos como el de la telefonía o tarjetas inteligentes sustituyendo materiales como el PVC (Shafer, A. 2002).

El poli- hidroxialcanoato (PHA), es un tipo de poliéster que muestra propiedades térmicas similares a los plásticos a base de petróleo, pero que es producido por bacterias, algas, y plantas modificadas genéticamente. Se encuentra entre los más conocidos, en contraste con los plásticos convencionales, el PHA es totalmente biodegradable y derivado de recursos renovables es completamente biosintético y produce cero residuos tóxicos. Este bioplástico Los PHAs son eficientemente degradados en el medio ambiente debido a que muchos microorganismos en los suelos son capaces de secretar polihidroxibutirato (PHB) despolimerasas, enzimas que hidrolizan los enlaces éster de un polímero a monómeros y oligómeros solubles en agua. Los microorganismos metabolizan estos productos de degradación a agua y dióxido de carbono (Jiang, Y. 2012).

El microorganismo de elección para la producción industrial de PHA varía en función de factores que incluyen la capacidad de la célula para utilizar una fuente de carbono de bajo costo, el costo del medio, la tasa de crecimiento, la tasa de síntesis del polímero, la calidad y cantidad de los PHA, y el costo de procesos aguas abajo. Aunque más de 300 microorganismos diferentes sintetizan PHA, sólo unos pocos, como *Cupriavidus necator* (antes conocido como *Ralstonia eutropha* o *Alcaligenes eutrophus*), *Alcaligenes latus*, *Azotobacter vinelandii*, *Pseudomonas oleovorans*, *Paracoccus denitrificans*, *Protomonas extorquens*, y *E. coli* recombinante, son capaces de producir suficiente PHA para la producción a gran escala. Los microorganismos los sintetizan en varias formas químicas, entre los cuales el polihidroxibutirato (PHB) que es el poliéster de cadena más corta en esa familia, es una forma bioplástica del poliéster. Se comportan de manera similar al polipropileno. La materia prima utilizada es el azúcar. Es mezclado comúnmente con otros plásticos. En forma mezclada es utilizado en muchas aplicaciones como el pegamento y goma dura (Chanprateep, S. 2010).

CAPITULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

A. LOCALIZACIÓN Y DURACIÓN DEL EXPERIMENTO

La presente investigación se desarrolló en la Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, en las instalaciones de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en el Laboratorio de Bromatología de la Facultad de Ciencias Pecuarias, ubicada en el kilómetro 1 ½ de la Panamericana sur, a una altura de 2740 m.s.n.m. y 0.1° 38' de latitud sur y una longitud de 78° 40' Oeste.

B. UNIDADES EXPERIMENTALES

Se evaluó un total de 16 unidades experimentales, distribuidas en 4 tratamientos (4 niveles de plastificante 1.5, 2.0, 2.5 y 3.0 %) y 4 repeticiones. Cada unidad experimental estuvo formada por 315 cm², teniendo un total de 5040 cm² de bioplástico.

C. MATERIALES, EQUIPOS E INSTALACIONES

Los equipos, materiales, e instalaciones que se utilizaron fueron las siguientes:

1. Materiales

De laboratorio:

- Fermentador
- Termómetros
- Agitadores
- Mangueras
- Morteros
- Moldes de polietileno

De oficina:

- Computador portátil

- Cuaderno de apuntes, bolígrafos
- Cámara de fotos.

2. Equipos

- Balón o botella de fermentación
- Incubadora o baño maría
- Estufa
- Equipo de resistencia de materiales (Elongación, resistencia, dureza)
- Mortero

3. Insumos

- Suero de leche
- Glicerol
- Fermentos
- Colorantes

4. Instalaciones

- Laboratorios de FCP.
- Laboratorio de la FM.
- Oficina

D. TRATAMIENTO Y DISEÑO EXPERIMENTAL

En la presente investigación se evaluó cuatro niveles (1.5, 2.0, 2.5 y 3.0 %) de Ácido Poliláctico (PLA) obtenido del suero de leche en la elaboración de bioplástico, utilizándose 4 repeticiones por tratamiento y que se distribuyeron bajo un diseño completamente al azar (DCA) y que para su análisis se ajustaron al siguiente modelo lineal aditivo:

$$X_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_j$$

Donde:

X_{ij} = Valor del parámetro en determinación.

μ = Media General.

α_i = Efecto de los Tratamientos (Niveles de APL).

ε_j = Efecto del Error Experimental.

En el cuadro 3, se reporta el esquema del análisis de varianza utilizado.

Cuadro 3-3. ESQUEMA DEL EXPERIMENTO.

Tratamientos	Código	Repeticiones	T.U.E*	Unidades / tratam.
PLA 1,5%	T1	4	315	1260
PLA 2,0%	T2	4	315	1260
PLA 2,5%	T3	4	315	1260
PLA 3.0%	T4	4	315	1260
TOTAL, cm ²				5040

T.U.E= Tamaño de la Unidad Experimental (315 cm²)

E. MEDICIONES EXPERIMENTALES

Los parámetros que se consideraron en la presente investigación fueron:

- Espesor, mm
- Anchura, mm
- Sección transversal, mm²
- Módulo de elasticidad, kg/cm²
- Carga máxima, kg
- Esfuerzo máximo, kg/cm²
- Elongación, %
- Degradación, días
- Beneficio/Costo

F. ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y PRUEBAS DE SIGNIFICANCIA

Los resultados obtenidos fueron sometidos a las siguientes pruebas estadísticas:

Análisis de Varianza (ADEVA) de las diferencias

Separación de medias según Tukey

Determinación de las líneas de tendencia mediante el análisis de la regresión polinomial en las variables que demuestren diferencias estadísticas por efecto de los niveles de APL empleados.

El esquema del análisis de varianza empleado se resume en el cuadro 4.

Cuadro 4-3. ESQUEMA DEL ADEVA.

Fuente de Variación	Grados de Libertad
Total	15
Tratamientos	3
Error	12

Elaborado por: Ismael Cuichán 2015

G. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Se recolectó el suero de leche de queseras aledañas a la ciudad, para transformarlo en ácido láctico. El Lactosuero fue pasteurizado a 90°C por 15 min y desproteínizado por filtración. Se suplementó con Lactosa y Sulfato de amonio, ajustando el pH a 6,5 utilizando carbonato de sodio 2,5 N y adicionando 5 g/L de hexametáfosfato para 500 mL de lactosuero.

Se activó el *Lactobacillus casei* ATCC 393 en 10 mL de caldo MRS incubando a 37°C durante 24 horas, periodo después del cual se tomó 1 mL y se agregó a 9 mL de caldo MRS e incubó a 37°C durante 6 horas. Del caldo se tomó 1 mL y se realizaron siembras en profundidad en Agar MRS y se incubaron a 37°C durante 48 horas.

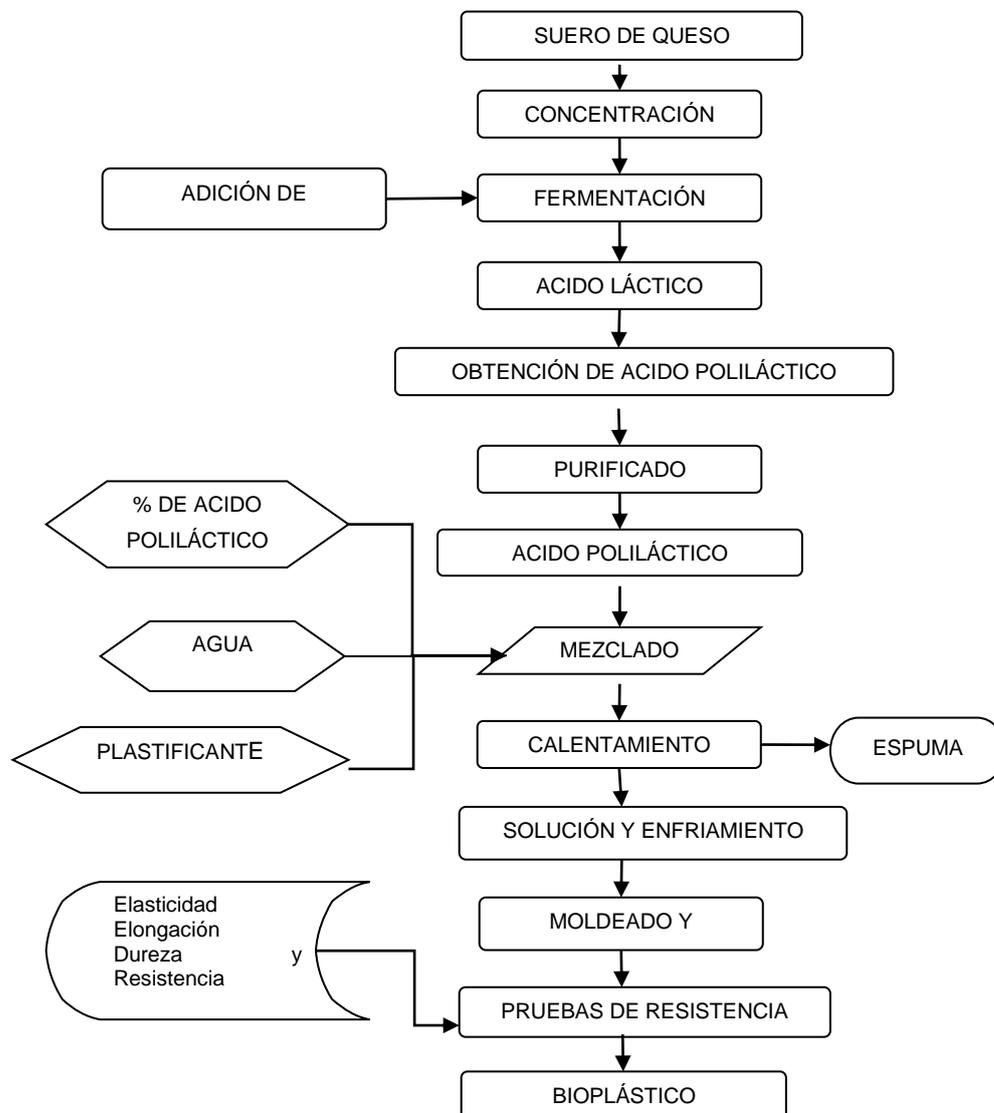
Adaptación del microorganismo: se adaptó inoculando con 10 mL de *Lactobacillus casei* activado en 500 mL de lactosuero e incubando a 37°C durante 12 horas.

Fermentación ácido láctica: se llevó a cabo en un Fermentador de capacidad de 1 L con

un volumen de trabajo de 500 mL. Se inoculó un 10% del cultivo con el microorganismo adaptado, garantizando una población mínima de 10⁶ UFC/mL. Las condiciones de trabajo fueron a presión atmosférica, 37 °C y 150 rpm de agitación magnética. Se monitoreó la fermentación durante 21 horas a 37°C ajustando el pH a 6,5, determinando la concentración de lactosa (g/L) y Lactobacillus casei (Log UFC/mL).

El proceso de elaboración del bioplástico se resume en el gráfico 2.

Grafico 2-3. DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA ELABORACIÓN DEL BIOPLASTICO



Elaborado por: Ismael Cuichán 2015

H. METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN

1. Espesura

La espesura de los filmes fue determinada utilizando un micrómetro manual (± 0.01 mm de error) marca Startter.

2. Máximo esfuerzo o Resistencia

La resistencia a la tracción o tenacidad es el máximo esfuerzo que un material puede resistir antes de su rotura por estiramiento desde ambos extremos con temperatura, humedad y velocidad especificadas. El ensayo de tracción de un material consiste en someter a una probeta normalizada a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produce la rotura de la probeta. Este ensayo mide la resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada lentamente y se lo expreso en kg/cm^2 .

3. Porcentaje de elongación

Es un tipo de deformación, la deformación es el cambio en la forma que experimenta cualquier cosa bajo tensión. La muestra se deforma por estiramiento, volviéndose más larga, la elongación se expresa como la longitud luego del estiramiento dividida por la longitud original y multiplicada por 100.

$$\frac{L}{L_0} \times 100 = \% \text{ elongation}$$

Donde:

L = largo de la muestra después del estiramiento

L₀ = largo original (L₀)

4. Módulo de elasticidad

Mide cuanto resiste un material a la deformación, se mide calculando la Resistencia y dividiéndola por la elongación, pero como la elongación es a dimensional, no tiene unidades, por lo tanto el módulo es expresado en las mismas unidades que la resistencia,

es decir, en kg/cm².

5. Degradación

La biodegradación es el proceso mediante el cual las sustancias son transformadas por microorganismos o por las enzimas que estos generan. Este proceso debe ser susceptible de ser medido por métodos estandarizados, en condiciones y tiempos específicos. Por lo anterior, para considerar a un plástico como biodegradable es necesario garantizar que alcanza una mineralización completa en un periodo de tiempo establecido.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. CARACTERÍSTICAS DE LAS PROBETAS

1. Espesor, mm

Siendo la espesura o espesor la distancia perpendicular entre dos superficies del material que forma la matriz de las películas plásticas, se puede indicar que los niveles de ácido poliláctico influyeron estadísticamente ($P < 0.05$), en los resultados del espesor de los bioplásticos (cuadro 5), por cuanto se registró que al utilizar el 2.0 % de APL, un espesor de 1.30 mm que superior a los de los otros bioplásticos obtenidos, que fueron de 1.00 mm con el nivel 1.5 % de APL, 1.17 mm con el uso de 2.5 % de APL y de 1.10 mm con 3.0 % de APL, por lo que el análisis de la regresión estableció una tendencia cuadrática significativa, que se reporta en el gráfico 3, y de donde se desprende que el espesor del bioplástico es mayor cuando se utiliza el 2.0 % de APL, pero tiene a reducirse cuando se utiliza niveles superiores.

Los bioplásticos obtenidos se consideran que son más gruesos que los determinados por Chang, D. et al. (2006), quienes al elaborar filmes de almidón de yuca con glicerol por el método casting, obtuvieron espesuras de 0.035 hasta 0.05 mm, de igual manera Muñoz, J. (2014), cuando empleó 64.14 % de glicerol y una proporción 50:50 de almidón de maíz y yuca en la elaboración de bioplásticos registró espesuras con un rango de 0.25 hasta 0.42 mm de grosor; y, Núñez, A. (2014), al obtener una película de bioplástico a partir del colágeno de las patas de pollo, determinó espesuras de 0.02 a 0.09 cm, por lo que en base a estas respuestas, esta es una característica especial a tener en cuenta, ya que a menor grosor mayor utilidad se le dará a este bioplástico, así como también se tendrá un mayor rendimiento, por cuanto lo que se busca en un plástico es proteger a los alimentos, pero conservando la forma original o la que se le quiera dar, como envoltura de diferentes tipos de alimentos.

Cuadro 5-4. CARACTERÍSTICAS DEL BIOPLÁSTICO ELABORADOS CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE ÁCIDO POLILÁCTICO OBTENIDO DEL LACTOSUERO.

Parámetro	Concentración de APL				E.E.	Prob.	CV (%)
	1,50%	2,00%	2,50%	3,00%			
DE LA PROBETA							
Espesor, mm	1,00 b	1,30 a	1,17 ab	1,10 ab	0,039	0,023	10,34
Anchura, mm	9,73 a	9,95 a	10,03 a	9,68 a	0,114	0,687	4,86
Sección transversal, mm ²	10,40 a	10,63 a	10,80 a	10,81 a	0,073	0,147	2,46
DEL BIOPLÁSTICO							
Módulo de elasticidad, kg/cm ² 1	42,63 ab	45,38 a	35,25 ab	9,44 b	0,233	0,032	21,83
Carga máxima, kg 2	0,45 c	0,67 bc	0,85 ab	1,07 a	0,038	0,000	8,21
Esfuerzo máximo, kg/cm ² 2	5,23 c	6,57 bc	8,47 ab	10,22 a	0,097	0,000	6,22
Elongación, % 2	9,91 c	13,78 b	17,66 a	20,73 a	0,142	0,000	4,65
Degradación, días	42,75 A	42,75 a	42,75 a	42,75 a	0,920	1,000	9,62

E.E.: Error estándar.

1: valores ajustados por medio de Logaritmo natural (Ln).

2: valores ajustados por medio de raíz cuadrada.

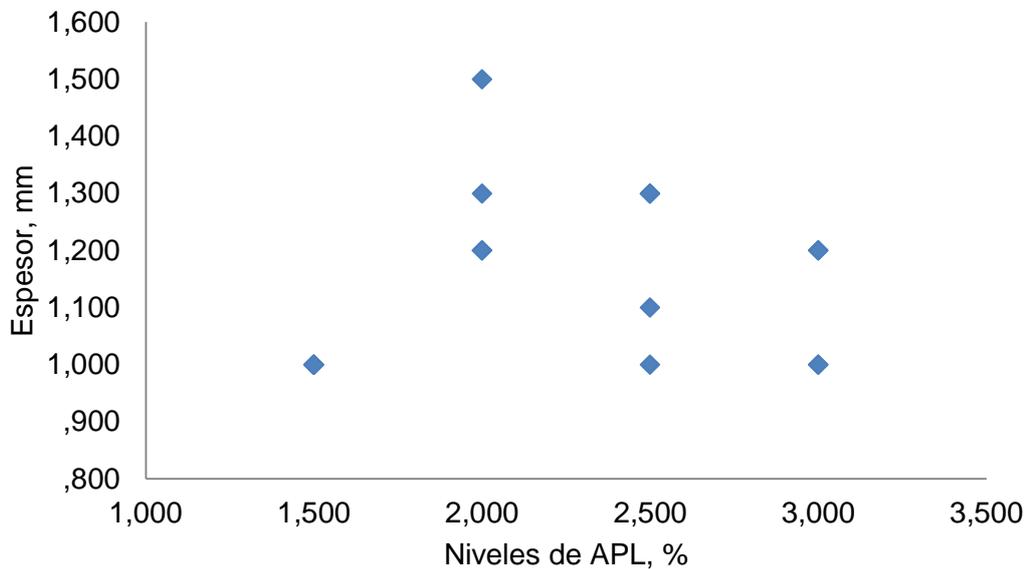
Prob. > 0,05: No existen diferencias estadísticas.

Prob. < 0,05: Existen diferencias significativas.

Prob. < 0,01: Existen diferencias altamente significativas.

Elaborado por: Ismael Cuichán 2015

Gráfico 3-4. COMPORTAMIENTO DEL ESPESOR (MM) DE LOS BIOPLÁSTICOS POR EFECTO DE DIFERENTES NIVELES DE ACIDO POLILÁCTICO OBTENIDO DEL LACTOSUERO.

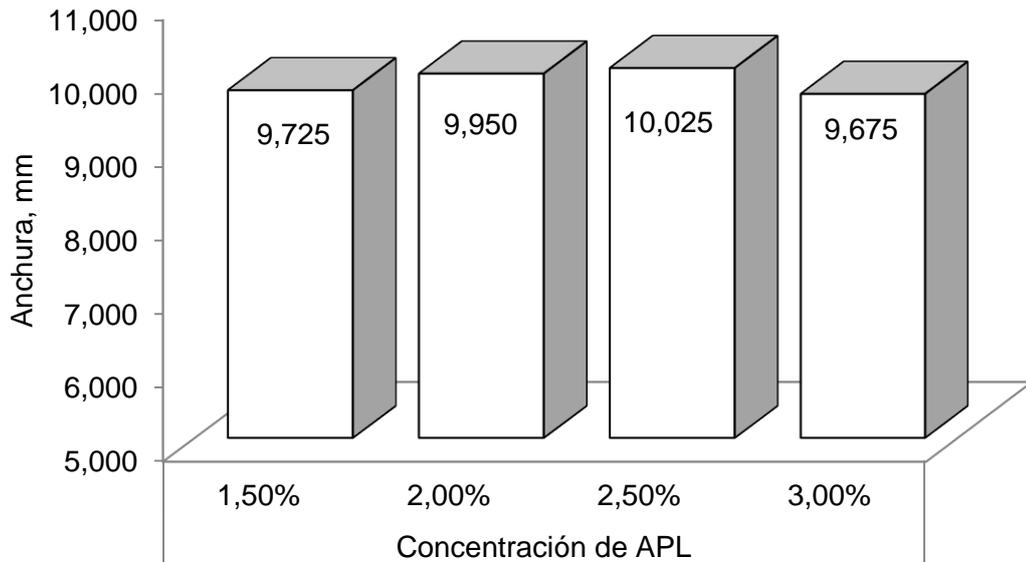


Elaborado por: Ismael Cuichán 2015

2. Anchura, mm

La anchura del bioplástico que se analiza no representa al ancho de la película obtenida, sino que se refiere al tamaño de la probeta que se empleó para evaluar las diferentes propiedades mecánicas, las mismas que se cumple en base a los requerimientos señalados en la Norma NTE INEN 2 047:1996, sobre Plásticos. Determinación de la resistencia a la flexión de los materiales plásticos rígidos, que tiene como Objeto: establecer un método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión de los materiales plásticos rígidos, en forma de barras rectangulares, de medidas normalizadas o no, moldeadas directamente o cortadas a partir de hojas, placas u otras formas. Esta norma se aplica únicamente a las probetas apoyadas en sus extremos, soportadas sin tensión y cargadas en la mitad de su longitud. Las probetas normales que se especifican en esta norma tendrán: Longitud mínima = 80 mm; anchura = $10 \pm 0,5$ mm y un espesor de $4 \pm 0,2$ mm; por consiguiente en la anchura de la probeta no se detectó un efecto significativo por el empleo de los niveles de APL, ya que entre las medias no existen diferencias estadísticas ($P > 0.05$), por cuanto las diferentes unidades experimentales mostraron anchuras entre 9.68 y 10.03 mm (gráfico 4).

Gráfico 4-4. ANCHURA DE LA PROBETA UTILIZADA (MM), DE LOS BIOPLÁSTICOS ELABORADOS CON DIFERENTES NIVELES DE ACIDO POLILÁCTICO OBTENIDO DEL LACTOSUERO.

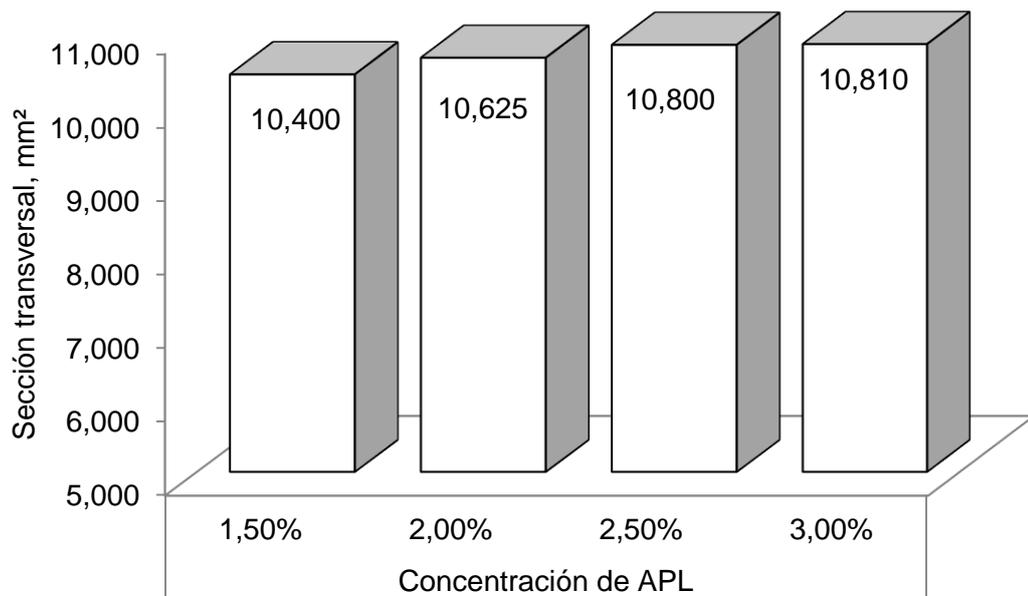


Elaborado por: Ismael Cuichán 2015

3. Sección transversal, mm²

Es preciso considerar que la posición o el sentido de la elección, y las medidas de las probetas tienen a veces una influencia muy grande sobre los resultados (INEN, 1996). Por lo que además, las probetas que constituyen las secciones estructurales son relativamente delgadas comparadas con sus anchos, cuando están sometidas a compresión (consecuencia de cargas axiales aplicadas a la sección completa o como consecuencia de esfuerzos de flexión) pueden flexionarse localmente. Por lo que para evitar que aparezca un fallo prematuro debido a los efectos de la flexión local es posible limitando la relación ancho-espesor para cada probeta individual que constituye la sección transversal, es así que las dimensiones de la sección transversal de las probetas de los bioplásticos evaluados fueron entre 10.40 y 10.81 mm² y que corresponden a las probetas de los bioplásticos elaborados con 1.5 y 3.0 % de APL, respectivamente (gráfico 5), debiéndose además aclarar que esta sección transversal es la superficie de la probeta en la que se aplicarán los diferentes procedimientos para medir la elasticidad, tensión y elongación principalmente.

Gráfico 5-4. SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA PROBETA UTILIZADA (MM²), DE LOS BIOPLÁSTICOS ELABORADOS CON DIFERENTES NIVELES DE ACIDO POLILÁCTICO OBTENIDO DEL LACTOSUERO.



Elaborado por: Ismael Cuichán 2015

B. PROPIEDADES MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas de los materiales permiten diferenciar un material de otro ya sea por su composición, estructura o comportamiento ante algún efecto físico o químico, en base a las deformaciones unitarias y desplazamiento de estructuras y sus componentes debido a las cargas que actúan sobre ellas (Salazar, P. 2013), por lo que en base a este enunciado, las respuestas de la caracterización del Bioplástico elaborado con diferentes niveles de ácido poliláctico obtenido del lactosuero, se reportan en el cuadro 5, los mismos que se analizan a continuación.

1. Módulo de elasticidad, kg/cm²

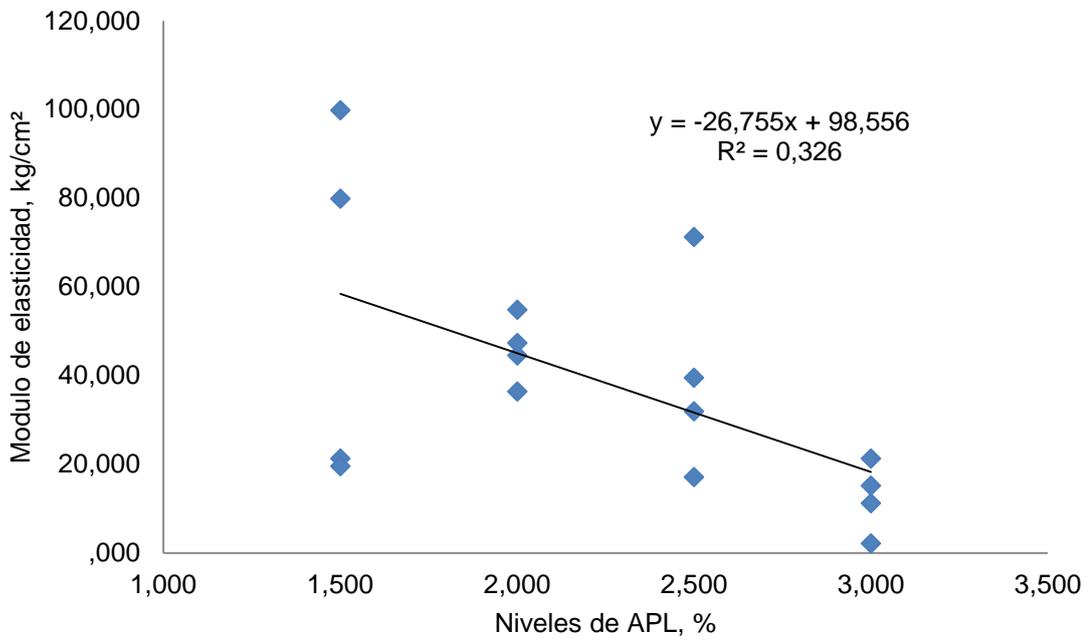
El coeficiente de proporcionalidad entre la tensión y la deformación se denomina módulo de elasticidad y es el parámetro más importante que se obtiene de un ensayo de flexión, cuando mayor es la medida del módulo de elasticidad es considerado el tratamiento con mayor rigidez (Muñoz, J. 2014), por lo anotado, en el presente trabajo las respuestas del

módulo de elasticidad de los bioplásticos obtenidos utilizando diferentes niveles de ácido poliláctico presentaron diferencia significativas ($P < 0.05$), por cuanto de una respuesta de 42.63 kg/cm² encontrada en el producto elaborado con 1.5 % de APL, se incrementó a 45.38 kg/cm², al utilizarse el 2.5 % de APL la elasticidad se redujo a 35.25 kg/cm², en cambio que con el nivel 3.0 % de APL se obtuvo la respuesta numérica más baja y que fue de 9.44 kg/cm², pero que de acuerdo al investigador citado, es el que mayor elasticidad presenta, por lo que se considera que con el empleo de este nivel el bioplástico presenta una mejor calidad, por lo que puede ser utilizado como envoltura para alimentos.

Por medio del análisis de la regresión entre el módulo de elasticidad y los niveles de APL, se estableció una tendencia lineal significativa que se reporta en el gráfico 6, de donde se desprende que la magnitud numérica del módulo de elasticidad se reduce a medida que se incrementa los niveles de APL, estableciéndose que por cada unidad adicional de APL, el módulo de elasticidad se reduce en 26.76 unidades, es decir, el bioplástico adquiere una mayor elasticidad, por cuanto el INEN en la Norma NTE INEN 2635 (2012) sobre Método de ensayo para las propiedades de tracción de láminas plásticas delgadas, se indica que el módulo de elasticidad en tracción es un índice de la rigidez de las láminas de plástico delgadas.

Comparando la mejor respuesta del presente trabajo (9.44 kg/cm²), se puede considerar que esta se aproxima a la determinada por Meneses, J. et al, (2007), quienes elaboraron un polímero biodegradable al mezclar almidón dulce de yuca obtenido de forma artesanal e industrial, con reactivos que cumplen la función de plastificantes, extensores, espesantes, lubricantes, humectantes y desmoldantes, encontrando en su producto un módulo de elasticidad de 1,284 MPa o 13.09 kg/cm². Pero Cañas, W. (2013), indica uno de los inconvenientes del uso de PLA se presenta con su alto módulo de elasticidad y su poca deformación en la fractura, para ello el investigador ha propuesto diferentes formas de combinarlo con varios tipos de materiales, para lograr que el polímero pueda cumplir con aplicaciones que realizan en la actualidad los plásticos tradicionales, para esto, utilizó aceites epoxidados de soja y palma, con el cual encontró resultados que indican una evidente reducción en el módulo de elasticidad y un aumento en la deformación en la ruptura, además de una disminución en la resistencia a la tensión.

Gráfico 6-4. COMPORTAMIENTO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD (KG/CM²), DE LOS BIOPLÁSTICOS ELABORADOS CON DIFERENTES NIVELES DE ACIDO POLILÁCTICO OBTENIDO DEL LACTOSUERO.



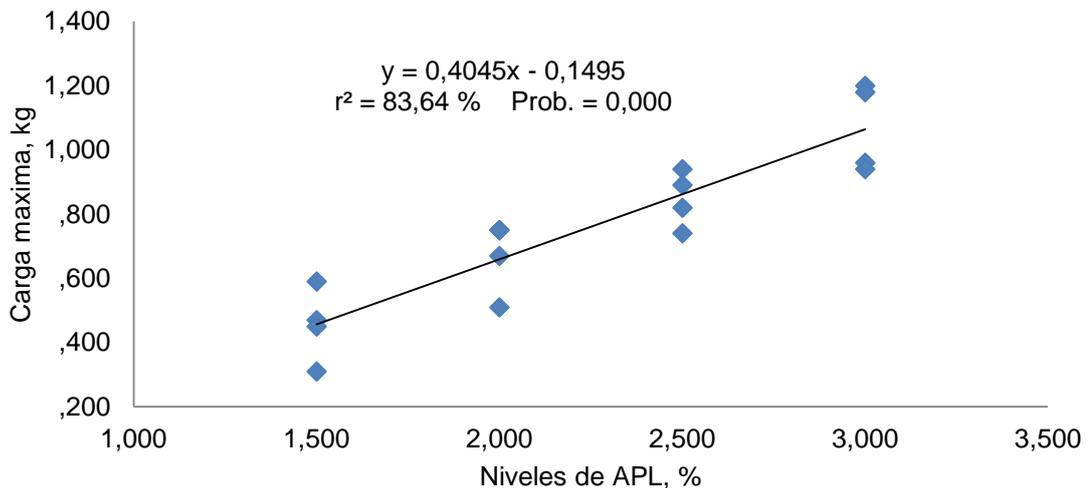
Elaborado por: Ismael Cuichán 2015

2. Carga máxima, kg

La carga máxima según Martínez, N. y Vásquez, M. (2009), es la capacidad que presentan los plásticos a oponerse al esfuerzo, determinándose por la fuerza de tensión por unidad de área. Se define como la máxima carga de tensión por unidad de área que resiste una muestra antes de deformarse. Para determinar la resistencia a la tensión que presentan los materiales plásticos se aplica una fuerza en un extremo de la probeta, la cual se estira hasta llegar a la ruptura. Los valores altos indican gran resistencia de los plásticos a fracturar. En este sentido, la carga máxima observada en los bioplásticos elaborados con diferentes niveles de APL, presentaron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$), registrándose el mejor resultado el bioplástico elaborado con 3.0 % de PLA, el cual presentó una carga máxima de 1.07 kg, siguiéndole en orden de importancia los productos obtenidos con el empleo de 2.5 % que presentó una respuesta de 0.85 kg, y que se redujo a 0.67 kg con el uso de 2.0 % de PLA y más aún con el nivel 1.5 % que fue de 0.45 kg, por lo que el análisis de regresión, estableció una tendencia lineal como se puede ver en el gráfico 7, y de donde se desprende que a medida que se

incrementa los niveles de APL en la elaboración de bioplástico se mejora la carga máxima; es decir que por cada unidad adicional de APL, la máxima carga de tensión por unidad de área que resiste una muestra antes de deformarse se mejora en 0.40 unidades. Estas respuestas no pueden ser comparadas con resultados de otras investigaciones, por cuanto no se encontraron valores reportados en la literatura para el bioplástico, pero en base a las respuestas alcanzadas, se establece que con el empleo 3.0 % de APL, se obtuvo un bioplástico de mejor calidad.

Gráfico 7-4. COMPORTAMIENTO DE LA CARGA MÁXIMA (KG/CM²), DE LOS BIOPLÁSTICOS ELABORADOS CON DIFERENTES NIVELES DE ACIDO POLILÁCTICO OBTENIDO DEL LACTOSUERO.



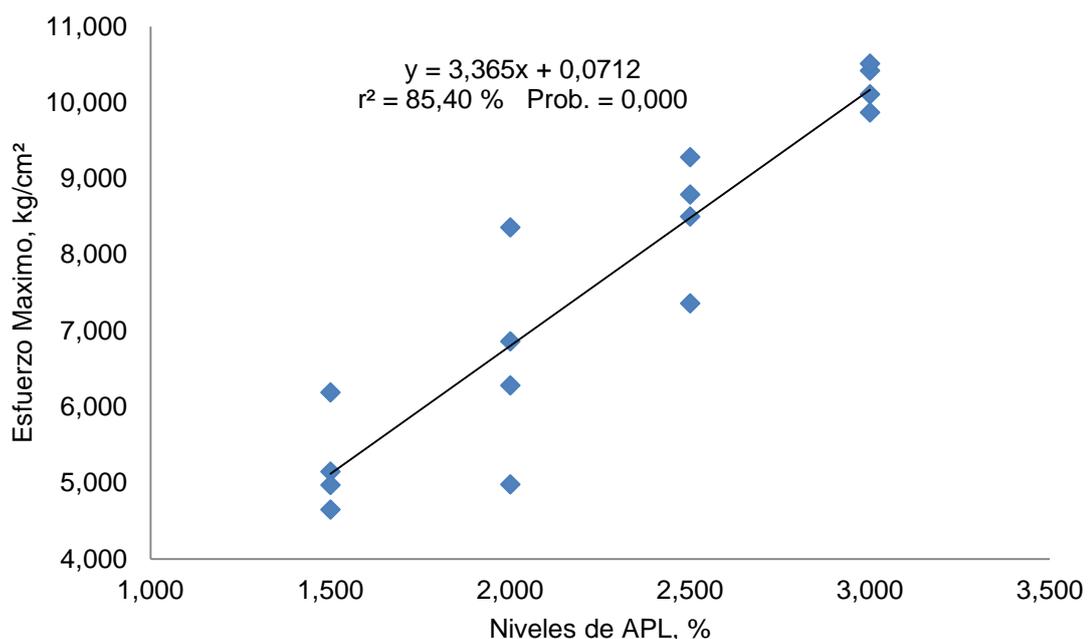
Elaborado por: Ismael Cuichán 2015

3. Esfuerzo máximo, kg/cm²

La resistencia máxima antes de la ruptura por el método de elongación se conoce como tensión y esta es la relación entre la fuerza y el área de la sección transversal inicial de la muestra y se expresa en MPa, N/m² o kg/cm² (Sarantopoulos, C. et al. 2002); este ensayo mide la resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada lentamente; por lo que las respuestas de la resistencia máxima determinadas presentan diferencias altamente significativas ($P < 0.01$), por efecto de los niveles de APL empleados, encontrándose los mejores resultados en el bioplástico elaborado con 3.0 % de APL, que presentó un esfuerzo máximo de 10.22 kg/cm², a diferencia del bioplástico elaborado con 1.5 % de APL, que tuvo una resistencia de 5.23 kg/cm², que son los dos casos extremos,

ya que además cuando se emplearon los niveles 2.0 y 2.5 % de APL las respuestas determinadas fueron de 6.57 y 8.47 kg/cm², que se encuentran entre las enunciadas, por lo que mediante el análisis de la regresión se estableció una tendencia lineal altamente significativa (gráfico 8), que determina que a medida que se incrementa los niveles del APL en la elaboración de bioplástico este presenta una mayor tensión o resistencia máxima, es decir, que por cada unbilidad adicional de APL que se utilice la resistencia se mejora en 3.37 unidades, por lo que se puede afirmar que con el empleo del 3.0 % de APL este producto presenta una mayor elasticidad y a su vez una mayor tensión antes de rotura.

Gráfico 8-4. COMPORTAMIENTO DEL ESFUERZO MÁXIMO (KG/CM²), DE LOS BIOPLÁSTICOS ELABORADOS CON DIFERENTES NIVELES DE ACIDO POLILÁCTICO OBTENIDO DEL LACTOSUERO.



Elaborado por: Ismael Cuichán 2015

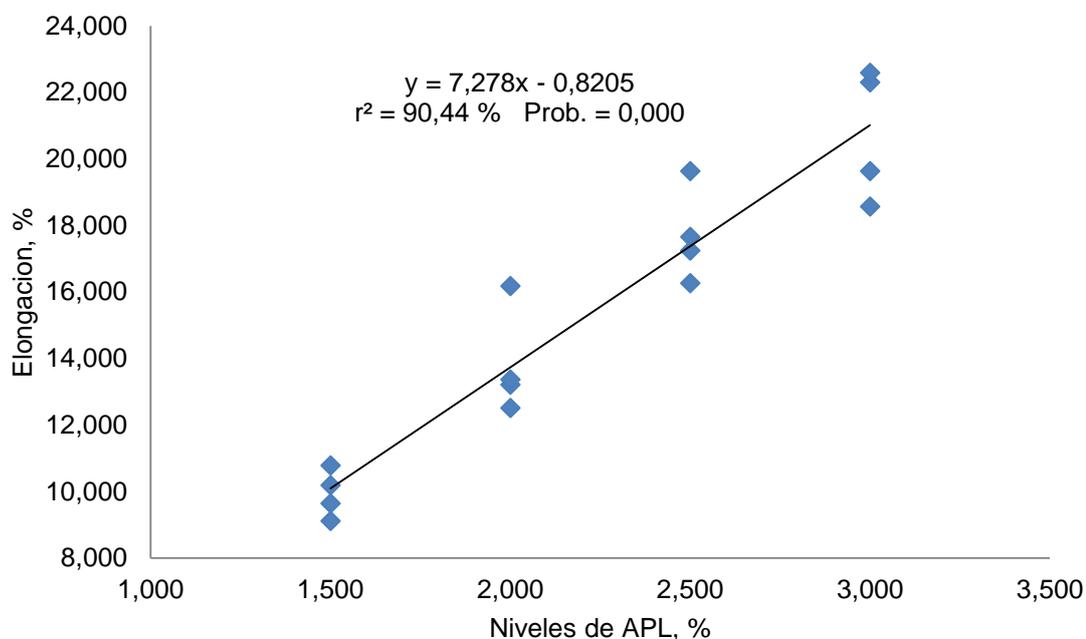
Los resultados obtenidos al compararlos con otras investigaciones que utilizaron diferentes materiales en la elaboración de bioplásticos, se consideran que guardan relación con el trabajo de Muñoz, J. (2014), quien al realizar la caracterización y optimización de un bioplástico a partir de la combinación de almidón de maíz, yuca y glicerol, determinó que los resultados del análisis de tensión de las medias de catorce tratamientos (combinaciones), presentaron respuestas que variaron desde 0.35 hasta

4.34 MPa. (3.57 a 44.25 kg/cm²), en cambio que son inferiores con respecto al estudio de Galicia, V. et al. (2012), quienes determinaron en filmes de almidón de maíz y papa, reforzados con fibra de bagazo de caña una la tensión de 4.4 MPa (44.87 kg/cm²) con la adición de 5% bagazo y que puede deberse a lo que señalan Yeon, H. et al. (2006), en que películas elaboradas con almidones modificados muestran un incremento en el esfuerzo de tensión; guardando el mismo comportamiento con relación al trabajo de Núñez, A. (2014), quien al obtener una película de bioplástico a partir del colágeno de las patas de pollo, encontró valores de resistencia a la tracción entre rangos de 33,85 a 46,90 Kg/cm², lo que muestra que las películas que presentan una mayor resistencia a la rotura son las que contienen una mayor concentración de gelatina (colágeno), esto se debe a que la gelatina tiene la propiedad de ser físicamente más resistente.

4. Elongación, %

La elongación es un tipo de deformación y esta deformación es simplemente el cambio en la forma que experimenta cualquier cosa bajo tensión. Cuando hablamos de tensión, la muestra se deforma por estiramiento, volviéndose más larga. Obviamente se llama a esto elongación. Por lo general, se habla de porcentaje de elongación, que es el largo de la muestra después del estiramiento (L), dividido por el largo original (L₀), y multiplicado por 100 (Muñoz, J. 2014); determinándose en el presente trabajo que el porcentaje de elongación del bioplástico por efecto de los niveles de APL empleados, presentaron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$), por cuanto el bioplástico elaborado con 1.5 % de APL presentó una elongación de 9.91 %, y que se incremento a medida que se elevando los niveles de APL, por cuanto con el 2.0 % de APL se obtuvo una respuesta de 13.78 %, con el 2.5 % de APL 17.66 % y con el empleo de 3.0 % la respuesta fue de 20.73 % de elongación, que corresponde a la mejor respuesta alcanzada, por lo que el análisis de la regresión estableció una tendencia lineal altamente significativa que se representa en el gráfico 9 y de donde se deduce que por cada unicidad adicional de APL que se utilice hasta el 3.0 %, el porcentaje de elongación se incrementa en 7.28 unidades, por lo que se considera que al emplearse el 3.0 % de ácido poliláctico (APL), se obtiene bioplásticos con mejores de Tensión, Deformación y módulo de elasticidad, que son las propiedades que expresan la resistencia de un material a la elongación y a la ruptura, cuando se somete a tensión (Muñoz, J. 2014).

Gráfico 9-4. COMPORTAMIENTO DE LA ELONGACIÓN (%), DE LOS BIOPLÁSTICOS ELABORADOS CON DIFERENTES NIVELES DE ACIDO POLILÁCTICO OBTENIDO DEL LACTOSUERO.



Elaborado por: Ismael Cuichán 2015

Los valores determinados son inferiores a los enunciados por Muñoz, J. (2014), quien al efectuar la caracterización y optimización de un bioplástico a partir de la combinación de almidón de maíz, yuca y glicerol, encontró deformaciones entre el 30 y 71 %, y que atribuye la mayor deformación por la adición de glicerol; en cambio que guardan relación con el reporte de Núñez, A. (2014), quien indica que en varios trabajos obtuvo valores de porcentaje de elongación en un rango de 2,79 a 45,84 % en películas de SPI (proteína), Glicerina (plastificante) y Genipin(reticulante), pero al utilizar el colágeno de las patas de pollo determinó un valor máximo de 242,9 %, lo que permite suponer que el colágeno propicia una mayor elasticidad al bioplástico, por lo que presentó un porcentaje de elongación completamente elevado.

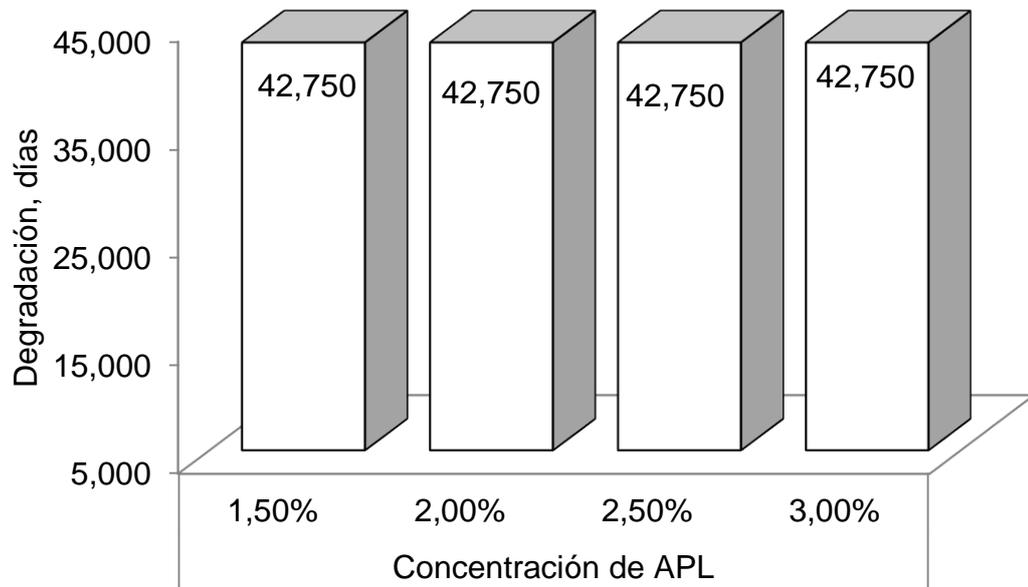
5. Degradación, días

Las respuestas determinadas de la degradación de los bioplástico elaborados con diferentes niveles de APL, presentaron similares respuestas, ya que todos se degradaron en promedio a los 42.75 días (gráfico 10), con variaciones entre 39.00 y 48 días en cada

grupo, por lo que es necesario indicar que la biodegradación es el proceso mediante el cual las sustancias son transformadas por microorganismos o por las enzimas que estos generan. En el mismo, el carbono orgánico presente en las moléculas se transforma en compuestos simples como el bióxido de carbono (CO_2) y el metano (CH_4), a través de un proceso conocido como mineralización. Este proceso debe ser susceptible de ser medido por métodos estandarizados, en condiciones y tiempos específicos. Generalmente la biodegradación de un plástico ocurre en forma simultánea a otros procesos de degradación originados por la radiación UV, la temperatura, la fricción o la humedad, y no siempre es posible discernir el rol que juega cada uno de ellos. Por lo anterior, para considerar a un plástico como biodegradable es necesario garantizar que alcanza una mineralización completa en un periodo de tiempo establecido (Vázquez, A. et al. 2012).

Los resultados obtenidos, muestran que es factible utilizar el suero de leche para la elaboración de bioplástico, el mismo que presenta similares características mecánicas a los plásticos tradicionales, pero con la diferencia que estos se degradan en promedio a los 42.75 días, pero teniendo mayor importancia la utilización del subproducto de las industrias lácteas, ya que la mayor proporción de lactosuero producido en las queseras representan un foco de contaminación ambiental, por cuanto es botado directamente a las alcantarillas o a las fuentes de agua, por lo que con el presente trabajo se demuestra que el suero de leche descartado por los productores de queso puede ser filtrado y secado para extraer la proteína de suero en estado puro y mediante la polimerización química del monómero de ácido láctico (LA), obtener el ácido poliláctico que es empleado en la elaboración de los plásticos degradables o bioplásticos, el mismo que sirve para usarse en el envasado de alimentos.

Gráfico 10-4. TIEMPO DE DEGRADACIÓN (DÍAS), DE LOS BIOPLÁSTICOS ELABORADOS CON DIFERENTES NIVELES DE ACIDO POLILÁCTICO OBTENIDO DEL LACTOSUERO.



Elaborado por: Ismael Cuichán 2015

CONCLUSIONES

Las características de las probetas utilizadas para realizar las pruebas mecánicas del bioplástico elaborado con diferentes niveles de ácido poliláctico, presentaron espesores entre 1.0 y 1.30 mm, que estadísticamente son diferentes, en cambio en la anchura (de 9.68 a 10.03 mm) y la sección transversal (10.40 y 10.81 mm²), estadísticamente fueron iguales, siendo estas probetas las unidades experimentales en las que se aplicaron los diferentes procedimientos para medir la elasticidad, tensión y elongación principalmente.

La realización de las pruebas mecánicas, permitieron establecer que el bioplástico elaborado con el 3.0 % de ácido poliláctico (APL), presente las mejores características en cuanto al módulo de elasticidad (9.44 kg/cm²), la máxima carga de tensión por unidad de área que resiste una muestra antes de deformarse (1.07 kg), la resistencia máxima antes de la ruptura (10.22 kg/cm²) y en el porcentaje de elongación o deformación (20.73 %).

La degradación de los bioplásticos elaborados con diferentes niveles de APL, fue de 42.75 días con variaciones entre 39.00 y 48 días dentro de cada grupo.

Los resultados muestran que es factible utilizar el suero de leche para la elaboración de bioplástico, el mismo que presenta similares características mecánicas a los plásticos tradicionales, teniendo similar importancia la utilización del lactosuero producido en las queseras que representan un foco de contaminación ambiental.

RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que se pueden realizar en base a los resultados obtenidos son las siguientes:

Elaborar bioplástico utilizando el 3.0 % de ácido poliláctico obtenido del lactosuero, por cuanto las pruebas mecánicas demostraron una mayor elasticidad, máxima carga de tensión, mejor resistencia máxima antes de la ruptura y un alto porcentaje de elongación, degradándose a los 42.75 días.

Replicar el presente trabajo, pero utilizando una metodología adecuada para que las películas del bioplástico sean más delgadas, por cuanto estas variaron entre 1.00 y 1.30 mm, siendo esta una característica especial a tener en cuenta, ya que a menor grosor mayor utilidad se le dará a este bioplástico.

Continuar el estudio de la elaboración de bioplásticos como una alternativa viable dentro de la Revolución Verde, pero utilizando otras materias primas como almidones y aceites vegetales, colágenos de origen animal entre otros.

LITERATURA CITADA

1. BALKCOM, M. 2002. Notes from the packaging laboratory: Polylactic acid an exciting new pakaging material. (edis.ifas.ufl.edu/AE210)
2. BIANCHI, M; BRAMBILLA, L; PORTAN, F; et al. 2001. Efficient Homolactic Fermentation by Kluyveromyces lactis Strains Defective in Pyruvate Utilization and Transformed with the Heterologous LDH Gene". En: Applied and Enviromental Microbiology. 67(12), 2001; p.5621-5625.
3. BIOTECH. 1999. El implante del Futuro. Biotech industry S.A. Disponible en http://www.new_fill.com
4. BIRESAW, G. 2003. Compatibility in polylactic acid based blends. Research Proyect: Development of new bio-based materials for metal working applications. American Institute of Chemical Engineers.
5. CAÑAS, W. 2013. Plastificación interna con bioaceites epoxidados del ácido poliláctico (PLA), para productos básicos procesados por inyección o extrusión. Tesis de Grado Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito Bogotá D.C. Colombia. Disponible en <http://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/47/1/propiedades%20mecanicas%20y%20termicas%20del%20acido%20polilactico%20plastificado%20con%20aceites%20naturales%20epoxida.pdf>.
6. CHANG, D; JUNG, H; RHEE, J; PAN, J. 2006. Homofermentative Production of D- or LLactate in Metabolically Engineered Escherichia coli RR1. En : Applied and Environmental Microbiology. 65 (4) 1999; p. 1384-1389.
7. CHANPRATEEP, S. 2010. Current trends in biodegradable polyhydroxyalkanoates. Journal of Bioscience and Bioengineering, 110, (6), 621-632.
8. CRANK, M. Y PATEL, M. 2005. Techno-economic Feasibility of Largescale

Production of Bio-based Polymers in Europe. European Commission Joint Research Centre (DG JRC) - Institute for Prospective Technological Studies.

9. DOMENEK, S. 2004. Biodegradability of wheat gluten based bioplastics. *Chemosphere*, 54, 551–559.
10. DOMÍNGUEZ, J; VASQUEZ, M. “1999. Effect of the Operational Conditions on The L-Lactic acid production by *Rhizopus oryza*”e. En: *Ciencia y Tecnología de alimentos*. Vol 2, Nº 3. pp.113-118.
11. FRID, D. 2009. Bioplásticos contra la contaminación y a favor del medioambiente. Disponible en <http://tecnocienciaysalud.com/plasticos-biologicos>.
12. GALACTIC LABORATORIES. 2000. Biopolymers as viable alternatives to common plastic materials. Disponible en <http://www.lactic.com>.
13. GALICIA, V., ROJAS, M, ROJAS. R., OLAIZ, G, Y RIOS, C. 2012. Cadmium levels in maternal, cord and newborn blood in Mexico City. *Toxicol Lett* 91:57–61.
14. GARCIA, M; QUINTERO, R; LOPEZ, A. 1993. *Biotecnología alimentaria* . Edit. Limusa, México. p 568.
15. GIL, D. 2014. Plásticos biodegradables, una alternativa verde. Departamento de Bioquímica, Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. Disponible en <http://www.eco-sitio.com.ar/node/114>.
16. GUERRA, F. Y VALLEJO, H. 2005. Aplicaciones de los polisacáridos en la obtención de biopolímeros:POLI (Ácido láctico). *Química y tecnología de macromoléculas*. Disponible en <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso08-09/pla/Pag%20web/acido%20polilactico.html>.
17. HAUGAARD,V; UDSEN, A; MORTENSEN, G; et al. 2000. Potential Food Applications of Biobased Materials : An EU-Concerted Action Project. Conference Proceedings” : The Food biopack Conference. Copenhagen, Denmark. pp 59-68.

18. HERRYMAN, M. Y BLANCO, G. 2005. Ácido láctico y poliláctico: Situación actual y tendencias. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar. Vol. XXXIX Num 1. 2005. Pp 49-59. ISSN 0138-6204. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, Cuba. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120659007>
19. HILLARY, M. 2012. A Blend of Green Algae and Sweet Potato Starch as a Potential Source of Bioplastic Production and Its Significance to the Polymer Industry. *International Journal of Green and Herbal Chemistry*, 2, (1), 1519.
20. INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (INEN). 1996. Plásticos. Determinación de la resistencia a la flexión de los materiales plásticos rígidos. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 047:1996. Quito, Ecuador. Disponible en <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.2047.1996.pdf>.
21. INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (INEN). 2012. Método de ensayo para las propiedades de tracción de láminas plásticas delgadas. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2635:2012. Quito, Ecuador. Disponible en <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.2635.2012.pdf>.
22. JEREZ, A., PARTAL, P., MARTÍNEZ, I., GALLEGOS, C. Y GUERRERO, A. 2007. Egg whitebased bioplastics developed by thermomechanical processing. *Journal of Food Engineering*, 82, 608–617.
23. JIANG, Y. 2012. Waste to resource: Converting paper mill wastewater to Bioplastic. *Water research*, 46, 5517-5530.
24. KAWASHIMA Y, YAMAMOTO H, TAKEUSHI H, HINO T, NIWA T. 1998. Properties of a peptide containing DL-lactide-glycolide copolymer nanospheres prepared by novel emulsion solvent diffusion methods. *Eur J Pharm Biopharm* 45:41-48.
25. KIMURA, H., MORITERA, T; TABATA; I. 1994. In vitro phagocytosis of polylactide microspheres by retinal pigment epithelial cells and intracellular drug release. En : *Curr. Eye Res.*, 13 (5), pp.353-60.

26. LICENSINTORG. 2005. Centro de Investigaciones de Economía. Moscú, Rusia. Disponible en http://www.licenz.ru/esp/esp_centroinec.html.
27. LITCHFIELD, J. 1996. Microbial production of lactic acid. En : Applied Microbiology. 42, 1996; pp. 45-95
28. LOZANO, J. 1999. Las Tecnologías. Tejidos sin tejer. Disponible en http://www.canales.laverdad.es/cienciaysalud/7_2_15.html.
29. MARLER, J. 1998. Transplantation of cells in matrices for tissue regeneration. En: advanced drug delivery reviews, 33:1-2:165-182
30. MARTÍNEZ, N. y VÁSQUEZ, M. 2009. Obtención y caracterización de un material polimérico a partir de la mezcla de polietileno de baja densidad (PEBD) y almidón de maíz modificado. Tesis de Grado. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Veracruzana. Veracruz, México. pp 42 – 44. Disponible en <http://cdigital.uv.mx/bitstream/12345678/938/1/Miriam%20Vazquez%20Escobar.pdf>.
31. MENÉNDEZ, I. 1999. El ácido láctico ejemplo del aprovechamiento químico de residuos. Disponible en http://teleline.terra.es/personal/forma_xxi/cono7.htm.
32. MENESES, J., CORRALES, C., Y VALENCIA, M. 2007. *Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca*. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Revista EIA, N. 8 Diciembre, 2007. ISSN 1794-1237.
33. MONTEAGUDO, J, y ALDAVERO, M. 1999. Production of L-lactic acid by *Lactobacillus delbrueckii* in chemostat culture using an ion exchange resins system. En: Journal of Chemical Techonology and Biotechnology. 74:7:627-634.
34. MUÑOZ, J. 2014. Evaluación, caracterización y optimización de un bioplástico a partir de la combinación de almidón de maíz, yuca y glicerol en sus

propiedades físicas y de barrera. Tesis de grado. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. Disponible en <http://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/3366/1/AGI-2014-030.pdf>.

35. NAITOVE, M. 1998. Se prevé una bonanza de los biopolímeros más allá de los degradables". En: Tecnología de Plásticos. p 63
36. NÚÑEZ, A. 2014. 2014. Obtención de una película de bioplástico a partir del colágeno de las patas de pollo. Tesis de Grado. Facultad de Ingeniería Química, Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador. pp 56 – 72.
37. PETERSEN, K. and NIELSEN, P. 2000. Potencial Biologically Based Food Packaging". Proceedings. The food Biopack Conference. Copenhagen, Denmark.. p 76.
38. PLASTIVIDA ®. 2009. Plásticos Biodegradables, ¿qué son? y su relación con los RSU. Centro de Información Técnica (CIT), Boletín Técnico Informativo N° 25. Disponible en <http://ecoplas.org.ar/pdf/25.pdf>.
39. PURAC. 2001. Productos Purac. Disponible en <http://www.purac.es/products.html>.
40. SALAZAR, P. 2012. Propiedades mecánicas de los materiales. Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. Disponible en <http://blog.utp.edu.co/metalografia/2012/07/31/2-propiedades-mecanicas-de-los-materiales/>
41. SÁNCHEZ, J. 2014. Ácido poliláctico, polímero biodegradable base de materiales sintéticos. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michuacan, México. Disponible en <http://www.monografias.com/trabajos66/acido-polilactico/acido-polilactico.shtml>.
42. SARANTÓPOULOS, C., L. OLIVEIRA, M., PADULA, L., COLTRO, R., ALVES Y GARCIA, E. 2002. Embalagens plásticas flexíveis. Principais polímeros e avaliação de propriedades. 267 p.

43. SERNA, L. RODRÍGUEZ, A. Y ALBÁN, F. 2003. Ácido Poliláctico (PLA): Propiedades y Aplicaciones. Departamento de Ingeniería de Alimentos, Universidad del Valle. Revista de Ingeniería Univalle. Vol. 5. N° 1. Octubre 2003. Disponible en <http://revistaingenieria.univalle.edu.co:8000/index.php/incompe/article/viewFile/61/60>
44. SHAFER, A. 2002. Polylactic Acid Polymers from Corn: Potential Applications in the Textiles Industry. Journal of Industrial Textiles, 29, (3) 191205. doi: 10.1177/152808370002900304
45. SÖDERGARD. 2000. Lactic Acid Based Polymers for Packaging Materials for the Food Industry. Conference Proceedings. The Food Biopack Conference. Copenhagen, Denmark. pp 19-22.
46. SUN, X. Y SEIB, P. 2001. Biodegradable plastics from wheat starch and polylactic acid. Disponible en <http://www.kswheat.com/research/2001KSURResearch/Projects/biodegradable.htm>
47. SURIDERP, C. 1995. Ullman's encyclopedia of industrial chemistry: ácido láctico. 5 edition. De Barbara Elvers. pp 97-104.
48. TUOMINEN, J. 2003. Chain linked lactic acid polymers. Polymerization and biodegradation studies. (lib.hut.fi/Diss/2003/isbn951226403X/.)
49. VÁZQUEZ, A., ESPINOSA, R., BELTRÁN, M. Y VELASCO, M. 2012. Bioplásticos y plásticos degradables. Universidad Autónoma Metropolitana. México. Disponible en <http://www.anipac.com/bioplasticos.pdf>
50. WEBER, C. 2000. Biobased packaging materials for the food industry. KVL: Dinamarca. 136p.
51. WHATELEY, T. 1993. Biodegradable microspheres for controlled delivery, in: Whaterley TL, ed. Encapsulation and controlled release, Reino Unido: Harwood Acad, pp:57.

52. YEON, H., YOUNG, H., AND SOON, D. 2006. Mechanical properties with the functional group of additives for starch/pva blend film. Journal of polymers and the environment, 14, 71 – 78 p.

Sitios de Internet

1. <http://cisan.org.ar>. 2011. Los plásticos biodegradables en la industria alimentaria. Disponible en http://cisan.org.ar/adjuntos/20110210125752_.pdf
2. <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com>. 2011. Tecnología de los Plásticos. Disponible en <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/08/poliacido-lactico-pla.html>
3. <http://www.informador.com.mx>. 2012. Obtienen plástico biodegradable a partir de desperdicio lácteo. Disponible en <http://www.informador.com.mx/tecnologia/2012/409293/6/obtienen-plastico-biodegradable-a-partir-de-desperdicio-lacteo.htm>.
4. <http://www.textoscientificos.com>. 2009. Ácido poliláctico (PLA). Disponible en <http://www.textoscientificos.com/polimeros/acido-polilactico>.

ANEXOS:

Anexo A. Reporte de los resultados del laboratorio del ensayo de tracción aplicados a los bioplásticos elaborados con diferentes niveles de ácido poliláctico.

Ensayo de Traccion																	
Material:		<i>Laminado de plastico</i>															
Tipo de Material :		<i>Bioplastico</i>															
Norma Utilizada:		<i>ASTMD 638 - 03</i>															
Fecha de Ensayo:		02-may-11				17-jun-11				05-ago-11				16-sep-11			
Nº Muestra	<i>Primera repeticion</i>				<i>Segunda repeticion</i>				<i>Tercera repeticion</i>				<i>Cuarta repeticion</i>				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
% concentracion de APL	Porcentaje APL				Porcentaje APL				Porcentaje APL				Porcentaje APL				
	1.5%	2.0%	2.5%	3.0%	1.5%	2.0%	2.5%	3.0%	1.5%	2.0%	2.5%	3.0%	1.5%	2.0%	2.5%	3.0%	
Caracteristicas / Colo Lamina	Rojo	Azul	Verde	Tomate	Rojo	Azul	Verde	Tomate	Rojo	Azul	Verde	Tomate	Rojo	Azul	Verde	Tomate	
Espesor (mm)	1	1,5	1,1	1,2	1	1,2	1,3	1	1	1,3	1	1	1	1,2	1,3	1,2	
Anchura (mm)	10,1	10,8	9,6	9,2	9,3	9,5	10,1	9,3	9,6	9,4	10	9,9	9,9	10,1	10,4	10,3	
Seccion Trasversal (mm2)	10,1	10,5	10,9	11,04	10,8	10,6	10,8	11	10,6	10,5	10,5	10,5	10,1	10,9	11	10,7	
RESULTADOS																	
1 Modulo de elasticidad (kg/cm2)	99,802	44,59	71,24	2,174	79,871	54,829	39,551	15,235	21,345	36,468	17,156	21,352	19,567	47,361	31,947	11,245	
2 Carga maxima (kg)	0,47	0,51	0,74	1,2	0,31	0,75	0,94	1,18	0,45	0,67	0,89	0,96	0,59	0,75	0,82	0,94	
3 Esfuerzo Maximo (kg/cm2)	4,65	6,28	8,79	10,42	5,15	4,98	7,36	9,87	6,19	8,36	9,28	10,51	4,97	6,86	8,5	10,11	
4 Elongacion (%)	9,64	13,21	17,24	22,30	10,79	16,18	19,63	22,59	9,12	12,51	16,26	18,57	10,19	13,37	17,65	19,63	
5 Dias en degradarce (DIAS)	44	44	44	44	48	48	48	48	40	40	40	40	39	39	39	39	

Anexo B. Resumen de los resultados experimentales de la evaluación de la calidad de los bioplásticos elaborados con diferentes niveles de ácido poliláctico obtenido del lactosuero.

Niveles de APL	Rept.	Espesor (mm)	Anchura (mm)	Seccion Transversal (mm ²)	Modulo de elasticidad (kg/cm ²)		Carga maxima (kg)	
					Real	Ajustados 1	Real	Ajustados 2
1,50	1	1,00	10,10	10,10	99,80	4,60	0,47	0,69
2,00	1	1,50	10,80	10,50	44,59	3,80	0,51	0,71
2,50	1	1,10	9,60	10,90	71,24	4,27	0,74	0,86
3,00	1	1,20	9,20	11,04	2,17	0,78	1,20	1,10
1,50	2	1,00	9,30	10,80	79,87	4,38	0,31	0,56
2,00	2	1,20	9,50	10,60	54,83	4,00	0,75	0,87
2,50	2	1,30	10,10	10,80	39,55	3,68	0,94	0,97
3,00	2	1,00	9,30	11,00	15,24	2,72	1,18	1,09
1,50	3	1,00	9,60	10,60	21,35	3,06	0,45	0,67
2,00	3	1,30	9,40	10,50	36,47	3,60	0,67	0,82
2,50	3	1,00	10,00	10,50	17,16	2,84	0,89	0,94
3,00	3	1,00	9,90	10,50	21,35	3,06	0,96	0,98
1,50	4	1,00	9,90	10,10	19,57	2,97	0,59	0,77
2,00	4	1,20	10,10	10,90	47,36	3,86	0,75	0,87
2,50	4	1,30	10,40	11,00	31,95	3,46	0,82	0,91
3,00	4	1,20	10,30	10,70	11,25	2,42	0,94	0,97
Promedio		1,14	9,84	10,66	38,36	3,34	0,76	0,86
Desvest		0,15	0,45	0,29	27,05	0,93	0,26	0,15
CV, %		13,53	4,62	2,73	70,53	27,82	33,57	17,61

Ajustados 1: valores ajustados por medio de Logaritmo natural (Ln).

Ajustados 2: Valores ajustados por medio de raíz cuadrada.

Continua

Continuación Anexo B.

Niveles de APL	Rept.	Esfuerzo Maximo (kg/cm ²)		Elongacion (%)		Degradación (Días)
		Real	Ajustados 2	Real	Ajustados 2	
1,50	1	4,65	2,16	9,64	3,10	44,00
2,00	2	6,28	2,51	13,21	3,63	44,00
2,50	3	8,79	2,96	17,24	4,15	44,00
3,00	4	10,42	3,23	22,30	4,72	44,00
1,50	1	5,15	2,27	10,79	3,28	48,00
2,00	2	4,98	2,23	16,18	4,02	48,00
2,50	3	7,36	2,71	19,63	4,43	48,00
3,00	4	9,87	3,14	22,59	4,75	48,00
1,50	1	6,19	2,49	9,12	3,02	40,00
2,00	2	8,36	2,89	12,51	3,54	40,00
2,50	3	9,28	3,05	16,26	4,03	40,00
3,00	4	10,51	3,24	18,57	4,31	40,00
1,50	1	4,97	2,23	10,19	3,19	39,00
2,00	2	6,86	2,62	13,37	3,66	39,00
2,50	3	8,50	2,92	17,65	4,20	39,00
3,00	4	10,11	3,18	19,63	4,43	39,00
Promedio		7,64	2,74	15,56	3,91	42,75
Desvest		2,10	0,39	4,42	0,57	3,68
CV, %		27,51	14,16	28,41	14,59	8,61

Ajustados 1: valores ajustados por medio de Logaritmo natural (Ln).

Ajustados 2: Valores ajustados por medio de raíz cuadrada.

Anexo C. Análisis estadístico del espesor (mm), del bioplástico utilizando diferentes niveles de ácido poliláctico (APL), obtenido del lactosuero.

1. Estadísticas descriptivas

Concentración de APL	Nº obs.	Media	Desviación estándar	Error estándar	Mínimo	Máximo
1,5%	4	1,0000	0,00000	0,00000	1,00	1,00
2,0 %	4	1,3000	0,14142	0,07071	1,20	1,50
2,5 %	4	1,1750	0,15000	0,07500	1,00	1,30
3,0 %	4	1,1000	0,11547	0,05774	1,00	1,20
Total	16	1,1438	0,15478	0,03870	1,00	1,50

2. Análisis de varianza

F.V.	S.C.	gl	C.M.	Fcal	Prob.
Tratamientos	0,192	3	0,064	4,582	0,023 *
Error	0,168	12	0,014		
Total	0,359	15			

Prob. < 0.05; existen diferencias significativas (**)

$$\text{Coeficiente de variación} = \frac{\sqrt{\text{Cuadrado Medio del Error}}}{\text{Media general}} \times 100 = 10.34 \%$$

3. Asignación de rangos de acuerdo a la prueba de Tuckey

Concentración de APL	Nº obs.	Grupos homogéneos	
		B	A
1,5%	4	1,0000	
3,0 %	4	1,1000	1,1000
2,5 %	4	1,1750	1,1750
2,0 %	4		1,3000

ANÁLISIS DE LA REGRESIÓN

Resumen de la línea

R ²	0,408348
R ² Adj	0,317324
Cuadrado medio del error	0,12789

Media general	1,14375
Nº observaciones	16

Análisis de varianza

F.V.	gl	S.C.	C.M.	Fcal
Modelo	2	0,14675000	0,073375	4,4862
Error	13	0,21262500	0,016356	Prob>F
Total	15	0,35937500		0,0330

Parámetros Estimados

Término	Estimado	Error estand.	t cal	Prob.
Intercepto	-0,71625	0,621779	-1,15	0,2701
APL, %	1,7225	0,578339	2,98	0,0107
APL, %^2	-0,375	0,12789	-2,93	0,0117

Anexo D. Análisis estadístico de la anchura (mm), del bioplástico utilizando diferentes niveles de ácido poliláctico (APL), obtenido del lactosuero.

1. Estadísticas descriptivas

Concentración de APL	Nº obs.	Media	Desviación estándar	Error estándar	Mínimo	Máximo
1,5%	4	9,7250	0,35000	0,17500	9,30	10,10
2,0 %	4	9,9500	0,64550	0,32275	9,40	10,80
2,5 %	4	10,0250	0,33040	0,16520	9,60	10,40
3,0 %	4	9,6750	0,51881	0,25941	9,20	10,30
Total	16	9,8438	0,45456	0,11364	9,20	10,80

2. Análisis de varianza

F.V.	S.C.	gl	C.M.	Fcal	Prob.
Tratamientos	0,347	3	0,116	0,504	0,687 ns
Error	2,753	12	0,229		
Total	3,099	15			

Prob. > 0.05; No existen diferencias significativas (ns)

$$\text{Coeficiente de variación} = \frac{\sqrt{\text{Cuadrado Medio del Error}}}{\text{Media general}} \times 100 = 4,86 \%$$

3. Asignación de rangos de acuerdo a la prueba de Tuckey

Concentración de APL	Nº obs.	Grupos homogéneos
		A
3,0 %	4	9,6750
1,5%	4	9,7250
2,0 %	4	9,9500
2,5 %	4	10,0250

Anexo E. Análisis estadístico de la sección transversal (mm²), del bioplástico utilizando diferentes niveles de ácido poliláctico (APL), obtenido del lactosuero.

1. Estadísticas descriptivas

Concentración de APL	Nº obs.	Media	Desviación estándar	Error estándar	Mínimo	Máximo
1,5%	4	10,4000	0,35590	0,17795	10,10	10,80
2,0 %	4	10,6250	0,18930	0,09465	10,50	10,90
2,5 %	4	10,8000	0,21602	0,10801	10,50	11,00
3,0 %	4	10,8100	0,25639	0,12819	10,50	11,04
Total	16	10,6588	0,29079	0,07270	10,10	11,04

2. Análisis de varianza

F.V.	S.C.	gl	C.M.	Fcal	Prob.
Tratamientos	0,444	3	0,148	2,152	0,147 ns
Error	0,825	12	0,069		
Total	1,268	15			

Prob. < 0.05; No existen diferencias significativas (ns)

$$\text{Coeficiente de variación} = \frac{\sqrt{\text{Cuadrado Medio del Error}}}{\text{Media general}} \times 100 = 2,46 \%$$

3. Asignación de rangos de acuerdo a la prueba de Tuckey

Concentración de APL	Nº obs.	Grupos homogéneos
		A
1,5%	4	10,4000
2,0 %	4	10,6250
2,5 %	4	10,8000
3,0 %	4	10,8100

Anexo F. Análisis estadístico del modulo de elasticidad (kg/cm²), del bioplástico utilizando diferentes niveles de ácido poliláctico (APL), obtenido del lactosuero (valores ajustados por medio de Ln).

1. Estadísticas descriptivas

Concentración de APL	Nº obs.	Media	Desviación estándar	Error estándar	Mínimo	Máximo
1,5%	4	3,7525	0,85710	0,42855	2,97	4,60
2,0 %	4	3,8150	0,16603	0,08302	3,60	4,00
2,5 %	4	3,5625	0,59073	0,29536	2,84	4,27
3,0 %	4	2,2450	1,01106	0,50553	0,78	3,06
Total	16	3,3438	0,93013	0,23253	,78	4,60

2. Análisis de varianza

F.V.	S.C.	gl	C.M.	Fcal	Prob.
Tratamientos	6,577	3	2,192	4,111	0,032 *
Error	6,400	12	0,533		
Total	12,977	15			

Prob. < 0.05; existen diferencias significativas (**)

$$\text{Coeficiente de variación} = \frac{\sqrt{\text{Cuadrado Medio del Error}}}{\text{Media general}} \times 100 = 21,83 \%$$

3. Asignación de rangos de acuerdo a la prueba de Tuckey

Valores ajustados

Concentración de APL	Nº obs.	Grupos homogéneos	
		B	A
3,0 %	4	2,2450	
2,5 %	4	3,5625	3,5625
1,5%	4	3,7525	3,7525
2,0 %	4		3,8150

Valores transformados

Concentración de APL	Nº obs.	Grupos homogéneos	
		B	A
3,0 %	4	9,440	
2,5 %	4	35,251	35,251
1,5%	4	42,628	42,628
2,0 %	4		45,377

ANÁLISIS DE LA REGRESIÓN

Resumen de la línea

R ²	0,326059
R ² Adj	0,277921
Cuadrado medio del error	22,9869
Media general	38,35938
Nº observaciones	16

Análisis de varianza

F.V.	gl	S.C.	C.M.	Fcal
Modelo	1	3579,016	3579,02	6,7733
Error	14	7397,569	528,40	Prob>F
Total	15	10976,585		0,0209

Parámetros Estimados

Término	Estimado	Error stand.	t cal	Prob.
Intercepto	98,557	23,83333	4,14	0,0010
APL, %	-26,7545	10,28006	-2,60	0,0209

Anexo G. Análisis estadístico de la carga máxima (kg), del bioplástico utilizando diferentes niveles de ácido poliláctico (APL), obtenido del lactosuero (valores ajustados por medio de raíz cuadrada).

1. Estadísticas descriptivas

Concentración de APL	Nº obs.	Media	Desviación estándar	Error estándar	Mínimo	Máximo
1,5%	4	0,6725	0,08655	0,04328	0,56	0,77
2,0 %	4	0,8175	0,07544	0,03772	0,71	0,87
2,5 %	4	0,9200	0,04690	0,02345	0,86	0,97
3,0 %	4	1,0350	0,06952	0,03476	0,97	1,10
Total	16	0,8613	0,15174	0,03793	0,56	1,10

2. Análisis de varianza

F.V.	S.C.	gl	C.M.	Fcal	Prob.
Tratamientos	0,285	3	0,095	18,778	0,000 **
Error	0,061	12	0,005		
Total	0,345	15			

Prob. < 0.01; existen diferencias altamente significativas (**)

$$\text{Coeficiente de variación} = \frac{\sqrt{\text{Cuadrado Medio del Error}}}{\text{Media general}} \times 100 = 8,21 \%$$

3. Asignación de rangos de acuerdo a la prueba de Tuckey

Valores ajustados

Concentración de APL	Nº obs.	Grupos homogéneos		
		C	B	A
1,5%	4	0,6725		
2,0 %	4	0,8175	0,8175	
2,5 %	4		0,9200	0,9200
3,0 %	4			1,0350

Valores transformados

Concentración de APL	Nº obs.	Grupos homogéneos		
		C	B	A
1,5%	4	0,452		
2,0 %	4	0,668	0,668	
2,5 %	4		0,846	0,846
3,0 %	4			1,071

ANÁLISIS DE LA REGRESIÓN

Resumen de la línea

R ²	0,836424
R ² Adj	0,82474
Cuadrado medio del error	0,106902
Media general	0,760625
Nº observaciones	16

Análisis de varianza

F.V.	gl	S.C.	C.M.	Fcal
Modelo	1	0,81810125	0,818101	71,5872
Error	14	0,15999250	0,011428	Prob>F
Total	15	0,97809375		0,0000

Parámetros Estimados

Término	Estimado	Error estand.	t cal	Prob.
Intercepto	-0,1495	0,110838	-1,35	0,1988
APL, %	0,4045	0,047808	8,46	0,0000

Anexo H. Análisis estadístico del esfuerzo máximo (kg/cm²), del bioplástico utilizando diferentes niveles de ácido poliláctico (APL), obtenido del lactosuero (valores ajustados por medio de raíz cuadrada).

1. Estadísticas descriptivas

Concentración de APL	Nº obs.	Media	Desviación estándar	Error estándar	Mínimo	Máximo
1,5%	4	2,2875	0,14245	0,07122	2,16	2,49
2,0 %	4	2,5625	0,27318	0,13659	2,23	2,89
2,5 %	4	2,9100	0,14399	0,07200	2,71	3,05
3,0 %	4	3,1975	0,04646	0,02323	3,14	3,24
Total	16	2,7394	0,38741	0,09685	2,16	3,24

2. Análisis de varianza

F.V.	S.C.	gl	C.M.	Fcal	Prob.
Tratamientos	1,898	3	0,633	21,480	0,000 **
Error	0,353	12	0,029		
Total	2,251	15			

Prob. < 0.01; existen diferencias altamente significativas (**)

$$\text{Coeficiente de variación} = \frac{\sqrt{\text{Cuadrado Medio del Error}}}{\text{Media general}} \times 100 = 6,22 \%$$

3. Asignación de rangos de acuerdo a la prueba de Tuckey

Valores ajustados

Concentración de APL	Nº obs.	Grupos homogéneos		
		C	B	A
1,5%	4	2,2875		
2,0 %	4	2,5625	2,5625	
2,5 %	4		2,9100	2,9100
3,0 %	4			3,1975

Valores transformados

Concentración de APL	Nº obs.	Grupos homogéneos		
		C	B	A
1,5%	4	5,233		
2,0 %	4	6,566	6,566	
2,5 %	4		8,468	8,468
3,0 %	4			10,224

ANÁLISIS DE LA REGRESIÓN

Resumen de la línea

R ²	0,854033
R ² Adj	0,843606
Cuadrado medio del error	0,831375
Media general	7,6425
Nº observaciones	16

Análisis de varianza

F.V.	gl	S.C.	C.M.	Fcal
Modelo	1	56,616125	56,6161	81,9118
Error	14	9,676575	0,6912	Prob>F
Total	15	66,292700		0,0000

Parámetros Estimados

Término	Estimado	Error estand.	t cal	Prob.
Intercepto	0,07125	0,861988	0,08	0,9353
APL, %	3,365	0,371802	9,05	0,0000

Anexo I. Análisis estadístico la elongación (%), del bioplástico utilizando diferentes niveles de ácido poliláctico (APL), obtenido del lactosuero (valores ajustados por medio de raíz cuadrada).

1. Estadísticas descriptivas

Concentración de APL	Nº obs.	Media	Desviación estándar	Error estándar	Mínimo	Máximo
1,5%	4	3,1475	0,11236	0,05618	3,02	3,28
2,0 %	4	3,7125	0,21125	0,10562	3,54	4,02
2,5 %	4	4,2025	0,16761	0,08380	4,03	4,43
3,0 %	4	4,5525	0,21670	0,10835	4,31	4,75
Total	16	3,9037	0,56988	0,14247	3,02	4,75

2. Análisis de varianza

F.V.	S.C.	gl	C.M.	Fcal	Prob.
Tratamientos	4,474	3	1,491	45,094	0,000 **
Error	0,397	12	0,033		
Total	4,871	15			

Prob. < 0.01; existen diferencias altamente significativas (**)

$$\text{Coeficiente de variación} = \frac{\sqrt{\text{Cuadrado Medio del Error}}}{\text{Media general}} \times 100 = 4,65 \%$$

3. Asignación de rangos de acuerdo a la prueba de Tuckey

Valores ajustados

Concentración de APL	Nº obs.	Grupos homogéneos		
		C	B	A
1,5%	4	3,1475		
2,0 %	4		3,7125	
2,5 %	4			4,2025
3,0 %	4			4,5525

Valores transformados

Concentración de APL	Nº obs.	Grupos homogéneos		
		C	B	A
1,5%	4	9,907		
2,0 %	4		13,783	
2,5 %	4			17,661
3,0 %	4			20,725

ANÁLISIS DE LA REGRESIÓN

Resumen de la línea

R ²	0,904426
R ² Adj	0,897599
Cuadrado medio del error	1,413895
Media general	15,555
Nº observaciones	16

Análisis de varianza

F.V.	gl	S.C.	C.M.	Fcal
Modelo	1	264,84642	264,846	132,4829
Error	14	27,98738	1,999	Prob>F
Total	15	292,83380		0,0000

Parámetros Estimados

Término	Estimado	Error estand.	t cal	Prob.
Intercepto	-0,8205	1,465957	-0,56	0,5845
APL, %	7,278	0,632313	11,51	0,0000

Anexo J. Análisis estadístico la degradación (días), del bioplástico utilizando diferentes niveles de ácido poliláctico (APL), obtenido del lactosuero.

1. Estadísticas descriptivas

Concentración de APL	Nº obs.	Media	Desviación estándar	Error estándar	Mínimo	Máximo
1,5%	4	42,7500	4,11299	2,05649	39,00	48,00
2,0 %	4	42,7500	4,11299	2,05649	39,00	48,00
2,5 %	4	42,7500	4,11299	2,05649	39,00	48,00
3,0 %	4	42,7500	4,11299	2,05649	39,00	48,00
Total	16	42,7500	3,67877	0,91969	39,00	48,00

2. Análisis de varianza

F.V.	S.C.	gl	C.M.	Fcal	Prob.
Tratamientos	0,000	3	0,000	0,000	1,000 ns
Error	203,000	12	16,917		
Total	203,000	15			

Prob. > 0.05; No existen diferencias significativas (ns)

$$\text{Coeficiente de variación} = \frac{\sqrt{\text{Cuadrado Medio del Error}}}{\text{Media general}} \times 100 = 9,62 \%$$

3. Asignación de rangos de acuerdo a la prueba de Tuckey

Concentración de APL	Nº obs.	Grupos homogéneos
		A
1,5%	4	42,7500
2,0 %	4	42,7500
2,5 %	4	42,7500
3,0 %	4	42,7500