

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRIA EN CIENCIAS EN AGROECOLOGIA
MENCION GESTION AMBIENTAL



OBTENCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES
A PARTIR DEL ALMIDON DE YUCA (*Manihot esculenta Crantz*) Y MAÍZ (*Zea*
***mays*)**

TESIS

Para optar al grado académico de

MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

KAREM LILIANA GARCIA VILLEGAS

Tingo María – Perú

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
UNIDAD DE POSGRADO
DIRECCIÓN



“AÑO DEL FORTALECIMIENTO DE LA SOBERANÍA NACIONAL”

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS
Nro. 006-2022-UPG-FRNR-UNAS

En la ciudad universitaria, siendo las 04:00 p.m. del jueves 14 de abril de 2022, reunidos virtualmente vía Microsoft Teams, se instaló el Jurado Calificador a fin de proceder a la sustentación de la tesis titulada:

**“OBTENCION DE EMPAQUES BIODEGRADABLES A PARTIR DEL
ALMIDON DE YUCA (Manihot esculenta Crantz) Y MAÍZ (Zea mays)”**

A cargo del candidato al Grado de Maestro en Ciencias en Agroecología, mención: Gestión Ambiental **KAREM LILIANA GARCIA VILLEGAS.**

Luego de la exposición y absueltas las preguntas de rigor, el Jurado Calificador procedió a emitir su fallo declarando ...**APROBADO**..... con el calificativo de **MUY BUENO.**

Acto seguido, a horas ...17:50.. p.m. el presidente dio por culminada la sustentación; procediéndose a la suscripción de la presente acta por parte de los miembros del jurado, quienes dejan constancia de su firma en señal de conformidad.

.....
Ing. MS.c. JOSÉ ANTONIO BLAS MATIENZO
Presidente del Jurado

.....
Ing. MS.c. JOSÉ LUIS PAREDES SALAZAR
Miembro del Jurado

.....
Ing. MS.c. FRANKLIN DIONISIO MONTALVO
Miembro del Jurado

.....
Dr. ROBERTO DÁVILA TRUJILLO
Asesor

DEDICATORIA

Lo dedico sobre todo a Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, fortalecer mi corazón e iluminarme, por haber puesto en mi camino aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis padres Julián García Céspedes y mi ángel María Nela Villegas de García por ser el pilar fundamental en mi desarrollo personal y en toda mi educación, por todo su apoyo incondicional, ayudándome a lograr mis metas.

A mi hijo Lucas y mi angelito Christian Mario en camino, quienes son mi gran motivación para avanzar.

A mis hermanos Elaine, Christian y Melissa por su apoyo, cooperación y comprensión en todo momento de esta experiencia tan bonita.

A mi novio Emilio por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por haberme dado la oportunidad para forjarme como profesional.
- A los docentes de la Escuela de Posgrado, quienes a través de sus enseñanzas contribuyeron en mi formación profesional.
- Al Dr. Roberto Dávila Trujillo, que en su condición de asesor de la tesis por su asistencia con valiosos aportes técnicos y científicos durante la ejecución y redacción de esta investigación.
- A Sissy Pérez Peláez, por su apoyo incondicional en el laboratorio central de investigación.
- Asimismo, a todas las personas que de una u otra manera contribuyeron con la realización y culminación de la presente investigación.

INDICE GENERAL

	Pagina
I. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1. Objetivos.....	15
1.1.1. Objetivo general.....	15
1.1.2. Objetivos específicos.....	15
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	16
2.1. Marco legal.....	16
2.2. Plásticos en el Perú.....	17
2.3. Bioplasticos.....	19
2.3.1. Biobasados.....	19
2.3.2. Biodegradables.....	20
2.4. Almidón.....	22
2.4.1. Almidón como materia prima para la elaboración de un bioplástico.....	24
2.4.2. Plastificantes.....	24
2.5. Glicerina.....	25
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
3.1. Materiales utilizados para la elaboración.....	27
3.2. Materiales y Equipos.....	27
3.3. Metodología.....	28
3.3.1. Determinación de la composición del bioplástico.....	28

3.3.2.	Evaluación de actividad antioxidante del bioplástico...	31
3.3.3.	Caracterización de física del bioplástico.....	31
3.3.4.	Análisis termogravimétrico (TGA) y calorimetría diferencial de barrido (DSC).....	33
3.3.5.	Microscopia electrónica de barrido.....	33
3.3.6.	Evaluación de biodegradabilidad.....	33
3.4.	Nivel y tipo de investigación.....	34
3.4.1.	Tipo de Investigación.....	34
3.4.2.	Nivel de Investigación.....	35
3.4.3.	Variables de Investigación.....	35
3.4.4.	Diseño Experimental.....	35
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	36
4.1.	Elaboración del bioplástico.....	36
4.2.	Evaluación de actividad antioxidante del bioplástico.....	38
4.2.1.	ABTS.....	38
4.2.2.	DPPH.....	39
4.3.	Caracterización de física del bioplástico.....	41
4.3.1.	Prueba de espesor del bioplástico.....	41
4.3.2.	Ensayo de tensión.....	44
4.3.3.	Análsis por Espectroscopía RAMAN.....	46
4.4.	Análisis térmico de los bioplásticos.....	49
4.4.1.	Caracterización mediante Termogravimétrica (TGA)...	49
4.5.	Caracterización mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC).....	52

4.6. Microscopia electrónica de barrido.....	56
4.7. Biodegradación.....	58
V. CONCLUSIONES.....	62
VI. RECOMENDACIONES	64
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	65
ANEXOS	74

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Composición de bioplástico.....	29
2. Composición del compost usado para la biodegradación.....	34
3. Resultados de los análisis de la actividad antioxidante por ABTS.....	37
4. Análisis de Varianza de Actividad Antioxidante en Bioplásticos por ABTS° Um Teac/100g.....	37
5. Prueba Tukey.....	38
6. Resultados de los análisis de la actividad antioxidante por DPPH.....	38
7. Análisis de Varianza de Actividad Antioxidante en Bioplásticos por DPPH Um TEAC/100g.....	39
8. Prueba Tukey de Actividad Antioxidante DPPH.....	39
9. Lecturas de los espesores de los 8 tratamientos de los bioplásticos ...	41
10. Resultados del análisis de varianza del bioplástico.....	41
11. Resultados de la prueba Tukey del espesor del bioplástico.....	42
12. Análisis de varianza de tensión del bioplástico.....	43
13. Prueba Tukey de la tensión en bioplástico.....	44
14. Condiciones de espectroscopia RAMAN.....	46
15. Condiciones de los análisis TGA y DSC.....	48
16. Resultados termogravimetría bioplástico T ₅	48
17. Resultados termogravimetría bioplástico T ₈	49

18. Resultados calorimetría Diferencial de Barrido en Bioplástico T ₅	52
19. Resultados calorimetría Diferencial de Barrido en Bioplástico T ₈	52
20. Pesos de los bioplásticos sometidos a la prueba de biodegradabilidad	59
21. Lectura de tensión a los 8 tratamientos de bioplástico.....	73
22. Características del análisis del de identificación al 93.49% por RAMAN.....	75
23. Características del análisis del de identificación al 88.44% por RAMAN.....	76

INDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Generación total de Residuos Sólidos Municipales en el Perú.....	18
2. Estructura de los bioplásticos según La Organización European Bioplastics.....	19
3. Fabricación de Plásticos Biobasados.....	20
4. Capacidad de Producción Global de bioplásticos año 2019 (POR TIPO DE MATERIAL).....	21
5. Segmento de Amilosa.....	22
6. Segmento de Amilopectina.....	23
7. Composición de la Glicerina.....	25
8. Flujo de Proceso de la Elaboración del Bioplástico.....	30
9. Imagen del micrómetro usado para para medir el espesor de cada bioplástico.....	31
10. Elaboración del Bioplástico.....	35
11. Espectro RAMAN del bioplástico T ₅	46
12. Espectro RAMAN del bioplástico T ₈	47
13. Curva TGA para la muestra del bioplástico del tratamiento (T ₅).....	49
14. Curva TGA para la muestra del bioplástico del tratamiento (T ₈).....	50
15. Termogramas del bioplástico T ₅ obtenidos por DSC	52
16. Termogramas del bioplástico T ₈ obtenidos por DSC	53

17. Micrografías del bioplástico del tratamiento T ₅	55
18. Micrografías del bioplástico del tratamiento T ₈	56
19. Muestras de bioplástico acondicionadas para el análisis de biodegradabilidad.....	57
20. Fotografías de los bioplásticos al transcurrir los 15, 30, 45 y 60 días de evaluación.....	58
21. Micrómetro usado para determinar el espesor	73
22. Prueba para determinar la resistencia a tracción	74
23. Espectro de bioplástico T ₅ obtenido por espectrofotometría RAMAN identificado al 93.49%.....	75
24. Espectro de bioplástico T ₅ obtenido por espectrofotometría RAMAN identificado al 88.44%.....	76
25. Elaboración de la mezcla filmogénica.....	77
26. Mezcla en enfriamiento	77
27. Moldeado en las placas Petri	78
28. Moldeado en las placas Petri	78
29. Placas en la estufa.....	79
30. Parámetros establecidos en la estufa	79
31. Muestras filtradas para las lecturas de la capacidad antioxidante.....	80
32. Espectrofotómetro utilizado.....	80
33. Muestras recortadas para la prueba de biodegradabilidad.....	81
34. Muestras acondicionadas en unas mallas.....	81
35. Muestras en los recipientes.....	82
36. Enterramiento de las muestras en el compost.....	82

37. Muestra extraída para su primera evaluación.....	83
38. Muestra extraída para su última evaluación.....	83

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, se trabajó con el almidón de yuca y el almidón de maíz que son dos de los polímeros más utilizados para la elaboración de películas biodegradables que pueden sustituir a los materiales de plásticos convencionales debido a que son económicos, de alta disponibilidad, se producen de fuentes naturales y son biodegradables.

Por ese motivo en esta investigación se vio necesario elaborar un bioplástico combinando el almidón de yuca, almidón de maíz, agua destilada, ácido acético y como plastificante la glicerina en distintos porcentajes (20% y 40%) y se evaluaron sus propiedades mecánicas, capacidad antioxidante, análisis térmico, microscopia electrónica de barrido y análisis de biodegradabilidad. Se realizaron 8 tratamientos de los cuales 4 tratamientos con 20% de glicerina y 4 tratamientos con 40% de glicerina ambos con proporciones de almidón de yuca y maíz Y:M (10:0, 5:5, 2:8, 0:10) en base a 10g de almidón (p/p). El bioplástico fue expuesto a 40 °C en una estufa por 24 horas.

Los resultados finales muestran que las propiedades mecánicas del bioplástico elaborado son deficientes frente a un plástico convencional como tensión y espesor, mientras que, si demostró tener una ligera capacidad antioxidante, ser biodegradable y tener resistencia térmica comprobado por los termogramas DSC y TGA.

Palabras Claves: bioplástico, almidón de yuca, almidón de maíz, biodegradable

ABSTRACT

In the present research work, we worked with cassava starch and corn starch, which are two of the most widely used polymers to produce biodegradable films that can replace conventional plastic materials because they are cheap, high availability, are produced from natural sources and are biodegradable.

For this reason, in this research, it was necessary to develop a bioplastic combining cassava starch, corn starch, distilled water, acetic acid and glycerin as a plasticizer in different proportions and its mechanical properties, antioxidant capacity, thermal analysis, electron microscopy were evaluated. scanning and biodegradability analysis. 8 treatments were carried out with glycerin in percentages of 20% and 40%, while cassava and corn starch in Y: M proportions (1: 0, 1: 1, 1: 4, 0: 1) based on 10g of starch (w / w). The bioplastic was exposed to 40 ° C in an oven for 24 hours.

The final results show that the mechanical properties of bioplastic such as tension and thickness are not compared to conventional plastics, while it has shown to have a slight antioxidant capacity, to be biodegradable and to have thermal resistance verified by DSC and TGA thermograms.

Keywords: bioplastic, cassava starch, corn starch, biodegradable

I. INTRODUCCION

En la presente investigación se pretende dar una alternativa de solución para disminuir la problemática de acumulación de desechos plásticos a nivel mundial, teniendo en cuenta que la degradación de estos plásticos sintéticos es muy lenta y puede tardar hasta 500 años e incluso generar acumulación de microplásticos en los animales, mares y medio ambiente.

Por ese motivo ha sido de gran importancia el estudio del bioplástico ya que se llega a la obtención de materiales de base biológica y presentan similitudes al plástico convencional como la resistencia, permeabilidad tanto al gas, al vapor de líquidos y a esto se adiciona su acción biodegradable.

Siendo conscientes de los problemas ambientales que enfrentamos con la acumulación de desechos plásticos, hace que se generen proyectos de investigación orientados a la elaboración de productos amigables con la naturaleza. Por tal motivo la investigación planteó como problema general ¿Cómo beneficiará la obtención de empaques biodegradables a partir de almidón de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) y maíz (*Zea mays*) a reducir la contaminación ambiental provocado por los plásticos sintéticos? y como hipótesis; “Al utilizar el almidón de los granos de yuca y maíz, facilitará la obtención de empaques biodegradables con altas propiedades mecánicas y actividad antioxidante, que ayudaran a la reducción de la contaminación del

medio ambiente”. La presente investigación busca elaborar un empaque biodegradable que, demostrando unas buenas características mecánicas, físicas y químicas, pueda ser considerado un buen y mejorado sustituto de un plástico convencional y que sirva como dato para su futura producción a gran escala.

1.1. Objetivo general

Desarrollar empaques biodegradables a partir del almidón de yuca y maíz

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar sus propiedades mecánicas, morfológicas, térmicas y químicas de los empaques obtenidos.
- Determinar el contenido de antioxidantes en los empaques obtenidos
- Evaluar el tiempo de degradación de los empaques obtenidos.

II. REVISION LITERARIA

2.1. Marco legal

Existe dentro de las leyes peruanas, una ley que obliga a las empresas a no usar bolsas que solo se puedan usar una sola vez y esto ocurre también con los tecnopores y los sorbetes, siendo nuestro país uno de los primeros que elimina el uso de plásticos.

El uso de polímeros sintéticos en la actualidad está siendo restringido el MINAM mediante la promulgación de la ley N° 30884, el 19 de diciembre del 2018, “Ley que reglamenta el uso del plástico de un uso y los envases descartables”, la que tiene como fin hacer una contribución en concretar el derecho que todo ser, tiene para disfrutar un ambiente de acuerdo a como se viene desarrollando su vida, y para tal fin se busca reducir el impacto negativo del plástico (MINAM 2018)

Con esta ley, están estimando reducir en un 30% el consumo del plástico que no sea necesario, en el primer año de la aplicación de la ley. Hay que saber que antes de aplicada esta ley, en nuestro país se daban aproximadamente 6 mil millones de bolsas en el año. Así como la ley se viene haciendo un trabajo para la prevención de la contaminación de las aguas (rios y mares) y así concientizar el por qué se regula el consumo del plástico y los que ocasionaría si es que no se cambian ciertos patrones de consumo.

Esta norma no solo tiene su aplicación dentro del territorio peruano, sino que también se aplica en más de 60 países, donde se ha podido obtener resultados muy alentadores, haciendo que el consumo de plástico sea menos que años anteriores.

Esta ley tiene dos puntos importantes, uno que se refiere al costo del plástico en el mercado y otro que se refiere a un impuesto por el consumo de las mismas. Se exceptúan por temas de salubridad, inocuidad y asepsia. En el caso de inocuidad alimentaria, por poner un ejemplo, se podrán usar bolsas en algunos casos.

Otro punto de la ley, establece, la obligatoriedad de añadir un 15% de material de reciclaje en el proceso de fabricación de botellas de plástico.

La norma contempla realizar acciones de supervisar en todo el sector público contando con el apoyo de las personas (MINAM, 2018).

2.2. Plásticos en el Perú

Según datos de la ONU del Medio Ambiente, en todo el mundo, se procesan en todo el año 400 millones de toneladas de plástico y debido a esto es que el medio ambiente se daña, especialmente las aguas de nuestros lagos, ríos, playas, etc. El fabricar una bolsa de plástico demora aproximadamente un

minuto, caso contrario a lo que ocurre con su degradación, que puede demorar hasta 400 años (UNEP 2018).

Según el MINAM, (2018) el país en promedio compra 30 kg de plástico por persona de forma anual y en la capital Limase genera el 46 % de los residuos bolsas de solamente un uso.

En 2017, *Algalita Marine Research and Education*, se dieron con la sorpresa de ver una isla de plástico, frente a nuestras costas junto con las de Chile. Dijeron que aproximadamente tiene una superficie de 2.6 millones Km², lo que significa, el doble de nuestro País.

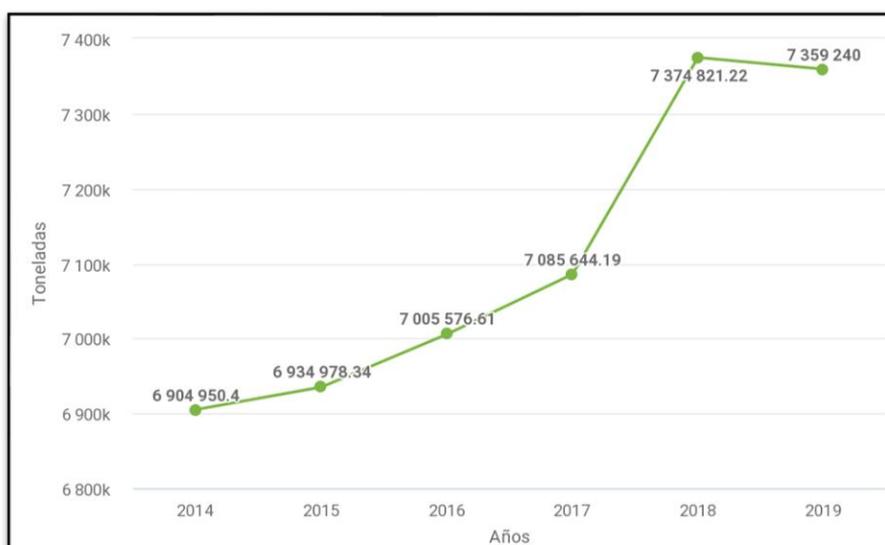


Figura 1. Generación total de Residuos Sólidos Municipales en el Perú (MINAM, 2018)

Con este indicador la meta es hacer una medición de la cantidad de residuos que las municipalidades urbanas generan a nivel nacional, como base para contribuir a establecer obligaciones, atribuir y designar responsabilidades de la sociedad en su conjunto, para llevar una gestión y manejar los residuos

sólidos, sanitaria y ambientalmente adecuada, de acuerdo a los principios de minimizar, prevenir los peligros al medio mediante y proteger la salud del ser humano.

2.3. Bioplásticos

Según La organización European bioplastics, los bioplásticos no son un solo material. Viene de la familia de materiales que tienen diferentes propiedades y aplicaciones. También la define como plásticos que son biobasados, biodegradables, o que reúnen ambas características (Fernández, Vargas, 2015).

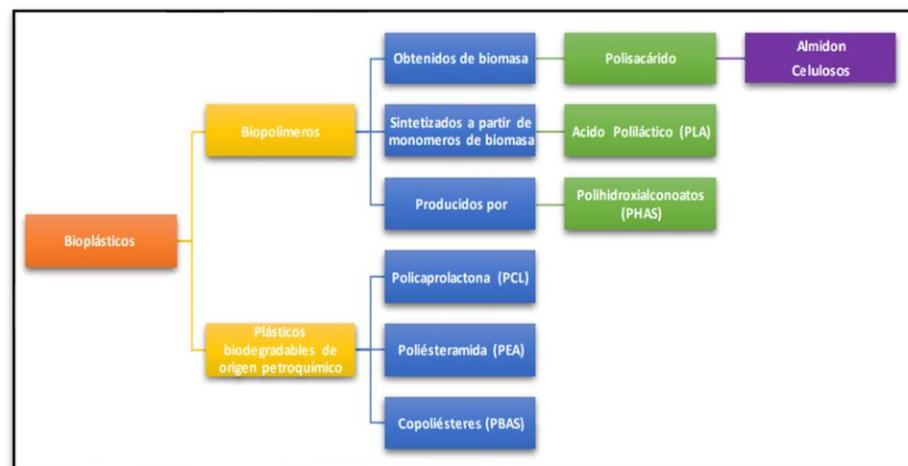


Figura 2. Estructura de los bioplásticos según La Organización European Bioplastics Fernández, Vargas (2015)

2.3.1. Biobasados

Aquellos bioplásticos que son fabricados siempre y cuando la biomasa que es el componente de forma orgánica, que constituye a los seres vivos, generalmente plantas, algas y microorganismos.

La diferencia entre los biopolímeros que se producen de forma directa en el medio ambiente, como el almidón, las proteínas, la lignina y el quitosano, los plásticos biobasados necesitan etapas de proceso químico antes de su uso

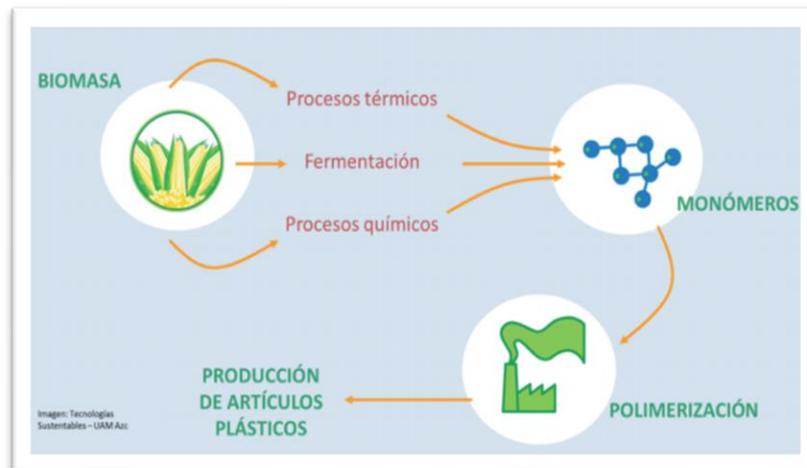


Figura 3. Fabricación de Plásticos Biobasados.

Tecnologías Sutentables UNAM ZC

2.3.2. Biodegradables

Son polímeros producidos de forma natural como por ejemplo el almidón y la celulosa; y que son asimilados por varias especies (biodegradables) ya que no tienen efecto toxico (biocompatibles), y con esto se pueden producir los bioplásticos. Los derivados del almidón son los biopolímeros más ampliamente estudiados; generalmente proceden del grano de maíz y de las papas.

Uno de éstos que es más empleado para la elaborar películas biodegradables es el almidón, este componente es uno de los principales polisacáridos que tienen como reserva, la mayoría de vegetales, lo que hace que

se convierta en una de las opciones más rentables y en disposición para sustituir a los materiales de envases a base de polímeros convencionales no degradables (Peinado 2015).

En el país, un bioplástico, son los que su degradación llega hasta CO₂, CH₄, agua y biomasa mediante la acción de microorganismos, conteniendo la mitad de sólidos volátiles, contiene una concentración limitada de componentes químicos dañinos y el poder degradarse se hace en tiempos razonables: El degradarse en un 90 % en aproximadamente seis meses teniendo presente O₂ y 2 meses en ausencia de O₂ (MINAM, 2018).

Se puede observar que, el campo de los biopolímeros es muy diverso, sin embargo, en la investigación siguiente se analizará de forma más específica en uno de ellos, el cual es el almidón de maíz y el almidón de yuca, sus propiedades y de cómo se puede producirse a partir de ellos un bioplástico.

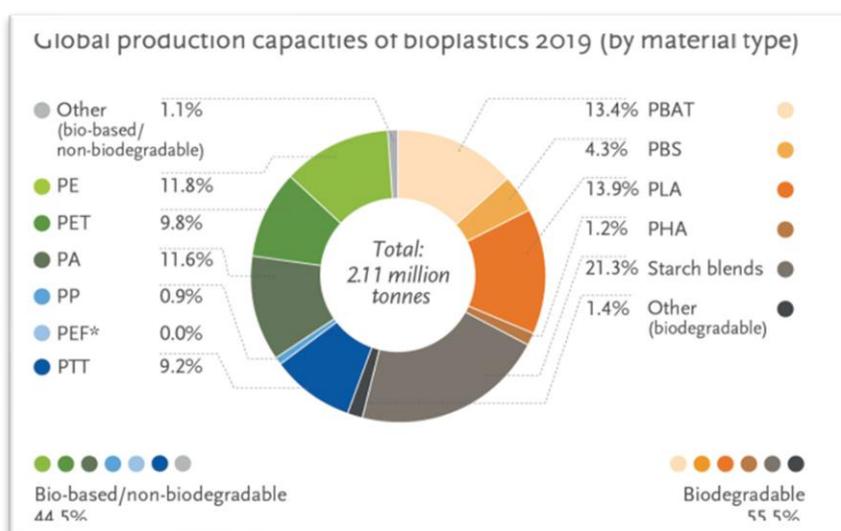


Figura 4. Capacidad de Producción Global de bioplástico el año 2019 (POR TIPO DE MATERIAL).

2.4. Almidón

Es uno de los principales polisacáridos de reservas de la mayoría de los vegetales y esto lo convierte en una de la opciones más disponibles y rentables para la elaboración de envases biodegradables (Peinado 2015).

De forma química, el almidón está integrado por la amilosa y la amilopectina que vienen a ser dos polímeros que se diferencian por su estructura, siendo aproximadamente 20% y 80% respectivamente (Inga 2015). El análisis porcentual de amilosa y amilopectina tiene su alcance cuando la presentación se hace individual; donde la amilosa tiene caracterizaciones de gelificación y la amilopectina de viscosidad.

La amilosa (Figura 5) es un polímero de unidades de D-glucosa, unidas por enlaces α -1,4 glucosídicos, no siendo muy largas, ni cortas sus cadenas y tienen la separación de distancias grandes, lo que permite la actuación de las moléculas, esencialmente de estructura lineal, lo que hace que forme películas y fibras fuertes. Wolfe, (1996).

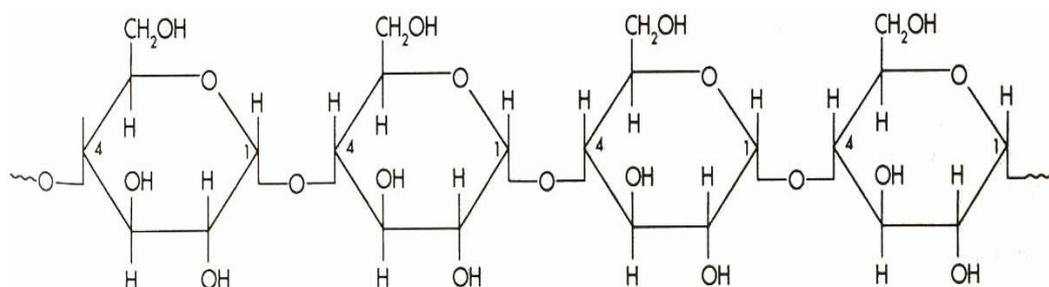


Figura 5. Segmento de Amilosa (Wolfe, 1996).

Fritz & Europa-Kommissionen. (1994). Menciona que un componente más importante del almidón es su semicristalinidad en donde la amilopectina es el componente importante para la cristalización en la el 80% de los almidones. La parte amorfa se forma en las regiones de ramificación de amilopectina y amilosa.

Otras propiedades significativas del almidón son su resistencia mecánica y flexibilidad, las cuales tienen una dependencia en la resistencia y en la zona cristalina, carácter que sujeto a la relación de amilosa y amilopectina y por lo tanto del tipo de planta y del proceso de configuración de cada componente del polímero. (Fritz & Europa-Kommissionen. 1994).

La parte molecular de amilopectina son más amplias que las moléculas de amilosa, siendo la amilopectina el más importante componente en la mayor parte de los almidones (Wolfe, 1996).

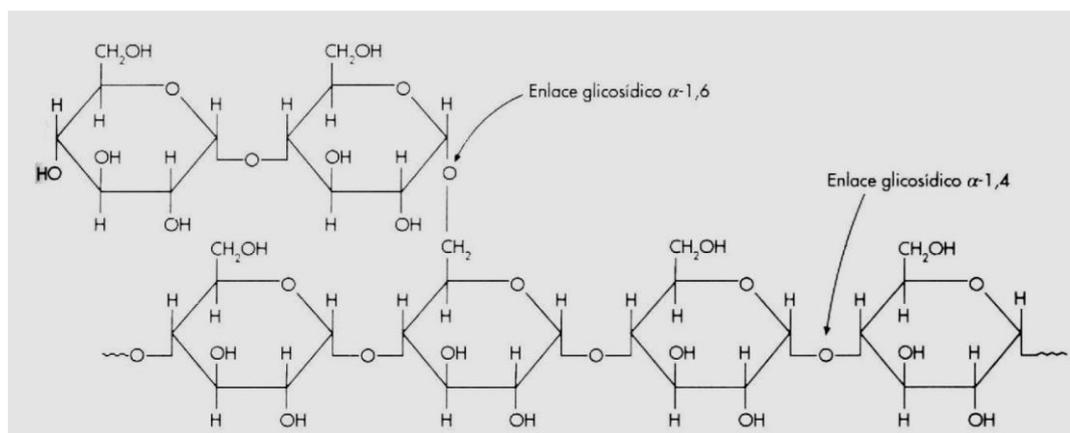


Figura 6. Segmento de Amilopectina (Wolfe, 1996).

2.4.1. Almidón como materia prima para la elaboración de un bioplástico

El almidón es un polisacárido y es la principal reserva de la mayoría de los vegetales, lo que lo hace una de las opciones más rentables y disponibles para la sustituir los materiales de envases a base de polímeros convencionales no degradables.

El almidón sino cuenta con los componentes de forma adecuada (plastificantes) no llega a tener necesariamente las propiedades para su trabajo como termoplástico, los plastificantes aumenta la flexibilidad del almidón ya que tienen habilidad para la reducción de la interacción de los enlaces de hidrógeno, además de aumentar el espacio molecular (Mali *et al*, 2005).

Valero *et al.*, (2013), define el almidón es un polímero con alto potencial de utilización en la síntesis de materiales biodegradables

Los biopolímeros basados en recursos renovables y/o biodegradables generan un alto interés, no solamente en el rubro de los plásticos sino de forma general en toda la sociedad.

2.4.2. Plastificantes

En cuanto a la norma ASTM D - 883, un plastificante es un material, que llega a incorporarse a un plástico y así facilitar su proceso y se vea un mejoramiento en su flexibilidad o distensibilidad. El agregar un plastificante hace que disminuyamos la adherencia estando como estado fundido, el módulo de elasticidad, y la temperatura de transición vítrea de un plástico.

La temperatura de transición vítrea (T_g). Es donde un bioplástico varía de estado rígido a blando, sobre el T_g el movimiento molecular aumenta y la viscosidad baja.

El plastificante es un producto destinado a modificar sus propiedad mecánicas y térmicas de determinadas sustancias como el almidón. También un punto adicional es que su punto de ebullición sea menor que la temperatura de gelatinización así evitar su evaporación durante el proceso de mezclado. Los plastificantes funcionan incrementando la movilidad intramolecular de las macromoléculas que componen los materiales poliméricos.

Esto se logrará cuando se interfiere con los mecanismos en la unión intermolecular e intramolecular en estos sistemas. Los plastificantes que tiene más efectividad tienden a ejercer su efecto en condiciones de baja concentración

2.5. Glicerina

El propanotriol, glicerol o glicerina es un alcohol con 3 grupos hidroxilos – OH (Figura N°7). Estos, le permiten ser soluble en agua. Tienen un aspecto incoloro y viscoso. Su fórmula molecular es $C_3H_8O_3$.

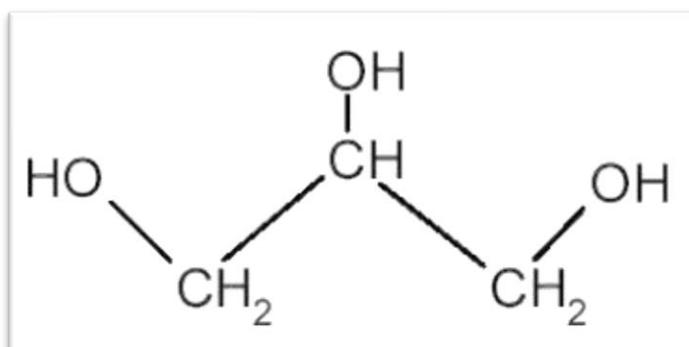


Figura 7. Composición de la Glicerina

El funcionamiento de los plastificantes es incrementar el movimiento intramolecular de las macromoléculas de las que están compuestas este material polimérico. Esto se logrará con interferir en los mecanismos de unión intermolecular e intramolecular en estos sistemas. Los plastificantes con mejor efecto es ejercido a bajas concentraciones.

Este plastificante causa una reducción significativa en la resistencia a la tracción, teniendo en cuenta que el contenido en peso esté por arriba del 15%. Para contenidos al 25% en peso de glicerina, se aprecia un cierto grado de mejora en la capacidad elástica del material (Van 1997).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Lugar de ejecución

La presente investigación se realizó en la Universidad Nacional Agraria de la Selva ubicada en el distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado del departamento de Huánuco.

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales

utilizados para obtener el bioplástico fueron, almidón de yuca con 17% de amilosa y 83% de amilopectina y almidón de maíz con 28% de amilosa y 72% de amilopectina, ambos pulverizados de marca Montana, suministrada por la industria Montana S.A.C, Glicerina, grado comercial con 96% de pureza (v/v) y ácido acético 5% p/v de una marca comercial.

3.2.2. Equipos

- Agitador magnético Magnetic Stirrer HI 190M Hanna Instruments
- Balanza analítica Adam PW124.
- Centrifuga Heraeus Sepatech Suprafuge 22, Alemania
- Espectrofotómetro Perkin Elmer Lambda 11 N°BC11 230V, serie NR30031

- Estufa Heraeus Instruments D-63450 Hnau, type UT 6200, fabricado en Alemania
- Estufa Heraeus, type TU 60/60, N° 2760-02, Alemania
- Microcentrífuga Hermle Z160 Herteller Spintron, Alemania
- Microscopio de Barrido electrónico
- Setaram. Modelo: Labsys Evo Robot – gas option TGA-DSC 800 °C
- Vernier

3.2.3. Reactivos

- Reactivos necesarios para el análisis químico proximal.
- Glicerina, grado comercial con 99% de pureza (v/v)
- Reactivos necesarios para la actividad antioxidante
- Alcohol etílico (Etanol)
- Carbonato de potasio, p.a. Merck. Alemania
- Alcohol metílico
- Acido acético

3.3. Metodología

3.3.1. Determinación de la composición del bioplástico

Basados en los antecedentes y en los ensayos preliminares realizados, se logró obtener la composición y parámetros especificados en la tabla. Los valores de los parámetros mencionados se mantienen constantes para cada tratamiento.

En el Cuadro 1 se observa la composición de los bioplásticos según las pruebas en el laboratorio.

Cuadro 1. Composición del bioplástico

COMPONENTES	TRATAMIENTOS							
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
GLICEROL	4 ml	4 ml	4 ml	4 ml	2 ml	2 ml	2 ml	2 ml
AGUA DESTILADA	100 ml	100 ml	100 ml	100 ml	100 ml	100 ml	100 ml	100 ml
ALMIDON DE YUCA	10 gr	5 gr	2 gr	0 gr	10 gr	5 gr	2 gr	0 gr
ALMIDON DE MAIZ	0 gr	5 gr	8 gr	10 gr	0 gr	5 gr	8 gr	10 gr
ACIDO ACETICO	5 ml	5ml	5 ml	5 ml	4 ml	4 ml	4 ml	4 ml
TEMPERATURA DE LA MEZCLA	80 °C							
TIEMPO DE EXPOSICION	10 min.							
TEMPERATURA DE SECADO	40 °C							
TIEMPO DE SECADO	24 h							

El cambio en los tratamientos se basa en el porcentaje del plastificante al 20% y 40%, el ácido acético y la combinación de los almidones (Yuca y Maiz).

Los bioplásticos se elaboraron de la siguiente manera:

- Cada tratamiento se homogenizo de acuerdo con el cuadro 1, donde nos detalla su composición.
- Se lleva a baño maría a una temperatura de 80 °C, con agitación constante con una varilla de vidrio.

- Pasado los 10 min. Una vez que se observa la gelatinización o una consistencia gomosa se retira del fuego.
- Se engrasan ligeramente las placas Petri con aceite vegetal y se vierte 13 ml y se esparce de manera uniforme hasta lograr un grosor de 2mm aproximadamente.
- Se lleva a la estufa a una temperatura de 40°C por 24 horas.
- Luego de retirar las placas de la estufa se deja enfriar por 2 horas para su fácil desmolde.
- Se desmolde cuidadosamente y luego se codificaron de acuerdo con su tratamiento y repeticiones.
- Se envasaron y sellaron en bolsas, para sus posteriores estudios.

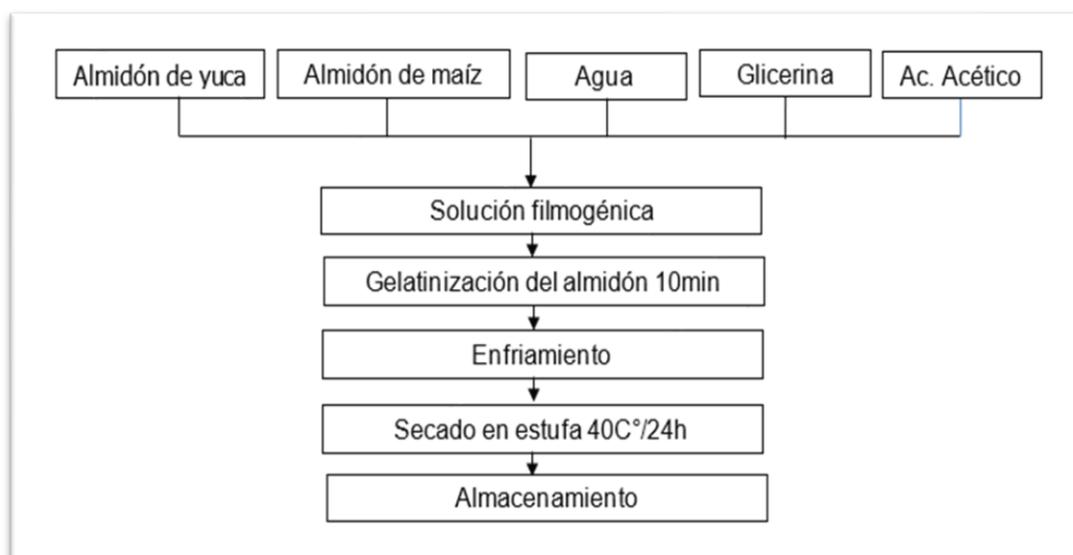


Figura 8. Flujo de Proceso de la Elaboración del Bioplástico

3.3.2. Evaluación de actividad antioxidante del bioplástico

- ABTS

Determinación de la actividad antioxidante – Método ABTS, se realizó por el método de (Surveswaran *et al.* 2007).

- Calibración de la curva-Equivalente de trolox

El ensayo ABTS mide la capacidad antioxidante en equivalentes de Trolox

3.3.3. Caracterización física del bioplástico

- Espesura

Se realizó en el laboratorio de Física, Se tomó como muestras 3 repeticiones de cada tratamiento y se procedió a la lectura con un micrómetro.



Figura 9. Imagen del micrómetro usado para para medir el espesor de cada bioplástico

- **Ensayo de tensión**

La resistencia a la tracción, es la fuerza de un polímero a soportar el estiramiento, que se llega a medir cuando se aplica un esfuerzo a una probeta. El análisis se realizó en un equipo Texturómetro de la marca STABLE MICRO SISTEM, modelo: TA. HD PLUS TEXXTURE ANALYZER, disponible en el laboratorio de Ingeniería de Procesos Agroindustriales de la escuela de Ingeniería Agroindustriales, se usó una probeta de 5 x 10 cm.

- **Análisis del bioplástico por espectroscopía RAMAN**

El análisis se realizó con el espectrómetro Raman de marca Horiba modelo Xplora Plus-Raman Microscope serie 42328 del laboratorio central de investigación UNAS. Se Trabajó con los tratamientos T₅ y T₈ los que demostraron tener mayor capacidad antioxidante y resistencia a la tensión.

Esta técnica permite obtener información química y estructural de los compuestos permitiendo su identificación que se determina a partir de vibraciones moleculares y esta tienen lugar en cualquier cuerpo.

Se trata de un método que se realiza de forma directa en el material que se analiza sin que sea necesario una preparación especial y que no lleva a ningún tipo alteración en la superficie en donde se está realizando el análisis, es decir, es no destructiva.

3.3.4. Análisis termogravimétrico (TGA) y calorimetría diferencial de barrido (DSC)

El análisis térmico de DSC y TGA fue realizado en el laboratorio central de investigación UNAS, con un equipo SETARAM modelo Labsys Evo Robot – gas option TGA-DSC 550 °C, esto nos está permitiendo hacer un análisis de forma conjunta de ambas técnicas. Esto fue realizado en una atmosfera sin nitrógeno con una cantidad de 30 ml/min, a una velocidad de calentamiento de 10°/min. Se analizaron los tratamientos T₅ y T₈ los que demostraron tener mayor capacidad antioxidante y resistencia a la tensión.

3.3.5. Microscopia electrónica de barrido

Las microfotografías se obtuvieron de un microscopio electrónico de barrido de escritorio Phenom ProX con un porta muestras de reducción de carga con detector BSD y una intensidad de aceleración de electrones de 15 Kv. Se analizaron los dos mejores tratamientos T₅ y T₈ los que demostraron tener mayor capacidad antioxidante y resistencia a la tensión.

3.3.6. Evaluación de biodegradabilidad

Para la evaluación de la biodegradabilidad de los envases se utilizaron un compuesto orgánico (compost) para inmersión de las muestras a ser evaluadas. El compost fue caracterizado por su pH, contenido de humedad, sólidos totales y materia orgánica (fósforo).

En el cuadro 2 se puede observar el compuesto del compost usado el cual presenta un pH de 5.83, que está en el rango ideal que es de cinco a ocho pH para llevar a cabo la degradación del bioplástico según lo reportado por De Fuentes (2014). Un contenido de materia orgánica de 10.09, nitrógeno total 0.8 y un contenido de humedad del 32.23 %.

Cuadro 2. Composición del compost usado para la biodegradación

MUESTRA	pH	MATERIA ORGANICA	Nro Total	% Humedad
Compost	5.83	14.89	10.09	32.23

Las muestras de bioplástico se cortaron en pedazos de 25 mm x 25 mm y acondicionadas en mallas de plástico para facilitar su retirada, en diferentes períodos de tiempo 0, 15, 30, 45 y 60 días. Se mantuvieron a temperatura ambiente en condiciones aerobias y se regó con agua una vez al día para mantener la humedad. Al transcurrir el tiempo serán evaluadas con registros fotográficos y medida de peso tal como lo hizo Cerruti *et al.* (2011) citado por Piñeros-Hernández *et al.* (2017).

3.4. Tipo y nivel de investigación

3.4.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación será el aplicado, debido a que se contará con la búsqueda de una solución oportuna, en base a la indagación de campo, realizada sobre el objeto de estudio mencionado, el cual se encontrará

conformado por las vías de la red departamental analizada. Cohen y Gómez (2019), definen a la investigación aplicada, como aquella que se centra en analizar una realidad problemática determinada, la cual busca recurrir hacia diferentes criterios técnicos que permitan solucionar un problema determinado.

3.4.2. Nivel de investigación

Descriptivo por que se determinó sus características físicas, químicas y mecánicas de los bioplásticos. Teniendo como base lo mencionado por Jacobo *et al.* (2013), donde indica que una investigación descriptiva es base y punto de inicio para otras investigaciones.

3.4.3. Variables de investigación

Variable dependiente:

Caracterización física, propiedades mecánicas, propiedades antioxidantes, morfológicas, térmicas y biodegradabilidad del empaque elaborado.

Variable independiente:

Almidón en función a la amilosa Y:M (Yuca: Maíz p/p): 1:0, 1:1, 1:4, 0:1.

Plastificante: 20%, 40%

3.4.4. Diseño Experimental

La presente investigación tiene un diseño de investigación experimental por lo cual se utilizará el diseño completamente al azar (DCA), con tres repeticiones aplicando la prueba de tukey para los niveles de significancia estadística.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En este capítulo se presentarán los diferentes cuadros resultantes de los procedimientos usados en esta investigación.

4.1. Elaboración del bioplástico

En la Figura 10, se observa los procedimientos al cual fueron sometidos los tratamientos para la obtención de las películas de bioplástico.



Figura 10. Elaboración del Bioplástico

También se puede visualizar en la Figura 10 el bioplástico final, sin desperfectos y roturas, lo que nos daría indicios de su simplicidad en su elaboración y su desmolde de un material de vidrio en este caso las placas Petri.

En el presente estudio se usó 2 tipos de almidones el de maíz y yuca, como plastificantes la glicerina y el agua. Como referencia Madrigal *et al.* (2019); utilizó como variables el agua (considerado uno de los mejores plastificantes) y el glicerol, ambos en cantidades específicas frente al almidón, obteniendo buenos resultados en flexibilidad y apariencia respectivamente. El efecto del plastificante fue muy importante en la solubilidad del bioplástico de nuestra investigación ese mismo efecto coincide con los elaborados a partir de almidón de arroz y glicerol reportados por (Laohakunjit y Noomhorm, 2004), sobre estos resultados se suma lo mencionado por (Mali *et al.* 2004), donde indica que a mayor concentración de glicerol mayor es la solubilidad de los polímeros debido a su característica hidrofílica.

Por otro lado, (Holguin *et al.* 2019) recalca la importancia de los parámetros fijados como temperatura y tiempo de secado. Pues afectaría sus propiedades mecánicas, a más rápido y más temperatura de secado se obtendría un bioplástico débil y con rajaduras.

4.2. Evaluación de actividad antioxidante del bioplástico

4.2.1. ABTS

En el cuadro 3 se observa las lecturas de las absorbancias obtenidas durante el análisis de la actividad antioxidante con ABTS.

Cuadro 3. Resultados de los análisis de la actividad antioxidante

MUESTRA	Actividad antioxidante ABTS uM TEAC/100 g			Promedio
	R1	R2	R3	
1	550.7	576.5	595.8	574.3
2	544.3	512.1	531.4	529.3
3	608.6	640.8	628.0	625.8
4	685.9	718.1	737.4	713.8
5	750.3	782.4	763.1	765.3
6	660.1	640.8	673.0	658.0
7	660.1	640.8	647.3	649.4
8	769.6	788.9	801.7	786.7

por ABTS

En el cuadro 4, se observa que el p valor es cero (0) y es menor al nivel de significancia $\alpha = 0,05$, por lo que se rechaza la hipótesis nula H_0 y se concluye que existe diferencias significativas entre los tratamientos.

Cuadro 4. Análisis de Varianza de Actividad Antioxidante en Bioplásticos por ABTS° Um Teac/100g

ANÁLISIS DE VARIANZA					
ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE ABTS Um TEAC/100g					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	167067,926	7	23866,847	73,558	0,000
Dentro de grupos	5191,433	16	324,465		
Total	172259,360	23			

En el cuadro 5, se observa que los bioplásticos correspondiente a los tratamientos 5 y 8, son los que presentan mayor actividad antioxidante con un valor promedio de 765,267 y 786,733 uM TEAC/100g respectivamente.

Cuadro 5. Prueba Tukey

ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE ABTS uM TEAC/100g					
HSD Tukey ^a					
TRATAM5100	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
T2	3	529,267			
T1	3	574,333			
T3	3		625,800		
T7	3		649,400		
T6	3		657,967		
T4	3			713,800	
T5	3				765,267
T8	3				786,733
Sig.		,103	,407	1,000	,817

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

4.2.2. DPPH

Cuadro 6. Resultados de los análisis de la actividad antioxidante por DPPH

MUESTRA	Actividad antioxidante DPPH uM TEAC/100 g			PROMEDIO
	R1	R2	R3	
1	162.500	162.918	165.427	163.615
2	160.410	163.336	165.009	162.918
3	164.590	166.681	168.771	166.681
4	170.026	171.280	169.189	170.165
5	174.624	172.952	175.879	174.485
6	170.026	171.280	172.534	171.280
7	166.263	169.189	170.444	168.632
8	184.240	178.387	189.257	183.962

En el cuadro 7, se observa que el p valor es cero (0) y es menor al nivel de significancia $\alpha = 0,05$, por lo que se rechaza la hipótesis nula H_0 y se concluye que existe diferencias significativas entre los tratamientos

Cuadro 7. Análisis de Varianza de Actividad Antioxidante en Bioplásticos por DPPH Um TEAC/100g

ANÁLISIS DE VARIANZA					
ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DPPH Um TEAC/100g					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	960,412	7	137,202	21,384	0,000
Dentro de grupos	102,660	16	6,416		
Total	1063,072	23			

En el cuadro 8, se observa que los bioplásticos correspondiente a los tratamientos 5 y 8, son los que presentan mayor actividad antioxidante con un valor promedio de 174,48493 y 183,96152 μM TEAC/100g respectivamente.

Cuadro 8. Prueba tukey de Actividad Antioxidante DPPH

ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DPPH Um TEAC/100g						
HSD Tukey						
TRATAM5100	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
T2	3	162,91822				
T1	3	163,61489	163,61489			
T3	3	166,68070	166,68070	166,68070		
T7	3	168,63198	168,63198	168,63198	168,63198	
T4	3		170,16511	170,16511	170,16511	
T6	3			171,28000	171,28000	
T5	3				174,48493	
T8	3					183,96152
Sig.		,173	,086	,388	,155	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

En la presente investigación se determinó que el bioplástico posee una considerable capacidad de antioxidantes en los tratamientos T₅ y T₈. Wang *et al.* (2013) afirma en sus resultados que un bioplástico sin adición de extractos naturales como té verde, acerola, romero, etc. Muestran una pequeña actividad de captación de radicales libres, similar a lo encontrado en el presente estudio.

Monar (2017), elaboró un bioplástico en base a quitosano enriquecido con hidroalcohólico de *Justicia chlorostachya* Leonard a diferentes concentraciones. Concluye que la incorporación del extracto en la solución formadora del bioplástico tiene una influencia positiva para considerarlos como una alternativa viable para usarlos como materiales de empaque de alimentos. Refuerza esta conclusión Nga *et al.* (2020), quien elaboró un bioplástico donde adicionó extracto de orégano y se prevee que sean candidatos prometedores para varias aplicaciones de envasado, pero en particular para envases de alimentos ya que son antimicrobianas, antibacterianas y antisépticas.

4.3. Caracterización de física del bioplástico

4.3.1. Prueba de espesor del bioplástico

Los bioplásticos obtenidos, a partir de la tabla de composición y parámetros, permitieron conseguir diferentes espesores cuyos resultados lo podemos visualizar en el cuadro 9.

Cuadro 9. Lecturas de los espesores de los 8 tratamientos de los bioplásticos

MEDIDAS DEL MICROMETRO	
T1	0.2
T2	0.15
T3	0.19
T4	0.15
T5	0.15
T6	0.15
T7	0.16
T8	0.14

En el cuadro 10, se observa que el p valor es (0,001) y es menor al nivel de significancia $\alpha = 0,05$, por lo que rechazamos esta hipótesis nula H_0 y se concluye que existe diferencias significativas entre los tratamientos.

Cuadro 10. Resultados del análisis de varianza del espesor del bioplástico

ANÁLISIS DE VARIANZA					
ESPESOR DEL BIOPLASTICO					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0,011	7	0,002	7,045	0,001
Dentro de grupos	0,004	16	0,000		
Total	0,015	23			

En el cuadro 11 se observa que el resultado de menor espesor es de 0.1400 μm correspondientes al tratamiento T_8 y como mayor resultado 0.2033 μm para el tratamiento T_1 .

Cuadro 11. Resultados de la prueba Tukey del espesor del bioplástico

ESPESOR				
HSD Tukey				
TRAT_RESUL	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T8	3	,1400		
T4	3	,1467		
T5	3	,1500		
T6	3	,1533	,1533	
T2	3	,1533	,1533	
T7	3	,1633	,1633	,1633
T3	3		,1933	,1933
T1	3			,2033
Sig.		,566	,072	,072

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000

El espesor promedio del bioplástico elaborado es de 0.16 mm, este valor no se encuentra dentro de lo establecido en la norma NTP 399 -163 de plásticos para uso en alimentos. Valor que coincide con lo mencionado por (Ospina y Ceballos 2002), donde observamos la relación inversa proporcional, porque aumenta el porcentaje de relación almidón maíz yuca a partir de (40%) disminuye el espesor que alcanzó valores entre 0.15 a 0.16 mm. independientemente del porcentaje de extracto de antocianina.

Mientras que (Inga, 2015), elaboró un bioplástico a partir de almidón de maíz en diferentes porcentajes dando mejores resultados los prototipos 4 y 5 con 0.88 a 0.51 mm respectivamente. Valores muy altos si los comparamos con los plásticos convencionales.

Cabe destacar lo determinado por (Sobral, 2000), el cual elaboró bioplásticos con gelatina y glicerol concluyó que a mayor espesor la permeabilidad al vapor de agua puede ir en aumento. El espesor es de mucha importancia en la permeabilidad al vapor de agua de un bioplástico, en este estudio los doce tratamientos tenían la misma cantidad de glicerol 46.24%, así que el espesor pudo tener dependencia en la cantidad de amilosa o tener mayor porcentaje de almidón de maíz.

Prabakaran, *et al.*, (2020), recomienda realizar bioplásticos usando diferentes plastificantes pues en su investigación donde elaboró películas de bioplásticos producidas a partir de algas marinas, donde comprobó que estos mejorarían las propiedades físicas y mecánicas de películas bioplásticas

4.3.2. Ensayo de tensión

La resistencia que determina la norma ASTM D 638 para plásticos convencionales es de 14 a 140 MPa.

En el Cuadro 12, se observa que el p valor es (0,010) y es menor al nivel de significancia $\alpha = 0,05$, por lo que se rechaza la hipótesis nula H_0 y se concluye que existe diferencias significativas entre los tratamientos

Cuadro 12. Análisis de varianza de tensión del bioplástico

ANÁLISIS DE VARIANZA					
TENSION					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0,023	7	0,003	4,060	0,010
Dentro de grupos	0,013	16	0,001		
Total	0,036	23			

En el cuadro 13 observamos los resultados correspondientes a los bioplásticos T5 y T8 se presentó una fuerza Tensil de 0.3133 MPa y 0.2500 MPa respectivamente. En estos, los valores no están cumpliendo la norma; lo que nos va a llevar a la conclusión de que las propiedades del bioplástico que hemos podido producir en el laboratorio no son muy adecuados comparando con los plásticos de un solo uso.

Cuadro 13. Prueba Tukey de la tensión en bioplástico

TENSION			
HSD Tukey^a			
TRAT_RESUL	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T3	3	,2100	
T2	3	,2133	
T7	3	,2167	
T6	3	,2300	
T4	3	,2333	,2333
T1	3	,2433	,2433
T8	3	,2500	,2500
T5	3		,3133
Sig.		,682	,054

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

La tensión es una de las características importantes que debe cumplir un bioplástico para poder ser considerado un buen sustituto de un plástico convencional y se encuentre dentro de lo establecido en la norma NTP 399 -163. En la investigación obtuvimos resultados correspondientes a los tratamientos N° 5 y N° 8 que presentaron resistencia tensil de 0.31 MPa y 0.25 MPa respectivamente, ambos con el mismo porcentaje de glicerol. (Trujillo,

2014). Determinó en su investigación que las concentraciones menores de glicerol favorecen la tracción entre las cadenas macromoleculares, evitando así su movimiento y contribuyendo así al aumento de la tensión de tracción en las películas. Refuerza este resultado (*Ziani et al., 2008*), elaboraron películas de quitosano sin glicerol y encontraron que éstos mostraron una mayor tensión en tracción. Por lo tanto, la presencia de películas de quitosano con glicerol resultó en una disminución de la tensión de tracción alrededor de 65 MPa.

Otro de los factores que afecta la resistencia a la tensión es la velocidad de secado del bioplástico elaborado, cantidades de almidón y glicerina son factores muy importantes, ya que afectan la elasticidad y estabilidad de la película a través del tiempo. Coincide con lo reportado por (*Holguin, 2019*), si el secado es de forma rápida y en altas temperaturas se producen un material de forma quebradiza, frágil; por otra forma, si esto se realizara de a pocos se obtendría una película elástica y sin cortes. En cuanto a la relación almidón/glicerina, al aumentar las proporciones de esta última en la formulación se obtenía un producto más elástico.

En ambos casos, los valores no cumplen la norma; lo cual lleva a concluir que las propiedades físicas del bioplástico elaborado en esta investigación son deficientes en comparación con los plásticos comerciales.

4.3.3. Analisis por espectroscopía RAMAN

En el Cuadro 14 se puede observar las condiciones que se establecieron para el analisis por espectroscopía RAMAN.

Cuadro 14. Condiciones de espectroscopia RAMAN

Tipo de luz	Monocromatica de He-Ne 638 nm
Objetivo	50X,10X
Software para espectro	LabSpec 6
Software para GF*	Know It All (R) informatics System 2017

En el Figura 14, se muestra el espectro del analisis del bioplástico correspondiente al tratamiento T₅, en el espectro obtenido del bioplástico mostrado se observaron señales a números de onda de 481.23 cm⁻¹ y la banda que aparece en 2908.45 cm⁻¹.

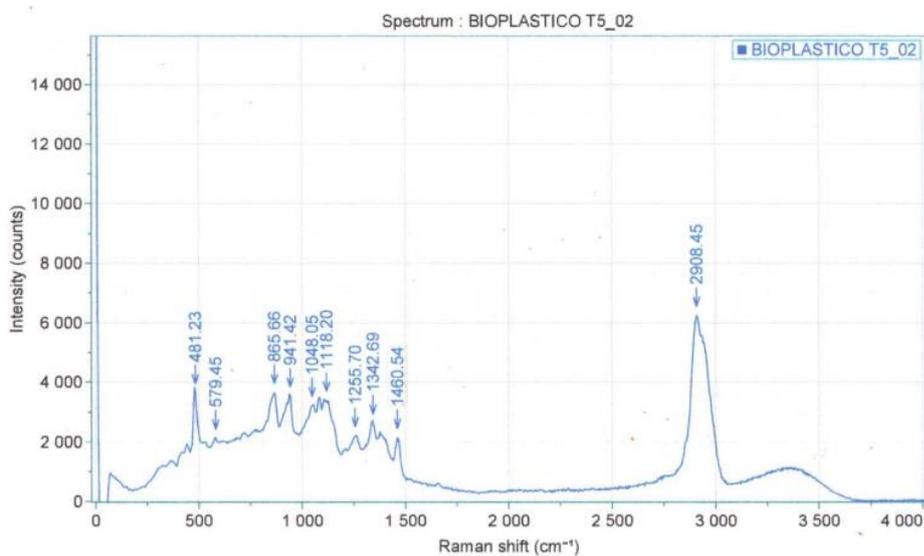


Figura 11. Espectro RAMAN del bioplástico T₅

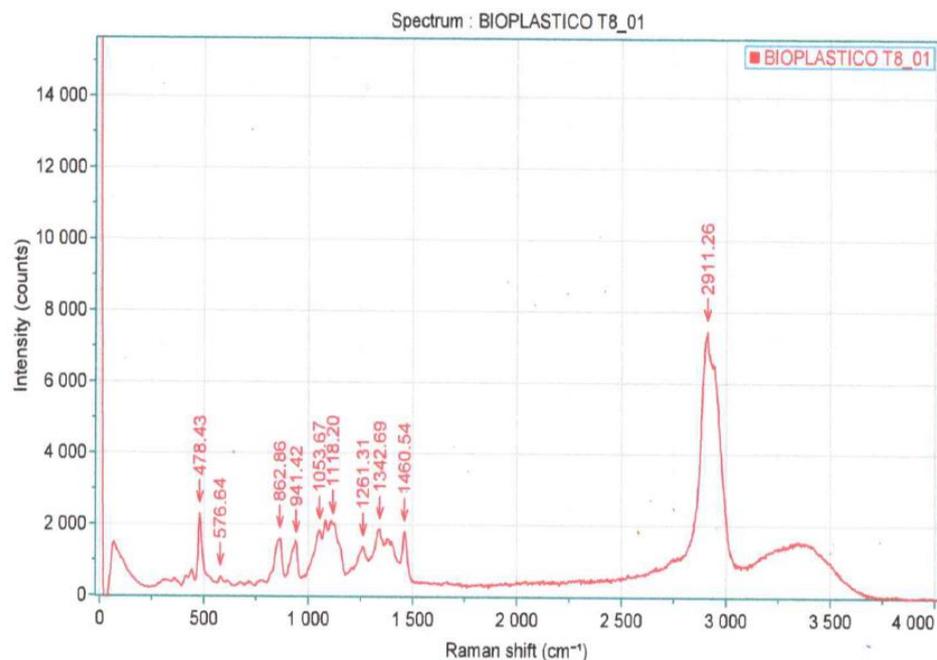


Figura 12. Espectro RAMAN del bioplástico T₈

Los resultados encontrados en esta investigación al determinar sus propiedades químicas de los bioplásticos mediante la espectroscopia RAMAN se pudo obtener para el tratamiento T₅ la cual está compuesta por almidón de yuca se obtuvo un número de onda 2911,26 cm⁻¹, mientras que el tratamiento T₈ compuesta por almidón de Maíz obtuvo un número de onda 2908,45 cm⁻¹. Rafferty (2002), menciona que la espectroscopia Raman nos provee de información química detallada y se usa rutinariamente en diferentes áreas como la farmacéutica, la de polímeros, forense, ambiental, ciencia de los alimentos, etc.

Así como Blas (2019), utilizó espectroscopia Raman para determinar el porcentaje de almidón en la leche en polvo, resultando un rango óptimo de numero de onda de 2170-2272 cm⁻¹. Estos números de onda se debe a los estiramientos de los enlaces Señales a números de onda de 1 080.1 cm⁻¹,

que son atribuidas a los estiramientos de los enlaces C-O. La banda que aparece en 3465 cm^{-1} es debida a los estiramientos de los enlaces H-O de los grupos hidroxilos presentes en la molécula de almidón (Fang *et al.* 2004).

4.4. Análisis térmico de los bioplásticos

Los bioplásticos elaborados fueron analizados en la UNAS en el laboratorio central de investigación, para los tratamientos T₅ y T₈, en el cuadro 15 se muestran a continuación los parámetros usados para ambos análisis.

Cuadro 15. Condiciones de los análisis TGA y DSC

Condiciones de los análisis TGA y DSC	Atmosfera con nitrógeno a 30 ml por minuto
	En un intervalo de 30 °C hasta 550 °C
	Tasa de calentamiento 10 °C por minuto

4.4.1. Caracterización mediante Termogravimétrica (TGA)

En el cuadro 16 se puede observar las zonas y las variaciones de la temperatura en el bioplástico correspondiente al tratamiento 5

Cuadro 16. Resultados termogravimetría bioplástico T₅

Zonas	Temperatura inicial	Temperatura Max. De descomposición	Temperatura final	Δ masa (mg)	Δ masa (%)
Primera	42.71 °C	91.43 °C	135.78 °C	0.226	4.108
Segunda	165.33 °C	221.87 °C	240.38 °C	0.590	10.734
Tercera	244.27 °C	312.55 °C	358.54 °C	3.833	69.691
Cuarta	360.19 °C	-----	559.13 °C	0.424	7.707

En la Figura 13, se muestra el termograma TGA para la muestra de bioplásticos T₅. En ella se puede visualizar la curva de descomposición o degradación del bioplástico por efecto de la temperatura a partir de su pérdida de masa llevado a cabo desde los 42.71°C hasta los 559.13°C.

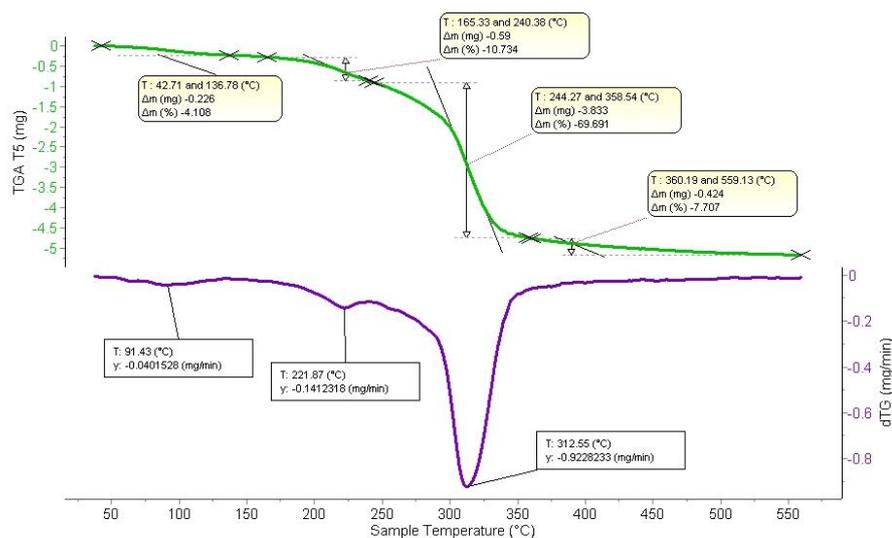


Figura 13. Curva TGA para la muestra del bioplástico del tratamiento (T₅)

En el cuadro 17 se puede observar las zonas y las variaciones de la temperatura en el bioplástico correspondiente al tratamiento 8.

Cuadro 17. Resultados termogravimetría bioplástico T₈

Zonas	Temperatura inicial	Temperatura Max. De descomposición	Temperatura final	Δ masa (mg)	Δ masa (%)
Primera	44.90 °C	89.58 °C	126.94 °C	0.166	3.2
Segunda	141.19 °C	203.26 °C	255.94 °C	0.726	13.967
Tercera	258.68 °C	314.69 °C	356.98 °C	3.168	60.922
Cuarta	358.58 °C	-----	556.47 °C	0.349	6.706

En la Figura 14, se muestra el termograma TGA para la muestra de bioplásticos T₈. En ella se puede visualizar la curva de descomposición o degradación del bioplástico por efecto de la temperatura a partir de su pérdida de masa llevado a cabo desde los 44.9°C hasta los 556.47°C.

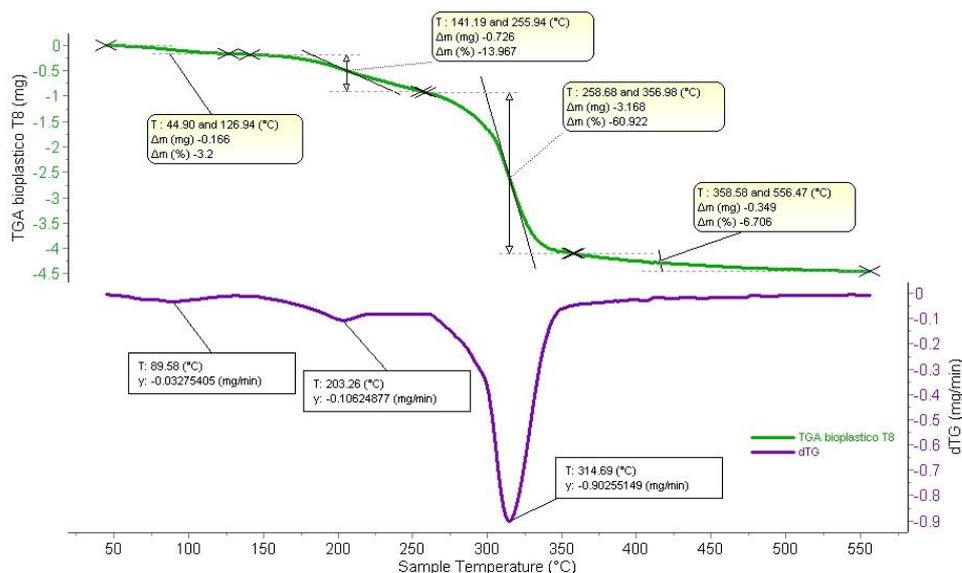


Figura 14. Curva TGA para la muestra del bioplástico del tratamiento (T₈)

Los resultados en las figuras y los cuadros anteriores nos muestran la descomposición de los biopolímeros correspondientes a los tratamientos T₅ y T₈ en una proporción de temperatura 244.27 °C y 358.54 °C.

En los termogramas de las figuras 13 y 14 también se observa 3 etapas de degradación la primera entre las temperaturas 42.71 °C y 165.33 °C donde se eliminan compuestos y se produce la evaporación del agua a 100 °C. Estos resultados concuerdan con Patnaik, *et al.*, (2020), La primera etapa corresponde a la deshidratación donde el agua unida a la muestra se evapora. En ella se pierde menos del 6% en peso. Tal afirmación lo respalda Ruiz (2005),

mencionando que a 57°C se eliminan compuestos de bajo molecular y a 100 °C el agua.

Ambos tratamientos contienen glicerina en el mismo porcentaje, la cual tiene su punto de ebullición a los 150°C, sin embargo, en los termogramas T₅ y T₈ muestran temperaturas de 141.19 °C y 165.33 °C respectivamente. Los contenidos de amilosa y amilopectina en dichos tratamientos varían, T₅ elaborado con almidón de yuca que contiene 17% de amilosa mientras que el T₈ elaborado con almidón de maíz que contiene 28% de amilosa, con esto podríamos decir que el T₅ utilizo menor temperatura para degradar la interacción de la amilosa con la glicerina. Ruiz (2006), menciona que la amilosa se degrada a temperatura menor por ser una estructura más lineal.

(Amin, *et al.*, 2019), En su investigación al comparar el tiempo y temperatura de degradación de un bioplástico de almidón de maíz y otro bioplástico compuesto por dióxido de titanio se puede concluir que el bioplástico de almidón aumenta la temperatura de descomposición al agregar TiO₂ así como indica que el bioplástico compuesto tiene una mayor estabilidad térmica en comparación con bioplástico simples de almidón de maíz.

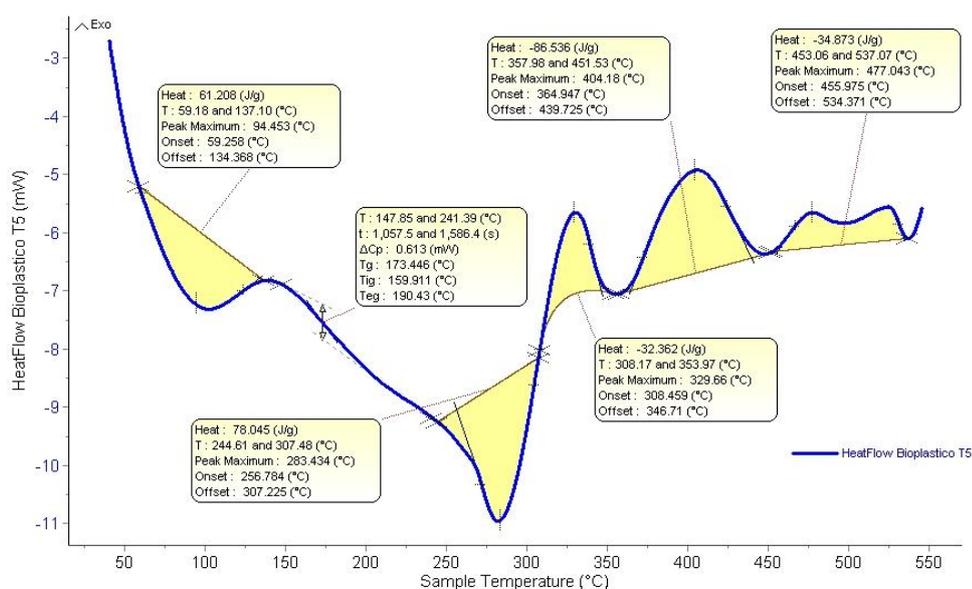
4.5. Caracterización mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC)

Los bioplásticos correspondientes a los tratamientos T₅ y T₈, fueron caracterizados mediante análisis térmico DSC, cuyos resultados se aprecian en las curvas de la Fig. N°15 y N°16.

Cuadro 18 Resultados calorimetría Diferencial de Barrido en Bioplástico

T₅

Zonas	Tipo de reacción	Temperatura Inicial (Onset)	Temperatura pico máximo	Temperatura final (Offset)	Calor (J/g)
Primera	Endotérmica	59.258 °C	94.453 °C	134.368 °C	61.208
Segunda	Endotérmica	256.784 °C	283.434 °C	307.225 °C	78.045
Tercera	Exotérmica	308.459 °C	329.66 °C	346.71 °C	-32.362
Cuarta	Exotérmica	364.947 °C	404.18 °C	439.725 °C	-86.536
Quinta	Exotérmica	455.975 °C	477.043 °C	534.371 °C	-34.873

Figura 15. Termogramas del bioplástico T₅ obtenidos por DSC

Cuadro 19. Resultados calorimetría Diferencial de Barrido en Bioplástico

T₈

Zonas	Tipo de reacción	Temperatura Inicial (Onset)	Temperatura pico máximo	Temperatura final (Offset)	Calor (J/g)
Primera	Endotérmica	48.561 °C	90.726 °C	128.155 °C	55.284
Segunda	Endotérmica	267.637 °C	288.632 °C	307.38 °C	56.874
Tercera	Exotérmica	309.281 °C	330.979 °C	353.293 °C	-76.515

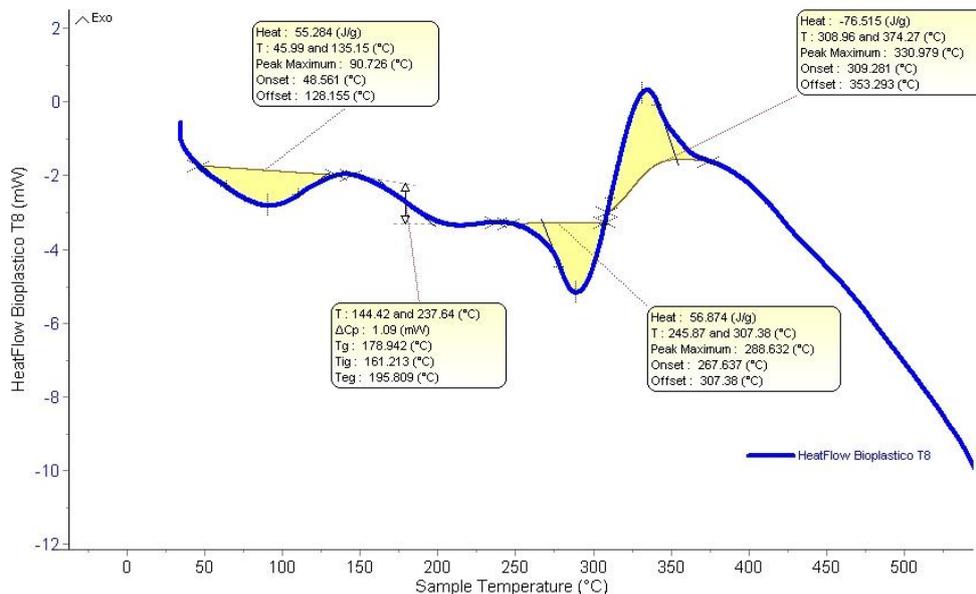


Figura 16. Termogramas del bioplástico T₈ obtenidos por DSC

En las figuras N° 15 y 16, se observan los perfiles obtenidos a partir de los ensayos de DSC para las muestras de bioplásticos T₅ y T₈, son muy distintos esto debido a su composición. Podemos observar que en el tratamiento T₅ el perfil tiene mayor cantidad de picos exotérmicos y solo 2 picos endotérmicos, este tratamiento tiene como compuesto mayoritario al almidón de Yuca con 10 gr.

Mientras que el T₈ tiene 2 picos endotérmicos al inicio y un pico exotérmico al final, este tratamiento tiene como compuesto mayoritario al almidón de maíz con 10 gr y todos los demás parámetros igual al T₅.

Las curvas calorimétricas de las muestras T₅ y T₈ del bioplástico elaborado, presentan picos endotérmicos alrededor de los 100 °C propios de la vaporización del agua contenida en los bioplásticos. En el siguiente pico de absorción corresponde a 2 fenómenos esto lo puede explicar mejor Granda y Ramos (2019), quien menciona que el primero de ellos correspondería a una

transformación por descomposición del almidón, pues esta toma lugar a partir de los 200°C cuando se comienzan a romper los enlaces de glucosídicos de los anillos de glucosa del almidón, y en segundo lugar y más notorio el efecto por causa de la vaporización de la glicerina que al alcanzar la temperatura de ebullición en 285°C.

La técnica de DSC ha sido ampliamente utilizada como técnica de caracterización de almidones de diferentes orígenes. Patnaik, *et al.*, (2020), nos menciona el caso del almidón de maíz, el cambio de capacidad calorífica suele ser más débil que la de los polímeros convencionales, por lo que es difícil medir la Tg mediante DSC. (Jacobs y Delcour, 1998) afirma que la amilopectina es la responsable de la estructura del gránulo de almidón, el cual consiste en áreas cristalinas (cristales, micelas) y no cristalinas (amorfas, fase gel). El almidón presenta un grado de cristalinidad entre 20-40%. Amin, *et al.*, (2019), Menciona que en el termograma DSC del bioplástico, hay 2 picos presentes entre 250°C y 330 °C estos picos se han impuesto a la fusión del cristalizado amilopectina y amilosa cocrystalizada.

4.6. Microscopia electrónica de barrido

En la figura N° 17, podemos observar las micrografías del T₅ que contiene como parte de su composición 10 gr de almidón de yuca, en estas micrografías podemos observar algunas burbujas de aire y gránulos enteros de almidón, lo cual puede deberse a una dispersión pobre de los gránulos de almidón en la glicerina. Amin *et al.* (2019), respalda lo mencionado Características de la superficie consisten en gránulos (la parte restante de la partícula de almidón), esto quiere decir que el almidón no se gelatinizó completamente durante el proceso de elaboración.

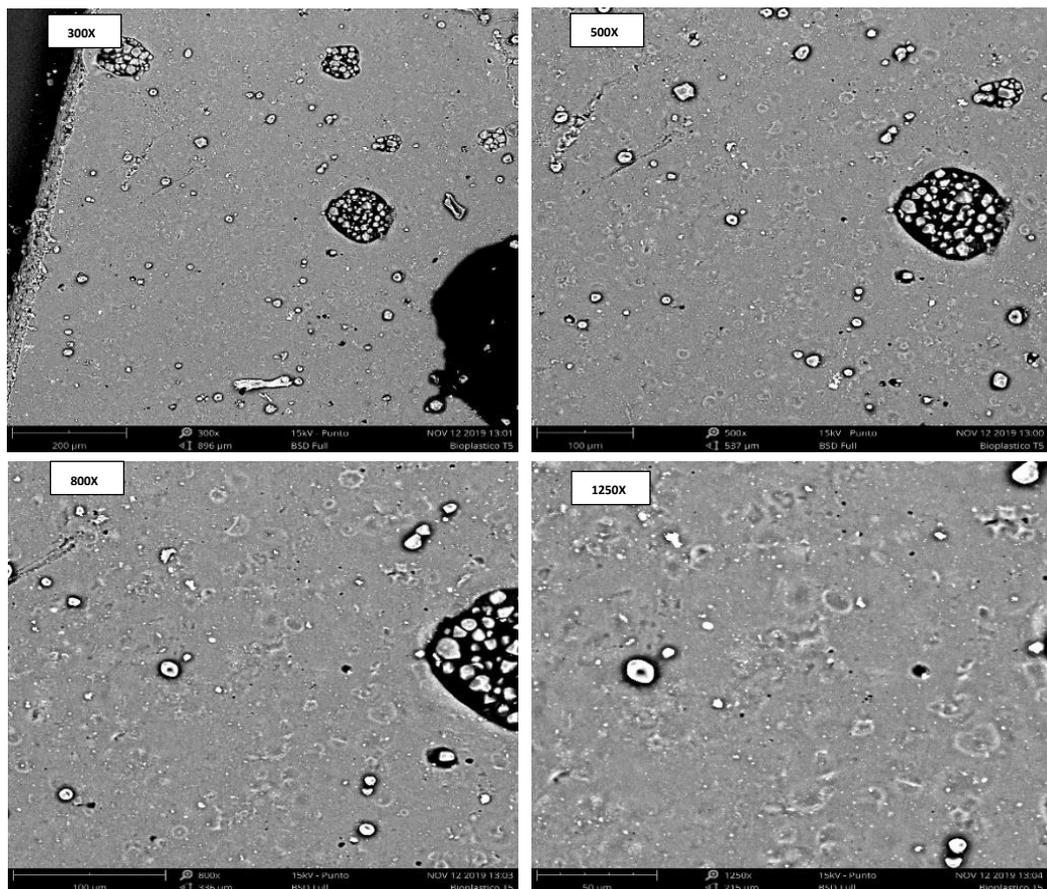


Figura 17. Micrografías del bioplástico del tratamiento T₅

Podría deberse al bajo contenido de amilosa presente en el almidón de yuca, ya que, según Li *et al.* (2011). menciona que el glicerol y el sorbitol son plastificantes conocidos por su fuerte interacción con el almidón a una escala molecular, debido a la formación de enlaces de hidrógeno con las macromoléculas de almidón específicamente la amilosa.

En la figura N° 18, se observan las micrografías correspondientes al T₈ que contiene como parte de su composición 10 gr de almidón de maíz en la que observamos los gránulos de almidón de maíz que presentan la morfología de tipo poliédrica o angular y su tamaño varió entre 10 y 20 µm, que coincide con lo observado por (Sandhu y col 2004).

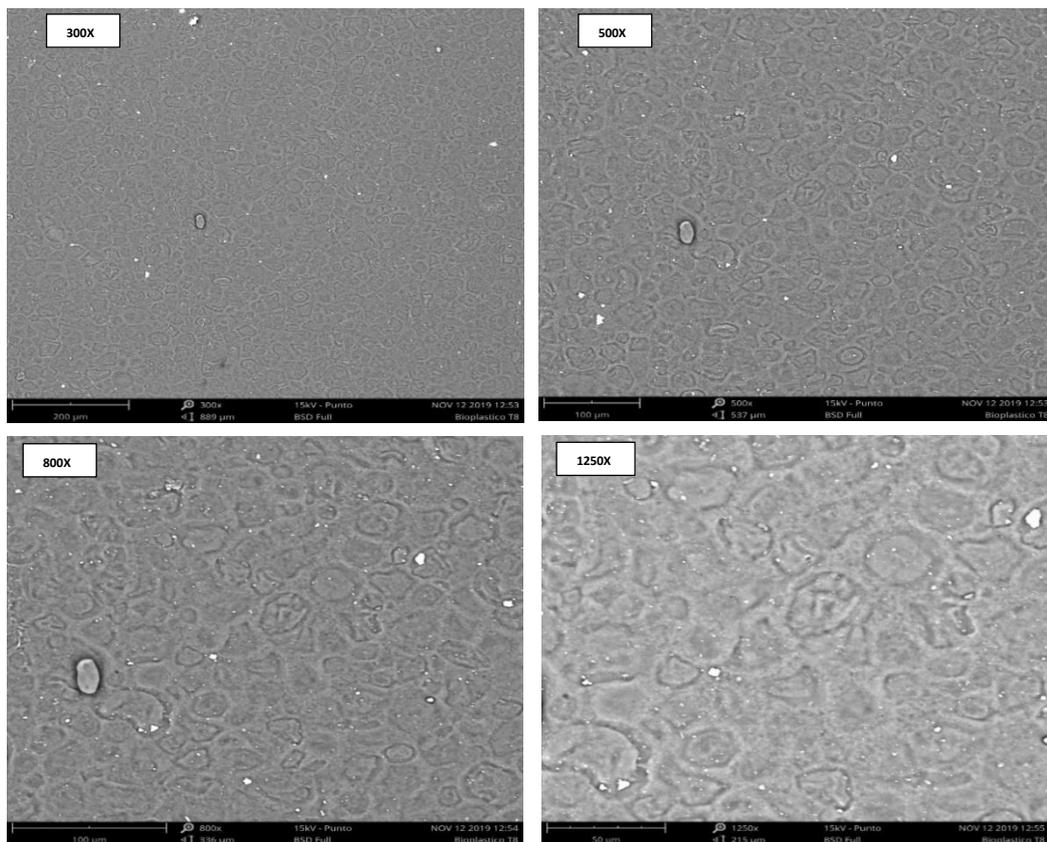


Figura 18. Micrografías del bioplástico del tratamiento T₈

En las micrografías se puede observar la ausencia de gránulos de almidón, podríamos decir que se llevó a cabo la plastificación y desestructuración del granulo de almidón. Esto debido a que se integraron bien la glicerina con el almidón durante la elaboración del bioplástico. Castaño *et al.* (2012), Menciona que los plastificantes promueven la fragmentación y la desestructuración de los gránulos de almidón, ya que al difundirse en el grano reducen los enlaces de hidrogeno inter e intramoleculares de las cadenas de amilosa y amilopectina, de tal manera que plastifican las cadenas de almidón durante el mezclado con altos esfuerzos de corte.

4.7. Biodegradación

Los bioplásticos elaborados fueron recortados 2.5 cm x 2.5 cm se tomaron 3 repeticiones por cada tratamiento, como se muestra en la Figura 19, las cuales fueron acondicionadas en unas mallas para que se evite la perdida de muestra, se enterraron y se mantuvieron a temperatura ambiente con humedad constante ya que se le regaba 2 veces al día.

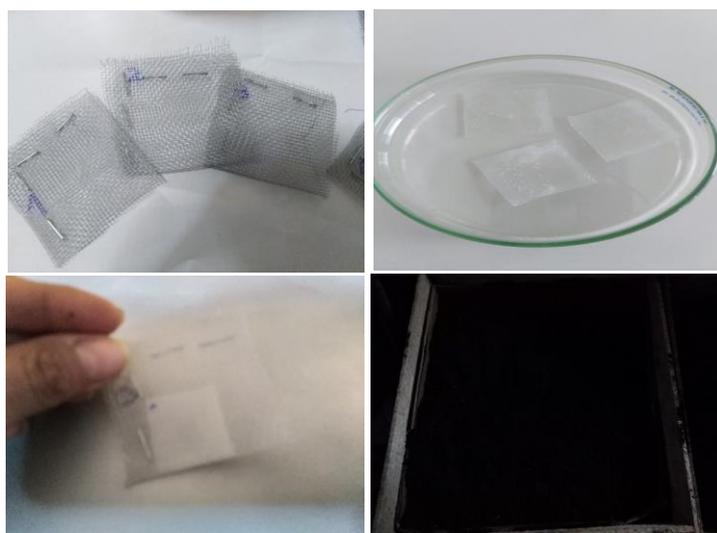


Figura 19. Muestras de bioplástico acondicionadas para el análisis de biodegradabilidad

Se pesaron y fotografiaron a los 0, 15, 30, 45 y 60 días. En la Figura 20, se muestra las imágenes obtenidas durante el tratamiento de biodegradabilidad.

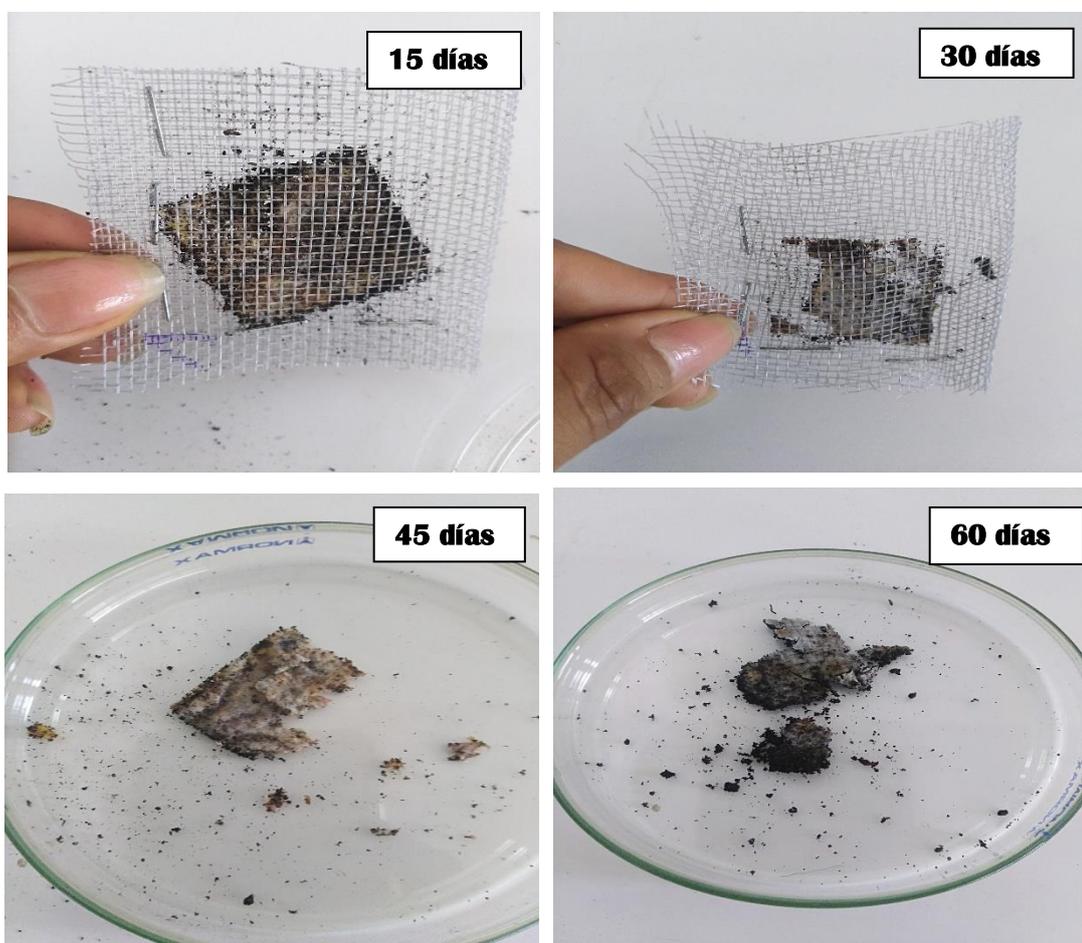


Figura 20. Fotografías de los bioplásticos al transcurrir los 15, 30, 45 y 60 días de evaluación

En la figura 20 se observa las fotografías que se tomaron durante la inspección visual a los 15, 30, 45 y 60 días en ellas podemos ver los cambios ocurridos durante los días que estuvieron enterrados con el compost y con factores controlados. Se observa que el compost se adhirió a las muestras de bioplásticos ayudando así a la proliferación de microorganismos y por ende a su degradación. Ruggero *et al.* (2020), experimentó lo mismo al extraer su muestra a los 5 días las piezas de bioplástico el material presentaba signos de erosión y

la materia orgánica permaneció fuertemente adherida a los bioplásticos, fomentando así el intercambio de microorganismos.

En el cuadro 20, se puede observar una considerable disminución en peso en los tratamientos T₅ con 0.0032 gr y T₈ con 0.0072 gr ambos a los 60 días.

Cuadro 20. Pesos de los bioplásticos sometidos a la prueba de biodegradabilidad

VARIACION DE PESOS (gr)								
días	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈
0	0.1479	0.1333	0.1892	0.1423	0.1417	0.1269	0.1468	0.1456
15	0.1012	0.0995	0.1447	0.0938	0.0504	0.0732	0.0600	0.0448
30	0.0753	0.0754	0.1032	0.0723	0.0321	0.0765	0.0530	0.0389
45	0.0365	0.0523	0.0857	0.0432	0.0156	0.0575	0.0432	0.0185
60	0.0162	0.0265	0.0541	0.0210	0.0032	0.0374	0.0312	0.0072

La norma ASTM D 5488-944 define la biodegradabilidad como la capacidad de degradación de un material por acción enzimática y de microorganismos Meneses, *et al.*, (2007), Los parámetros que se deben de tener en cuenta son el tiempo y las condiciones en las que se lleva a cabo la degradación. Zoungranán *et al.* (2020), afirma que la biodegradabilidad se puede mejorar significativamente controlando algunos factores como temperatura, humedad y microorganismos.

En esta investigación se usaron factores aerobios y se mantuvo la humedad lo cual concuerda con García, (2015) quien considera que un material

es biodegradable en un medio húmedo tiene que degradarse entre 28 y 60 días o en un medio seco cuando se degrada en 90 días.

Obtuvimos resultados muy buenos ya que demostramos que nuestro bioplástico no solo es biodegradable sino también compostable. Esto quiere decir, que los elementos vuelven a la naturaleza en forma de biomasa, la cual es procesada por microorganismos, hongos y algas, con lo que el material desaparece por completo (Peter, 2020).

Lo interesante es que si adicionamos extracto de algún mate el tiempo de biodegradabilidad sea mínimo como lo ocurrido por Garces y Hernandez (2020), donde el bioplástico de almidón de maíz con glicerol y concentraciones de extracto de yerba mate (0,5 y 20 %), el extracto condujo a una disminución en el tiempo de degradación de las películas en suelo compostado, asegurando su completa biodegradabilidad antes de 2 semanas.

V. CONCLUSIONES

- Se determinó sus propiedades mecánicas como el espesor obteniendo como resultado promedio 0.16mm, tensión a la tracción dando resultados 0.3133 MPa y 0.2500 MPa correspondientes a los tratamientos T5 y T8 respectivamente, se determinó propiedades químicas de los bioplásticos mediante la espectroscopia RAMAN se obtuvo un número de onda 2911,26 cm^{-1} para el tratamiento T5 la cual está compuesta por almidón de yuca, mientras que el tratamiento T8 obtuvo un número de onda 2908,45 cm^{-1} compuesta por almidón de Maíz, las propiedades morfológicas del bioplástico se evaluaron por microscopia electrónica demostrando que en el tratamiento 8 se logró una buena plastificación y desestructuración del granulo de almidón, gracias a la interacción de la glicerina con la amilosa presente en el almidón de maíz, propiedades térmicas demostrando tener mayor estabilidad térmica el bioplástico correspondiente al tratamiento 5 debido a que está compuesta en su mayoría de almidón de yuca la cual tiene un 83% de amilopectina siendo responsable mayoritario de la estructura del granulo de almidón.
- Se determinó el contenido de antioxidantes en los bioplásticos con los métodos ABTS° y DPPH obteniendo resultados favorables en los

tratamientos T₅ y T₈ con 174,48493 y 183,96152 uM TEAC/100g respectivamente.

- Se evaluó el tiempo de degradación de los 8 tratamientos del bioplástico obtenido a los 0, 15, 30 y 60 días, demostrando ser capaces de degradarse en condiciones aeróbicas, a temperatura ambiente y conservando la humedad obteniendo como mínimo peso 0.0032 gr. correspondiente al tratamiento 5.

VI. RECOMENDACIONES

- Los bioplásticos son productos que necesitan ser aún más investigados y ser prioridad para las autoridades, pues existen bioplásticos que no se degradan rápidamente ni son compostables debido a que generan micropartículas que a la larga llegan a contaminar el ambiente.
- Hacer pruebas para evaluar su vida útil y ver los cambios al transcurrir el tiempo, si lo usáramos como recubrimiento comestible y envases para germinar semillas.
- Elaborar bioplásticos usando extractos naturales que puedan mejorar sus propiedades físicas, químicas y mecánicas.
- - Diseñar un proyecto para una planta de producción de bioplásticos a base de almidón, debido a que se producen a partir de recursos de bajos costos y con métodos de producción más sencillos, son más económicos que los de algunos polímeros sintéticos por lo que esta idea de negocio es prometedora.
- Realizar estudios de biodegradabilidad donde se sometería los bioplásticos y envases biodegradables a distintos medios de degradación.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amin, M., Asaduzzaman Chowdhury, M., Kowser, A. (2019). Characterization and performance analysis of composite bioplastics synthesized using titanium dioxide nanoparticles with corn starch.

DOI: 10.1016/j.heliyon.2019.e02009

AOAC. (2000). Official Methods of Analysis, 17th ed. Association of Official Analytical Chemistry, Washington

ASTM D 638. (2010) Standard test method for tensile properties of plastics.

Blas, J., (2019). Detección de almidón en leche en polvo basado en espectroscopia Raman y mínimos cuadrados parciales. Universidad nacional de Trujillo- Escuela de ingeniería agroindustrial. <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/agroindsience>.

Castaño, J., Bouza, R., Rodríguez- Llamazares, S., Carrasco, C., Vinicius, R. (2012). Processing and characterization of starch-Based materials from pehuén sedes (*Araucaria araucana* (Mol) K Koch). *Carbohydrate Polymers*, 88, 299-307.

Cerruti, P.; Santagata, G.; Gomez D'ayala, G.; Ambrogi, V.; Carfagna, C.; Malinconico, M.; Persico, P. (2011). Effect of a natural polyphenolic extract on the properties of a biodegradable starch-based polymer. *Polymer Degradation and Stability*, v. 96, p. 839-846.

Cohen, N.; Gomez, G. (2019). *Metodología de la investigación*, v. 1, p. 56

UNEP (2018). SINGLE-USE PLASTICS: A Roadmap for Sustainability. Dato correspondiente al año 2015

De Moraes Bertuzzi R., Franchini E., Kokubun E., Peduti Dal Molin M. (2007). Energy system contributions in indoor rock climbing. 2007. European Journal of Applied Physiology 101(3):293-300. DOI:10.1007/s00421-007-0501-0.

European Bioplastics. (2018). Plastic Strategy - Contribution of Bioplastics to a Sustainable Circular Plastics Economy (p.2).

https://docs.europeanbioplastics.org/publications/pp/EUBP_PP_Plastics_Strategy.pdf.

European Bioplastics. (2020). European Bioplastics Facts and figures. Chemical and Engineering News, 50(23), 16. <https://doi.org/10.1021/cen-v050n023.p003>

Fernández, J., Morales, J., Vargas romero, P. (2015). Elaboración de un plan de negocios para determinar la factibilidad de la producción de bioplásticos a partir de papa en contra de la contaminación en Colombia universidad militar nueva granada facultad de ingeniería programa de ingeniería industrial trabajo de grado Bogotá d.c. 2015 pag. 23-28. Tecnologías Sustentables UNAM ZC.

Fritz, H.-G., & Europa-Kommissionen. (1994). Study on production of thermoplastics and fibres based mainly on biological materials. Luxembourg: European Commission

Garces, A., & Hernández Y. (2020). Evaluación de películas poliméricas basadas en almidón de maíz, ácido poliláctico y polivinil alcohol como alternativa

para la sustitución de polímeros convencionales a nivel laboratorio.

Facultad de ingenierías programa de ingeniería química Bogotá d.c.

García Quiñónez, A. (2015). Obtención de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz. Escuela especializada en ingeniería ITCA – FEPADE dirección de investigación y proyección social. El Salvador. Pag 20-26.

Granda, J., Ramos, Y., (2019). Estudio de la resistencia a la tracción y deformación de bioplásticos obtenidos a partir de almidón de *solanum tuberosum* a diferentes porcentajes de plastificante”. Universidad nacional de Trujillo. P 49 – 56.

Guerrero García, L. (2020). Grado de biodegradabilidad del bioplástico elaborado con almidón de plátano verde (*Musa paradisiaca L.*) Universidad nacional de jaén. Perú.

Goheen, S. & Wool, R. (1991). Degradation of polyethylene–starch blends in soil. Journal of applied polimer science.

<https://doi.org/10.1002/app.1991.070421007>

Holguin, J. (2019). Obtención de un bioplástico a partir de almidón. Universidad de américa facultad de ingeniería química. Bogotá D.C. p 67 – 91.

Jacobo, S; Gonzales, F; Perez, E; Rojas, R. 2013. Fundamentos teóricos y metodológicos para la investigación científica en ciencias agrarias. Huánuco, Perú. 204 p.

Jacobs, H., & Jan A. (1998). Hydrothermal Modifications of Granular Starch, with Retention of the Granular Structure Delcour Cite this: *J. Agric. Food Chem.* 1998, 46, 8, 2895–2905.

<https://doi.org/10.1021/jf980169k>

- Laohakunjit, N., & Noomhorm, A. (2004). *Effect of Plasticizers on Mechanical and Barrier Properties of Rice Starch Film*. *Starch - Stärke*, 56(8), 348–356.
DOI:10.1002/star.200300249
- Li, M., Liu, P., Zou, W., Yu, L., Xie, F., Pu, H., Liu, H. & Chen, L. (2011). Extrusion processing and characterization of edible starch films with different amylose contents. *Journal of Food Engineering*, 106 (1), 95-101.
- Li, H., & Huneault, M. (2011). Comparison of sorbitol and glycerol plasticizers for thermoplastic starch in TPS/PLA blends. *Journal of Applied Polymer Science*, 119, 2439-2448.
- Mali, S.; Sakanaka, L.S.; Yamashita, F. & Grossmann, M.V.E. (2005) .Water sorption and mechanical properties of cassava starch films and their relation to plasticizing effect. *Carbohydrate Polymers*, v.60, p.283-289.
- Mali, S., Karam, L., Pereira Ramos, L., Grossmann, M. (2004). Relationships among the Composition and Physicochemical Properties of Starches with the Characteristics of Their Films. *J. Agric. Food Chem.* 2004, 52, 25, 7720–7725
<https://doi.org/10.1021/jf049225+>
- Meneses, J., Corrales, C., Valencia, Marco. (2007). Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. *Rev.eia.esc.ing.antioq No. 8 envidado july/dec. 2007*
- MINAM. (2018). Conservatorio sobre la reducción del consumo de bolsas plásticas en el Perú, organizado por la Sociedad Peruana de Derecho Ambiental (SPDA).

<https://www.minam.gob.pe/notas-de-prensa/minam-el-plastico-representa-el-10-de-todos-los-residuos-que-generamos-en-el-peru/>

MINAM. (2019). Ley N° 30884 regula consumo de bienes de plástico de un solo uso que generan riesgo para la salud pública y/o el ambiente

<https://sinia.minam.gob.pe/novedades/ley-ndeg-30884-regula-consumo-bienes-plastico-un-solo-uso-que-generan>.

Monterrey Quintero, E., & Do Amaral Sobral, P. (2000). Preparo e caracterização de proteínas miofibrilares de tilápia-do-nilo para elaboração de biofilmes.

Pesquisa Agropecuária Brasileira, 35(1), 179–189.

Doi:10.1590/s0100-204x2000000100020

Nga Tran, T., Mai, B., Setti, C., Athanassiou A. (2020). Transparent Bioplastic Derived from CO₂-based Polymer Functionalized with Oregano Waste Extract towards Active Food Packaging *ACS Appl. Mater. Interfaces*, Just Accepted Manuscript

DOI: 10.1021/acsami.0c12789.

Ospina B, y Ceballos H. (2002). La yuca en el tercer milenio, Centro internacional de agricultura tropical Cali Colombia. Publicación CIAT N° 327.

<https://orcid.org/0000-0002-8744-7918>

Patnaik, S., Panda, A., Kumar, S. (2020). Thermal degradation of corn starch based biodegradable plastic plates and determination of kinetic parameters by isoconversional methods using thermogravimetric analyzer. Department of Chemistry, Veer Surendra Sai University of Technology, Burla, 768018, Odisha, India.

- Peinado, M., (2015). Estudio de la biodegradabilidad y desintegración de películas a base de almidón y PVA que incorporan diferentes sustancias antimicrobianas. Universidad politécnica de Valencia. P 29 – 33.
- Peter. (2020). ¿Sabes qué son los bioplásticos y qué cualidades tienen? *Revista Biodegradable Ammunition*. Recuperado de <https://bioammo.es/es/los-cartuchos-de-bioammo-estan-elaborados-con-bioplasticos>.
- Piñeros-Hernandez, D.; Medina-Jaramillo, C.; López-Córdoba, A.; Goyanes, S. (2017). Edible cassava starch films carrying rosemary antioxidant extracts for potential use as active food packaging. *Food Hydrocolloids*, v. 63, p. 488-495.
- Rafferty, D., & Koenig, J. (2002). FTIR imaging for the characterization of controlled-release drug delivery applications. *J. Control Release*, 83, 29-39.
- Ramírez Ortega, C. (2021). Desarrollo de un envase térmico biodegradable a base de harinas de cascarilla de (*Oryza sativa*), cáscara de mango (*Mangifera indica*) y almidón de yuca (*Manihot esculenta*). Universidad católica de Santiago de Guayaquil.
- Rojas, A. (2017). Reducción de la DGO del agua del río Lacramarca mediante el proceso de electrocoagulación, chimbote-2017” universidad cesar vallejo facultad de ingenieria. trujillo.
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/22506>
- Ruiz, G. (2006). Obtención y caracterización de un polímero biodegradables a partir del almidón de yuca. *Ingeniería y ciencia*. ISSN 1794-9165 volumen 2. Pag 5 -28.

Ruggero, F., Carretti, E., Gori R., Lotti, T., Lubello, C. (2020). Monitoring of degradation of starch-based biopolymer film under different composting conditions, using TGA, FTIR and SEM analysis. Department of Civil and Environmental Engineering, University of Firenze, Italy
www.elsevier.com/locate/chemosphere.

Sandoval Moreira, M. (2014). estudio de la biodegradación de bolsas oxo-biodegradables utilizando compost maduro seco, con aireación y simulando condiciones ambientales de humedad y temperatura de un relleno sanitario ubicado en la costa ecuatoriana. universidad politécnica salesiana sede Quito- Ecuador.

Sandhu, K. S., Singh, N. & Kaur, M. (2004). Characteristics of the different corn types and their grain fractions: physicochemical, thermal, morphological, and rheological properties of starches. *Journal of Food Engineering*, 64, 119-127.

Sobral, P. (2000). Characterization of Some Funtional Properties of Edible films Based on Muscle proteins of Nile Tilapia. *Food Hydrocolloid*. 17(4):419-427.

Surveswaran, S., Yi-Zhong, C., Corke, H., Sun, M. (2006). Systematic evaluation of natural phenolic antioxidants from 133 Indian medicinal plants *
Departments of Botany and Zoology, The University of Hong Kong, Pokfulam Road, Hong Kong.

DOI:10.1016/j.foodchem.2006.06.033

- Trujillo Rivera, C. (2014). Obtención de películas biodegradables a partir de almidón de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) doblemente modificado para uso en empaque de alimento.
- Van Soest, J. G. & Johannes, F. G. (1997). Vliegenthart Crystallinity in starch plastics: consequences for material properties. Trends in biotechnology. Volume 15, Issue 6, June 1997, Pages 208-213
[https://doi.org/10.1016/S0167-7799\(97\)01021-4](https://doi.org/10.1016/S0167-7799(97)01021-4)
- Valero, M., Valdivieso, Y., Uscategui, Y., (2013). Biopolímeros: avances y perspectivas. Recibido para revisar mayo 16 de 2011, aceptado Junio 4 de 2013.
- Venkatachalam, H., & Palaniswamy, R. (2020). Bioplastic World: a Review. ... of Advanced Scientific, 11(3), 43–53.
http://www.sciensage.info/journal/1359303580JASR_3006121.pdf
- Wang, E. A., Hong, C. S., Shavat, S., Kessell, E. R., Sanders, R., & Kushel, M. B. (2013). Wang et al. Respond. American Journal of Public Health, 103(6), e6–e7. doi:10.2105/ajph.2013.301363
- Wolfe, D. (1996). *Química General Orgánica* – Editorial. McGraw Hill – segunda edición –México. p.432, 433.
- Ziani, K. Osés, J., Coma, V., Maté, J. (2007). Effect of the presence of glycerol and Tween 20 on the chemical and physical properties of films based on chitosan with different degree of deacetylation. LWT - Food Science and Technology 41 (2008) 2159e2165
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.11.023>

Zounggran, Y., Lynda E., Dobi-Brice, K., Tchirioua E., Bakary, C., Yannick, D. (2020). Influence of natural factors on the biodegradation of simple and composite bioplastics based on cassava starch and corn starch Biological Sciences Departamento of Chemistry, University Nangui Abrogoua. www.elsevier.com/locate/jece

ANEXOS

ANEXO 1. LECTURAS DE LAS PROPIEDADES MECANICAS

Figura 21. Micrómetro usado para determinar el espesor

Cuadro 21. Lectura de tensión a los 8 tratamientos del bioplástico

TENSION MPa	
T1	0.24
T2	0.21
T3	0.21
T4	0.23
T5	0.31
T6	0.23
T7	0.22
T8	0.25



Figura 22. Prueba para determinar la resistencia a tracción

ANEXO 2. ESPECTROS DE IDENTIFICACION RAMAN

Cuadro 22. Características del análisis del de identificación al 93.49% por RAMAN

Nombre	Valor
Resultado HQI	93.49
Abreviatura base de datos	RHX
Título de base de datos	Raman – Forensic - HORIBA
Registro ID	568
Nombre	Almidón
Número de registro CAS	9005-25-8
Clasificación	polímero
Formula	$C_6H_{10}O_5$
Nombre del instrumento	HORIBA
Potencia de laser RAMAN	632.8
Fuente de muestra	Jobin Yvon
Fuente de espectro	HORIBA Scientific
Tipo de sustancia	p-(saccaride; p-(carbohydrate)

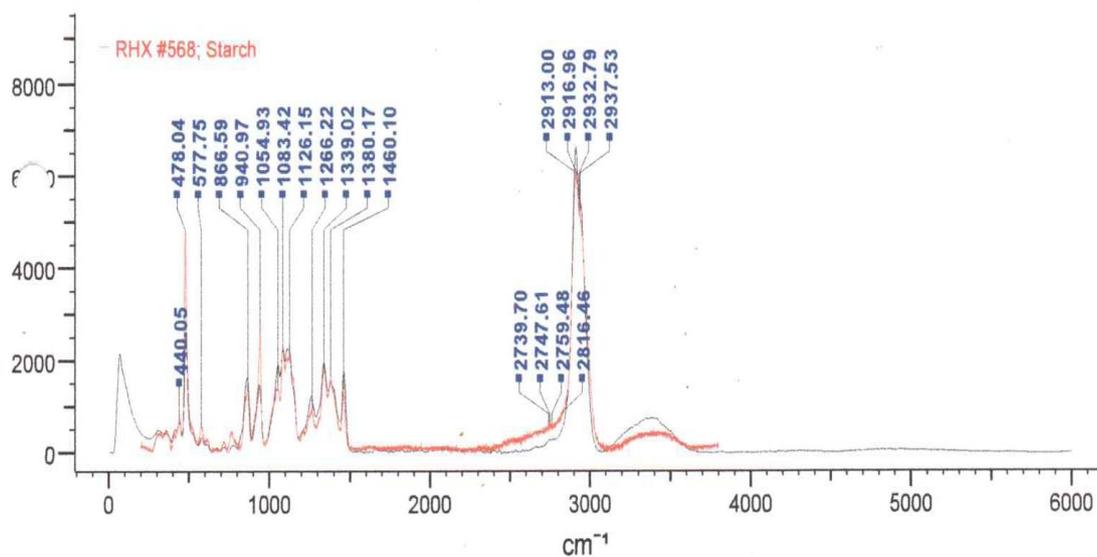


Figura 23. Espectro de bioplástico T₅ obtenido por espectrofotometría RAMAN identificado al 93.49%

Cuadro 23. Características del análisis del de identificación al 88.44% por RAMAN

Nombre	Valor
Resultado HQI	88.44
Abreviatura base de datos	RHX
Título de base de datos	Raman – Forensic - HORIBA
Registro ID	568
Nombre	Almidón
Número de registro CAS	9005-25-8
Clasificación	polímero
Formula	$C_6H_{10}O_5$
Nombre del instrumento	HORIBA
Potencia de laser RAMAN	632.8
Fuente de muestra	Jobin Yvon
Fuente de espectro	HORIBA Scientific
Tipo de sustancia	p-(saccharide; p-(carbohydrate)

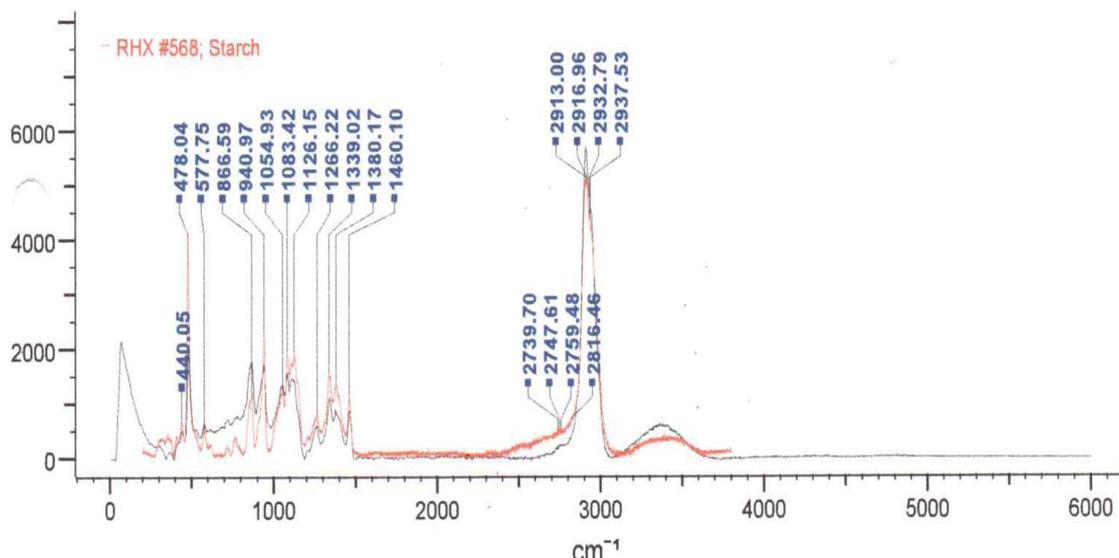


Figura 24. Espectro de bioplástico T₅ obtenido por espectrofotometría RAMAN identificado al 88.44 %

ANEXO 3. PANEL FOTOGRAFICO

Figura 25. Elaboración de la mezcla filmogénica

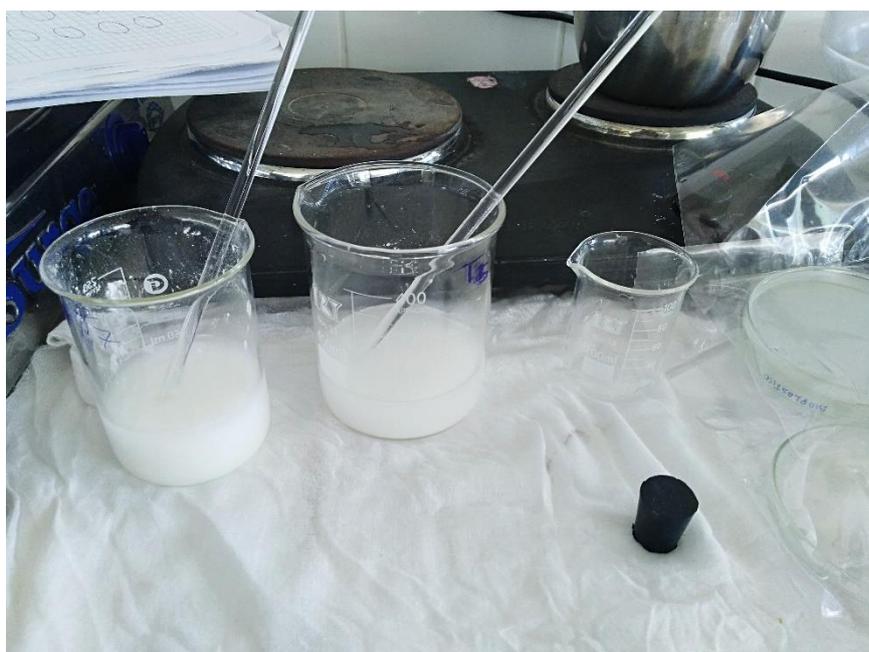


Figura 26. Mezcla en enfriamiento



Figura 27. Moldeado en las placas Petri.



Figura 28. Placas listas para el secado



Figura 29. Placas en la estufa.



Figura 30. Parámetros establecidos en la estufa



Figura 31. Muestras filtradas para las lecturas de la capacidad antioxidante

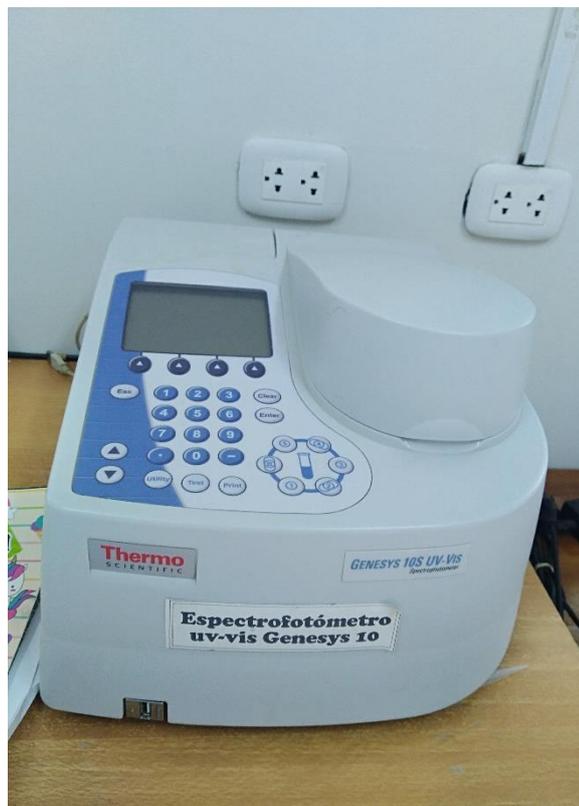


Figura 32. Espectrofotómetro utilizado



Figura 33. Muestras recortadas para la prueba de biodegradabilidad

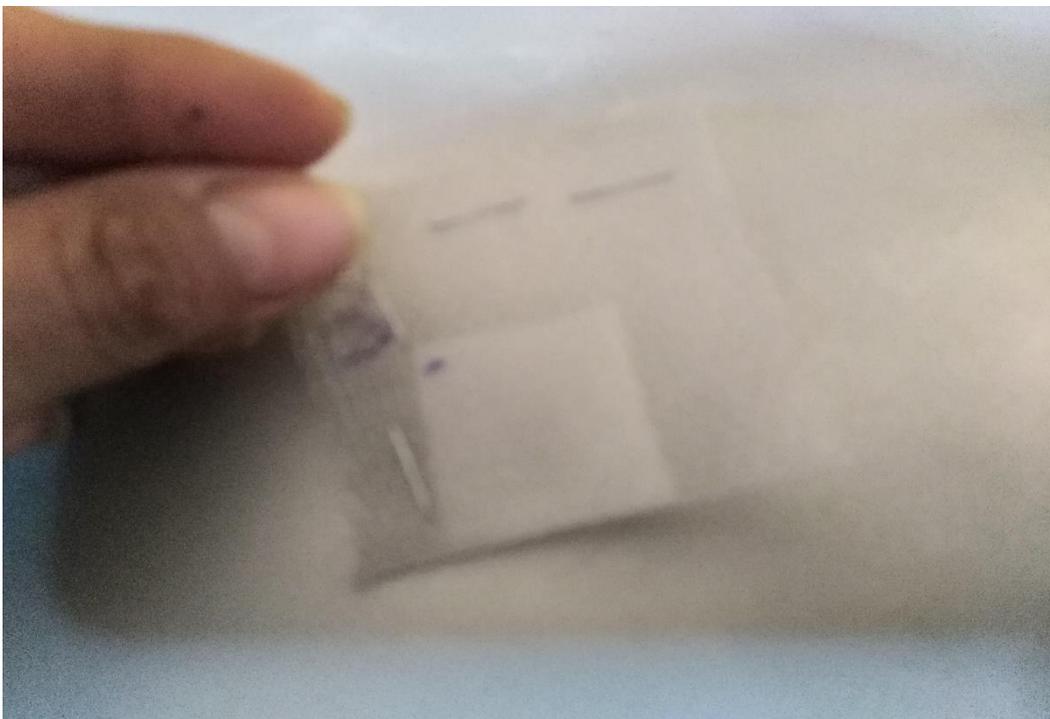


Figura 34. Muestras acondicionadas en unas mallas



Figura 35. Muestras en los recipientes



Figura 36. Enterramiento de las muestras en el compost



Figura 37. Muestra extraída para su primera evaluación

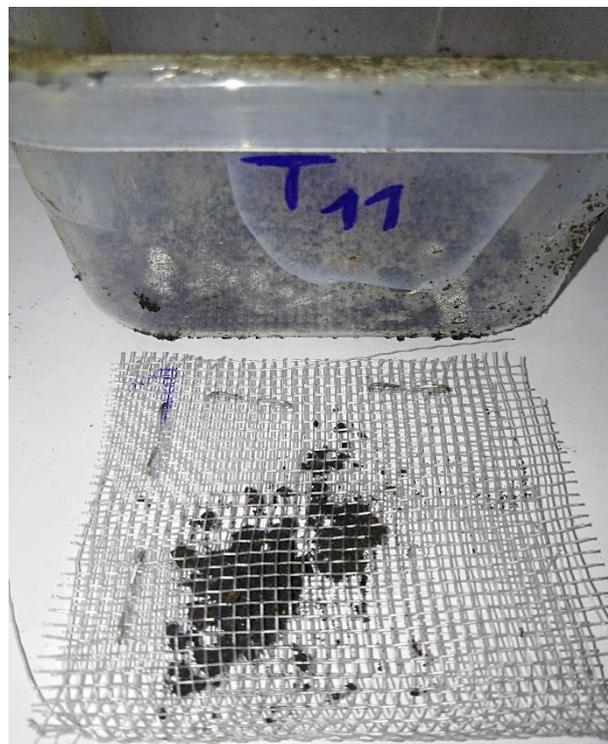


Figura 38. Muestra extraída para su última evaluación