

Mejores usos del bio- plástico tipo PLA con alternativas ambientales y agrícolas

*Best uses of PLA type bio-plastic with environmental and
agricultural alternatives*

SucreReview N°2
ISSN 2697-360X
AÑO 2022

Meneses Morales Gabriel Estephan

Instituto Superior Tecnológico Sucre / gabrielestephan.meneses@outlook.com

Quito-Ecuador

Aguilar Calle Silvia Marisol

Instituto Superior Tecnológico Sucre / silvi-120596@hotmail.com

Quito-Ecuador

RESUMEN

El presente trabajo fue basado en alternativas de reemplazo del plástico tradicional, para lo cual, se da énfasis en la generación de biopolímeros que suponen ser parte de las soluciones sustentables en la actualidad; es así, que este proyecto logró generar un bioplástico tipo PLA a partir de desechos orgánicos como son: almidón de maíz, celulosa del bagazo de la caña de azúcar y algunos reactivos que le dieron las características suficientes para obtener una materia prima principal y así poder elaborar productos como la fibra PLA para impresión 3D; por otro lado, las condiciones experimentales para elaborar el material, se ampararon en normativas internacionales como la D6400 que habla sobre las especificaciones de los plásticos compostables y estudios similares sirvieron como guía para la elaboración del bioplástico como tal; en este sentido, se probaron varias fórmulas y se realizaron cálculos que permitieron generar la muestra más adecuada para el desarrollo del producto en análisis basándose en una metodología científico-experimental en dónde se evaluaron varios factores como la resistencia térmica, maleabilidad, dureza y tiempo de degradación al ser sometido a un proceso de compostaje. Después de haber realizado las pruebas mencionadas se descubrió que el material obtenido en estado sólido-granulado presentó una rigidez estable con una elongación promedio de 8,33 N , alcanzó termo-resistencia de 216°C y como valor adicional del material en cuestiones de degradabilidad bajo condiciones de compostaje, éste se llegó a descomponer en un tiempo de 120 días, considerando que se cierra el ciclo de su vida útil siendo desechado he incorporado en el suelo mediante técnicas agrícolas; demostrando que éste pudo aportar macronutrientes para poder fertilizar el suelo previo

MEJORES USOS DEL BIO- PLÁSTICO TIPO PLA

Con alternativas ambientales y agrícolas

a cultivos establecidos. En conclusión, es posible elaborar un bioplástico tipo PLA a base de residuos orgánicos con una alta tasa de degradabilidad y con un costo competitivo para el mercado en la industria de los plásticos, que podría aportar de manera positiva y eficiente al ambiente y a la sociedad.

Palabras clave: Biodegradable, Biopolímeros, Fibra PLA, Compostaje

ABSTRACT

The present work was based on alternatives to replace traditional plastic, for which, emphasis is given to the generation of biopolymers that are supposed to be part of the sustainable solutions today; thus, this project managed to generate a bioplastic PLA type from organic wastes such as: corn starch, cellulose from sugar cane bagasse and some reagents that gave it enough characteristics to obtain a main raw material and thus be able to elaborate products such as PLA fiber for 3D printing; on the other hand, the experimental conditions to elaborate the material, were covered by international regulations such as the D6400 that talks about the specifications of compostable plastics and similar studies served as a guide for the elaboration of the bioplastic as such; In this sense, several formulas were tested and calculations were made to generate the most adequate sample for the development of the product under analysis based on a scientific-experimental methodology where several factors were evaluated such as thermal resistance, malleability, hardness and degradation time when subjected to a composting process. After having carried out the mentioned tests, it was discovered that the material obtained in solid-granulated state presented a stable rigidity with an average elongation of 8.33 N, reached a thermo-resistance of 216°C and as an additional value of the material in terms of degradability under composting conditions, it decomposed in a time of 120 days, considering that the cycle of its useful life is closed, being discarded and incorporated in the soil through agricultural techniques; demonstrating that it could provide macronutrients to fertilize the soil prior to established crops. In conclusion, it is possible to elaborate a bioplastic PLA type based on organic wastes with a high degradability rate and with a competitive cost for the market in the plastics industry, which could contribute positively and efficiently to the environment and society.

Keywords: Biodegradable, Biopolymers, PLA Fiber, Composting

1. Introducción

El bioplástico tipo (PLA) o ácido poliláctico es uno de los materiales más utilizados como materia prima para la impresión 3D en forma de filamento o en procesos de inyección de los cuales se logra obtener una gran gama de productos, entre ellos utensilios de un solo uso o productos

MEJORES USOS DEL BIO- PLÁSTICO TIPO PLA

Con alternativas ambientales y agrícolas

diseñados conforme a las necesidades o gustos del usuario. Este producto es caracterizado por ser elaborado a partir de materiales renovables como el almidón de maíz y celulosa de caña de azúcar, lo que quiere decir que es un material ecológico.

El panorama para este material es bastante bueno, pero para que se haga competente en el mercado es necesario mezclar las fuentes naturales con fuentes provenientes de los hidrocarburos como el polipropileno con el fin de crear un producto mucho más resistente, rígido y hasta confiable para la salud humana.

En el Ecuador, la fibra PLA para impresoras 3D no se produce a gran escala o de manera industrial; no obstante, se apuesta por los productos realizados en base a este material por sus buenas propiedades térmicas y mecánicas. Es por ello que se ha investigado sobre cómo generar un biopolímero compostable tipo PLA sin agregar ningún otro material que contenga hidrocarburos con el objetivo de que el producto final cierre su ciclo de vida útil mediante el compostaje, tomando en cuenta que el proceso debe contar con parámetros específicos tanto de temperatura y humedad adecuados para que se transforme en macronutrientes que enriquecerán el suelo. Dando a su vez una solución efectiva a la contaminación ambiental por desechos plásticos.

2. Desarrollo

La creciente demanda por parte de una sociedad cada vez más consumista sigue estimulando la producción masiva de objetos de plástico (García 2008) dando como resultado, a más de 111 años de su creación, la causante problemática de la “era del plástico” la cual enfatiza especialmente a la gran acumulación de residuos plásticos de todas partes del planeta considerando que este, al ser de origen industrial al momento de degradarse emite diferentes sustancias tóxicas que a gran escala deteriora el medio ambiente y los factores ecológicos que posee la tierra siendo los más afectados recursos como el suelo, aire y agua.

¿Cuánto plástico producimos?

Hoy en día casi el 90% de materiales que ocupa el ser humano para satisfacer sus necesidades están realizados a base de plástico, todo debido a que es un material con gran poder industrial por ser resistente, moldeable, genéticamente modificable y fácil de producir. Un informe reciente de la organización británica Verisk Maplecroft, que alerta acerca de la basura plástica, reveló que a nivel mundial se producen más de 2.100 millones de toneladas de desechos cada año de los cuales más de la mitad fueron producidos en los últimos 13 años siendo estos en su totalidad productos plásticos (Mundo 2019).

En el caso de Ecuador, según los presentes estudios de la Comisión Económica de América Latina y el Caribe (CEPAL, 2018) nos informa que la producción per cápita del país respecto a los desechos urbanos mantuvo una cifra de 0,686 kg/hab por día de los cuales solo el 14,91% de estos, son dispuestos en rellenos sanitarios para su posterior degradación, y el restante del total son depositados a cielo abierto en diferentes zonas clandestinas como son las quebradas, cuerpos de agua o terrenos baldíos (Almeida 2014).

MEJORES USOS DEL BIO- PLÁSTICO TIPO PLA

Con alternativas ambientales y agrícolas

En el caso de Quito, de acuerdo con datos proporcionados por la Empresa Metropolitana de Aseo (Emaseo), en la capital se producen a diario 2 227,69 toneladas de desechos sólidos, de esta cantidad, 277,35 toneladas corresponden a fundas y otros tipos de plástico (Medina 2018).

Una nueva alternativa para producir plástico

Conocido como fibra PLA o ácido poliláctico, es un poliéster alifático termoplástico realizado con productos orgánicos especialmente del almidón de maíz, característica que le da una alta biodegradación¹ en el ambiente bajo condiciones adecuadas a diferencia de otros termoplásticos² (Alberto Sierra Dr. Ing. 2016), reduciendo de esta manera el tiempo que pasa el producto en la tierra. En la actualidad se va convirtiendo en el foco de atención de las empresas productoras de artículos plásticos ya que al ser de origen vegetal y tener características termoplásticas hace más fácil la producción de productos biodegradables, a su vez haciendo que las empresas cumplan con las leyes ambientales de los países que como habíamos mencionado, buscan proteger el planeta de presentes y futuros daños.

Una de las razones más efectivas para que los biopolímeros o bioplásticos se integren en la matriz productiva del país, es que estos mencionados biopolímeros tienen alta solubilidad acuosa (Aguillón 2016) lo que hace que se integren más rápido en el ambiente reduciendo el tiempo de integración, comparando que de 500 a 600 años que se demora en descomponerse un plástico habitual a un rango de 6 meses a 1 año que es el tiempo que toma el PLA en integrarse al ambiente. Ahora bien, el PLA tiene una amplia aplicación de productos ya que al ser una materia con buena resistencia y rigidez lo hace apto para cualquier proceso industrial, el más conocido es el proceso de fundición en donde puede ser moldeado con facilidad. Es por esto que la industria de las impresiones en 3D toman a la fibra PLA como base o materia prima para realizar sus productos, haciendo que otros tipos de plásticos pasen a segundo plano en la industria teniendo en cuenta también que el PLA tiene mejores características que otros plásticos (ver tabla 1).

¹ La degradación quiere decir que se pueden romper o descomponer con facilidad, pero la biodegradación le da otra característica esencial a este concepto, la cual es que el producto biodegradable puede descomponerse mediante la acción metabólica de los microorganismos haciendo que los átomos de carbono de los polímeros se rompan y se incluyan en el ambiente con gran facilidad

² Los termoplásticos son aquellos materiales plásticos en los cuales durante el proceso de producción se puede aumentar la temperatura para conseguir una solución viscosa y maleable, y al momento de someterlos a secado se convierta en un producto totalmente sólido.

MEJORES USOS DEL BIO- PLÁSTICO TIPO PLA

Con alternativas ambientales y agrícolas

Tabla 1.

Características del PLA en comparación con otros tipos de plásticos

	PLA	PS	i-PP	PET
Densidad relativa	1.24	1.04-1.06	0.91	1.37
Claridad	Transparente	Transparente	Transparente	Transparente
PROPIEDADES MECÁNICAS				
Resistencia a la tracción (MPa)	48-110	34-36	21-37	47
Módulo de tracción (GPa)	3.5-3.8	2.9-3.5	1.1-1.5	3.1
Elongación (%)	2.5-100	3-4	20-800	50-300
Impacto Izod 23 °C (J/m)	13		72	79
PROPIEDADES TÉRMICAS				
Temperatura de transición vítrea (°C)	60	95	0	75
Temperatura de fusión (°C)	153		163	250
Temperatura de Vicat (°C)	55-60	84-106	80-140	74-200
Temperatura de procesamiento (°C)	210	230	225	255

Mencionando ahora a la industria del 3D, el PLA puede ser utilizado para realizar cualquier producto que pueda tener un previo diseño computarizado e impreso en tal máquina. Esta gran gama de productos va desde pequeños maceteros plásticos hasta platos y prótesis humanas o cualquier diseño que el usuario desee obtener (ver ilustración 1).



Fig 1: productos de diseño en impresoras 3D

Como se ha mencionado anteriormente, la fibra PLA está compuesta especialmente por almidón de maíz y celulosa de caña, pero lo que se buscó realizar un material con gran variedad de almidones provenientes de los desechos orgánicos que se ocupan con más frecuencia en la ciudad de Quito siendo estos los más importantes el almidón de papa, el bagazo de caña y el almidón de

MEJORES USOS DEL BIO- PLÁSTICO TIPO PLA

Con alternativas ambientales y agrícolas

maíz. Los mismos que le dieron al material grandes propiedades biodegradables en el suelo, pues las moléculas vegetales que se integraron en la fórmula pasaron a ser parte del suelo aportando macronutrientes que ayudaron a enriquecer el mismo.

Poner fin a la era del plástico

Una alternativa para mitigar este problema, tomando en cuenta la fibra PLA, es que los productos realizados con este material pueden ser nuevamente reintegrados al ambiente por medio del compostaje, es decir, que se los podría incluir en suelos agrícolas para que estos se biodegraden por acción de los microorganismos presentes en los mismos desprendiendo macronutrientes que lejos de cambiar la composición química del suelo, lo va a cargar con gran cantidad de ellos, mitigando dos problemas a la vez: el primero y más importante es eliminar el producto plástico sintético del planeta para recuperar las partes paisajísticas que se deterioran con estos materiales y el segundo es contribuir complementemente con nutrientes al suelo para enriquecerlo y así cultivar en el mismo.

2.1 Planteamiento del problema

En la actualidad, los problemas ambientales son originarios a inicios de la revolución industrial, a raíz de este hecho, nacen otros factores como: crecimiento poblacional, avance tecnológico, problemas sociales del mundo, entre otros; los mismos que influyen en el aumento de la contaminación por residuos sólidos, pues el impacto que este refleja en el incremento de estadísticas, indicadores e índices en el contexto mundial.

En el contexto nacional, se puede decir que en el Ecuador compitiéndose por un manejo más responsable de plásticos se genera el Acuerdo Ministerial 19, asegura (Tapia, 2018), en el que se establece políticas para gestión integral de plásticos, en donde se integra términos como plásticos oxo degradables los cuales se degradan más rápidamente con la adición de sales metálicas, considerado como un plástico reciclado que permite disminuir el consumo del plástico de un solo uso, cabe mencionar que en esta normativa fomenta el uso y fabricación de bioplásticos, tema central de la presente investigación.

En el caso de Quito, de acuerdo con datos proporcionados por la Empresa Metropolitana de Aseo (Emaseo), en la capital se producen a diario 2 227,69 toneladas de desechos sólidos; de esta cantidad, 277,35 toneladas corresponden a fundas y otros tipos de plástico; a diario se desechan fundas, recipientes y otros artículos en sitios como los patios de comidas, restaurantes, cafeterías, bares escolares y viviendas, con la intención de erradicar por completo la utilización de estos materiales, el concejal Patricio Ubidia impulsa un proyecto de ordenanza bajo la iniciativa “Quito Sin Plásticos”; esta idea propone la eliminación total de bolsas, sorbetes y botellas plásticas de bebidas azucaradas en la capital (Medina, 2018). Como se mencionó anteriormente, la erradicación total del mercado del plástico en la actualidad es sumamente imposible ya que el 90% de los productos usados tienen o están hechas de partes de plástico, una de las opciones de sustituir el plástico originario del petróleo por uno más ecológico, que aporte tanto a la

MEJORES USOS DEL BIO- PLÁSTICO TIPO PLA

Con alternativas ambientales y agrícolas

disminución de estas cifras de desechos como a devolver diferentes minerales al ambiente cuando se los desecha, es la utilización de plástico de origen vegetal o bioplástico.

2.2 Metodología

Procesamiento de análisis. - Como fuente de almidón se utilizó maíz (*Zea mays*) del tipo indentata sintético, es decir maicena industrializada al por mayor que contiene 0,9 gramos de fibra por cada 100 gramos de maicena además de minerales como fósforo, sodio, entre otros y almidón de papa (*Solanum tuberosum*) variedad chaucha.

En cuanto a la celulosa, esta se obtuvo de la caña de azúcar (variedad desconocida) como residuo del proceso de extracción para jugos en un pequeño local comercial, la caña debía secarse al punto de tornarse quebradiza para posteriormente pulverizarla en un triturador, obteniendo así, un polvo muy fino que no contenga material particulado demasiado grande que pueda afectar a la mezcla.

Como factor de añadidura se utilizó polvo fino de cáscara de huevo, el cuál debe proporcionar calcio al producto final sin alterar la composición química de la mezcla.

Además, se utilizaron algunos reactivos como el ácido acético, glicerol y ácido láctico del tipo químico en el proceso de mezcla para optimizar las condiciones térmicas y mecánicas del polímero.

Las proporciones de cada material fueron medidas en base a la cantidad de producto deseado el cual fue de cinco kilos de bioplástico. Los mismos que serán utilizados para realizar posteriormente diferentes pruebas tanto de suelo con cultivos por establecer como de la maquinaria tipo extrusora que dará como producto final una fibra para impresora 3D los cuales serán detallados más adelante.

Mezcla de principios activos. Para determinar los factores de peso equivalentes se hizo una conversión de kilogramo a gramos para cada polvo sólido respectivamente además de cada relación entre los reactivos utilizados en el laboratorio. Se trabajó con una dilución de ácido láctico de 1:10 para bajar su concentración en un 50%. Todos los principios activos fueron colocados en un vaso de precipitación con capacidad de 1000 ml, repitiendo el proceso hasta obtener 5 kilos y posteriormente se integró hasta obtener una mezcla homogénea, la misma que fue expuesta al calor indirectamente sin dejar mecer la solución, a su vez se medía la temperatura con un termómetro de mercurio, cuando la mezcla llegó a los 50°C se agregó 15 ml de ácido acético para mejorar la propiedad de dureza en el material al momento de solidificarse.

Una vez que todos los elementos de la mezcla hallan llegado a su punto de cocción se obtuvo una mezcla viscosa de color crema pálido, se alejó del calor cuando ésta llegó a un rango de temperatura entre los 80°C - 85°C.

Proceso de forma (granulado) y secado. Cabe mencionar que el presente proceso se realizó en el laboratorio de forma netamente empírica, es decir, que no se utilizó una maquinaria industrial (peletizador). Antes de que la temperatura de la mezcla descienda, se la coloco la misma en mangas pasteleras previamente esterilizadas y desinfectadas con el fin de mantener la mayor

MEJORES USOS DEL BIO- PLÁSTICO TIPO PLA

Con alternativas ambientales y agrícolas

higiene posible, en una superficie plana se tendió largas láminas de papel aluminio las cuales sirvieron como base para el secado del material. Posteriormente se fue dando forma de grano a cada parte saliente de dicha manga, se repitió el proceso hasta terminar la mezcla obtenida.

Para el proceso de secado se lo dejó a temperatura ambiente en una zona totalmente esterilizada y sin contacto de polvo o alguna traza de suciedad en el ambiente, el tiempo de secado del producto tardó entre 72 a 120 horas dependiendo del diámetro del grano. Pasado dicho tiempo de secado se procedió a recolectar el producto final y pesarlo para la verificación.

Prueba de propiedades mecánicas. Dentro de las propiedades mecánicas que se realizaron al bioplástico para su verificación se mencionan: elongación, densidad y resistencia térmica las cuales se irán describiendo posteriormente.

Prueba mecánica de elongación del biopolímero. – Para calcular la elongación de la muestra de acuerdo a la norma ASTM-D 638 se elaboraron tres láminas con las siguientes medidas: espesor 1mm, ancho 1 cm y largo 12cm. La elongación se calcula en Nétwtones por lo que para esta prueba se requirió de un dinamómetro el cual se colocó en uno de los extremos de la lámina, al mismo tiempo que en el otro extremo se colocaba una pinza con soporte para que el material no se mueva, se tira del dinamómetro hasta que el material se rompa, el punto exacto de ruptura fue marcado en el aparato de medida, se repitió el proceso en las tres laminas anotando el número de ruptura marcado en cada una y se realizó un promedio para sacar un valor estándar.

Densidad del bioplástico. Para esta prueba se realizó con la forma habitual de calcular la densidad de un sólido. En un vaso de precipitación se colocó 100ml de bioplástico se lo peso y calculó con la siguiente formula.

Ecuación N° 1:

$$d = \frac{m}{v}$$

Pruebas térmicas y de resistencia mecánica. Estos análisis se realizaron en un extrusor industrial, se colocaron 3 kilos de bioplástico en el embudo de la máquina, alrededor de 10 segundos de espera el material se empezó a fundir a una temperatura de 216°C, al mismo tiempo que fue empujado por un tornillo sin fin el cual hizo que el material se mezcle y funda de manera lineal, al llegar al otro extremo del tornillo, el material totalmente fundido, pasó por un pequeño moldeador que dio como resultado un hilo con un diámetro de 1,75mm el mismo que pasó por un sistema de enfriamiento por agua para después cumplir la función de realizar un choque térmico tanto de la temperatura en la que sale el material como de la temperatura en la que se encuentra el agua, proporcionando así la solidificación del producto final. Este mismo producto fue llevado a pruebas de compostaje.

Pruebas de degradabilidad y compostaje. Al obtener el material seco fue necesario hacer pruebas de degradabilidad en el suelo, para después por medio del compostaje comprobar que aporta algún tipo de nutrientes en un suelo destinado al uso agrícola y este estudio se lo planteó de la siguiente manera:

MEJORES USOS DEL BIO- PLÁSTICO TIPO PLA

Con alternativas ambientales y agrícolas

Instalación y primera evaluación: Día 0

Se hizo un hoyo en la tierra con 45 cm de profundidad considerado como lote de estudio. En una caja de madera se colocaron

- 10 cm de tierra
- 5 cm de lechuga podrida
- 5 cm de estiércol
- 5 cm de hojas secas humedecidas
- Se volvió a colocar 5 cm de tierra
- 2 kilos de bioplástico
- 2 cc de *Bacillus* spp. (formulación líquida) / 200 ml de agua

Segunda evaluación: Día 30

Se agregaron 2 cc de *Bacillus* spp./ 200 ml de agua. La lechuga se encontraba en un 80% de descomposición y el material de estudio cambió sus propiedades físicas:

Tabla 2.

Deformación del bioplástico en compostaje

ÍTEM	PRIMERA EVALUACIÓN	SEGUNDA EVALUACIÓN
COLOR	AMARILLENTO	BLANCO
ESTADO	SÓLIDO (RÍGIDO)	SÓLIDO (MUY BLANDO)

Evaluación: Día 120

El material de estudio ha sido totalmente degradado sin algún tipo de residuo. Demostró buena incorporación en el suelo, no hubo pérdida de materia orgánica o de organismos no objeto de control (lombrices, escarabajos, etc.). Condiciones externas de estudio:

- Temperatura
- Humedad relativa

Muestreo de suelo. Después de la tercera evaluación, se tomó una muestra puntual del lote en donde se realizó el estudio de degradabilidad del material y también se tomó una muestra de otro lote sin el material de estudio, a 3 metros de distancia donde se había aplicado ciertos productos agroquímicos para eliminar plagas presentes en el área total de ensayo 6 meses atrás, esto con el fin de mejorar la producción agrícola establecida en el lugar de experimentación.

Cada muestra fue colocada en una funda plástica tipo hermética debidamente etiquetada con la cantidad de un kilo cada una para evaluar ciertos parámetros a nivel de laboratorio como el pH, la cantidad de materia orgánica, además de algunos macronutrientes como el Nitrógeno (N), Fósforo (P), y Potasio (K).

Uso del compost obtenido en cultivos agrícolas. Para comprobar que el material del polímero obtenido no causa daños sobre algún tipo de cultivo establecido o por establecer fue necesario delimitar un área reducida de 1,10 metros de largo por 0,45 metros de ancho en donde se

MEJORES USOS DEL BIO- PLÁSTICO TIPO PLA

Con alternativas ambientales y agrícolas

sembraron 8 lechugas (*Lactuca sativa*) variedad hoja de roble en un estado fenológico de emergencia, con el fin de no afectar la producción en grandes proporciones. Se hizo la remoción completa del suelo y se dividió el área en dos lotes, se homogenizó y se procedió a realizar hoyos pequeños con 5 centímetros de profundidad para posteriormente colocar las lechugas.

División del área:

LOTE 1		LOTE 2	
M1	M1	M1	M1
M2	M2	M2	M2

Fig 2. Autores de la investigación

M1: Muestra con el material de estudio

M2: Muestra sin el material de estudio

Al dividir el área de experimentación se realizó una comparación entre la muestra M1 y M2 para comprobar que existió algún déficit o aceleración de crecimiento en los cultivos de lechuga y a su vez si causó algún tipo de daño. Para la evaluación del crecimiento se tomó un tiempo de 40 días con dos evaluaciones, una cada 20 días.

2.2 Resultados

Propiedades físicas del biopolímero

Respecto a las propiedades físicas del biopolímero en cuanto a color se obtuvo un producto crema pálido ya que no se adhirió ningún colorante orgánico, para hacerlo más natural, la característica de olor al momento de ser extruido emanó un aroma dulce como a caña el mismo que lo mantuvo durante todo el proceso, respecto a la rigidez se consiguió un material sumamente compacto y duro al tacto, mantuvo un pequeño sabor a dulce mientras se mantenía caliente el producto, al momento de enfriarse pierde esta característica.

Prueba mecánica de elongación del bioplástico.

Las pruebas de elongación en el material se obtuvieron los resultados detallados en la Tabla 3, la cual nos indica que la primera muestra tuvo un punto de ruptura de 9 N, la segunda muestra obtuvo un punto de ruptura de 6N debido a que el material se encontraba un poco quebradizo en la muestra, lo que causó que se rompa con más facilidad, la tercera y última muestra mantenía una superficie sumamente plana y compactada dando como resultado un punto de ruptura de 10 N, De esta manera se obtuvo un promedio de 8,33 N de elongación en el material evaluado.

MEJORES USOS DEL BIO- PLÁSTICO TIPO PLA

Con alternativas ambientales y agrícolas

Tabla 3.

Pruebas de elongación del biopolímero

Columna1	Columna2
N° Prueba	Punto de Ruptura
Muestra 1	9 N
Muestra 2	6 N
Muestra 3	10 N
Promedio	8,33 N

Densidad del bioplástico

Como resultado del cálculo de la densidad del biopolímero se obtuvieron las siguientes medidas finales:

peso del vaso de precipitación: 105,9 g

volumen de la muestra: 100 ml

peso del sistema: 167 g

$$157g - 105,9g = 61,1g(\text{masa de la muestra})$$

$$d = \frac{m}{v}$$

$$d = \frac{61,1g}{100ml} = 0,611g/ml$$

Termo-resistencia y resistencia mecánica

Se verificó que la temperatura de fundición del material fue de 216°, haciéndolo medianamente apto para ser utilizado de manera industrial en diferentes maquinarias siendo la más importante la extrusora, seguido de la impresora en 3D, el material también podría ser utilizado en inyectoras industriales.

Prueba de degradabilidad y compostaje.

En la prueba de degradabilidad las condiciones externas del estudio fueron expuestas en la Tabla 4. Indicando que la temperatura varía de 1 a 3 grados mientras que la humedad relativa se mantuvo en las dos últimas evaluaciones.

Tabla 4.

Condiciones externas medidas en campo de estudio

Evaluación	Temperatura °C	Humedad relativa %	Degradación %	Tiempo de degradación
Primera	20,2	30	0	0

MEJORES USOS DEL BIO- PLÁSTICO TIPO PLA

Con alternativas ambientales y agrícolas

Segunda	24,6	20	25	30
Tercera	23,7	20	100	120

Uso del compost obtenido en cultivos agrícolas.

Los datos obtenidos en campo y detallados en la Tabla 7 después de dividir el área de estudio en ambos lotes dieron como resultado un buen aprovechamiento de nutrientes en las plantas por parte de ambas muestras, sin embargo, hubo mayor eficacia en la muestra 1 al poseer mejores propiedades.

Tabla 7.

Datos recolectados en base al crecimiento de las plantas en dos evaluaciones

DIA	LOTE	MUESTRA	CRECIMIENTO
0	1	M1	1
0	1	M2	1.34
0	1	M1	2
0	1	M2	1.31
40	2	M1	5.12
40	2	M2	4.4
40	2	M1	5.40
40	2	M2	4.88

3. Conclusiones

- Se demostró que el bioplástico tipo PLA elaborado en esta investigación posee una capacidad biodegradable y compostable que aporta en pequeñas proporciones macronutrientes esenciales para los cultivos agrícolas, el mismo arrojó resultados positivos sin afectar de manera negativa al suelo, el tiempo de degradabilidad estimado para el material de estudio fue de 120 días sin residuos que puedan afectar a las propiedades del suelo ni al medio ambiente.
- Se ha demostrado que puede crearse un biopolímero a base de desechos orgánicos como el bagazo de caña de azúcar, cáscara de huevo, maíz triturado, entre otros, su fórmula es 100% orgánica e impulsa a la buena gestión de residuos sólidos por medio de la elaboración de este tipo de productos. Como se ha mencionado antes, en el Ecuador no se produce materia prima tipo PLA para máquinas como extrusoras o inyectoras ya que la investigación para estos no se ha profundizado del todo, lo que genera la importación obligada de este material sin antes proponer una competencia dentro del país.
- Por otro lado, se cree que el biopolímero debe ser mezclado con algunos aditivos que ayuden a la producción de materiales mucho más resistentes a la hora de colocarlos en

MEJORES USOS DEL BIO- PLÁSTICO TIPO PLA

Con alternativas ambientales y agrícolas

las máquinas, ya que las mismas están adaptadas para trabajar con materiales plásticos sintéticos que contienen otras propiedades además de abaratar los costos de producción.

4. Referencias

AENOR. *ASTM D6400-04*. 30 de Mayo de 2012. <https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas/astm?c=036737>.

Aguillón, Ing. David Carrillo. «Preparacion de un composito apartir de PLA y fibra de carbono.» *Instituto Tecnológico de Ciudad Madero*. Abril de 2016.
<http://200.188.131.162:8080/jspui/bitstream/123456789/134/1/Preparaci%20de%20un%20composito%20con%20PLA%20y%20fibra%20de%20carbono.pdf>.

Alberto Sierra Dr. Ing., Francisco González. «Diseño y desarrollo de productos a base de compuestos formados por residuos de fibra de agave y bioplástico.» *Trabajos de Investigación del Congreso Internacional de Investigación en Tecnologías Estratégicas de Academia Journals 2016*. 05 de Octubre de 2016.
https://www.researchgate.net/profile/Alberto_Sierra2/publication/308929956_Disenoy_desarrollo_de_productos_a_base_de_compuestos_formados_por_residuos_de_fibra_de_agave_y_bioplastico/links/57f8365708ae886b898366dd/Diseno-y-desarrollo-de-productos-a-base-d.

Almeida, María Dolores. *estimaciones preliminares*. 2014.
https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37433/S1420714_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

COA. *CÓDIGO ORGÁNICO DEL AMBIENTE*. 2017. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/09/Codigo-Organico-del-Ambiente.pdf>.

Constitución. *Constitución del Ecuador*. 2008.
<https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/45208547/constitucion-ecuador.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DConstitucion-ecuador.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=ASIATUSBJ6BANGJTJZM4%2F20200522%2Fus-east-1%2F>.

Garcia, Sergui. «REFERENCIAS HISTÓRICAS Y EVOLUCIÓN DE LOS PLÁSTICOS.» *revista iberoamericana de polimeros*, Noviembre 2008: 74.

INEC. 2019. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyecciones-poblacionales/>.

INEN. *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA, NTE INEN 2634:2012*. 2014.
<http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/05/NTE-INENE-2634-Plasticos-post-consumo.pdf>.

Medina, Andrea. 09 de junio de 2018. <https://www.elcomercio.com/actualidad/desecho-diario-plastico-basura-quito.html>.

MEJORES USOS DEL BIO- PLÁSTICO TIPO PLA

Con alternativas ambientales y agrícolas

MIMG. *GACETA OFICIAL*. Martes de SEPTIEMBRE de 2018.

<https://guayaquil.gob.ec/Gacetas/Periodo%202014-2019/Gaceta%2091.pdf>.

Mundo, BBC News. *BBC NEWS*. 08 de julio de 2019. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-48914734>.

UNE. *Normalización Española*. 4 de Febrero de 2015. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0024465>.