

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA**  
**MENCIÓN GESTIÓN AMBIENTAL**



**OBTENCIÓN DE PLÁSTICOS BIODEGRADABLES A PARTIR DE RESÍDUOS  
DE LA MAZORCA DE CACAO (*Theobroma cacao L.*)**

**Tesis**

**Para optar el Grado Académico de:**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA,  
MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL**

**LIZINKA GIANELLA DELIA SARAVIA DAVILA**

**Tingo María – Perú.**

**2022**




**ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS**  
**Nro. 009-2022-UPG-FRNR-UNAS**


En la ciudad universitaria, siendo las 04:00 p.m. del jueves 12 de mayo de 2022, reunidos virtualmente vía Microsoft Teams, se instaló el Jurado Calificador a fin de proceder a la sustentación de la tesis titulada:

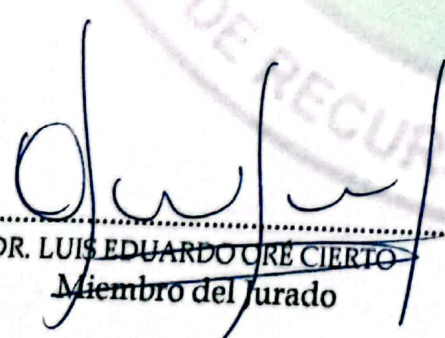
**"OBTENCIÓN DE PLASTICOS BIODEGRADABLES A PARTIR DE RESÍDUOS DE LA MAZORCA DE CACAO (Theobroma cacao L.)"**

A cargo del candidato al Grado de Maestro en Ciencias en Agroecología, mención: Gestión Ambiental **LIZINKA GIANELLA DELIA SARAVIA DAVILA**.

Luego de la exposición y absueltas las preguntas de rigor, el Jurado Calificador procedió a emitir su fallo declarando **APROBADO** con el calificativo de **BUENO**. Acto seguido, a horas 5:40 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.

  
.....  
Dr. JOSÉ KALION GUERRA LU  
Presidente del Jurado

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

  
.....  
DR. LUIS EDUARDO GRE CIERTO  
Miembro del Jurado

  
.....  
Dr. ROBERTO DÁVILA TRUJILLO  
Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE INVESTIGACIÓN - DGI  
REPOSITORIO INSTITUCIONAL - UNAS  
Correo: [repositorio@unas.edu.pe](mailto:repositorio@unas.edu.pe)



"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

## CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 229- 2023 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

### CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Escuela de Posgrado UNAS

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de investigación	
-------	---	--------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
OBTENCIÓN DE PLÁSTICOS BIODEGRADABLES A PARTIR DE RESÍDUOS DE LA MAZORCA DE CACAO ( <i>Theobroma cacao</i> L.)	LIZINKA GIANELLA DELIA SARAVIA DAVILA	<b>19 %</b> <b>Diecinueve</b>

Tingo María, 17 de agosto de 2023

  
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN  
Dr. Tomas Menacho Mallqui  
DIRECTOR

C.C. Archivo

# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

## ESCUELA DE POSGRADO

### MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA

### MENCIÓN GESTIÓN AMBIENTAL



## OBTENCIÓN DE PLÁSTICOS BIODEGRADABLES A PARTIR DE RESÍDUOS DE LA MAZORCA DE CACAO (*Theobroma cacao L.*)

<b>Autor</b>	: Lizinka Gianella Delia Saravia Davila
<b>Asesor</b>	: Dr. Roberto Davila Trujillo
<b>Programa de Investigación</b>	: Ciencia y tecnologías ambientales
<b>Línea de Investigación</b>	: Tecnología para reducir la contaminación
<b>Eje temático de investigación</b>	: Desarrollo de nuevas tecnologías para reducción de la contaminación ambiental
<b>Lugar de ejecución</b>	: Tingo María
<b>Duración</b>	: Fecha de inicio: marzo 2019 Fecha de término: marzo 2020
<b>Financiamiento</b>	: Propio S/. 4,500.00
<b>Propio</b>	: Sí

## DEDICATORIA

A ti mi Dios me diste la fuerza y las razones para seguir adelante, y salud para lograr mis objetivos y sabiduría para alcanzar esta meta.

A mi Madre Aurora, por su comprensión y ayuda en momentos buenos y malos, por su paciencia, por sus consejos, por ser la motivación constante que me ha permitido ser una persona con valores, principios, perseverante, todo ello con una gran dosis de amor y paciencia.

A mis abuelos Delia y Rosas, que son parte de mí que con su amor me han enseñado a salir adelante. Gracias por su paciencia, gracias por preocuparse, gracias por compartir sus vidas, pero, sobre todo, gracias por estar en todos los momentos importantes de mi vida.

En especial a ti mi niña hermosa Itzel Luanna que, me enseñaste el significado del amor verdadero, te dedico este triunfo, para que con el pasar de los años comprendas que no hay excusas para salir adelante y lograr todas aquellas cosas que te propongas, eres la razón de cada una de mis sonrisas y lo más importante de mi vida, esperando que este peldaño más que subimos juntas sea un ejemplo de superación profesional para ti.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

A la UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA, en especial a los docentes de la Escuela de Posgrado de la especialidad de Ciencias en Agroecología, mención Gestión Ambiental, por brindarme el apoyo necesario para culminar mis estudios de posgrado.

Al Dr. Roberto Davila Trujillo asesor de esta investigación, me brindo su ayuda desinteresada, me brindo orientación y confianza en la realización del presente trabajo, así como en el proceso de mi formación profesional.

A mis familiares que siempre me brindaron su apoyo incondicional y se preocuparon por mí para encaminarme siempre por el buen sendero y en especial gracias hijita mía, madre y abuelos.

Los resultados de este proyecto están dedicados a todas aquellas personas que, de alguna forma, son parte de su culminación.

## ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Antecedentes .....	3
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	3
2.1.1. Antecedentes nacionales.....	6
2.2. Cultivo de cacao .....	8
2.3. Clasificación taxonomica .....	8
2.4. Residuos del procesamiento de la mazorca de cacao .....	8
2.5. Pectinas y sustancias pécticas .....	10
2.6. Fuentes y usos de la sustancia pectina.....	11
2.7. Plásticos y embalajes biodegradables .....	11
2.8. Plásticos de biopolímeros.....	12
2.9. Biodegradable.....	13
2.10. Protocolos de biodegradabilidad ISO 17556.....	17
2.11. Envases biodegradables a partir de cascarillas de cacao.....	18
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
3.1. Lugar de ubicación .....	19
3.2. Materia prima .....	19
3.3. Materiales, equipos y reactivos .....	19
3.3.1. Materiales de laboratorio .....	19
3.3.2. Equipos .....	20
3.3.3. Reactivos .....	21
3.4. Métodos de análisis .....	21

3.4.1. Caracterización biométrica de la cáscara de cacao .....	21
3.4.2. Análisis fisicoquímico .....	21
3.4.3. Análisis químico proximal. ....	21
3.4.4. Análisis de fenólicos y flavonoides totales .....	22
3.4.5. Evaluación de la actividad antioxidante .....	23
3.4.6. Microscopía electrónica de barrido .....	25
3.4.7. Análisis de biodegradabilidad de los bioplásticos.....	26
3.5. Metodología experimental.....	26
3.5.1. Elaboración de harina de mazorca del cacao.....	26
3.5.2. Elaboración de los polímeros biodegradables .....	28
3.6. Análisis de biodegradabilidad de los biopolímeros plásticos.....	30
3.7. Diseño estadístico.....	31
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	32
V. CONCLUSIÓN .....	50
VI. RECOMENDACIONES .....	51
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	52
IX. ANEXOS .....	63



## ÍNDICE DE FIGURA

Figura	Página
1. Curva estándar del Trolox por el método DPPH.....	23
2. Curva estándar del Trolox por el método DPPH.....	24
3. Pantalla de las imágenes adquiridas por el microscopio electrónico de barrido.....	25
4. Diagrama de operaciones para obtener harina de mazorca de cacao .....	27
5. Diagrama de flujo para la obtención de polímeros biodegradables .....	28
6. Fotos del preparo de los polímeros biodegradables .....	29
7. Biodegradabilidad de los plásticos de la mazorca de cacao .....	30
8. Composición química proximal y energética de la biomasa de mazorca de cacao .....	35
9. Diagrama para la obtención de harina de mazorca de cacao .....	36
10. Rendimiento en la obtención de harina a partir de la mazorca de cacao .....	38
11. Composición de los polímeros biodegradables.....	42
12. Composición fenólica y capacidad antioxidante .....	43
13. Morfología microscópica de los polímeros plásticos .....	46
14. Estado de biodegradabilidad de los bioplásticos .....	48
15. Elaboración de harina de mazorca de cacao .....	63
16. Elaboración de harina de mazorca de cacao.....	63
17. Elaboración de harina de mazorca de cacao.....	64
18. Elaboración de harina de mazorca de cacao.....	64
19. Elaboración de harina de mazorca de cacao.....	65

<b>20.</b> Obtención de la harina de la mazorca de cacao.....	65
<b>21.</b> Elaboración de los polímeros biodegradables .....	66
<b>22.</b> Polímeros biodegradables .....	66
<b>23.</b> Estado de biodegradabilidad de los bioplásticos.....	67

## ÍNDICE DE TABLA

Tabla	Página
1. Composición química de la cáscara fresca de Cacao (g/100g).....	10
2. Normativa internacional ISO.....	16
3. Polímeros biodegradables a partir de la mazorca de cacao. ....	29
4. Medidas biométricas del fruto de cacao variedad Criollo.....	32
5. Análisis fisicoquímico de la mazorca de cacao (g/100g de muestra) .....	33
6. Composición químico proximal de la mazorca fresca y harina.....	34
7. Balance y rendimiento en la obtención de harina.....	37
8. Formulación de los Polímeros biodegradables.....	39
9. Composición químico proximal de los polímeros biodegradables.....	41
10. Composición fenólica y capacidad antioxidante de las mazorcas y polímero biodegradables.....	44
11. Biodegradabilidad de los bioplásticos biodegradables de la mazorca de cacao en el medio ambiente.....	47

## RESUMEN

El objetivo de la presente tesis de investigación fue estudiar el acondicionamiento de una biomasa de la mazorca de cacao variedad criollo para la elaboración de plásticos, evaluar la caracterización biométrica, fenólica y antioxidante de la biomasa y de los plásticos biodegradables, evaluar las propiedades morfológicas y el tiempo de biodegradabilidad de los plásticos biodegradables obtenidas de la mazorca de cacao variedad criollo. En este estudio la primera etapa consistió en exponer a la mazorca de cacao en forma de harina muy fina obtenida a través del secado a 65 °C por 24 horas en un secador de bandejas y con una molienda fina a través de un molino de martillo. Para la elaboración de los plásticos biodegradables se formularon utilizando almidón de maíz y mazorca de cacao en forma de harina muy fina, ambos en diferentes concentraciones, así mismo se adicionó moléculas plastificantes como el glicerol, vinagre para proporcionar moléculas de ácido acético y agua, así permanecer constantes las concentraciones de hidrogeniones, para este estudio se formuló cinco tratamientos permaneciendo variable la harina de la biomasa de la mazorca de cacao y el almidón, y constantes las demás moléculas. En los polímeros plásticos obtenidos se evaluaron sus características fisicoquímicas, fenólicos, antioxidantes, morfología microscópica y el tiempo de biodegradabilidad. Los resultados obtenidos fueron significativos en la biomasa nativa y en la harina con alto contenido de fibras y carbohidratos, en los plásticos biodegradables los contenidos de proteína y fibra disminuyeron, mientras que el valor de los carbohidratos aumentó en el orden creciente de T<sub>1</sub>, hasta T<sub>5</sub>. Respecto a la concentración de flavonoides y fenólicos totales, actividad antioxidante por DPPH y ABTS aumentaron en la misma proporción que aumentaron las concentraciones de la harina de la mazorca de cacao para cada uno de los tratamientos, significando que los plásticos presentaron buena actividad antioxidante en especial los tratamientos T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub> y T<sub>5</sub>. El plástico T<sub>3</sub> fue el que presentó mejores características morfológicas en comparación con el plástico comercial, con una morfología y uniformidad muy parecida. Respecto al grado de biodegradabilidad el T<sub>3</sub> fue el bioplástico de mejor presentación y más uniforme en todo sentido desde el primer día de su elaboración hasta y durante su evaluación de biodegradabilidad en el medio ambiente resultó finalmente un plástico ecológico biodegradable con interesantes actividades antioxidantes

*Palabras claves: Carbohidratos, almidón, fenólicos, flavonoides, actividad antioxidante, polímeros plásticos, biodegradabilidad.*

## ABSTRACT

The objective the present research thesis was to study the conditioning of a biomass from the Criollo variety of cacao pods in order to elaborate plastics; to evaluate the biometric, phenolic, and antioxidant characterization of the biomass and the biodegradable plastics; and to evaluate the morphological properties and the time of biodegradation of the biodegradable plastics obtained from the Criollo variety of cacao pods. In this study the first stage consisted of presenting the cacao pods in the form of very fine flour obtained by drying [the pods] at 65 °C for twenty four hours on trays in a dryer and then finely grinding [them] using a hammermill. In order to elaborate the biodegradable plastics, they were formulated using corn starch and cacao pods in the form of very fine flour, both at different concentrations. At the same time, plasticizing molecules such as glycerol were added, [along with] vinegar to provide acetic acid molecules and water; thus, [causing] the hydrogen ion concentrations to remain constant. For this study, five treatments were formulated, where the flour from the biomass of cacao pods and the starch remained variable and the rest of the molecules [were] constant. For the polymer plastics obtained, the physicochemical, phenolic, antioxidant, microscopic morphology, and the time of biodegradation were evaluated. The results that were obtained were significant for the native biomass and the flour, with high contents of fiber and carbohydrates. For the biodegradable plastics, the protein and fiber decreased, while the value of the carbohydrates increased in ascending order from T<sub>1</sub> to T<sub>5</sub>. With respect to the flavonoid and total phenol concentration, the antioxidant activity for DPPH and ABTS increased in the same proportion that the concentration of cacao pod flour increase for each of the treatments, signifying that the plastics presented good antioxidant activity, especially treatments T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>, and T<sub>5</sub>. The T<sub>3</sub> plastic presented better morphological characteristics when compared to commercial plastic, with a very similar morphology and uniformity. With respect to the degree of biodegradability, T<sub>3</sub> was the bioplastic with the best presentation and the most uniform in every sense, from the first day it was elaborated until and during the evaluation of its biodegradability in the environment; in the end, resulting to be a biodegradable ecological plastic with interesting antioxidant activities.

**Keywords:** *carbohydrates, starch, phenolic, flavonoids, antioxidant activity, polymer plastics, biodegradability*

## I. INTRODUCCIÓN

El árbol cacaotero es una planta procedente de climas cálidas y húmedas, suproducción agrícola siempre está en tendencia de crecimiento y actualmente existen muchos programas nacionales y de cooperación técnica internacional, que promueven a través de asistencias técnicas y sensibilización mayores cultivos para obtener granos con alto grado de calidad en toda la región de Leoncio Prado y la Amazonía.

Uno de los grandes factores del incremento de la producción de cacao es debido a la alta demanda de los mercados internacionales que en su mayor parte son públicos objetivos que exportan en forma de granos secos, este formato de material genera altos volúmenes de desechos conformado por las mazorcas o cáscara de cacao, acumuladas se convierten en un grande foco de enfermedades ambientales. Siendo éste, un gran problema medioambiental para los productores de cacao. Varios estudios se han realizado en animales menores y mayores tratando de aprovechar estas mazorcas de cacao como alimentos balanceados sin embargo no dieron resultados por que contienen moléculas que afectan la digestión de estos animales, por otro lado también se trató de aprovechar a nivel agroindustrial en la elaboración de pectinas obteniéndose resultados de bajo rendimiento, Por ello es importante la aplicación alternativa de tecnologías emergentes para solucionar esta problemática ambiental constituidos por residuos de mazorcas de cacao (KHWALDIA *et al.*, 2004).

Existen programas dedicados al control y manejo de estos desechos orgánicos tratando de implementar cadena de valores en el proceso de cacao para mitigar sus residuos, además que esta biomasa orgánica contribuya en el contenido de polímeros biodegradables como los carbohidratos y polímeros a favor de la salud como antioxidantes, con la finalidad de aprovecharla en la obtención de envases plásticos biodegradables. El presente trabajo se basó en el fundamento de su composición química utilizando las moléculas de los residuos orgánicos procedentes de los programas de cultivo, cosecha y postcosecha de cacao. Estos residuos son conocidos como cáscara-mazorcas de cacao donde permitió obtenerse plásticos biodegradables.

Se pueden usar polímeros de la mazorca del cacao que cumplan funciones de envases similares a los convencionales pero biodegradables, obtenidas con tecnologías no convencionales a partir moléculas orgánicas que posean principios activos. El resultado de estos nuevos materiales por su composición permite que sean comestibles-biodegradables, estos nuevos plásticos desarrollen las mismas propiedades, como materiales de envasado y que pueden ser potencialmente sustituidos. Todos los problemas antes mencionados conllevan, a la búsqueda de alternativas de solución a esta problemática, por lo tanto, en el presente trabajo de tesis se planteó desarrollar un envase biodegradable y/o comestibles a partir de la mazorca del cacao, materia prima cultivada en la zona del alto Huallaga y de bajo costo. Esta alternativa permitiría reducir del uso de envases plásticos sintéticos y por consecuencia al cuidado del medio ambiente (SANCHEZ *et al.*, 2011).

Se trató de acondicionar las mazorcas de cacao en varias formas para obtener valores agregados, las más utilizada fue mediante la deshidratación transformada en harina para darle una aplicación agroindustrial convencional, esta alternativa no dio resultado y las organizaciones encargadas de velar por la reutilización de estos residuos quedaron rezagados (PADRÓN *et al.*, 2004 y BARAZARTE *et al.*, 2008).

Al respecto, la ciencia nos brinda nuevas tecnologías emergentes para plantear soluciones desde el punto de vista ambiental como es la obtención y caracterización de envases plásticos biodegradables a partir del aprovechamiento de la harina de la mazorca del cacao rico en carbohidratos y antioxidantes, ayudando así a mitigar problemas del medio ambiente. En este sentido para el desarrollo de la presente tesis de investigación se plantearon los siguientes objetivos:

- Acondicionamiento de biomasa de la mazorca de cacao para la elaboración de plásticos biodegradables.
- Evaluar la caracterización biométrica, fenólica y de actividad antioxidante de la biomasa y de los plásticos biodegradables.
- Evaluar sus propiedades morfológicas de los plásticos biodegradables obtenidos de la mazorca de cacao.
- Evaluar la biodegradabilidad y el tiempo de degradación de los plásticos biodegradables.



## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Antecedentes

#### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Existen muchas investigaciones que se han desarrollado y vienen desarrollándose en el tema de polímeros biodegradables que no son otra cosa que los bioplásticos que son utilizadas para envasar, empacar alimentos y productos, el aspecto biodegradables es importante porque después de cumplir sus funciones de proteger a los alimentos y productos, estas están sujetas a la biodegradación de su masa porque están formadas por moléculas orgánicas que contribuyen al impacto ambiental, estos materiales plásticos son degradados por los organismos vivos aeróbicos del suelo, en ese sentido las diferentes investigaciones tratan de estudiar a los plásticos biodegradables en todas sus manifestaciones, al respecto similares informaciones fueron mencionados por VIROBEN *et al.* (2000) y AYHLLON- MEIXUEIRO *et al.* (2000).

Hace muchos años que existen alimentos que son protegidos por plásticos biodegradables muchos de estos son conocidos como filmes comestibles, de estos se conocen que antiguamente se utilizaban la cera para conservar frutas como las manzanas, que consistían en recubrir la parte externa de la cáscara con unas películas de cera. Otros trabajos se realizaron en alimentos cárnicos con bioplásticos de gelatina, también en alimentos sensibles a la oxidación como las nueces, almendras y maní, en estos casos fueron utilizados hidrocoloides como biopolímeros. Los hidrocoloides son los más utilizados hasta la actualidad como polímeros biodegradables, orgánicos y naturales, y hoy en día se conocen que estos tipos de plásticos tienen efectos antioxidantes y beneficios para la salud humana, similares informaciones son proporcionados por DIAB *et al.* (2001) y KHWALDIA *et al.* (2004).

BARAZARTE *et al.*, 2008, Trabajo: Cáscara de cacao (*Theobroma Cacao L.*): una posible fuente comercial de pectina, realizado en Universidad Simón Bolívar, Laboratorio

de Análisis de Alimentos, Instituto de Procesos Biológicos y Bioquímicos y Universidad Central Extracción comercial de cacao ( Según datos del Instituto de Ciencia y Tecnología Theobroma cacao L.) produce grandes cantidades de cáscaras que pueden ser utilizadas para la producción de pectina a escala industrial. Para ello, extrajeron pectina de cáscaras de cacao en diferentes condiciones de pH y temperatura y evaluaron sus principales propiedades químicas. Se utilizó EDTA al 0,5% para la extracción a pH 3, 4 y 5 y temperaturas de 60, 75 y 90 °C según un esquema de factor  $3^2$ . Las variables de respuesta fueron: rendimiento, contenido de ácido anhidrogálico (AGA), contenido de metoxilo, grado de esterificación y equivalentes de pectina extraída. La fuerza del gel gelificado se determinó usando un analizador de textura TA-XT2i. La mermelada de fresa se preparó a partir de pectina extraída y su aceptabilidad se determinó mediante una escala hedónica de 7 puntos. La tasa de extracción es de 2,64 a 4,69 g/100 g, el contenido de AGA es de 49,8 a 64,06 g/100 g, el contenido de metoxi es de 4,72 a 7,18 g/100 g, el grado de esterificación es de 37, 94 a 52,20 % y los pesos equivalentes son 475 y 385. 464,61 g/equivalente H y el grado de gel de 285,64 a 806,03 gramos. La pectina extraída a pH 4 y 90 °C tuvo un poder gelificante de 422,16 g, una pureza AGA de 62,26 g/100 g y un rendimiento de extracción de 3,89 g/100 g, y permitió la elaboración de mermeladas con un valor medio "medio". . . ". La pectina de la cáscara de cacao tiene aplicaciones potenciales en la industria alimentaria, pero es necesario optimizar los parámetros de extracción para mejorar su rendimiento.

BETANCOURT LLANOS (2009), por su participación en el trabajo: Extracción de pectina a partir de subproductos del procesamiento del cacao, realizado en el Departamento de Ingeniería de Procesos, Facultad de Ingeniería, Universidad EAFIT, Colombia, evaluó la posibilidad de obtener pectina a partir de -productos del proceso de extracción del cacao. Los experimentos se realizaron en el Laboratorio de Desarrollo de Producto de la Facultad de Ingeniería de Procesos de la Universidad EAFIT. Las variables de respuesta rendimiento de pectina y grado de metilación de las mazorcas de cacao se evaluaron con un diseño experimental factorial  $2^k$  con puntos medios. Los factores de diseño fueron el tiempo de cocción ( $T_c$ ), el tiempo de hidrólisis ( $T_h$ ) o extracto y el pH. Para la mezcla antes de la hidrólisis (con ácido clorhídrico al 10 %), los niveles fueron de 20 y 30 min, 20 y 40 min y 1,5 y 2,5, respectivamente. Se encontró que los factores que afectaron significativamente la extracción de pectina fueron  $T_c$  y  $T_h$ . El punto medio muestra los mejores resultados para las variables de respuesta evaluadas con un

rendimiento del 4,3% y un grado de esterificación del 93%. Usando los datos del punto medio, se realizó una prueba para extraer pectina de las cáscaras de almendras de cacao. La pectina obtenida se caracterizó por fuerza de gel, contenido de cenizas y espectroscopia infrarroja. Estas pruebas definen la pectina resultante como pectina de "fraguado ultrarrápido". Los resultados del análisis económico preliminar del proceso a escala de laboratorio indicaron que el proceso no sería rentable.

GUIDI *et al.*, (2010), en la investigación OBTENCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE LA CÁSCARA DE MARACUYÁ MEDIANTE HIDRÓLISIS ÁCIDA, tuvo como objetivo: Obtener un método para la obtención de pectina a partir de la cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis*), mediante la Hidrólisis Ácida, la metodología que se usó fue que: La materia prima será recibida en sacos de 20 Kg, la cual fue pesada y llevada a la cinta de selección, donde se eliminó la cáscara que no es apta para el proceso.

En cuanto al envasado de alimentos, ARÉVALO *et al.* (2010) En la investigación desarrollada en el Departamento de Biotecnología sobre películas biodegradables a partir de residuos de cítricos: Propuesta de envase activo. La Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de México Nuevo León mencionó que actualmente el empaque es una de las aplicaciones con mayor consumo de polímeros sintéticos. Como parte de las nuevas tecnologías para el desarrollo de procesos sostenibles, la acumulación de desechos sólidos ha dado como resultado polímeros biodegradables con propiedades funcionales comparables a los plásticos sintéticos. La adición de compuestos agroindustriales con alto contenido de lignina y celulosa a matrices poliméricas es una de las innovaciones en el campo de los polímeros; además, el aprovechamiento de dichos residuos es una opción para su adecuado tratamiento. Se cree que las películas basadas en polisacáridos, proteínas y/o compuestos lipídicos protegen una variedad de productos alimenticios al controlar la transferencia de gases y mejorar el recubrimiento natural de frutas y verduras. La creciente demanda de materiales de envasado biodegradables incluye tipos de materiales de envasado antimicrobianos, definidos como envases activos capaces de inhibir microorganismos patógenos o de deterioro que pueden contaminar los alimentos. Se prepararon películas a base de residuos de la industria de los cítricos, pectina, alcohol polivinílico y benzoato de sodio utilizando técnicas de fundición o moldeo de láminas para investigar su efecto y el efecto del espesor sobre las propiedades fisicomecánicas y de barrera. La película. Los valores de resistencia a la tracción del paquete oscilaron entre

5,81 y 11,29 MPa y se vieron claramente afectados por la adición de conservantes, ya que esta propiedad aumentó con la concentración de conservante en películas elaboradas con cáscara de limón; espesor y conservante. El efecto es el mismo, es decir, cuanto más grueso, mayor es la resistencia a la tracción de una película bien hecha. El alargamiento varía de 3% a 5,9%, aumentando con el espesor. Los valores de permeabilidad al vapor de agua de las películas oscilaron entre 1,61 E y se encontró un efecto del espesor. Los residuos agroindustriales se pueden utilizar como matriz polimérica para producir envases activos con propiedades físico-mecánicas y de barrera similares a otras películas biodegradables, lo que las hace potencialmente útiles para aplicaciones industriales. Envasado de alimentos, especialmente envases activos.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

SERNAQUÉ *et al.* 2020. Biodegradabilidad de bioplásticos elaborados a partir de cáscaras de mango y plátano. El objetivo de este estudio es analizar la biodegradación de bioplásticos elaborados a partir de cáscaras de mango y plátano, el cual se divide en dos partes: preparación del bioplástico y ensayo de biodegradación. La primera fase utilizó un método basado en la adición de plastificantes como agua y glicerol para producir bioplásticos con diferentes contenidos de glicerol para obtener diferentes propiedades físicas. En el paso final se utilizó humus de lombriz como medio de degradación, y el intervalo de tiempo utilizado para evaluar la biodegradación de las láminas varió de 1 a 4 semanas. Como resultado, durante el estudio analítico, se encontró que la reducción de peso inicial de los bioplásticos elaborados a partir de cáscaras de mango fue del 93,06 %, y la de las cáscaras de plátano, del 73,16 %. De las diferencias en la cantidad de glicerina añadida en la producción de bioplásticos, se puede determinar que tiene una relación directa con la biodegradabilidad de la lámina, ya que al aumentar la cantidad de glicerina aumenta la biodegradabilidad de la lámina.

POSTIGO (2022), un proyecto de estudio de viabilidad para la producción de envases biodegradables a base de almidón y cascarilla de arroz para el envasado de frutas y hortalizas, utilizando piezas de desecho de agricultores, molineros, ganaderos y otros productos. en el distrito de Arequipa. Encontrar nuevas oportunidades para el desarrollo de envases biodegradables con el objetivo de reducir la contaminación ambiental.

GARCIA (2017), DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIÓN ÓPTIMA DE ÁCIDO ACÉTICO-GLICEROL EN LA ELABORACIÓN DE PLÁSTICO BIODEGRADABLE A PARTIR DEL ALMIDÓN DE CÁSCARA DE PLÁTANO (*Musa paradisiaca*) EN PUCALLPA, en la presente investigación se destaca la importancia de aplicar procesos químicos y tecnológicos, para la obtención de almidón a partir de la cáscara de plátano y su posterior elaboración en plástico biodegradable, utilizando distintas concentraciones de ácido acético y glicerol. El tipo de investigación fue experimental cuantitativa; el diseño experimental utilizado fue un arreglo factorial de 3x3, contando con 9 tratamientos (T1= 1mL AA-3mL G; T2= 1mL AA-5mL G; T3= 1mL AA-7mL G; T4= 2mL AA-3mL G; T5= 2mL AA-5mL G; T6= 2mL AA7mL G; T7= 3mL AA-3mL G; T8= 3mL AA-5mL G y T9= 3mL AA-7mL G), con 3 repeticiones. Los resultados mostraron que el mejor tratamiento fue la proporción de 1mL AA-7mL G de lámina delgada de color marfil oscuro, con un porcentaje de humedad de 15.67%, un porcentaje de solubilidad en agua de 38.89% a 80°C, un porcentaje fuerza de tensión de 3.81 MPa, y su biodegradación en ecosistema suelo por 90 días con un porcentaje de pérdida de peso de 83.9 % y en ecosistema de agua almacenada con un porcentaje de pérdida de peso de 66.46 %, un espesor de 0.100  $\mu\text{m}$  y una densidad de 0.93  $\text{g/cm}^3$  ; demostrando que está dentro de los límites establecidos según las normas de calidad DIN y EN, para que pueda ser considerado un polímero, faltando mejorar mediante procesos mecánicos la reducción de la humedad y fuerza de tensión.

## 2.2. Cultivo de Cacao

El nombre científico del cacao es *Theobroma cacao*, es un cultivo de clima cálido presentes y cultivadas en diferentes países del mundo son de gran tamaño pero las últimas investigaciones llevaron a un mejoramiento genético de menor tamaño, mayor producción y resistentes a enfermedades, sus frutos y los granos representan los productos más importantes de esta planta, llevados al campo de la postcosecha se pueden obtener granos secos de muy buena calidad para el proceso y para la exportación, en el proceso de transformación en sus diferentes derivados como en confitería y chocolates, resultan de alta calidad con un sabor y aroma muy significativo, pero también se obtienen el polvo, la manteca y sus esterificaciones de cacao que se convierten en nuevos materiales para otros campos de la industria como la cosmética y farmacéutica, esta información es similar a los reportados por BAENA y GARCÍA (2012).

### 2.3. Clasificación Taxonómica

A continuación, en cuanto a la taxonomía de este vegetal se presenta su clasificación botánica en:

REINO	: Plantae
DIVISIÓN	: Magnoliophyta
CLASE	: Magnoliopsida
ORDEN	: Malvales
FAMILIA	: Malvaceae
SUB FAMILIA	: Sterculioideae
GÉNERO	: <i>Theobroma</i>
ESPECIE	: <i>T. cacao</i>

Fuente: (ROMERO, 2016).

### 2.4. Residuos del procesamiento de la mazorca de Cacao

Respecto al procesamiento agroindustrial de las mazorcas de cacao, se conoce que durante este proceso se generan diversos productos entre ellos la biomasa orgánica denominada cáscara de cacao procedentes del corte y la separación de los granos de cacao.

#### 2.4.1. Cáscara o mazorca de cacao

La mazorca de cacao representa la mayor cantidad de biomasa del fruto de cacao, este sub producto es generado durante la postcosecha de los granos de cacao, debido a su alta densidad, producción y beneficio, se generan altos volúmenes de biomasa considerados como residuos orgánicos sin utilidad, sin embargo estos grandes volúmenes se convierten en un problema de contaminación medioambiental haciendo que se produzca un ecosistema conformado por microorganismos del género *Phytophthora* con probabilidades de causar diversas enfermedades para la flora, fauna y humanos (BETANCOURT, 2009).

Respecto a las mazorcas de cacao todas la organizaciones vinculadas al cultivo, postcosecha y procesamiento, los consideran como un residuo importante proveniente del árbol de cacao y que hasta el momento no se ha encontrado un modelo de producción que

pueda resolver esta problemática por los altos volúmenes que estas se generan, existen muchos intento a través de las investigaciones que se vienen realizando para darle nuevas utilidades productivas y económicas, de esa manera mitigar los problemas ambientales que estas están causando, se han hecho estudios respecto a las caracterizaciones físicas y químicas de estas mazorcas de cacao y se han determinado de manera general que contienen algunos componentes químicos que podrían ser aprovechados en la producción de nuevas cadenas de valores.

Respecto a la cáscara de cacao o llamado también mazorca en estado fresco tiene una composición que está conformado alrededor del 12.55% de agua, 6.3% de proteína, 24% de fibra bruta, 0.5% de grasa total, 7.8% de cenizas y 61.4% de carbohidratos, lo más resaltante de todos estos componentes es el alto valor de carbohidratos que estaría representado por la presencia de hidrocoloides entre ellos las moléculas de pectina que por su condición de ser orgánica tienen diferentes aplicaciones en la industria (ARDILA y CARREÑO, 2011).

**Tabla 1.** Componentes químicos de la cáscara de Cacao en estado fresco

Componente	% (p/p)
Materia seca	87.45
Ceniza	7.8
Extracto etéreo	0.5
Proteína	6.3
Fibra cruda	24
Carbohidrato	61.4

Fuente: (ARDILA y CARREÑO, 2011).

## 2.5. Pectinas y sustancias pécticas

Estas moléculas son polisacáridos formados en su estructura por esteres metílicos de ácidos poli galacturónicos presentes en la pared celular de las frutas y vegetales, cuando se encuentran en estado verde este componente está presente en forma de

protopectina químicamente insoluble y a medida que aumenta su proceso de maduración se transforman en pectinas químicamente solubles, este fenómeno está relacionado al estado de maduración de las frutas, si este proceso se encuentra en un estado de sobre maduración se produce la acción de las enzimas pectolíticas ocasionando descomposición en su estructura molecular y produciendo pectinas con cadenas cortas y de bajas propiedades funcionales, por esa misma razón para que las pectinas de las frutas tengan óptimas propiedades físicas y químicas, es importante conservar las uniones y los esteres metílicos de los grupos carboxílicos y también mantener una buena la relación de su actividad enzimática entre las enzimas poligaracturonasa (PGE) y pectinmetilesterasa (PME). Las características cualitativas y cuantitativas de las pectinas dependen de varios factores como las especies, variedad, cosecha, postcosecha, cáscara, semilla, pulpa de la futa, métodos de extracción y purificación (WILLATS *et al.*, 2006).

Las frutas y vegetales como materia orgánica contienen sustancias pécticas que están clasificados en varias formas, como sustancias pécticas propiamente dicha con alta masa molecular, como protopectina insoluble en agua, como ácidos pectínicos de ácidos galacturónicos con altas propiedades reológicas de viscosidad y pectinas que son los ácidos pectínicos solubles en agua, el conocimiento de estas terminologías resulta importante para definir el estado químico de las sustancia y en esas condiciones poder realizar las extracciones y purificación de sus moléculas y darle sus aplicaciones correspondientes.

## **2.6. Fuentes y usos de las sustancias pécticas**

La industria alimentaria de extracción y purificación de pectinas, convencionalmente vienen utilizando los desechos de frutas y vegetales, entre los ejemplos de estos son las cáscaras de las diferentes variedades de cítricos, manzanas y mangos, La industria de jugos y néctares utilizan estos tipos de frutas y aplicándoles diferentes tratamientos para obtener el jugo por extracción o por prensado y los néctares obtener por despulpado la pulpa, en ambos casos se separan las cáscaras y en las agroindustrias estos materiales son considerados como residuos o desechos para muchos sin valor económico. Al respecto los estudios de la ciencia y tecnología de alimentos ha demostrado que estos materiales contienen altas concentraciones de sustancias pécticas y que todo depende del acondicionamiento de la materia prima y del proceso de extracción para obtener buenos rendimientos, en caso de las cáscaras de manzana una extracción



hasta el 20% y en cáscaras de cítricos una extracción hasta el 35% de pectinas. La utilización de las pectinas en polvo es muy amplia en toda la industria de alimentos, plásticos, metalmecánica y cosmetología (WILLATS *et al.*, 2006).

## **2.7. Plásticos y embalajes biodegradables**

Los envases activos son aquellos que además de actuar como una barrera a los agentes externos intentan corregir las deficiencias presentes en el envase pasivo. Se pueden definir como envases en los que se han añadido elementos adicionales deliberadamente incluidos en el material o en el espacio libre del envase, para mejorar su rendimiento. El interés en la utilización de materiales biodegradables con aplicación a los envases de alimentos aumentó notablemente en los últimos años. El desarrollo de polímeros biodegradables a partir de materiales naturales reduce la necesidad de sintetizar polímeros a base de petróleo, eliminando los efectos negativos producidos por este sobre el medio (GONZÁLEZ *et al.*, 2011).

Se caracterizan por ser materias primas de origen biológico, obtenidas a partir de recursos renovables como plátanos, cascarilla de arroz, cacao o maní, almidón, etc. A medida que se descompone al entrar en contacto con el ecosistema, se convierte en biomasa y nutrientes, contribuyendo al aporte de la actividad humana y su degradación a medio plazo (BAQUE, 2019).

Los polímeros biodegradables son aquellos constituidos por materiales que pueden ser degradados por la acción de organismos vivos, tales como enzimas, bacterias y hongos, generando los productos finales del proceso de degradación, siendo estos CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y biomasa (bajo condiciones aeróbicas), e hidrocarburos, metano y biomasa (bajo condiciones anaeróbicas). Polímeros naturales como almidón, celulosa y proteínas han atraído la atención en las últimas décadas. Estos materiales han encontrado numerosas aplicaciones en productos biodegradables, pues, además de versátiles y ecológicamente correctos, presentan propiedades que pueden sustituir, en cierta parcela, algunos polímeros sintetizados a partir del petróleo. Las elaboraciones de películas, en general, involucran a un agente formador de (macromoléculas), un agente plastificante, un disolvente y un ajustador de pH. Cuando son comparados a los demás polímeros naturales, La película biodegradable a base de proteínas está en forma hidrófila, con buena resistencia

mecánica, buenas propiedades de barrera al oxígeno y CO<sub>2</sub>, pero con una débil barrera al vapor de agua (LUCKACHAN y PILLAI, 2011).

Las películas producidas con zeína y gluten de trigo presentan un carácter hidrofóbico buena barrera al transporte de oxígeno, dióxido de carbono y demás compuestos volátiles. Sin embargo, las películas individuales de proteínas se presentan extremadamente frágiles debido a que las propiedades mecánicas no son adecuadas. Así, varias son las investigaciones involucrando la utilización de estos biopolímeros en el desarrollo de películas biodegradables para su aplicación a los envases de alimentos (DICK, 2014; CHIUMARELLI y HUBINGER, 2014).

## **2.8. Plásticos de biopolímeros**

Los plásticos biodegradables son formados a partir de polímeros procedentes de la síntesis química o de la fuente natural, por los problemas medioambientales que origina la aplicación de los polímeros sintéticos los reglamentos controlan hoy en día su mitigación y por ende la reducción del uso de estos polímeros. Al respecto existe la exigencia de usar polímeros de fuentes naturales y cada vez la tendencia es mayor, procurando que estas biomásas sean de alta masa molecular para proporcionar a los plásticos biodegradables excelentes propiedades y que puedan competir con los convencionales con las mismas cualidades y calidades (CAMACHO *et al.*, 2011).

## **2.9. Biodegradable**

La organización internacional de normas como Sociedad Americana para Pruebas y Materiales manifiesta que la norma ASTM-D-5488-944 se refiere a los materiales que son utilizados para cualquier bien de la industria en forma de empaques y embalajes deben tener en el tiempo una descomposición orgánica y no debe dejar residuos químicos que afecten al medioambiente y a la salud humana, estos materiales deben tener una característica de biodegradabilidad (RUIZ, 2006).

El tema de la descomposición de estos materiales es que no deben dejar residuos tóxicos después de su uso y permanencia en el medio ambiente, por lo tanto, su estructura debe estar formado por átomos de carbono, hidrogeno, oxígeno y nitrógeno (REMAR,

2011).

### **2.9.1. Aspectos legales sobre la biodegradabilidad**

#### a) Normas Peruanas

En la fecha del 16 de mayo del 2019 entro en vigencia DS N° 009-2009-MINAM para controlar los aspectos de la ecoeficiencia del Perú donde se estipularon varias medidas de control para mejorar los servicios del sector público, dentro de ellotemas muy relacionado al factor de impacto ambiental producidos en los diferentes organismos del estado y con esas medidas poder controlar e mitigar los efectos negativos que estas producen, entre uno de ellos es la reducción del uso de materiales, así mismo la mínima generación de residuos (MINAM, 2009).

Debido a la preocupación que el decreto supremo mencionado no indica los lineamientos sobre los materiales o polímeros que causan daño como son los plásticos de baja y alta densidad, dicha norma fue modificada en su cuarto artículo respecto a las medidas sobre los lineamientos del uso de bolsas y plásticos biodegradables entrando en vigencia el 29 de agosto del 2010 con el DECRETO SUPREMO N° 011-2010-MINAM (MINAM, 2010).

Medidas y control sobre los materiales biodegradables.

- a) De acuerdo con la ley promulgado sobre el control de usos de materiales que no afecten el medio ambiente y más bien se pueda volver a usarse, en ese sentido el estado peruano determinó los nuevos lineamientos para mitigar sus efectos negativos y se ha encargado con resolución gubernamental al ministerio del medio ambiente a realizar este trabajo en el control obligatorio del uso de reciclados de plásticos, papeles y cartones.
- b) Con esta ley promulgada se pretende que todo el aparato del estado pueda a través de sus oficinas de abastecimiento obligar la adquisición de plásticos biodegradables.

“Tal y como se menciona en el inciso a, el 31 de enero de 2011 la Resolución Ministerial N° 021-2011-MINAM menciona los porcentajes de uso de los materiales reciclados en plásticos, papeles y cartones mediante el artículo 1, 2 y 3 respectivamente” (MINAM, 2011).

“Artículo 1°.- Porcentaje de material reciclado en plásticos

El porcentaje mínimo de material reciclado para los plásticos es de ochenta (80%) por ciento.

No se usará plásticos con material reciclado, cuando así lo dispongan las normas sanitarias expresas.”

Al respecto del tema después de determinarse el control de los reciclados plásticos y otros, se estableció las normas y disposiciones para su implementación con una resolución del ministerio del ambiente N° 083-2011-MINAM promulgado el 2011, contando para ello con dos artículos que se transcriben a continuación según el ministerio del ambiente:

“Artículo 1°.- Precísese que el porcentaje de material reciclado determinado en el artículo 1° de la Resolución Ministerial N° 021-2011-MINAM, será de aplicación para aquellos productos cuya composición sea mayor del 90% en peso de plástico.

Para el caso de envases de plásticos, el porcentaje mínimo de material reciclado es de ochenta (80%) por ciento.

Artículo 2°.- Las disposiciones contenidas en la Resolución Ministerial N° 021-2011-MINAM, serán de aplicación para el caso del Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI, a partir del cuarto trimestre del ejercicio fiscal 2011.”

Respecto al tema de la mitigación de los residuos plásticos se han establecido una serie de normas técnicas que fundamentan los decretos supremos del estado y las resoluciones del ministerio del ambiente como se puede apreciar dichas normas a continuación:

- “NTP 900.077 – 2014: PLÁSTICOS. Plásticos reciclados. Trazabilidad y

evaluación de conformidad del proceso de reciclado de plásticos y del contenido de material reciclado en el producto final. 1° edición” (MINAM, 2014).

- “NTP 900.079 – 2015: ENVASES Y EMBALAJES. Guía terminológica en el campo de biodegradable” (MINAM, 2015).
- “NTP 900.080 – 2015: ENVASES Y EMBALAJES. Requisitos de los envases y embalajes biodegradables. Programa de ensayo y criterios de evaluación” (MINAM, 2015).

También existen Normas internacionales que sustentan este tema “Existen normas internacionales que regulan y miden la velocidad de los procesos de degradación y de biodegradación de envases plásticos como de bioplásticos en general. Han sido publicadas varias normas internacionales que especifican métodos de ensayo para la determinación de la biodegradabilidad aeróbica o anaeróbica final de los materiales plásticos en condiciones acuosas o de compostaje” (AENOR, 2013).

Por otro lado, MERÉ (2009) menciona que, para establecer los métodos de ensayo, los protocolos y las regulaciones, han participado importantes y principales organizaciones internacionales como:

“American Society for Testing and Materials (ASTM) European Standardization Committee (CEN) International Standards Organization (ISO) Institute for Standards Research” A continuación, se relatan una serie de normativas y estándares (ISO) sobre la biodegradabilidad de los plásticos:

**Tabla 2.** Normas y estándares internacionales-ISO

<b>Normas</b>	<b>Título</b>
“ISO 17088:2008	Especificaciones para plásticos compostables”

---

“ISO 14855- 1:2005/ Cor:2009	Determinación de la biodegradabilidad final aeróbico de materiales plásticos bajo condiciones de compostaje controlado -Método mediante el análisis de dióxido de carbono producido Parte 1: Método general Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final de los materiales plásticos en condiciones de compostaje controlado - Método por análisis de dióxido de carbono evolucionada - Parte 1: Método general”
“ISO 148552:2007/ Cor:2009	Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final de los materiales plásticos bajo condiciones controladas de compostaje-Método mediante el análisis de dióxido de carbono producido Parte 2: medición gravimétrica de dióxido de carbono desprendido en una prueba a escala de laboratorio”.
“ISO 16929:2002	Plásticos - Determinación del grado de desintegración de los materiales plásticos en condiciones de compostaje definidas en una prueba a escala piloto”.
“ISO 17556:2003	Plásticos - Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final en el suelo mediante la medición de la demanda de oxígeno en un respirómetro o la cantidad de dióxido de carbono evolucionado”.
“ISO 20200:2004	Plásticos - Determinación del grado de desintegración de los materiales plásticos en condiciones de compostaje simuladas en una prueba a escala de laboratorio”.
“ISO 15985:2004	Plásticos - Determinación de la última biodegradación anaeróbica y la desintegración bajo condiciones de alto contenido de sólidos de digestión anaeróbica - método mediante el análisis de biogás liberados”.
“ISO 14853:2005	Plásticos - Determinación de la última biodegradación anaeróbica de materiales plásticos en un sistema acuoso - Método por la medición de la producción de biogás”.

---

---

“ISO 14852:1999 Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final de los materiales plásticos en un medio acuoso - Método por análisis de dióxido de carbono evolucionado”.

---

“ISO 14851:1999/ Determinación de la biodegradabilidad aeróbica final de los materiales plásticos en un medio acuoso - Método por la medición de la demanda de oxígeno en un respirómetro cerrado”.

---

Fuente: (REMAR, 2011).

## **2.10. Protocolos de biodegradabilidad - ISO 17556**

### **2.10.1. Objetivos y métodos de aplicación**

"Esta norma internacional define un método para determinar la biodegradabilidad aeróbica final de los materiales plásticos en el suelo midiendo la cantidad de oxígeno requerida o la cantidad de dióxido de carbono liberado en un respirómetro cerrado. El método está diseñado para garantizar un grado óptimo de biodegradación" ( AENOR, 2013) ).

“Cuando se utiliza suelo no modificado como inóculo, el ensayo simula el proceso de biodegradación del suelo natural; cuando se utiliza suelo preexpuesto, el método puede utilizarse para investigar la posible biodegradación del material de ensayo” (AENOR, 2013).

“Los métodos de biodegradabilidad antes mencionadas se aplican en polímeros plásticos para conocer la degradación de sus moléculas frente a los microorganismos, en ese sentido son aplicables para los Polímeros naturales y/o sintéticos, copolímeros o sus mezclas, materias plásticas que contengan aditivos como plastificantes o colorantes, polímeros solubles en agua" (AENOR,2013).

### **2.11. Envases biodegradables a partir de cascarilla de cacao.**

En Perú y Colombia, para preservar el uso de materias primas, se han introducido láminas biodegradables y residuos de empaques de cáscara de cacao, y si el fruto se conserva

en la cáscara de cacao, también se puede utilizar para conservar el producto terminado (JUAREZ, 2021).

Asimismo, conocer la viabilidad de los envases plásticos como solución para el procesamiento biológico de materias primas, ya que por cada tonelada de pasta de cacao existen aproximadamente 10 toneladas de residuos de cáscara de cacao.



### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Lugar de ejecución**

La ejecución de esta tesis de investigación fue desarrollada a partir de octubre del 2019 hasta marzo del año 2020, así mismo se ejecutó en los laboratorios de Microbiología general, Análisis de alimentos e Ingeniería de alimentos, pertenecientes a la Facultad de Industrias Alimentarias de la UNAS (Universidad Nacional Agraria de la Selva), que se encuentra ubicado a una altitud sur de 09° 18' 00"; a una longitud oeste de 76° 91' 00" y a una altitud de 660 msnm; a una temperatura media que varía entre 18° C a 30° C; a una humedad relativa entre 79 a 86 % y con una precipitación pluvial de 3500 mm, la UNAS se ubica en el distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco.

#### **3.2. Materia prima**

La materia prima utilizado fueron las cáscaras de cacao, conocido como mazorcas de los frutos de cacao, estas fueron obtenidas en estado fresco y maduro, procedentes del distrito TOCACHE, recogidas de los campos de cultivo en óptimo estado de postcosecha de la cooperativa Tocache, perteneciente a la Región de San Martín.

#### **3.3. Materiales, Equipos y Reactivos**

##### **3.3.1. Materiales de laboratorio**

- Matraz de Erlenmeyer de 100 mL, 150 mL y 250 mL
- Pipetas graduadas de 1 mL, 2 mL y 10 mL
- Vasos de precipitación (50 mL, 100 mL, 500 mL y 1000 mL)
- Fiolas (50 mL, 100 mL, 500 mL y 1000 mL)
- Micropipetas regulares de 10 µL, 100 µL 1000 µL
- Termómetro
- Placas Petri
- Probetas graduadas de 10 mL, 100 mL y 500 mL.

- Pinzas
- Agitador mecánico
- Tubos de ensayo de 10 ml
- Tips, FISHERBRAND 200  $\mu$ L y 1000  $\mu$ L.
- Espátulas metálicas
- Bureta
- Cubetas de poliestireno de 1,5 mL
- Tips de 200  $\mu$ L y 1000  $\mu$ L
- Pissetas de plástico
- Baguetas
- Papel filtro en pliego
- Papel filtro whatman, número 42.

### **3.3.2. Equipos**

- Balanza Analítica-Modelo M-Power AZ-214, USA.
- Balanza digital-Modelo Sartorius-USA.
- Balanza electrónica-Modelo XY3000-1BF, Germany.
- Agitador magnético-Modelo 753A serie 0825351, Reino Unido.
- Selladora de plásticos-Modelo impulse Seater, México.
- Estufa-Modelo 9140 A, T° máx. 220 °C, China.
- Baño María-Modelo YCW-010E, Hungría.
- Espectrofotómetro-Modelo Genesys UV-VIS, USA.
- Refrigerador marca Coldex-Modelo CN29, Perú.
- Estufa Marca Heraeus Instruments-Modelo D-63450 Hnau, type UT6200, Alemania.
- Estufa Heraeus, Modelo TU 60/60, N° 2760-02, Alemania.
- Microcentrífuga Hermle Z160-Modelo Herteller Spintron, Alemania.
- Microscopía de Barrido electrónico, marca Phenom ProX, España.
- Molino de impact Retsh Muhle GmbH West-Germany.
- PH metro microprocesador pH 537 WTW, hecho en Alemania.
- Cámara fotográfica digital marca Sony.

### **3.3.3. Reactivos**

- Glicerina, grado comercial con 99% de pureza (v/v)
- Ácido acético, Sigma Aldrich, USA.
- Ácido gálico 98,1 %, Sigma Aldrich, USA.
- Fenol Folin - Ciocalteu al 2N, Sigma Aldrich, USA.
- Carbonato de sodio al 7,5 %, Sigma Aldrich, USA.
- Persulfato de Potasio, Sigma Aldrich, USA.
- DPPH al 100%, Sigma Aldrich, USA.
- ABTS al 100%, Sigma Aldrich, USA.
- Trolox al 100%, Sigma Aldrich, USA.
- Alcohol etílico al 80 %, Sigma Aldrich, USA.
- Hidróxido de Sodio (NaOH) 0,1 N, Sigma Aldrich, USA.

### **3.4. Métodos de análisis**

#### **3.4.1. Caracterización biométrica de la cáscara de cacao**

Las mazorcas de Cacao después de su recolección y selección fueron caracterizados biométricamente en base al peso del fruto (g), Peso de la cáscara (g), porcentaje de cáscara (%), espesor de la cáscara (cm) y color.

#### **3.4.2. Análisis fisicoquímico**

Se determinó el contenido de sólidos solubles, pH y acidez titulable en las muestras preparadas, para determinar el pH, primero fue calibrado con los padrones de pH de 4 y 7. Los sólidos solubles (°Bx) fue realizado en refractómetro portátil y la acidez titulable fue mediante titulación con hidróxido de sodio al 0.1 N, desarrollado con los métodos de la Association of Official Analytical Chemist (AOAC, 2000).

#### **3.4.3. Análisis químico proximal**

Para determinar el análisis de humedad, proteínas lípidos, fibra bruta y ceniza, se aplicó el método de la Association of Official Analytical Chemist y fueron desarrollados por triplicado. La humedad mediante método en estufa a 105 °C hasta masa constante, la ceniza se determinó por incineración en vico de bunsen y mufla (550-600 °C). La fibra

bruta primero fue desengrasada y luego por incineración a 600 °C, La proteína fue determinada por el método de Kjeldahl. Los lípidos por el método de Soxhlet. El valor de los carbohidratos fue determinado por diferencia entre 100 y la suma de los porcentajes de agua, proteína, grasa, fibras y cenizas. Para determinar el valor calórico total, fueron realizados utilizando sus respectivos factores de conversión de alimento y energía (AOAC, 2000).

#### **3.4.4. Análisis de fenólicos y flavonoides totales**

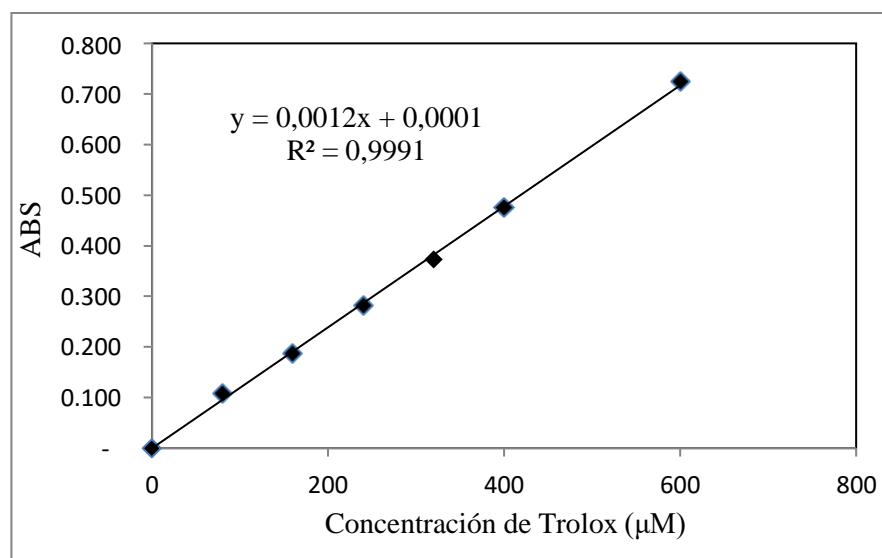
- Para la cuantificación de fenólicos totales fue a través del método espectrofotómetro desarrollado por Folin Ciocalteu y reportado por SYMONOWICZ *et al.* (2012). Se trabajaron con 0,5 mL de la extracción alcohólica y estas fueron colocadas en un tubo de ensayo de 10 mL, luego se adicionaron 2 mL de solución al 1 N del reactivo de Folin-Ciocalteu y 2 mL de solución al 10% (p/v) de carbonato de sodio. Las muestras fueron lacradas con papel aluminio para mantenerlos siempre en oscuridad, luego se agitaron en un Vórtex durante 3 minutos y se dejó reposando durante 30 min. Luego, se realizaron las lecturas de la absorbancia a 765 nm. Asimismo, se elaboró la matriz de la curva de calibración a concentraciones de ácido gálico de 0,78; 1,56; 3,12; 6,25; 12,5; 25 y 50 mg/mL. Los resultados se expresaron en mg de ácido gálico (EAG) por gramo de muestra seca.
- Para la determinación de flavonoides totales, se desarrolló a través del método espectrofotómetro reportado por CHANG *et al.* (2010). Se colocaron alícuotas de 1.5 mL de los extractos en tubos de ensayo, luego se adicionaron 1.5 mL de cloruro de aluminio al 2% (p/v), se agitaron en vórtex y reposados en la oscuridad por 30 minutos, la lectura de las absorbancias fue a 415 nm y la curva de calibración se formularon a partir de las concentraciones de 1.05; 2,10; 4,21; 8,43; 16,87; 33,75 mg/mL. Los resultados fueron expresados en mg de quercetina (QCE)/g de muestra seca.

### 3.4.5. Evaluación de la actividad antioxidante

#### Determinación de la actividad antioxidante – Método DPPH.

Se utilizó el método descrito por NENADIS *et al.* (2004) modificado, consistió en pesar 5 g de muestra, que fueron triturados en mortero, mezclados con 25 ml de metanol al 99.5%, dejando reposar durante 20 horas cubiertos con papel de aluminio en ausencia de luz solar en refrigeración, después de una centrifugación de 5000 G durante 25 minutos.

Luego del sobrenadante se tomó 150  $\mu\text{L}$  y se adicionó 2,85 mL de solución de DPPH diluida en un tubo de ensayo y se mantuvo en agitación por 15 minutos en ausencia de luz. La absorbancia se midió a 515 nm en un espectrofotómetro (modelo Kasuaki 10UV), usando cubetas de vidrio. Los resultados de la actividad antioxidante fueron expresados como equivalente al Trolox (TEAC) (mg de TEAC/100 g de residuo seco). Todos los análisis se realizaron por triplicado. Para la construcción de la curva de calibración, se prepararon 50 ml de solución madre Trolox al 95,5% en una concentración de 2000  $\mu\text{M}/\text{mL}$ , se mantuvieron bajo refrigeración y se protegieron de la luz con papel laminado. Se hicieron diluciones de 80, 160, 240, 320, 405 y 625  $\mu\text{M}$ .



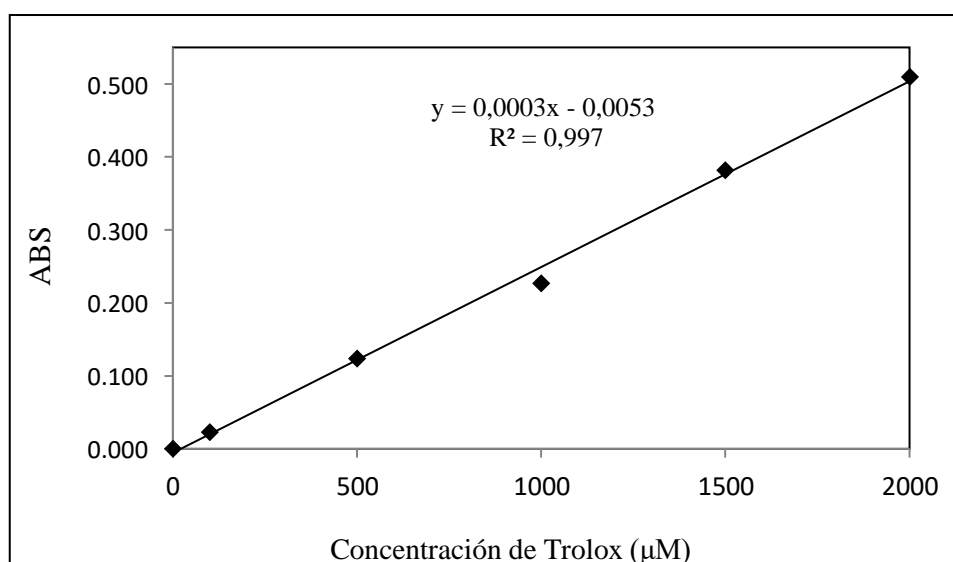
**Figura 1.** Curva estándar del Trolox, por el método DPPH.

La curva de calibración presentada en la Figura 1 se construyó a partir de los valores de absorbancia a 515 nm de todas las soluciones, medidas en cubetas de vidrio con una trayectoria óptica de 1 cm. Las mediciones de absorbancia se realizaron por triplicado. La ecuación de la

curva de calibración para la actividad antioxidante fue  $Y = 0.0012X + 0.0001$ , donde X corresponde a la concentración de  $\mu\text{M}$  (micro molar) de TROLOX en el medio, Y es la absorbancia medida a 515 nm y el coeficiente de correlación fue  $R = 0.999$ .

### Determinación de la actividad antioxidante – Método ABTS<sup>•+</sup>

Se realizó por el método de SURVESWARAN *et al.* (2007) y su modificación. Se agregó 5 mL de solución de persulfato de potasio y 88  $\mu\text{L}$  de una solución de reserva de ABTS (192 mg de reactivo ABTS en 50 mL de agua destilada). Una vez que se formó el radical ABTS<sup>•+</sup>, se diluyó en etanol hasta obtener una absorbancia de 0.70 ( $\pm 0.02$ ) y 30°C. La absorbancia se midió en un modelo de espectrofotómetro (Kasuki 10UV), el contenido de actividad antioxidante por este método se determinó por interpolación contra una curva estándar construida con un antioxidante equivalente al Trolox (ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromo-2- carboxílico) que es similar a la vitamina E y los resultados fueron expresados en actividad antioxidante equivalente a Trolox (TEAC) (mg de TEAC/100 g de residuo seco). Todos los análisis fueron realizados por triplicado.

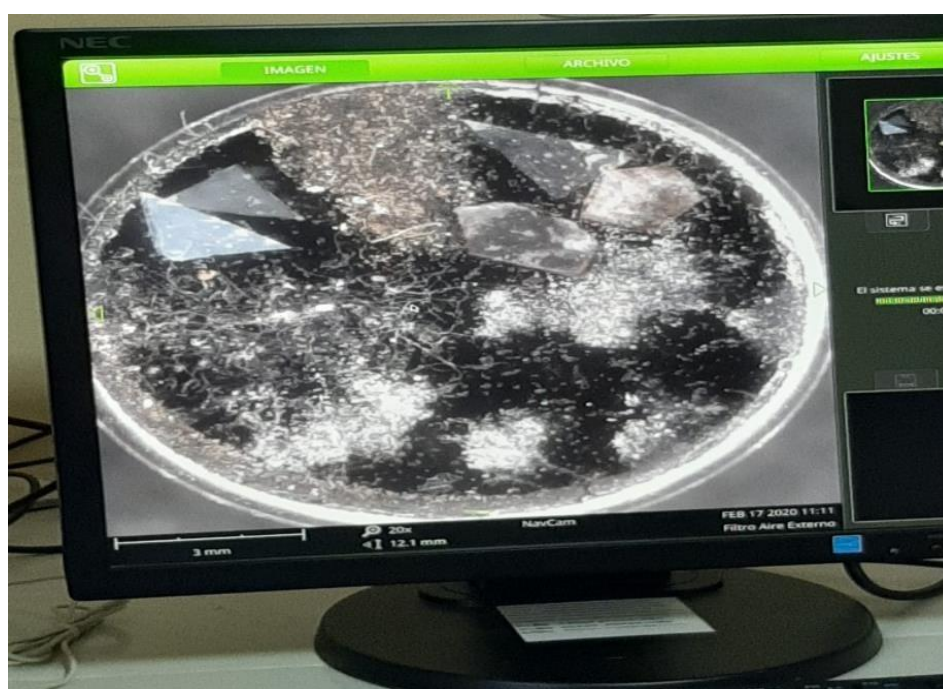


**Figura 2.** Curva estándar del Trolox, por el método DPPH.

Para la construcción de la curva de calibración (Figura 2) se prepararon 25 mL de solución Trolox en etanol a concentración de 2 mM/mL, se mantuvieron en refrigeración y protegido de la luz con papel laminado. Se hicieron diluciones de 0, 100, 500, 1000, 1500 y 2000  $\mu$ M. Las mediciones fueron a 734 nm y se realizaron por triplicado. La ecuación de la curva de calibración para la actividad antioxidante fue  $Y = 0.0003X + 0.0053$ , donde X corresponde a la concentración de  $\mu$ M de TROLOX en el medio, Y es la absorbancia y el coeficiente de correlación fue  $R = 0.997$ .

### 3.4.6. Microscopía electrónica de barrido

Las muestras fueron depositadas en soportes de aluminio revestidos con pita conductora de carbono. Luego fueron recubiertas con una capa fina de oro durante 120 s. La morfología de las muestras fueron observada en 1000X de ampliación y se utilizó una aceleración de electrones de 15 Kv (MACHADO *et al.*, 2014).



**Figura 3.** Pantalla de las imágenes adquiridas por el Microscopía electrónica de barrido.

### 3.4.7. Análisis de biodegradabilidad de los bioplásticos

La prueba de biodegradabilidad se realizó sepultando las muestras previamente pesadas en tierra a 25 cm durante 60 días con medición de peso al finalizar el estudio. Por medio de este análisis se evaluó el porcentaje de pérdida del peso de la muestra en dicho lapso.

Para determinar la biodegradación, se evaluó la pérdida de peso cada 5 días en condiciones aeróbicas mediante análisis gravimétrico durante 20 días. Se recolectaron cinco muestras de 2,5 cm x 2,5 cm por tratamiento con película bioplástica (CHARRO, 2015). La fórmula utilizada para calcular la pérdida de peso es:

$$\% \text{ pérdida de peso} = \frac{\text{peso final seco} - \text{peso inicial seco}}{\text{peso inicial seco}} \times 100 \dots 1$$

Al respecto, la muestra de suelo no modificado indica el comportamiento de la biodegradabilidad de los sustratos en condiciones naturales (AENOR, 2013). Las pruebas se realizaron bajo condiciones de temperatura ambiente. Las muestras se mantuvieron a temperatura ambiente y el agua se pulverizó una vez al día para mantener la humedad. En diferentes períodos de tiempo, las muestras fueron retiradas del suelo y evaluadas en registros fotográficos (CERRUTI *et al.*, 2011 y PIÑEROS-HERNÁNDEZ *et al.*, 2017).

## 3.5. Metodología experimental

### 3.5.1. Elaboración de harina de mazorca del cacao para la obtención plásticos biodegradables

Las mazorcas fueron obtenidas en estado óptimo de cosecha, listo para la extracción de las s

emillas en baba, estas fueron separadas y recogidas para la obtención de harinas (ARANEDA, 2004). El proceso se describe en la Figura 4.

#### - Selección y limpieza

Se realizó primero la recolección, en el cual se tuvo en cuenta el índice de madurez en función a la tonalidad de color de las mazorcas. Los frutos cuando maduran cambian de color verde a amarillo o de rojo a naranja. La selección se realizó en el laboratorio escogiendo frutos sanos, tamaño y forma óptima.

#### - Lavado



Se realizó un tratamiento de lavado con agua potable con mucha presión y movimiento en los frutos para eliminar todas las impurezas presentes en la mazorca y posteriormente un lavado con agua destilada para evitar la presencia de metales pesados. Dato importante que se debe considerar respecto a la pureza del agua.

- **Cortado y refinado**

Esta operación consistió en la separación manual de las almendras y cáscaras del fruto de cacao, luego estas cáscaras fueron cortadas en pequeños trozos de 0.5 cm espesor, luego se pesaron 200 gramos de material para facilitar el secado.

- **Secado**

Se realizó en un secador de bandeja a temperatura de 60°C por 06 horas hasta llegar a un peso constante equivalente a una humedad 15±1%.

- **Molienda**

Esta operación se realizó en un molino de martillo con cuchillas, dejando las muestras en forma de harina muy fina.

- **Envasado y almacenado**

El envasado y almacenado se realizó en papel kraft a temperatura ambiente y en desecador.



**Figura 4.** Diagrama de operaciones para obtener harina de Mazorca de cacao.

### 3.5.2. Elaboración de los polímeros biodegradables a partir de harina de la mazorca de Cacao

La elaboración de los polímeros biodegradables a partir de la harina de mazorca de cacao, se realizó siguiendo el proceso descrito en la Figura 5, donde los plásticos biodegradables serán elaborados en base a la técnica “*casting*”, que consistió en el preparación 10 g de una solución filmogénica utilizando (10, 20, 30, 40 y 50 %) de harina de mazorca cacao, se solubilizó en 100 mL de agua destilada, se adicionaron concentraciones de 50, 60, 70, 80 y 90% de almidón de maíz, luego se agitaron por 3 minutos a temperatura ambiente y finalmente se agregaron glicerol 4 mL y 5 mL de ácido acético.



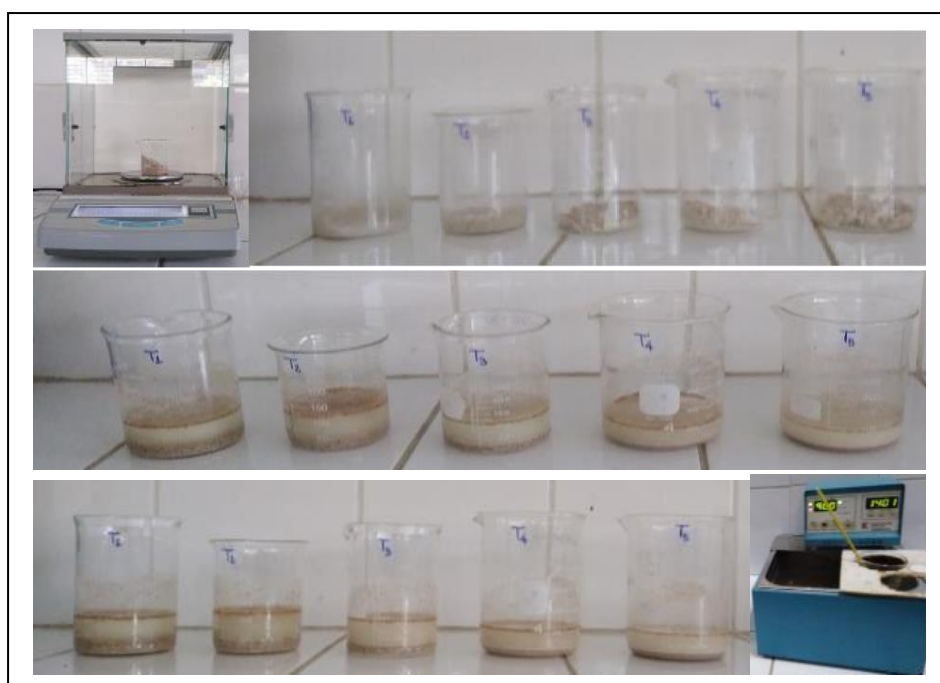
**Figura 5.** Diagrama de flujo para la obtención de polímeros biodegradables de la mazorca del cacao.

**Tabla 3.** Polímeros biodegradables a partir de la mazorca de cacao

Mazorca de cacao (%)	Almidón (%)	Agua (mL)	Glicerol (mL)	Vinagre (mL)	Tratamientos (T <sub>i</sub> )
10	90	100	4	5	T <sub>1</sub>
20	80	100	4	5	T <sub>2</sub>
30	70	100	4	5	T <sub>3</sub>
40	60	100	4	5	T <sub>4</sub>
50	50	100	4	5	T <sub>5</sub>

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se realizó un tratamiento térmico para la gelatinización del almidón de maíz en baño maría hasta  $85 \pm 5$  °C por 10 minutos hasta que tenga una consistencia gelatinosa, luego se enfrió hasta temperatura ambiente durante 20 minutos. Finalmente, se extendió en placas Petri con espesor de 2 mm o en una superficie plana y se dejó a una temperatura ambiente por 24 horas.

**Figura 6.** Fotos del preparo de los polímeros biodegradables.

### 3.6. Análisis de biodegradabilidad de los biopolímeros plástico

Para la evaluación, se utilizó tierra orgánica (suelo) para la inmersión de las muestras (Figura 7). La muestra de suelo se caracterizó por estar en buen estado agrícola natural, limpio sin residuos extraños, para la preparación de las muestras biodegradables se cortaron en pedazos de 25 mm x 25 mm y acondicionadas en telas de plástico para facilitar su retirada tras ser enterradas en el suelo. La prueba se realizó bajo condiciones de temperatura ambiente.

Las muestras fueron enterradas en el suelo hasta una profundidad de 10-20 cm en un recipiente de polipropileno estéril con compuesto orgánico (suelo). La muestra se mantuvo a temperatura ambiente y para mantener la humedad se adicionó agua una vez al día. En diferentes períodos de tiempo, las muestras fueron retiradas del suelo y evaluadas en registros fotográficos. (CERRUTI *et al.*, 2011, PIÑEROS-HERNÁNDEZ *et al.*, 2017)



**Figura 7.** Biodegradabilidad de los plásticos de la mazorca de cacao.

### 3.7. Diseño estadístico

La presente investigación utilizó el DCA (Diseño Completamente al Azar) para evaluar los tratamientos experimentales y su desarrollo fue realizado mediante el programa STATISTICA, para las diferencias entre los tratamientos se empleó la prueba de TUKEY ( $p < 0.05$ ) con tres repeticiones.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij} \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Valores observado en el i-ésimo tratamiento, j-ésima repetición.

$\mu$  = Es el efecto de la media general.

$T_i$  = Es el efecto del i-ésimo tratamiento.

$E_{ij}$  = Efecto del error experimental del i-ésimo tratamiento, j-ésima repetición.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Caracterización biométrica de la cáscara del fruto de cacao

En la tabla 4, se presentan los resultados de las características biométricas del grano de cacao, observándose que el peso promedio de los frutos seleccionados estuvo cerca de un kilogramo y su peso en cáscara llegó a 632.82 g eso fue equivalente a los 70.42% de todo el fruto, el espesor de la cáscara en promedio fue de 1.33 cm y por el tipo de cacao variedad criollo presento un color amarillo.

**Tabla 4.** Medidas biométricas del fruto de cacao variedad Criollo

Componentes	Valores
Peso del fruto (g)	901.40 ± 3.52
Peso de la cáscara (g)	632.82 ± 8.55
Porcentaje de cáscara (%)	70.42 ± 1.06
Espesor de la cáscara (cm)	1.33 ± 0.15
Color	Amarillo

Comparando estos resultados fueron similares a los obtenidos por MARIATTI *et al.* (2021) con 67% de cáscara, CASTILLO *et al.* (2018; 2010) y BARAZARTE *et al.* (2008), quienes reportaron 71.36% en cáscara y un espesor de 1.36 cm. También fueron similares a los obtenido por LACHENAUD *et al.* 2007; ZHENG *et al.* 2004). Estas diferencias se deben particularmente por el tipo de variedad, suelo y condiciones climatológicas.

#### 4.2. Análisis fisicoquímico y químico proximal

En la Tabla 5, se presentan los resultados de las características físico químicos de las mazorcas de cacao en base húmeda. Se puede observar que la biomasa contiene baja acidez con un valor de  $(0.29 \pm 0.03)$ , así mismo un pH próximo al estado alcalino con  $(\text{pH } 5.75 \pm 0.16)$  y con bajo contenido de sólidos solubles equivalente a  $(^{\circ}\text{Bx } 5.4 \pm 0.25)$ , estos resultados tuvieron relación a los reportados por ORTIZ *et al.* (2004) sobre los granos de cacao, referentes a los valores encontrados estos nos indican que la biomasa de la mazorca de cacao contienen valores sensibles a la resistencia a su conservación, por lo tanto sus componentes están sujeto fácilmente a la acción enzimática y microbiológica, más cuando se ponen en contacto directo con el medio ambiente en presencia de oxígeno, aire y luz. Los resultados nos indican que este sustrato es susceptible a la desintegración y ataque de los microorganismos, y es necesario su transformación como en nuestra investigación transformarlo en harina de mazorca de cacao.

**Tabla 5.** Análisis fisicoquímico de la mazorca de cacao (g/100g de muestra)

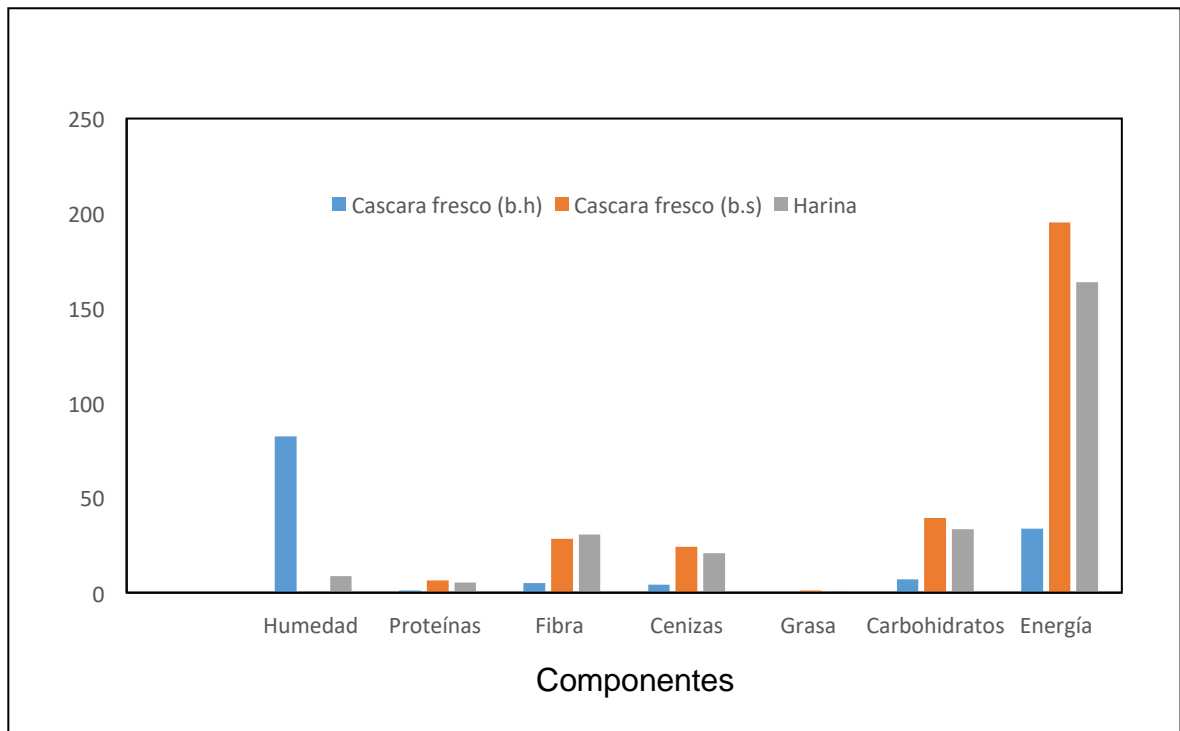
Componentes	Valores
Acidez (meq de ácido cítrico)	$0.29 \pm 0.03$
pH (20 °C)	$5.75 \pm 0.16$
Sólidos solubles ( $^{\circ}\text{Bx}$ )	$5.4 \pm 0.25$
Actividad de agua	$0,45 \pm 0.12$

En este mismo sentido en la tabla 6, se presenta los resultados de la composición química de la mazorca de cacao que por su naturaleza fresca en base húmeda tuvo alto contenido de humedad, pero bajo contenido de proteína, fibra, cenizas y grasa. Esta misma cáscara en base seca y transformadas en harinas presentaron una humedad cerca del 8.63 %, mientras que la proteína y la grasa permanecieron con bajos valores. En cuanto a los componentes como la fibras, cenizas y carbohidratos, representan ser las moléculas más significativas de la cáscara de cacao y a su vez esta biomasa fresca así como transformada en harina contuvieron valores bajos en cuanto al poder calórico, desde este punto de vista fue una biomasa rico en carbohidratos con baja energía calórica muy interesante para ser considerado como un alimento de baja calorías, nuestros resultados comparados con otros estudios fueron similares a los reportados por VRIESMANN *et al.* (2011) sobre la mazorca de cacao CCN5, también muy concordante con los resultados de AREGHEORE (2020), también similares a los obtenidos por ROJO-POVEDA *et al.* (2019).

**Tabla 6.** Composición química proximal de la mazorca fresca y harina de la mazorca de cacao (g/100g)

Componentes	Cáscara fresca (b.h)	Cáscara fresco (b.s)	Harina
Humedad	82.34±1.13		8.63±0.38
Proteínas	1.16±0.14	6.61±1.09 <sup>a</sup>	5.38±0.58 <sup>a</sup>
Fibra	5.04±0.24	28.56±0.46 <sup>a</sup>	30.83±1.66 <sup>a</sup>
Cenizas	4.28±0.26	24.22±0.28 <sup>a</sup>	20.80±1.08 <sup>a</sup>
Grasa	0.23±0.18	1.26±0.91 <sup>a</sup>	0.98±0.25 <sup>a</sup>
Carbohidratos	6.97±0.57	39.34±0.93 <sup>a</sup>	33.38±1.76 <sup>a</sup>
Energía (Kcal/100 g)	33.82±3.42	195.15±6.92	163.88±4.60



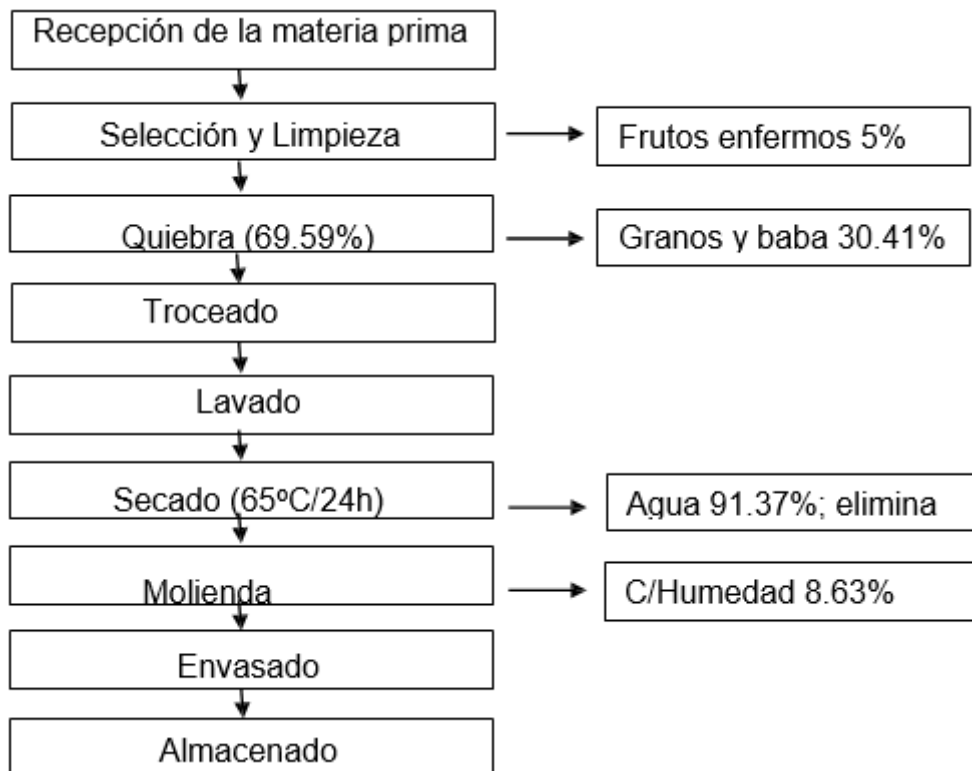


**Figura 8.** Composición química proximal y energética de la biomasa de la mazorca de Cacao.

De los resultados de la tabla 6 se pueden comparar los valores encontrados en la cáscara fresca y la harina, respecto a la cáscara fresca de cacao por su alto contenido de humedad aparentemente parece diferir cuando están transformadas en forma de harinas, eso se puede demostrar que estadísticamente no tienen diferencia significativa. Esto se debe fundamentalmente por el contenido de humedad, por otro lado, en la biomasa están formados la mayor cantidad de moléculas de pectinas que quedan representadas como carbohidratos y la fibra representa al poder funcional fenólica y antioxidante, que a su vez estos componentes contribuyen al bajo poder calórico. Los polifenoles se encontraron entre los otros compuestos bioactivos que se encuentran en CPHF. Los compuestos polifenólicos generalmente se acumulan en las partes externas de las plantas, como cáscaras, pieles (LECUMBERRI *et al.*, 2007).

### 4.3. Obtención de la harina de cáscara de mazorca de cacao para la obtención de plásticos biodegradables

En la Figura 9, se presenta el acondicionamiento de la mazorca de cacao fresco para su transformación en harina, se inicia con la recepción, luego con la operación de selección-limpieza se descartó 5% de frutos enfermos, luego fueron quebrados para separar granos y baba alrededor del 30.41%, luego fueron cortados en pequeños tamaños para facilitar el tiempo de secado (65 °C/24h) para poder conservar sus propiedades químicas y estas ser utilizadas en plástico biodegradable, durante el secado se eliminó 91.37% de agua, luego se realizó una molienda para tener una biomasa en forma de harina con una humedad de 8.63%, difiere al resultado obtenido por VILLAMIZAR *et al.* (2017) del 6.75 % de humedad este valor es muy apropiado para poder conservar las características propias de textura y apariencia de las harinas, facilitando su conservación por más tiempo para productos alimenticios, mientras que en nuestra investigación se busca el acondicionamiento de la mazorca de cacao para ser utilizado en la obtención de plásticos con presencia de moléculas beneficiosas y que finalmente puedan estar intrínsecamente en el plástico biodegradable.



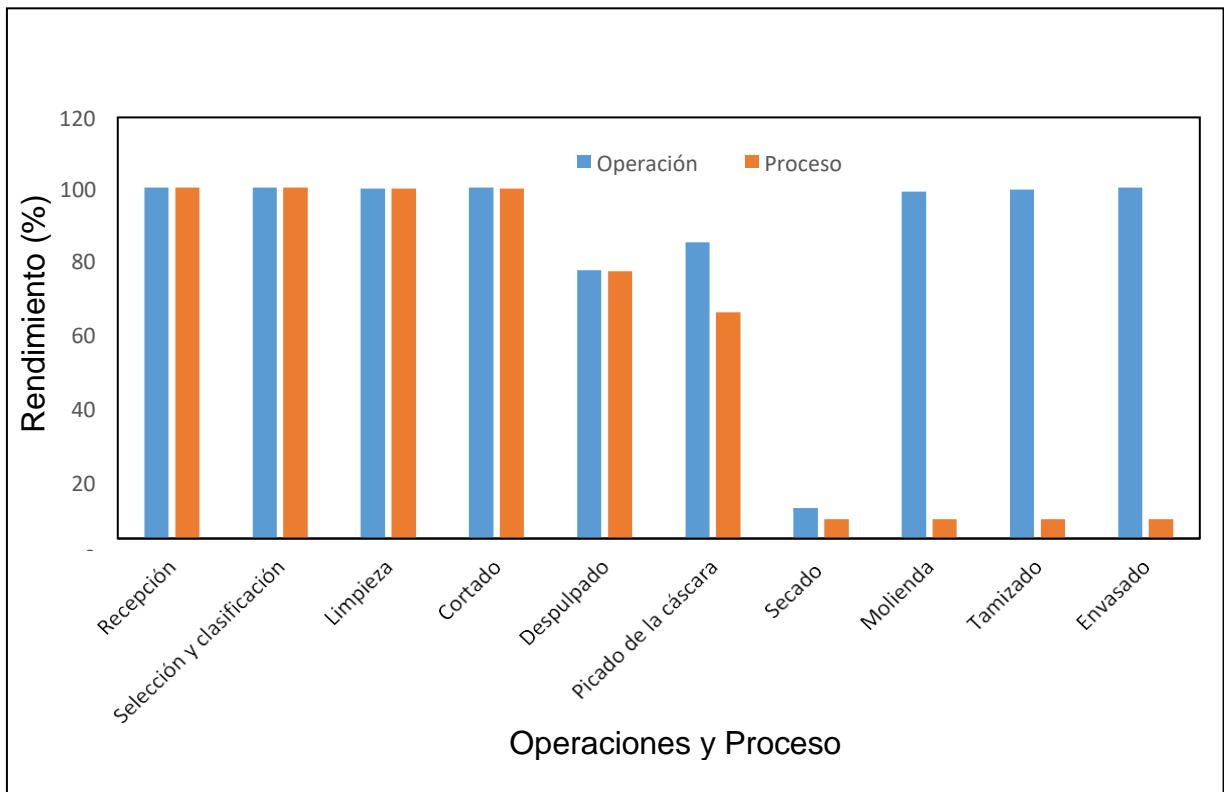
**Figura 9.** Diagrama para la obtención de harina Mazorca del cacao.

#### 4.4. Balance de materia en la obtención de harina de la mazorca de cacao

En la Tabla 7 y Figura 10, se presentan los resultados del balance y rendimiento para la obtención de harina de la mazorca de cacao tanto en la operación como en el proceso, al inicio hasta la operación del cortado estos rendimientos permanecen altos no existe eliminación del proceso (99.75%). la cantidad del 5.48% de harina de mazorca de cacao coinciden con los obtenidos por (CHAN & CHOO, 2013; SEGGIANI et al. 2009), que han reportado rendimientos de extracción con otro tipo de residuos, como la cáscara de limón, a una concentración 0,2 mol/L a 70°C, con cáscara de cacao, hasta 5,13%, a un pH de 2,5.

**Tabla 7.** Balance y rendimiento en la obtención de harina partir de la mazorca de cacao criollo

Operación	Ingresa	Pérdida		Continua Kg	Rendimiento (%)	
		Kg	%		Operación	Proceso
Recepción	100	---	---	100	100	100
Selección y clasificación	100	---	---	100	100	100
Limpieza	100	0.25	0.25	99.75	99.75	99.75
Cortado	99.75	---	---	99.75	100	99.75
Despulpado	99.75	23.45	23.51	76.24	76.43	76.24
Picado de la cáscara	76.24	11.78	15.45	64.46	84.37	64.46
Secado	64.46	58.89	91.37	5.57	8.64	5.57
Molienda	5.57	0.06	1.1	5.51	98.92	5.51
Tamizado	5.51	0.03	0.5	5.48	99.46	5.48
Envasado	5.48	---	---	5.48	100	5.48



**Figura 10.** Rendimientos en la obtención de harina partir de lamazorca de cacao criollo.

Luego en la operación de despulpado se logró eliminar una cantidad de grano y baba entre el 23.45%, continuando en la operación y proceso en 76.43 y 76.24% respectivamente. Durante el picado de la cáscara de cacao se eliminó una cantidad de 11.78% representados entre los residuos conformados por las puntasy venas de las babas, continuando en el proceso 64.46%. Durante la operación del secado se eliminó agua alrededor de 91.38% debido a la temperatura y tiempo de secado permitió la evaporación del agua, continuando en el proceso 5.57% de biomasa seca de mazorca de cacao. Durante la molienda permitió una eliminación de biomasa en forma de residuos en un valor de 1.1%, que quedaron en las paredes del propio equipo y expulsados por la fuerza de rotación del equipo en forma de aire, continuando en el proceso la cantidad de 5.51%, luego en la operación de tamizado las pérdidas en forma de residuos fueron del 0.5% y finalmente continuando en el proceso como producto final, la cantidad del 5.48% de harina de mazorca de cacao.

#### 4.5. Elaboración de los polímeros biodegradables de la harina de mazorca de cacao

En la Tabla 8, se presentan las formulaciones de los polímeros biodegradables a partir de la harina de la mazorca de cacao, se utilizaron varios componentes que tuvieron propiedades físicas y químicas con carácter plásticas.

**Tabla 8.** Formulación de los Polímeros biodegradables a partir de la harina de mazorca de cacao

Tratamientos (T <sub>i</sub> )	Mazorca de cacao (%)	Almidón (%)	Agua (mL)	Glicerol (mL)	Vinagre (mL)
T <sub>1</sub>	10	90	100	4	5
T <sub>2</sub>	20	80	100	4	5
T <sub>3</sub>	30	70	100	4	5
T <sub>4</sub>	40	60	100	4	5
T <sub>5</sub>	50	50	100	4	5

En este sentido se pudo apreciar que los tratamientos estuvieron formados a partir de las concentraciones de la mazorca de cacao frente a las concentraciones de almidón variando de menor a mayor y viceversa, con la finalidad de observar las respuestas plásticas que presentan cada uno de manera particular, según sus variabilidades, en estas formulaciones permanecieron constantes las cantidades de agua, glicerol y vinagre, debido a que estas moléculas permitieron fluidez, movilización y solubilidades como plásticos biodegradables para darle uniformidades en sus estructuras y por su condición de ser fluidos newtonianos cumplieron su función de plasticidad y permitiendo la evaporación del agua en exceso. En nuestro estudio es muy importante el efecto del plastificante sobre la solubilidad de los bioplásticos, y el mismo efecto es consistente con el efecto reportado por (LAOHAKUNJIT & NOOMHORM, 2004) elaborados a partir de almidón de arroz y glicerina, estos resultados se mencionan en (MALI *et al.* 2004) mostrando que, a mayor concentración de glicerol, mayor solubilidad del polímero debido

a su naturaleza hidrofílica.

#### **4.6. Análisis químico proximal de los polímeros biodegradables de la mazorca de cacao**

Sobre los resultados de la composición química proximal de los polímeros biodegradables de la mazorca de cacao se pueden apreciar en la Tabla 9 y Figura 11, en donde respecto a la humedad no existió estadísticamente diferencia significativa todos se mantuvieron al borde del 35%, sobre el contenido de proteína se observó que los tratamientos que contienen mayor concentración de almidón son los plásticos biodegradables que contienen mayores contenidos de proteínas como es el caso del tratamiento T1 y el de menor valor el T5. Este mismo comportamiento ocurrió con el contenido de fibra, ceniza y grasa, los tratamientos que tenían mayor concentración de almidón presentaron mayor contenido de estos componentes, mientras que el contenido de carbohidratos tuvo un comportamiento diferente debido a la influencia fuerte de las concentraciones de la biomasa de la mazorca de cacao, es decir a medida que se aumentó los porcentajes de biomasa también aumentaron el contenido de carbohidratos como es el caso del tratamiento T5 con el mayor valor y referente al valor energético se observó que la influencia de los componentes en cada uno de los tratamientos determinaron su valor energético, el que tuvo menor valor fue el T1 y el mayor valor el tratamiento T5.

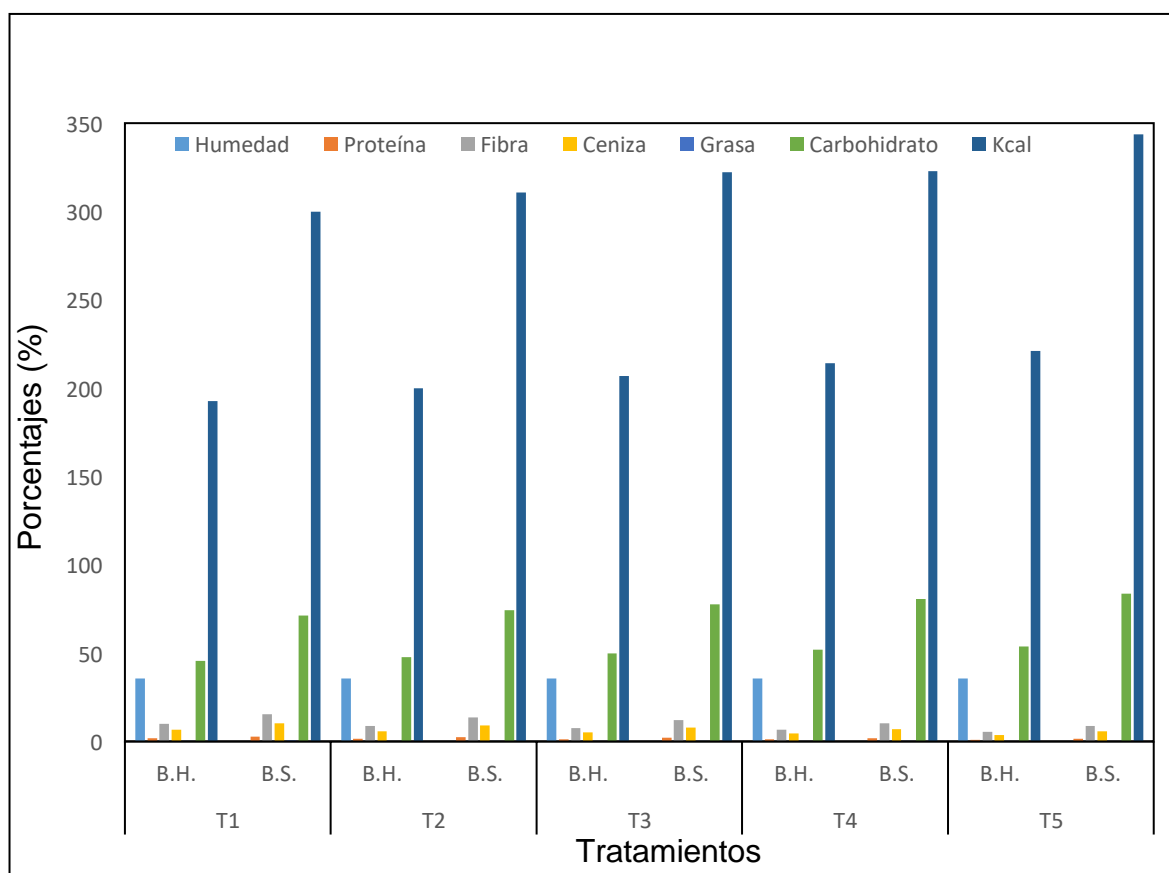
Estos resultados fueron similares a los reportados por LECUMBERRI *et al.* (2007) respecto al contenido de proteínas sobre cáscara de cacao. Sobre las proteínas nuestros resultados fueron menores a los obtenidos (5.56 g/100 g b.s.) por MARTÍNEZ (2012) y menores con los encontrados en otros coproductos de frutas como mango (4,28 g/100 g de muestra) o manzana (5,21 g/100 g de muestra) reportados por VERGARA-VALENCIA *et al.*, (2007) y DO ESPÍRITO SANTO *et al.*, (2012). Respecto a los lípidos fueron menores frente a las fibras de la cáscara de tomate reportado por NAVARRO-GONZÁLEZ *et al.*, (2011). El valor de las cenizas fue muy alto a los comparados con los valores encontrados en otros coproductos de frutas como semillas de maracuyá (1,34 g/100 g) u orujo de manzana (0,50 g/100 g) reportados por CHAU y HUANG (2004); SUDHA *et al.* (2007).

Las publicaciones indican acerca del alto contenido de cenizas que esto podría ser un problema en la posible aplicación de los coproductos en los alimentos vegetales, ya que el alto

contenido de iones metálicos podría aumentar considerablemente y ocasionar la oxidación del producto en el que sea incorporado. Sobre estos resultados se puede mencionar los componentes químicos proximales influyeron en la calidad de los plásticos biodegradables dentro de ellos podemos mencionar al contenido de carbohidratos haciendo que los tratamientos T4 y T5 se comportaron mejor desde el punto de vista plástico, mientras que desde el punto de vista nutricional los tratamientos T1 y T2, contuvieron mayor contenido de proteína como plástico biodegradable en comparación de los demás tratamientos.

**Tabla 9.** Composición químico proximal de los polímeros biodegradables de la mazorca de cacao (g/100g)

Tratamientos	Humedad	Proteína	Fibra	Ceniza	Grasa	Carbohidrato	Kcal	
T1	B.H.	35.72±0.93	1.73±0.21	9.86±0.57	6.63±0.91	0.31±0.33	45.75±1.10	192.71±7.74
	B.S.		2.69±0.34	15.34±1.05	10.32±1.53	0.49±0.52	71.16±2.71	299.80±16.0
T2	B.H.	35.69±0.69	1.56±0.16	8.79±0.29	5.89±0.93	0.28±0.11	47.78±0.93	199.85±5.13
	B.S.		2.42±0.27	13.68±0.59	9.17±3.22	0.44±0.25	74.29±2.23	310.78±11.99
T3	B.H.	35.68±0.46	1.38±0.10	7.73±1.01	5.16±0.88	0.25±0.05	49.80±0.29	206.96±1.95
	B.S.		2.15±0.17	12.04±1.65	8.03±1.45	0.39±0.1	77.56±1.04	322.31±5.42
T4	B.H.	35.66±0.29	1.21±0.60	6.67±0.90	4.42±0.53	0.22±0.16	51.83±2.89	214.11±9.22
	B.S.		1.88±0.98	10.37±1.61	6.87±0.95	0.33±0.27	80.56±3.76	322.75±8.91
T5	B.H.	35.63±1.24	1.03±0.51	5.61±0.80	3.69±0.44	0.18±0.11	53.86±2.94	221.15±9.18
	B.S.		1.61±0.81	8.71±1.43	5.73±0.78	0.28±0.18	83.67±3.02	343.57±7.74



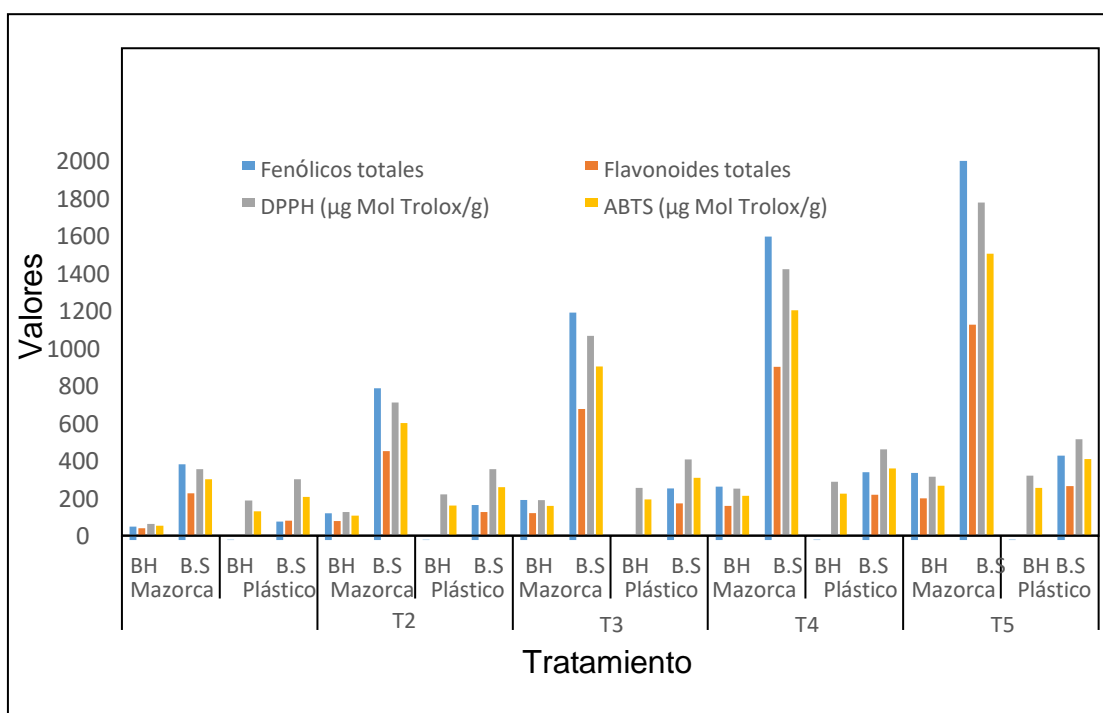
**Figura 11.** Composición de los polímeros biodegradables de la mazorca de cacao.

#### 4.7. Fenólicos totales y Actividad antioxidante *In-Vitro*

Los resultados de la composición de fenólicos, flavonoides, capacidad antioxidante por DPPH y ABTS en los diferentes tratamientos y respecto a la mazorca de cacao propiamente dicha frente a los polímeros biodegradables de la mazorca de cacao se pueden apreciar en la Tabla 10 y la Figura 12. En donde se pueden comparar estos resultados en base húmeda y base seca, respecto a las mazorcas de cacao se pueden apreciar en base húmeda que el contenido de fenólicos totales, flavonoides totales, DPPH y ABTS aumentaron en la misma medida que en los tratamientos, sobre eso también se aumentaron las concentraciones de la biomasa de mazorca de cacao en la misma relación de T1, T2, T3, T4 y T5. En base seca se pudo apreciar este mismo comportamiento con la diferencia que estos valores están en estado concentrado y real de una materia orgánica y desde este punto de vista estos componentes funcionales están presentes con valores importantes. Analizando la presencia de estos componentes funcionales en los



plásticos biodegradables se pudo observar que respecto a los fenólicos totales, flavonoides totales, DPPH y ABTS, tanto en base humedad como en base seca el contenido de estos componentes fueron mayores a medida que las concentraciones de biomasa de cacao fueron utilizados en mayor proporción en cada uno de los tratamientos, como es el caso de los tratamientos T4 y T5 fueron los que presentaron mayor contenido de capacidad antioxidante. Estos resultados obtenidos tuvieron concordancia con los reportados por LECUMBERRI *et al.* (2007) donde verificaron que el contenido fenólico de los productos de cacao varió mucho y tuvieron valores que van desde 0.33 a 6.5% de polifenoles totales en el cacao en polvo. Así mismo fueron superiores a los reportados por HERNÁNDEZ *et al.* (2018) y BARBOSA *et al.* (2018), También nuestros resultados fueron mayores comparados a los obtenidos por MARTÍNEZ *et al.* (2012). Los Fenólicos y flavonoides totales resultó ser mayor que el reportado para la cáscara de banana, aguacate y granadilla, respectivamente y sólo menor que el de la cáscara de guayaba y mango, respectivamente (AYALA-ZAVALA *et al.*, 2011).



**Figura 12.** Composición fenólica y capacidad antioxidante de las mazorcas y polímeros biodegradables de la mazorca de cacao (g/100g).

Referente a la capacidad antioxidante los valores encontrados en este estudio tanto por DPPH y ABTS fueron superiores a los valores de 37.97  $\mu\text{M TEAC/g}$ , reportados por

MARTÍNEZ *et al.* (2012) y de 7,73  $\mu\text{M TE/g}$  reportados por LECUMBERRI *et al.* (2007), respectivamente, también fueron superiores el DPPH a los reportados por PAVLOVIC *et al.* (2020) sobre cáscara de cacao. Respecto a los plásticos biodegradables se pudo observar que comparado con los films biodegradables a partir de harinas rico en proteínas de guisantes reportados por VIROBEN *et al.*, (2000), nuestros resultados fueron mayores en el contenido de agua, pero menores en el contenido de proteína. En cuanto a la capacidad antioxidante de los plásticos se determinaron que aumentaron de uno a otro tratamiento, pero tuvieron concordancia con los obtenidos por MIRANDA *et al.*, (2011) respecto a la quinua. La capacidad antioxidante presentes en los plásticos obtenidos se deben fundamentalmente a la presencia de la biomasa de la mazorca de cacao en la misma medida de las concentraciones que fueron utilizadas y de acuerdo a los resultados los compuestos antioxidantes presentes en la biomasa de cacao influyeron en estar presentes en los plásticos biodegradables obtenidos otorgándole a estos polímeros una actividad funcional antioxidante y por lo tanto los tratamientos T4 y T5, puede ser considerado como plásticos comestibles con propiedades funcionales y antioxidantes. Sobre estos resultados LECUMBERRI *et al.*, (2007) indican que los polifenoles se encuentran generalmente se acumulados en las partes externas de las plantas, como cáscaras y pieles.

**Tabla 10.** Composición fenólica y capacidad antioxidante de las mazorcas y polímeros biodegradables de la mazorca de cacao (g/100g)

Ti	Componentes	Mazorca de cacao		Plástico biodegradable de la mazorca de cacao	
		B.H.	B.S.	B.H.	B.S.
T1	Fenólicos totales	65.12 $\pm$ 0.94	368.74 $\pm$ 5.31	0.56 $\pm$ 0.31	90.84 $\pm$ 0.71
	Flavonoides totales	36.23 $\pm$ 1.48	205.19 $\pm$ 8.41	0.45 $\pm$ 0.11	72.51 $\pm$ 0.55
	DPPH ( $\mu\text{g Mol trolox/g}$ )	57.15 $\pm$ 1.87	323.61 $\pm$ 10.58	170.86 $\pm$ 1.13	273.80 $\pm$ 1.99
	ABTS ( $\mu\text{g Mol Trolox/g}$ )	48.37 $\pm$ 1.22	273.89 $\pm$ 6.89	117.86 $\pm$ 0.39	188.88 $\pm$ 0.56
T2	Fenólicos totales	130.24 $\pm$ 1.06	737.48 $\pm$ 6.03	1.07 $\pm$ 0.51	170.63 $\pm$ 2.82
	Flavonoides totales	70.46 $\pm$ 1.24	410.30 $\pm$ 7.04	0.71 $\pm$ 0.32	114.46 $\pm$ 1.79
	DPPH ( $\mu\text{g Mol trolox/g}$ )	114.30 $\pm$ 0.71	647.26 $\pm$ 4.0	201.10 $\pm$ 1.64	322.26 $\pm$ 1.83
	ABTS ( $\mu\text{g Mol Trolox/g}$ )	96.74 $\pm$ 1.16	547.79 $\pm$ 6.54	146.43 $\pm$ 2.67	234.66 $\pm$ 4.94
	Fenólicos totales	195.36 $\pm$ 1.79	1106.24 $\pm$ 10.14	1.56 $\pm$ 0.1	250.42 $\pm$ 2.74
	Flavonoides totales	108.69 $\pm$ 0.93	615.47 $\pm$ 5.28	0.98 $\pm$ 0.27	156.41 $\pm$ 2.99

T3	DPPH ( $\mu\text{g Mol trolox/g}$ )	171.45 $\pm$ 1.29	970.55 $\pm$ 7.30	231.34 $\pm$ 0.62	370.72 $\pm$ 1.68
	ABTS ( $\mu\text{g Mol Trolox/g}$ )	145.11 $\pm$ 2.01	821.70 $\pm$ 11.35	175.00 $\pm$ 2.67	280.43 $\pm$ 3.24
Fenólicos totales		260.48 $\pm$ 1.73	1474.97 $\pm$ 9.82	2.06 $\pm$ 0.56	330.21 $\pm$ 2.94
Flavonoides totales		144.92 $\pm$ 1.1	820.64 $\pm$ 6.24	1.24 $\pm$ 0.62	198.36 $\pm$ 0.84
T4	DPPH ( $\mu\text{g Mol trolox/g}$ )	228.65 $\pm$ 0.49	1294.77 $\pm$ 2.78	261.58 $\pm$ 1.49	419.18 $\pm$ 2.77
	ABTS ( $\mu\text{g Mol Trolox/g}$ )	193.48 $\pm$ 0.67	1095.62 $\pm$ 3.80	203.57 $\pm$ 2.65	326.21 $\pm$ 1.18
Fenólicos totales		325.61 $\pm$ 1.38	1843.77 $\pm$ 7.81	2.56 $\pm$ 0.25	410.00 $\pm$ 1.36
Flavonoides totales		181.15 $\pm$ 0.57	1025.76 $\pm$ 3.24	1.50 $\pm$ 0.31	240.31 $\pm$ 2.81
T5	DPPH ( $\mu\text{g Mol trolox/g}$ )	285.76 $\pm$ 0.6	1618.10 $\pm$ 3.37	291.82 $\pm$ 1.23	467.64 $\pm$ 1.11
	ABTS ( $\mu\text{g Mol Trolox/g}$ )	241.85 $\pm$ 1.16	1369.49 $\pm$ 6.55	232.13 $\pm$ 2.73	371.99 $\pm$ 0.63

\* ( $\mu\text{g ac. gálico/100g}$ ), \*\* ( $\mu\text{g ac. quercetina/100g}$ )

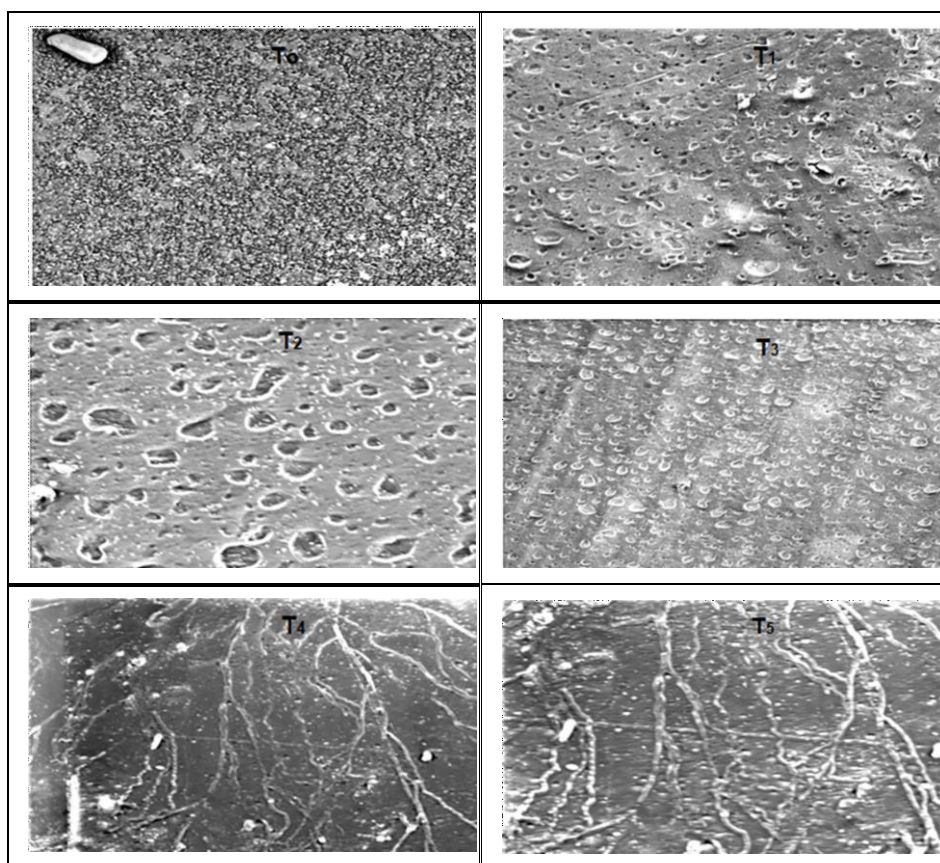
#### 4.8. Morfología microscópica de los polímeros plásticos

En la Figura 13, se puede observar los resultados de la morfología pormicroscopia de barrido electrónico de los tratamientos plásticos biodegradables y comparados con plástico comercial. Respecto al plástico comercial (To) se observó que la morfología fue uniforme y estable entre los microcomponentes poliméricos que lo conforman a este plástico y son los responsables en la influencia de las propiedades físicas de este plástico To, En este sentido comparando con T1 se pudo apreciar una morfología poco uniforme debido a la presencia de las partículas poliméricas provenientes de la biomasa del cacao, Mientras comparado con T2 se pudo apreciar que le supera un poco en uniformidad al T1, así mismo comparados con el tratamiento T3, este tratamiento morfológicamente es más uniforme que los anteriores acercándose más al plástico comercial (To).

Los Tratamientos T4 y T5, presentaron una morfología poco inestable debido a la mayor presencia de polímeros de la biomasa del cacao, donde se puede apreciar poca uniformidad y aglomeración de partículas poliméricas que se concentraron por algunas partes de la superficie plástica, nuestros resultados estuvieron concordantes a los obtenidos por LEEJARKPAI *et al.* (2011); AMIN *et al.* (2019); HARMAEN (2016) y GIOSAFATTO (2018).

De todos los tratamientos de acuerdo con los resultados se pudo observar que el T3

presento mejor morfología poco más uniforme en comparación con los demás tratamientos, en este sentido se puede indicar que la influencia de la biomasa de la mazorca de cacao tiene un límite para ser utilizado como materia prima en la elaboración de plásticos biodegradables, al usarse en exceso estas concentraciones de biomasa pueden afectar la morfología y a su vez la estabilidad uniforme del plástico.



**Figura 13.** Morfología microscópica de los polímeros plásticos de la mazorca de cacao, T<sub>0</sub> (Plástico comercial), T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub> y T<sub>5</sub> (Tratamientos: tipos de bioplásticos).

#### 4.9. Biodegradabilidad de los bioplásticos en el medio ambiente

Los resultados de la biodegradabilidad de los plásticos biodegradables de la mazorca de cacao en el medio ambiente evaluados en el tiempo se presentan en la Tabla 11, donde se pudo apreciar que al inicio en el tiempo cero los pesos de los plásticos fueron tomados en cuenta con sus respectivos valores y al cabo de los cinco días de biodegradabilidad todas los tratamientos bajaron de peso significando que el material orgánico conformado en los plásticos fueron deteriorándose, al cabo de los 8, 11 15 y 20 días de degradabilidad los tratamientos plásticos

disminuyeron absolutamente de masa, es decir el porcentaje de biodegradabilidad fue en la relación de T1(84.23%), T1(84.44%), T1(85.55%), T1(89.89%) y T1(85.84%), como se observó el tratamiento T4 es el que presentó mayor grado de biodegradabilidad seguido del T5. De la misma manera se puede corroborar estos resultados en la Figura 14, donde se puede observar sobre las fotografías de biodegradabilidad como cada uno de los tratamientos vienen teniendo degradación en función a los días de exposición en el suelo desde el primer día hasta los últimos 20 días de evaluación observando una absoluta degradabilidad en todos los tratamientos. La biodegradabilidad obtenidos en nuestro estudio fue superior a los 45% de biodegradabilidad obtenidos por PATEL (2016). Nuestros resultados estuvieron similares a los reportados por WAHYUNINGTIYAS y SURYANTO (2017), donde lograron obtener reducción de masas de su bioplásticos durante 3, 6,9 y 12 días. Esto indicó que los compuestos naturales del bioplástico eran fácilmente digeridos por los microorganismos. Por otro lado, los bioplásticos se quebraron en trozos pequeños a partir de los 8 días, pero la degradación total ocurrió a partir de los 20 días, entendiendo que el agua del suelo fue absorbida por el bioplástico, además los hidroxilos del almidón y de la biomasa de la mazorca de cacao, sumados al glicerol que tiene la propiedad de absorber agua hidroxílica iniciaron su reacción de hidrolisis por ello que fueron desmenuzados degradándose y perdiendo peso, haciendo que se convirtiera en un plástico ecológico este proceso es influenciado por la acción de las condiciones ambientales y las bacterias que se encuentran posiblemente en el suelo como *Pseudomonas sp.*, *Streptococcus s.p.*, *Staphylococcus sp.*, *Bacillus sp.* y *Moraxella sp.* (FOLINO *et al.*, 2020; RUGGERO, 2019; WAHYUNINGTIYAS Y SURYANTO, 2018; LUCA *et al.*, 2008; MASSARDIER-NAGEOTTE, 2006).

**Tabla 11.** Biodegradabilidad de los bioplásticos biodegradables de la mazorca de cacao en el medio ambiente

Días (Pérdida de peso)	Tratamientos				
	T1	T2	T3	T4	T5
0	4.37	5.01	4.43	4.35	4.38
5	3.99	4.93	4.14	3.92	3.88
8	3.29	3.98	3.51	3.48	3.26
11	2.77	3.26	3.15	3.18	2.79

15	1.42	2.24	1.95	1.02	1.44
20	0.69	0.78	0.64	0.44	0.62
Bd(%)	84.23	84.44	85.55	89.89	85.84

Bd: Biodegradabilidad, Pérdida de peso (g)

Días	Estado de biodegradabilidad en el medio ambiente
0 días	  
5 días	
8 días	
11 días	
15 días	



**Figura 14.** Estado de biodegradabilidad de los bioplásticos de la mazorca de cacao expuesto al medio ambiente.

La biodegradabilidad de los polímeros plásticos a partir de la biomasa de la mazorca de cacao de acuerdo a los datos obtenidos sobre la pérdida de peso en cada uno de los tratamientos y a las formas de deterioro que se pudieron observar al transcurrir el tiempo, nos manifiestan que la presencia de materia orgánica en forma de moléculas constituido la biomasa de la mazorca de cacao influyo en la degradabilidad porque de acuerdo a los resultados estuvo constituido por moléculas de carbohidratos y algunas moléculas antioxidantes.

## V. CONCLUSIÓN

- Se realizó en la primera etapa el acondicionamiento de biomasa de la mazorca de cacao en forma de harina donde se pudo exponer todas sus moléculas posibles que otorgan beneficios desde el punto de vista nutricional por su contenido de proteínas y bioactivo por su contenido de compuestos antioxidantes.
- La biomasa presentó características fisicoquímicas adecuadas en su composición química para influir en la calidad de los plásticos biodegradables. Los polímeros plásticos obtenidos presentaron una composición química proximal conformada entre las proteínas, fibra, carbohidratos y un bajo nivel calórico. Entre las actividades funcionales los tratamientos T3, T4 y T5, presentaron interesantes concentraciones de fenólicos, flavonoides y actividad antioxidante tanto para el método DPPH y ABTS.
- Se evaluó las propiedades morfológicas de los plásticos biodegradables en el análisis de microscopia de barrido electrónico siendo el tratamiento T3 el que presentó mejor uniformidad en su estructura como plástico en comparación al plástico comercial.
- Durante la evaluación de biodegradabilidad los tratamientos soportaron una pérdida y desintegración de sus masas hasta los 20 días, todos presentando encima del 84% de biodegradabilidad siendo el tratamiento T4 el que presentó mayor grado de biodegradabilidad a comparación de los otros tratamientos.



## **VI. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda hacer estudios más a fondo de la composición de la cáscara donde se permita conocer la concentración de celulosa, lignina y pectina, principalmente, debido a que son componentes que brindan resistencia a la cáscara y por consecuencia al bioplástico.
- Realizar estudios de biodegradabilidad en otros ecosistemas como rellenos sanitarios, composta, sistemas acuáticos que no están en movimiento, como lagos.
- Esta investigación se limitó hasta la elaboración de una lámina de bioplástico, se recomienda seguir con el proceso hasta la obtención del prototipo de bandeja.

## VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación). (2013). Plásticos: Determinación de la biodegradabilidad aeróbica última en el suelo mediante la medición de la demanda de oxígeno en un respirómetro o bien mediante la cantidad de dióxido de carbono generada (ISO 17556:2012).
- AMIN, R.; ASADUZZAMAN M.; AREFIN, MD. (2019). Characterization and performance analysis of composite bioplastics synthesized using titanium dioxide nanoparticles with corn starch. *J. Heliyon*, 5(8); 1-9.
- AOAC. (2000). *Official Methods of Analysis*, 17th ed. Association of Official Analytical Chemistry, Washington.
- ARANEDA, G. (2004). Obtención, caracterización y estudio de vida útil de la harina integral de quinua. Tesis (Ingeniería en Alimentos). Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Chile.
- ARÉVALO NK; ALEMÁN HME; ROJAS VMAG; MORALES RLA. 2010. Películas biodegradables a partir de residuos de cítricos: propuesta de empaques activos. Instituto de Biotecnología. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León. México.
- ARDILA S. C.; CARREÑO J. S. C. (2011). Aprovechamiento de la cáscara de la mazorca de cacao como adsorbente. Trabajo presentado como requisito para optar el título de Ingeniero Químico. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Bucaramanga. Colombia.
- AREGHEORE, E.M., (2020). Chemical evaluation and digestibility of cocoa (*Theobroma cacao*) byproducts fed to goats. *Trop. Anim. Health Prod.* 34, 339–348.
- AYALA-ZAVALA, J. F.; VEGA-VEGA, V.; ROSAS-DOMÍNGUEZ, C.; PALAFOX-

CARLOS, A. H.; VILLA-RODRIGUEZ, J.A.; WASIM, M.D.; DÁVILA-AVIÑA, J.E.; GONZÁLEZ-AGUILAR, G.A. (2011). Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives. *Food Research International* 1866–1874

BAENA L. M.; GARCÍA C. N. A. (2012) . Obtención y caracterización de fibra dietaría a partir de cascarilla de las semillas tostadas de *Theobroma cacao L.* de una Industria Chocolatera Colombiana. Documento presentado como requisito parcial para optar el título de Químico Industrial. Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías. Escuela de Química. Pereira, Colombia

BAQUE, C. (2019). Diferencia entre biodegradable y compostable. Baque. Recuperado de <https://www.baque.com/es/blog/diferencia-entrebiodegradable-y-compostable/>

BARAZARTE, H, SANGRONIS, E, UNAI, E. (2008). La cáscara de cacao (*Theobromacacao L*) una posible fuente de comercial. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 58(1):64-70.

BARBOSA-PEREIRA, L.; GUGLIELMETTI, A.; ZEPPA, G. Pulsed Electric Field Assisted Extraction of Bioactive Compounds from Cocoa Bean Shell and Coffee Silverskin. *Food Bioproc. Technol.* (2018), 11, 818–835.

BETANCOURT, L.; LLANO, J. (2009). *Extracción de pectinas a partir de los subproductos del beneficio del cacao*. Memoria para optar el Título de Ingeniero de Procesos, Universidad EAFIT, Medellín, Colombia.

CAMACHO E. M.; VEGA B. J.; CAMPOS G. A. (2011). Uso de nanomateriales en polímeros para la obtención de bioempaques en aplicaciones alimentarias. Artículo de divulgación. Laboratorio Nacional de Nanotecnología (LANOTEC-CeNAT); Facultad de Química, Universidad Nacional, Costa Rica. Carlos III de Madrid. 176 p.

CASTILLO, E.; ALVARES, C. Y CONTRERAS, Y. (2018). Caracterización fisicoquímica de la cáscara del fruto de un clon de cacao (*Theobroma cacao l.*) Cosechados en Cauagua estado Miranda. *Revista de Investigación, Venezuela.* (42): 95.

- CASTILLO, M., HERNÁNDEZ, M., GARCÍA, R., GONZÁLEZ, M., ESPINOSA, B., SOLÍS, J., DURÁN, C. (2010). Reaprovechamiento integral de residuos agroindustriales: cáscara y pulpa de cacao para la producción de pectinas. [Versión electrónica]. Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias, 1(2):45-66
- CHAN, S.-Y.; CHOO, W.-S. 2013. Effect of extraction conditions on the yield and chemical properties of pectin from cocoa husks. Food Chemistry. (UK). 141(4):3752-3758.
- 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.
- CHANG, C. C.; YANG M.H.; WEN H.M.; CHERN, J.C. (2002) Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. Journal of Food Drug Analysis, v. 10, p. 178-82.
- CHARRO, M. (2015). Obtención de Plástico Biodegradable a Partir de Almidón de Patata. Tesis (Ingeniería Química). Ecuador: Universidad Central de Ecuador, Facultad de Ingeniería Química.
- CHAU, C. F.; HUANG, Y. L. (2004). Characterization of passion fruit seed fibres a potential fibre source. Food Chemistry, 85, 189–194.
- CHIUMARELLI M.; HUBINGER, M.D. (2014). Evaluation of edible films and coatings formulated with cassava starch, glycerol, carnauba wax and stearic acid. Food Hydrocolloids, 38:20-27.
- DIAB, T.; BILIADERIS, C.; GERASOPOULOS, D. Y SFAKIOTAKIS, E. (2001) Physicochemical properties and application of pullulan edible films and coatings in fruit preservation. J. Sci. Food Agric., (81):988-1000.
- DICK, M. (2014). Desenvolvimento de filmes biodegradáveis a partir da semente e da mucilagem de Chia (*Salvia hispanica* L.). 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e

Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Brasil.

DO ESPÍRITO SANTO, A. P.; CARTOLANO, N. S.; SILVA, T. F.; SOARES, F. A.; GIOIELLI, L. A., PEREGO, P.; CONVERTI, A.; OLIVEIRA, M. N. (2012). Fibers from fruit by-products enhance probiotic viability and fatty acid profile and increase CLA content in yoghurts. *International Journal of Food Microbiology*, 154, 135–144.

FOLINO, A.; KARAGEORGIU, A.; CALABRÒ, P. S.; KOMILIS, D. (2020). Biodegradation of Wasted Bioplastics in Natural and Industrial Environments: A Review. *J. Sustainability*, 12: 6030-6067.

GARCIA, I. (2017). Determinación de concentración óptima de ácido acético-glicerol en la elaboración de plástico biodegradable a partir del almidón de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) en Pucallpa [Tesis, Universidad Nacional de Ucayali]. <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/3626>

GIOSAFATTO, C.V.; AL-ASMAR, A.; D'ANGELO, A.; ROVIELLO, V.; ESPOSITO, M.; MARINIELLO, L. (2018). Preparation and Characterization of Bioplastics from Grass Pea Flour Cast in the Presence of Microbial Transglutaminase. *J. Coatings*, 8: 435-447.

GOMEZ-PLAZA, E.; MINANO, A.; LOPÉZ-ROCA, J. M. (2006). Comparison of chromatic properties, stability and antioxidant capacity of anthocyanin-based aqueous extracts from grape pomace obtained from different vinification methods. *Food Chemistry*, v. 97, n.1, p. 87-94.

GONZÁLEZ, A.; STRUMIA, M. C.; IGARZABAL, C. I. A. (2011). Cross-linked soy protein as material for biodegradable films: Synthesis, characterization and biodegradation. *Journal of Food Engineering*, v. 06, p. 331–338.

GUIDI A, ZYLA M, QUIROGA A. 2010. Obtención de pectina a partir de la cáscara de maracuyá mediante hidrólisis ácida. Artículo. *Journal Boliviano de Ciencias*. JBC

v.7 n.21 Cochabamba oct. 2010, Bolivia.

- HARMAEN, A. S.; KHALINA, A.; MOHD H.; NOR, I. (2016) . Thermal, Morphological, and Biodegradability Properties of Bioplastic Fertilizer Composites Made of Oil Palm Biomass, Fertilizer, and Poly(hydroxybutyrate-co-valerate). Hindawi. International Journal of Polymer Science.
- HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, C.; VIERA-ALCAIDE, I.; SILLERO, A.M.M.; FERNÁNDEZ-BOLAÑOS, J.; RODRÍGUEZ-GUTIÉRRE G. (2018). Bioactive compounds in Mexican genotypes of cocoa cotyledon and husk. Food Chem. 240, 831–839.
- JUÁREZ, C. (2021). Envases de cáscaras de cacao. The Food Tech. Recuperado de <https://thefoodtech.com/insumos-para-empaque/creanenvases-de-cascaras-de-cacao>
- KHWALDIA, K.; PEREZ, C.; BANON, S.; DESOBRY, S. Y HARDY, J. (2004). Milk proteins for edible films and coatings. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, (44):239-251.
- LACHENAUD, P., PAULIN, D., DUCAMP, M., THEVENIN, J. M. (2007). Twenty years of agronomic evaluation of wild cocoa trees (*Theobroma cacao* L.) from French Guiana. Sci. Hortic. 113, 313–321.
- 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
- LECUMBERRI, E., MATEOS, R., IZQUIERDO-PULIDO, M., RUPÉREZ, P., GOYA, L., BRAVO, L. (2007). Dietary fibre composition, antioxidant capacity and physico-chemical properties of a fibre-rich product from cocoa (*Theobroma cacao* L.). Food Chem. 104, 948–954.
- LEEJARKPAI, T.; SUWANMANEE, U.; RUDEEKIT, Y.; MUNGCHAROEN, T. (2011). Biodegradable kinetics of plastics under controlled composting conditions. Waste

Management, 31: 1153–1161.

- LUCAS, N.; BIENAIME, C.; BELLOY, C.; QUENEUDEC, M.; FRANÇOISE, S.; NAVASAUCEDO J. E. (2008). Polymer biodegradation: Mechanisms and estimation techniques - A review,” *Chemosphere*, 73 (4): 429–442.
- LUCKACHAN, G. E.; PILLAI, C. K. C. (2011). Biodegradable polymers. A review on recent trends and emerging perspectives. *Journal polymer Enviromental* 19:637-676.
- MACHADO, A.R.; ASSIS, L.M.; MACHADO M.I.R.; SOUZA-SOARES, L.A. (2014). Importance of lecithin for encapsulation processes. *African Journal FoodScience*, v. 8, n. 4, p. 176-183.
- 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
- MARIATTI, F., GUNJEVIĆ, V., BOFFA, B.; CRAVOTTO, G.(2021). Process intensification technologies for the recovery of valuable compounds from cocoa by-products. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. V (68).
- MARTÍNEZ, R.; TORRES, P.; MENESES, M.; FIGUEROA, J. A.; PÉREZ-ÁLVAREZ, J. A.; VIUDA-MARTOS, M. (2012). Chemical, technological and in vitro antioxidant properties of cocoa (*Theobroma cacao* L.) co-products. *FoodResearch International*, 49, 39–45
- MASSARDIER-NAGEOTTE, V.; PESTRE, C.; CRUARD-PRADET, T.; BAYARD R. (2006). Aerobic and anaerobic biodegradability of polymer films and physico-chemical characterization, *Polym. Degrad. Stab.*, 91(3): 620–627.
- MERÉ, J. (2009). Estudio del procesado de un polímero termoplástico basado en almidón de patata amigable con el medio ambiente. Madrid, ES. Universidad Carlos III de Madrid.
- MINAM (Ministerio de Medio Ambiente, PE). (2012). Cuarto informe nacional de residuos sólidos municipales y no municipales: Gestión 2010–2011. Lima, PE.12 p.

- MINAM (Ministerio del Ambiente). (2009). Medidas de Ecoeficiencia para el Sector Público: DECRETO SUPREMO N° 009-2009-MINAM. (En línea). El peruano N° 395914. Lima, Perú. Consultado 29 agosto 2015.
- MINAM (Ministerio del Ambiente). (2010). Modifican artículos del Decreto Supremo N°009-2009-MINAM -Medidas de Ecoeficiencia para el Sector Público: DECRETO SUPREMO N° 011-2010-MINAM. (En línea). El Peruano N° 424401. Lima, Perú.
- MINAM (Ministerio del Ambiente). (2011). Establecen disposiciones para la implementación de lo dispuesto mediante R.M. N° 021-2011-MINAM: RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 083-2011-MINAM. (En línea). El peruano N° 441151. Lima, Perú.
- MINAM (Ministerio del Ambiente). (2011). Establecen porcentajes de material reciclado en plásticos, papeles y cartones a ser usados por las entidades del Sector Público: RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 021-2011-MINAM. (En línea). El Peruano N°435474. Lima, Perú.
- MINAM (Ministerio del Ambiente). (2014). Aprueban Normas Técnicas Peruanas sobre papel, neumáticos para vehículos, agua potable, algarrobina, bisutería, madera y otros: Resolución comisión de normalización y de fiscalización de barreras comerciales no arancelarias N° 146-2014/CNB-INDECOPI. (En línea). El Peruano N° 544697. Lima, Perú.
- MINAM (Ministerio del Ambiente). (2015). Aprueban Normas Técnicas Peruanas sobre Envases y Embalajes, y Granos Andinos: Resolución comisión de normalización y de fiscalización de barreras comerciales no arancelarias N° 582015/CNB-INDECOPI. El Peruano N° 553222. Lima, Perú.
- MIRANDA, K.; VEGA-GALVEZ, A.; URIBE, E.; LOPEZ, J.; MARTINEZ, E.; RODRIGUEZ, M. J.; QUISPE, I.; Di SCALA, K. (2011). Physico-chemical analysis, antioxidant capacity and vitamins of six eco tipos of Chilean quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) *Procedia. Food Sci.* 10:1439-1446.



- NAVARRO-GONZÁLEZ, I., GARCÍA-VALVERDE, V., GARCÍA-ALONSO, J., & PERIAGO, M. J. (2011). Chemical profile, functional and antioxidant properties of tomato peel fiber. *Food Research International*, 44, 1528–1535.
- NENADIS, N.; WANG, L. F.; TSIMIDOU, M.; ZHANG, H. Y. (2004). Estimation of scavenging activity of phenolic compounds using the ABTS<sup>•+</sup> assay. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 52, p. 4669-4674.
- ORTIZ, L.; CAMACHO, G.; GRAZIANI, L.(2004). Efecto del secado al sol sobre la calidad del grano fermentado de cacao. *Agronomía Trop.* v.54 n.1
- PADRÓN GG; ARIAS MEM; ROMERO GJ; BENAVIDES MA; ZAMORA RJ; GARCÍA RSP. (2004). Efecto de la cáscara de cacao en la obtención de espumas de Poliuretano para uso hortícola. *Propiedades físicas y de biodegradabilidad Rev. Soc. Quím. Méx.* 2004., pp. 156-64.
- PATEL, A.; PANCHAL, T.; RUDAKIYA, D.; GUPTA A.; PATEL, J. (2016). Fabrication of bio-plastics from protein isolates and its biodegradation studies. *International Journal of Chemical Sciences and Technology.* 1(3)
- PAVLOVIĆ, N; JOKIĆ, S.; JAKOVLJEVIĆ, M.; MARIJANA BLAŽIĆ, M.; MOLNAR, M. (2020). Green Extraction Methods for Active Compounds from Food Waste-Cocoa Bean Shell. *J. Foods*, 9(2), 140-155.
- 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.
- POSTIGO, R. (2022). Proyecto de factibilidad de una planta de fabricación de empaques biodegradables a base de almidón y cáscara de arroz para el proceso de empaquetado de frutas y verduras [Tesis, Universidad Católica San Pablo]. <http://hdl.handle.net/20.500.12590/17249>.

- REMAR (Red Energía y Medio Ambiente, ES). (2011). Bioplástico: Certificación y normativa. 5 p. (Guía práctica no. 2).
- ROJO-POVEDA, O.; BARBOSA-PEREIRA, L.; MATEUS-REGUENGO, L.; BERTOLINO, M.; STÉVIGNY, C.; ZEPPA, G. (2019). Effects of particle size and extraction methods on cocoa bean shell functional beverage. *Nutrients*, 11, 867-886.
- ROMERO, H. (2016). Evaluación ecomorfológica de cacao (*Theobroma cacao L.*) sometido a distintas fertilizaciones, en la comunidad de nuevo Ojital, municipio de Papantla, Veracruz. [Tesis de trabajo de experiencia recepcional, Universidad Veracruzana]. Repositorio institucional, <http://cdigital.uv.mx/handle/123456789/47417>.
- RUGGERO, F.; GORI, R.; LUBELLO, C. (2019). Methodologies to assess biodegradation of bioplastics during aerobic composting and anaerobic digestion: A review. *Waste Management & Research*, 37(10) 959–975.
- RUIZ, G. (2006). Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de la yuca. *Ingeniería y Ciencia* 2 (4): 5-28
- SÁNCHEZ A.V D.; AGUILAR G. C. N; CONTRERAS E. J. C; NEVÁREZ M. G. V. (2011). Moléculas pécticas: extracción y su potencial aplicación como empaque. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Coahuila. Blvd. V. Carranza, Saltillo, Coahuila. México. *Revista Tecnociencia Chihuahua*, Vol.V, No. 2. Mayo-Agosto 2011.
- SEGGIANI, M.; PUCCINI, M.; PIERINI, M.; GIOVANDO, S.; FORNERIS, C. 2009. Effect of different extraction and precipitation methods on yield and quality of pectin. *Int. J. Food Sci. Technol. (UK)*. 44(3):574- 580.
- SEPTIOSARI, A.; LATIFAH, AND KUSUMASTUTI ELLA. 2014. Pembuatan Dan Karakterisasi Biopl Astik Limbah Biji Mangga Dengan Penambahan Selulosa Dan Gliserol, *Chem. Sci.*, 3 (2252): 1–6.
- SERNAQUE, F.; HUAMAN, A.; PECHO, L.; CHACON, M.(2020). Biodegradabilidad de los bioplásticos elaborados a partir de cáscaras de *Mangifera indica* y *Musa*

*paradisiaca*. Ctro. Agr. [online]. 2020, vol.47, n.4, pp.22-31. Epub 01-Oct-2020. ISSN 2072-2001.

SUDHA, M. L.; BASKARAN, V.; LEELAVATHI, K. (2007). Apple pomace as a source of dietary fiber and polyphenols and its effect on the rheological characteristics and cake making. *Food Chemistry*, 104, 686–692.

SYMONOWICZ, M.; SYKUŁA-ZAJAC, A.; ŁODYGA-CHRUŚCIŃSKA, E.; RUMORA, I; STRAUKAS, M. 2012. Evaluation of polyphenols and anthocyanins contents in black chokeberry--*Photinia melanocarpa (Michx.)* fruits extract. *Acta Pol Pharm.* 69(3): 381-387.

SURVESWARAN, S.; CAI, Y. Z.; CORKE, H.; SUN, M. 2007. Systematic evaluation of natural phenolic antioxidants from 133 Indian medicinal plants. *Food Chemistry*, v. 102, n. 3, p. 938-953.

VERGARA-VALENCIA, N., GRANADOS-PÉREZ, E., AGAMA-ACEVEDO, E., TOVAR, J., RUALES, J., & BELLO-PÉREZ, L. A. (2007). Fibre concentrate from mango fruit: Characterization, associated antioxidant capacity and application as a bakery product ingredient. *Food Science and Technology*, 40,722–729.

VILLAMIZAR, Y. L., RODRIGUEZ, J. S.,LEÓN, L. C. (2017). Caracterización fisicoquímica, microbiológica y funcional de harina de cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad CCN-51 . *Cuaderno Activa* 9, 65-75.

VIROBEN, G. ; BARBOT, J. ; MOULOUGUI, Z. Y GUÉGUEN, J.( 2000). Preparation and characterization of films from pea protein. *J. Agric. Food Chem.*, (48):1064-1069.

VIROBEN, G.; BARBOT, J.; MOULOUGUI, Z. Y GUÉGUEN, J. (2000). Preparation and characterization of films from pea protein. *J. Agric. Food Chem.*,(48):1064-1069.

VRIESMANN, Lúcia Cristina, DIAS DE MELLO, Renata. OLIVEIRA-PETKOWICZ, Carmen Lúcia. (2011). Cacao pod husks (*Theobroma cacao*) Composition andhotwater-

soluble pectins. *Industrial Crops and Products* 34.Pp. 1 1173-1181.

WAHYUNINGTIYAS, N. E.; SURYANTO, H. (2017). Analysis of Biodegradation of Bioplastics Made of Cassava Starch. *Journal of Mechanical Engineering Science and Technology*, 1 (1): 24-31.

WAHYUNINGTIYAS, N. E.; SURYANTO, H. (2018). Properties of Cassava Starch based Bioplastic Reinforced by Nanoclay. *Journal of Mechanical Engineering Science and Technology*, 2(1): 20-26.

WILLATS, W. G. T.; KNOX, I. P. Y M. J. (2006). Dalgaard. "Pectin: new insights into and old polymer are starting to gel". *J.Sci. Technol.* 17, 2006.

ZHENG, X.Q., KOYAMA, Y., NAGAI, C., ASHIHARA, H.,(2004). Biosynthesis, accumulation and degradation of theobromine in developing *Theobromacacao* fruits. *J. Plant Physiol.* 161, 363–369.

## VIII. ANEXOS



**Figura 15.** Elaboración de harina de la mazorca del cacao para la obtención de plásticos biodegradables.



**Figura 16.** Elaboración de harina de la mazorca del cacao.



**Figura 17.** Elaboración de harina de la mazorca del cacao.



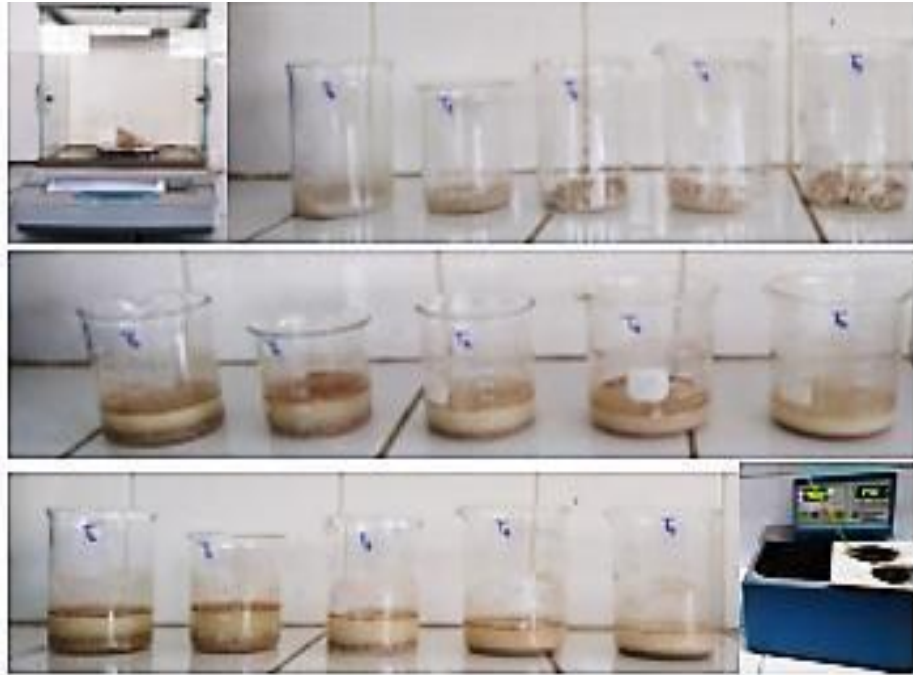
**Figura 18.** Elaboración de harina de la mazorca del cacao.



**Figura 19.** Elaboración de harina de la mazorca del cacao.



**Figura 20.** Obtención de la harina de cáscara de mazorca de cacao.



**Figura 21.** Elaboración de los polímeros biodegradables a partir de harina de la mazorca de Cacao.



**Figura 22.** Polímeros biodegradables a partir de harina de la mazorca de Cacao.





**Figura 23.** Estado de biodegradabilidad de los bioplásticos de la mazorca de cacao expuestos al medio ambiente.