

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA**

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

*Trabajo de titulación previo
a la obtención del título de
Ingeniera Ambiental*

TRABAJO EXPERIMENTAL:

**“ESTUDIO DE LA DEGRADABILIDAD DEL PET (POLIETILEN
TEREFTALATO) DOSIFICADO CON CELULOSA DE LA CÁSCARA DE CACAO”**

AUTORAS:

HEIDY ESTHEFANIA PALMA GUEVARA

FERNANDA FABIOLA TENESACA CAMPOS

TUTOR:

ING. JORGE BRAULIO AMAYA PINOS, PhD

CUENCA - ECUADOR

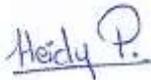
2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotras, Heidy Esthefania Palma Guevara con documento de identificación N° 0704653682 y Fernanda Fabiola Tenesaca Campos con documento de identificación N° 0107422693, manifestamos sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autoras del trabajo de titulación: **“ESTUDIO DE LA DEGRADABILIDAD DEL PET (POLIETILEN TEREFALATO) DOSIFICADO CON CELULOSA DE LA CÁSCARA DE CACAO”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniera Ambiental* en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En la aplicación a lo determinado por la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, enero del 2020



Heidy Esthefania Palma Guevara

C.I. 0704653682



Fernanda Fabiola Tenesaca Campo

C.I. 0107422693

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“ESTUDIO DE LA DEGRADABILIDAD DEL PET (POLIETILEN TEREFALATO) DOSIFICADO CON CELULOSA DE LA CÁSCARA DE CACAO”** realizado por Heidy Esthefania Palma Guevara y Fernanda Fabiola Tenesaca Campos, obteniendo el *Trabajo Experimental* que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, enero del 2020



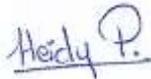
Ing. Jorge Braulio Amaya Pinos PhD.

C.I. 0103444923

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotras, Heidy Esthefania Palma Guevara con documento de identificación N° 0704653682 y Fernanda Fabiola Tenesaca Campos con documento de identificación N° 0107422693, autoras de trabajo de titulación: **“ESTUDIO DE LA DEGRADABILIDAD DEL PET (POLIETILEN TEREFALATO) DOSIFICADO CON CELULOSA DE LA CÁSCARA DE CACAO”**, certificamos que el total contenido del *Trabajo Experimental* es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, enero del 2020



Heidy Esthefania Palma Guevara

C.I. 0704653682



Fernanda Fabiola Tenesaca Campo

C.I. 0107422693

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo le dedico a Dios por estar conmigo en cada paso y por ser mi fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres Marjorie y Vicente, por su amor, apoyo, confianza, trabajo y sacrificio en todos estos años para que yo pueda mejorar, brindándome una educación para forjarme como profesional. Esta tesis y todo lo que logre hacer será gracias a ustedes, son mi pilar para continuar y seguir cumpliendo mis sueños.

A mi hermano Wagner por estar presente a lo largo de esta etapa de mi vida, por su comprensión, respeto y por acompañarme a lo largo de mi carrera universitaria, aunque he pasado momentos difíciles siempre ha estado brindándome su cariño y porque te amo infinitamente hermanito.

A mi primo Steven por alegrarme en cada momento con su carisma y buena energía, sobre todo por enseñarme que hay que estar con buena actitud ante cualquier circunstancia de la vida.

A mi abuelita Digna y mi tía Aracely, a quienes quiero como mamás, por siempre escucharme y ayudarme en cualquier momento, brindándome sus consejos y palabras de aliento han sabido guiarme y acompañarme en todos mis sueños y metas.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a toda mi familia y amigos por extenderme la mano en momentos difíciles a lo largo de esta etapa. Sin lugar a duda a mi compañera de tesis y amiga Fernanda porque sin el equipo formamos, no habiéramos logrado esta meta.

Heidy Palma

DEDICATORIA

Quiero dedicar este gran logro en primer lugar a Dios y a la Virgen que me ha bendecido mi camino para llegar a cumplir esta meta, a mi padre y madre que han sido el refuerzo de mi formación ya que, con su exigencia y el sentimiento de creer en mí, han hecho que cada día mis esfuerzos sean mejores, depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad.

“¡Vamos, Fer tu puedes, estoy contigo...!” siempre recordare cuando me alentabas a seguir y no dejar de batallar agradezco por tu apoyo y apartar el miedo a las adversidades que se presentaban en la U, a ti gordo gracias mi compañero incondicional.

Ing. Jorge Amaya por ser un excelente tutor, una persona respetuosa y exigente, quien colaboro y confió en nosotras para realizar este proyecto de titulación.

A mi compañera y amiga de tesis Heidy, más que ser una compañera fue una luchadora a lo largo de esta tesis, gracias por tu valiosa aportación hicimos posible y el infaltable apoyo en todo este proyecto gracias por aguantar mis cambios de humor y ayudarnos para terminar nuestra tesis, gratitud por tu amistad amiga Heidy.

Y el apoyo de mis amigos en los momentos difíciles gracias por su sinceridad a Angie, Dianita, Eli, Anita, Marita, Pao y Edwin que son las personas importantes en mi vida y quienes han sabido acompañarme y comprenderme en toda mi vida universitaria apoyándonos uno del otro.

Fernanda Tenesaca

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo de investigación agradecemos a Dios por ser nuestra guía y a nuestros familiares por habernos apoyado incondicionalmente para culminar con éxito esta meta propuesta.

A los docentes de la Universidad Politécnica Salesiana por todo el conocimiento adquirido en todos estos años, gracias por su paciencia, dedicación y amistad.

Nuestros más sinceros agradecimientos por su valioso aporte a nuestro tutor de proyecto, Ing. Jorge Amaya, quien con su dirección, conocimiento y enseñanza logramos realizar nuestra investigación.

Agradecemos al Ing. Jorge Fajardo, Ing. Eugenio Cárdenas y el Ing. Patricio Ramírez por toda su ayuda, predisposición y buena voluntad que nos prestaron durante el proceso de investigación.

Agradecemos a todos nuestros amigos con los que compartimos dentro y fuera de las aulas por su cariño, amistad y aquellos que serán nuestros colegas gracias por su apoyo y diversión, que sin importar cuanto tiempo tome, todo se puede si de verdad se quiere.

Fernanda Tenesaca y Heidi Palma

RESUMEN

El presente trabajo de investigación busca generar un material compuesto biodegradable dosificando el BHET producto del proceso de glicolisis del PET reciclado con celulosa de cascara de cacao extraída mediante una reacción de hidrólisis obteniendo un producto amigable con el ambiente.

La despolimerización del Pet reciclado se lo realizo a través del proceso de glicolisis bajo diferentes condiciones de reacción EG:PET (3:1, 4:1, 5:1 y 6:1) obteniendo como resultado el BETH (2-bis hidroexil tereftalato) con un mayor porcentaje de rendimiento del 77.5% la relación 4:1.

El análisis proximal químico realizado a la materia prima de cascara de caca presentó un porcentaje aceptable de humedad de 6.8%, el contenido de cenizas representa un porcentaje bajo 9% equivalente al residuo inorgánico que no se volatizo, Ph de 6.52%, el contenido de celulosa fue del 36% y el contenido de lignina 19.6%. En la etapa de pretratamiento se logró extraer la celulosa mediante un proceso secuencial de Hidrólisis Básica y posterior de Hidrolisis Ácida.

Finalmente el BHET obtenido y la celulosa extraída se analizaron mediante espectroscopia infrarroja (FTIR) identificando la estructura molecular del cada material obteniendo un porcentaje de similitud del 87.80% para la celulosa y de Bhet 64% logrando generar un material compuesto entre los dos materiales realizando cuatro dosificaciones 80/20, 70/30, 60/40 y 50/50 con relación C/B y B/C (Celulosa/Bhet y Bhet/Celulosa), consecutivamente se analizó la degradabilidad del material compuesto aplicando diferentes metodologías como la degradación biológica en sustrato orgánico, degradación química utilizando agua y fotodegradación a través de luz artificial de fluorescencia lo cual nos ayudara a estimar un tiempo de degradación considerando la pérdida de peso del nuevo material.

Palabras Claves: *Bhet, celulosa, hidrolisis, glicolisis, degradación, dosificación.*

ABSTRAC

The present research work seeks to generate a biodegradable composite material by dosing the BHET product of the glycolysis process of recycled PET with cocoa shell cellulose extracted through a hydrolysis reaction obtaining an environmentally friendly product.

The depolymerization of the recycled Pet was carried out through the glycolysis process under different reaction conditions EG: PET (3:1, 4:1, 5:1 and 6:1) obtaining as a result the BETH (2-bis hydroexyl terephthalate) with a higher yield percentage of 77.5% the 4:1 ratio.

The chemical proximal analysis performed on the raw material of poop shell presented an acceptable moisture percentage of 6.8%, the ash content represents a low percentage of 9% equivalent to the inorganic residue that did not volatize, Ph of 6.52%, the content of Cellulose was 36% and lignin content 19.6%. In the pretreatment stage, cellulose was extracted by means of a sequential process of Basic Hydrolysis and subsequent Acid Hydrolysis.

Finally, the BHET obtained and the extracted cellulose were analyzed by infrared spectroscopy (FTIR) identifying the molecular structure of each material obtaining a percentage of similarity of 87.80% for cellulose and Bhet 64% managing to generate a composite material between the two materials making four Dosages 80/20, 70/30, 60/40 and 50/50 in relation to C/B and B/C (Cellulose/Bhet and Bhet/Cellulose), consecutively the degradability of the composite material was analyzed applying different methodologies such as biological degradation in organic substrate, chemical degradation using water and photodegradation through artificial fluorescence light which will help us estimate a degradation time considering the weight loss of the new material.

Keywords: *Bhet, cellulose, hydrolysis, glycolysis, degradation, dosage*

Contenido

1	CAPÍTULO	1
1.1	Introducción	1
1.2	Antecedentes.....	3
1.3	Justificación.....	4
2	CAPITULO: OBJETIVOS DEL PROYECTO	7
2.1	Objetivo General.....	7
2.2	Objetivos Específicos	7
3	CAPÍTULO: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	8
3.1	PET (Polietilen Tereftalato)	8
3.2	Propiedades y uso del PET.....	9
3.3	Obtención del PET.....	10
3.3.1	Refinado de Petróleo	10
3.3.2	Explotación.	11
3.3.3	Destilación del Petróleo.	11
3.3.4	Polimerización del PET.....	11
3.4	Estructura química del PET.	12
3.4.1	Tipos de átomos en la cadena principal y sustituyentes.	13
3.4.2	Unión entre átomos.	14
3.4.3	Peso molecular y su distribución de los monómeros principales.	14
3.5	Ciclo de vida del PET	15
3.6	Degradación del PET.....	15
3.7	Métodos de Degradación	17
3.7.1	Degradación Ambiental.....	17
3.7.2	Degradación Física.....	17
3.7.3	Degradación térmica.	17
3.7.4	Degradación fotoquímica.	18
3.7.5	Degradación Química.....	18
3.7.6	Degradación Biológica	19
3.7.7	Fotodegradación	19
3.7.8	Degradación Oxidativa.....	19

3.8	Despolimerización del PET	20
3.8.1	Tipos de Despolimerización	21
3.8.1.1	Despolimerización por vía radical	21
3.8.1.2	Metanólisis	22
3.8.1.3	Glicólisis	23
3.8.1.4	Hidrólisis	24
3.9	Despolimerización por glicólisis para obtener (2-bis Hidroxietil Tereftalato) BHET	26
3.10	Polímeros degradables Biobasados.....	27
3.10.1	Beneficios de los Bioplásticos.....	29
3.10.2	Materiales Compuestos de matriz polimérica reforzados con materiales naturales	30
3.10.3	Compuestos orgánicos utilizados como refuerzos.....	31
3.10.4	Polímeros Biodegradables Reforzados con Celulosa	33
3.10.5	Influencia de la Celulosa en el BHET	34
3.11	Desechos orgánicos y sus componentes	36
3.11.1	Componentes y características de la Cascara de Cacao.....	38
3.11.2	Variedades de Cacao	38
3.11.2.1	Criollo.....	38
3.11.2.2	Forastero.....	39
3.11.2.3	Trinitario.....	39
3.11.2.4	Nacional.....	40
3.12	Actores que condicionan la producción de cacao en Ecuador	41
3.13	Impacto Ambiental de los residuos de la Cascara de Cacao	42
3.14	Métodos de extracción de la Celulosa	44
3.14.1	Tratamientos Físicos	44
3.14.2	Tratamientos Químicos	45
3.14.3	Tratamientos Biológicos	45
3.15	Espectroscopia de Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR)	46
3.15.1	Espectrofotometría de infrarrojos.....	46
4	CAPÍTULO: MATERIALES Y MÉTODOS.....	48
4.1	Proceso de degradación del PET mediante glicolisis catalizada	49
4.1.1	Reciclaje Manual de las Botellas de PET	49
4.1.2	Degradación del PET por Glicolisis	49
4.1.3	Diagrama de Procesos de Degradación del PET	53
4.2	Recolección y procesamiento de la Cascara de Cacao	53
4.2.1	Secado y Triturado	54
4.2.2	Análisis Proximal Químico de la Cascara de Cacao	55
4.2.2.1	Determinación de Humedad	55
4.2.2.2	Determinación de Cenizas Totales	56
4.2.2.3	Determinación del pH de la fibra de cacao.....	56
4.2.2.4	Determinación de Fibra Cruda de la cascara de cacao.....	57
4.2.2.5	Contenido de Celulosa de la cascara de cacao.....	58
4.2.2.6	Contenido de Lignina de la cascara de cacao	58
4.3	Proceso de Obtención de Celulosa a partir de las Cascaras de Cacao	59
4.3.1	Procesos de Extracción de la Celulosa	59

4.3.1.1	Hidrólisis Básica.....	59
4.3.1.2	Hidrolisis Ácida.....	61
4.4	Elaboración de pastillas dosificadas con Bhet y Celulosa	62
5	CAPÍTULO: RESULTADOS	68
5.1	Porcentaje De Rendimiento del Bhet	68
5.2	Resultados del Análisis Proximal Químico de la Cascara de Cacao	69
5.2.1.1	Determinación de Humedad	69
5.2.1.2	Determinación de Cenizas Totales	69
5.2.1.3	Determinación pH.....	69
5.2.1.4	Contenido de Celulosa.....	69
5.2.1.5	Fibra Cruda.....	70
5.2.1.6	Contenido de Lignina	70
5.3	Resultados de los Espectros IR	71
5.3.1	Análisis IR del BHET	71
5.3.2	Análisis IR de la Celulosa	72
5.4	Películas de las Pastillas C/B relación 80/20, 70/30, 60/40 y 50/50	73
5.5	Descripción y Caracterización de la Degradación en diferentes medios (Sustrato Orgánico, Agua y Luz Artificial).....	74
5.5.1	Degradación en Agua	75
5.5.2	Degradación en Sustrato Orgánico.....	75
5.5.3	Degradación por luz artificial de fluorescencia.....	76
5.5.4	Tiempo de Degradación por semanas en base a la pérdida de peso de las pastillas (Sustrato Orgánico, Agua y Luz Artificial).....	77
5.5.5	Proyección del Tiempo de degradación	79
5.6	Análisis estadístico de la degradabilidad	81
5.6.1	Anova de un solo factor: Sustrato Orgánico; Agua; Luz Artificial (C/B-80/20).....	82
5.6.2	ANOVA de un solo factor: Sustrato Orgánico; Agua; Luz Artificial (B/C-70/30).....	87
5.7	Producto degradable dosificado con Bhet y Celulosa	92
5.8	Valoración de costos para la elaboración de un producto dosificado con Bhet Y Celulosa.	93
6	CAPÍTULO: DISCUSIÓN.....	96
7	CAPÍTULO: CONSLUSIONES.....	98
8	CAPÍTULO: BIBLIOGRAFÍA	102
9	ANEXOS.....	108

TABLAS DE CONTENIDO

Tabla 1: Aspectos generales del PET.....	9
Tabla 2: Tabla resume de las propiedades físicas y químicas.....	10
Tabla 3: Polímeros de condensación de uso frecuente.....	12
Tabla 4: Estado de agregación de una molécula influenciado por su peso molecular.	15
Tabla 5: Composición Proximal de la cascara de la Mazorca de Cacao.....	44
Tabla 6: Relación Molar Etilenglicol: Pet.....	50
Tabla 7: Condiciones para la Hidrólisis Básica	59
Tabla 8: Condiciones para la Hidrólisis Ácida	61
Tabla 9: Parámetros BHET / CELULOSA	62
Tabla 10: Parámetros CELULOSA / /BHET	62
Tabla 11: Condiciones B/C - 80/20.....	64
Tabla 12:Condiciones B/C - 70/30.....	64
Tabla 13:Condiciones B/C - 60/40.....	65
Tabla 14:Condiciones B/C - 50/50.....	65
Tabla 15:Condiciones C/B - 80/20.....	66
Tabla 16:Condiciones C/B - 70/30.....	66
Tabla 17:Condiciones C/B - 60/40.....	67
Tabla 18: % de Rendimiento del BHET	68
Tabla 19: Resumen de los Resultados del Análisis Proximal de la Cascara de Cacao	70
Tabla 20:Principales bandas del Espectro FTIR del BHET.....	71
Tabla 21:Principales bandas del Espectro FTIR de la Celulosa	73
Tabla 22: Promedio de Peso perdido durante 7 semanas en los Procesos de Degradación	77
Tabla 23: Periodo de degradación de cada pastilla en Sustrato Orgánico, Agua y Luz Artificial	80
Tabla 24 Detalle de Costos de los Recursos	93
Tabla 25 Descripción Costos de Inversión del Producto	94
Tabla 26 Resumen de las Ordenes para la elaboración del producto.....	95
Tabla 27 Peso Final y condiciones de prensado relación B/C (60/40 – 80/20)	108
Tabla 28 Peso Final y condiciones de prensado relación B/C (70/30 – 50/50)	108
Tabla 29 Peso Final y condiciones de prensado relación C/B (60/40 – 80/20-70/30)	108
Tabla 30: Dureza B/C 60/40	109
Tabla 31: Dureza B/C 80/20	109
Tabla 32: Dureza B/C- 50 /50.....	109
Tabla 33 : Dureza B/C - 70/30.....	109

Tabla 34: Dureza C/B – 80/20	110
Tabla 35: Dureza C/B – 60/40	110
Tabla 36 Dureza C/B - 70/30	110
Tabla 37: Dimensiones : Ancho- Diámetro	111
Tabla 38 Datos de peso en semanas.....	111
Tabla 39: Tiempo de Degradación en Sustrato Orgánico	112
Tabla 40: Tiempo de Degradación en Agua	115
Tabla 41 Tiempo de Degradación por Luz Artificial.....	116

INDICE DE IMAGENES

Imagen 1: Morfología de la Mazorca de Cacao	38
Imagen 2: Mazorca de Cacao "Criollo"	39
Imagen 3: Mazorca de Cacao "Forastero"	39
Imagen 4: Mazorca de Cacao "Trinitario"	40
Imagen 5: Mazorca de Cacao "Nacional"	40
Imagen 6: Trituradora de PET	49
Imagen 7: Degradación del PET: (a) Tubos de 20x200 preparados para la degradación a baño glicerina; (b) Muestra mezclada con agua destilada	50
Imagen 8: Formación del BHET: (a) Separación de las impurezas del BHET; (b) Formación de cristales	51
Imagen 9: Formación de Cristales de BHET	52
Imagen 10: Obtención del BHET: (a) Segunda Filtración; (b) Producto BHET	52
Imagen 11: (a) Recolección de las Cascaras de Cacao; (b) Troceado de las Cascaras de Cacao	54
Imagen 12: Equipo de Secado de la fibra (a); Equipo de Triturado de la fibra (b).....	54
Imagen 13: Hidrólisis Básica: (a) Pesado de los componentes; (b) Remoción de la Lignina... 60	
Imagen 14: Filtrado de la Fibra.....	60
Imagen 15: Hidrólisis Ácida	61
Imagen 16: Filtrado de la Celulosa	62
Imagen 17: (a): Prensa Hidráulica; (b): Resultado de la elaboración de las Pastillas	63
Imagen 18: Películas de las pastillas C/B	73
Imagen 19: Medios de Degradación: Sustrato Orgánico, Agua y Luz Artificial.....	74
Imagen 20: Proceso de Degradación en Agua; Relación C/B-80/20	75
Imagen 21: Proceso de Degradación en Sustrato Orgánico Relación C/B-80/20.....	76

Imagen 22: Proceso de Degradación con Luz Artificial: a) Pastilla B/C – 70/30 ; b) Patillas C/B – 80/20.....	76
Imagen 24: Plastos Biodegradables: (a) Molde de yeso;(b)Vista frontal del plato; (c) Vista lateral del plato.....	93

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estructura del PET.	13
Figura 2: Estructura de Polietilen-tereftalato	22
Figura 3: Metanólisis del PET	22
Figura 4: Gliólisis del PET	23
Figura 5: Hidrolisis Ácida del PET usando H ₂ SO ₄	25
Figura 6 : Hidrólisis alcalina de PET usando NaOH	25
Figura 7: Estructura molecular de la celulosa	33
Figura 8: Propiedades de Barrera de la Celulosa en el Polímero	35
Figura 9: Espectros Infrarrojo PET y BHET Fuente: (Vicent et al., 2016).....	47
Figura 10: Proceso de Despolimerización	53
Figura 11: Rendimiento de concentración del BHET	69
Figura 12: FTIR del. Relación 4:1	71
Figura 13: FTIR de la Celulosa: a) Muestra Celulosa; b) Celulosa Estándar	72
Figura 14: Degradación del B/C-70/30 y C/B-70/30 en los tres medios degradación Bilógica, Química y Fotodegradación	78
Figura 15 Degradación de las pastillas (gr) por 7 semanas.....	79
Figura 16 Proyección de degradabilidad.....	81
Figura 17: Valores individuales Sustrato Orgánico, Agua y Luz Artificial C/B-80/20	84
Figura 18:Residuos para Sustrato Orgánico, Agua y Luz Artificial C/B-80/20	85
Figura 19: Ajuste Lineal Sustrato Orgánico (C/B-80/20).....	86
Figura 20:Ajuste lineal Agua (C/B-80/20).....	86
Figura 21: Ajuste lineal Luz Artificial (C/B-80/20) Fuente: <i>Autores</i>	86
Figura 22: Valores individuales de Sustrato Orgánico, Agua y Luz Artificial B/C-70/30	89
Figura 23: Residuos para Sustrato Orgánico, Agua y Luz Artificial B/C-70/30	90
Figura 24: Ajuste lineal Sustrato Orgánico (B/C-70/30)	91
Figura 25: Ajuste lineal Agua (B/C-70/30).....	91
Figura 26: Ajuste lineal luz artificial (B/C-70/30).....	91

1 CAPÍTULO

1.1 Introducción

En la actualidad existe una infinita variedad de productos elaborados a partir del plástico, por ser un material versátil y económico en la industria, diversificándose en áreas como la fabricación principalmente de botellas para bebidas, seguido de insumos como tuberías, mangueras, guantes, trajes impermeables, embalajes, juguetes, utensilios domésticos, entre otros. Paralelamente a este incremento en la fabricación y consumo de este material, se genera grandes cantidades de residuos, lo que genera un importante problema para su gestión; por otro lado, la revalorización de dicho material como potencial energético lleva consigo la generación de un sin número de gases tóxicos (Romero Moreira, 2017).

La cifra global de residuos plásticos aumenta año tras año, la versatilidad de este material ha ocasionado un incremento de su consumo y, por lo tanto, de la contaminación. Según algunos reportes, el mundo consume un millón de bolsas plásticas por minuto, es decir, más de 500 billones al año. De otra parte, es bien sabido que la sociedad en general, y la industria de los plásticos en particular, tiene actualmente una peligrosa dependencia del petróleo. Según cifras del (ICCO), 2015) en el Ecuador se generan aproximadamente 61.117 toneladas de desechos semanales, encontrando que la producción de residuos per cápita era de 0,81 kg por habitante por día; de los Cantones el 53% lleva los residuos a botaderos a cielo abierto, 23,3% corresponde a vertederos controlados, 20% a rellenos sanitarios y 4,1% vertientes, quebradas o incineradores volviéndose un problema cada vez mayor para

municipios y comunidades debido a la contaminación por plásticos. En este sentido, se ha acrecentado la necesidad de enfrentar esta problemática socio-ambiental para la preservación de nuestros espacios vitales.

Es por ello, que el reciclado, la recuperación de nuevos materiales o la generación de nuevos polímeros biodegradables a partir de fuentes renovables reciben un interés particular ante la necesidad de proteger el medio ambiente y el ecosistema debido a los problemas ambientales que ha generado el hombre a partir de la explotación desmesurada de los recursos, la contaminación de fuentes naturales, destrucción del hábitat, así como la generación de gases de efecto invernadero que destruyen la capa de ozono.

Conforme a cifras anuales de los informes de gestión del Servicio de Rentas Internas (SRI), en Ecuador se consumieron 98 botellas per cápita en el 2016 versus las 92 usadas en el año previo, acorde con la relación entre el número de botellas de este tipo y la población total del país. El uso masivo y creciente de botellas plásticas no retornables o de un solo uso se ha convertido en una seria agresión al ambiente debido a la capacidad de contaminar de estos envases, caracterizados por su persistencia y lenta degradación (Romero Moreira, 2017).

En el cultivo de cacao, entre los residuos e biomasa se encuentra la cascara de cacao lo que corresponde un 70%; Chafra, Rodríguez, Boucourt Salabarría, & Torres Cárdenas, (2016) indican que el procesamiento de cacao genera un promedio de 7043 ton/año de cascara; lo que ha motivado el desarrollo de estudios para la reincorporación de la cascara de cacao en procesos industriales. Durante milenios, se ha utilizado la estructura de las plantas por numerosas industrias para productos forestales, papel, textiles, etc.

Guancha et al., (2015); Velásquez et al., (2016) expresan en sus investigaciones que actualmente residuos orgánicos como el sisal, fique, lino, abaca, coco, bambú, paja, yute, ramio, piña y bagazo de caña entre otros, se han utilizado como refuerzo para la obtención de materiales compuestos biodegradables.

1.2 Antecedentes

Los avances tecnológicos y el crecimiento industrial del último siglo han tenido un rol determinante en el estilo de vida de la sociedad, generando un crecimiento vertiginoso de los hábitos de consumo de la población. En este sentido el desarrollo industrial conlleva, a su vez, un incremento en la generación de materiales plásticos, que posteriormente se convierten en desechos los mismos que se han convertido en un problema de contaminación, acarreando afecciones principalmente a la fauna marina, por a la acumulación de los mismos en las riberas de los ríos y playas. Los plásticos son residuos de muy lenta degradación con un periodo de persistencia aproximado de 500 años (Flores, 2016); constituidos por macromoléculas orgánicas que se pueden obtener sintéticamente o por transformación de productos naturales (N. A. Ferro, Toledo, & José, 2008).

Alrededor del año 1940 tuvo su desarrollo el Polietileno Tereftalato (PET) obtenido a partir de una reacción de policondensación entre el ácido tereftálico (TPA) y el etilenglicol, descubierto por los científicos británicos Whinfield y Dickson. Este material sobresale entre otros materiales plásticos, por su gran ligereza y resistencia mecánica a la compresión a las caídas, alto grado de transparencia y brillo, conserva el sabor y aroma de los alimentos, convirtiéndose en el envase más utilizado en el mercado de bebidas refrescantes, aceites, detergentes, cosméticos (Xool Dzul, 2013).

N. A. Ferro et al (2008), en Europa 450 millones de toneladas de PET son empleados anualmente, el equivalente de casi 300 toneladas en envases, generando un número considerable de desechos post consumo, los cuales, a pesar de no causar daños directos, incrementan notablemente la fracción de Residuos Sólidos Urbanos (RSU). Lo que ha generado la necesidad de indagar en procesos de degradación físicas, químicas y biológicas del PET, buscando soluciones que mitiguen los impactos ocasionados al ambiente.

Este proceso de degradación, también conocida como despolimerización, destruye la estructura del polímero y modifica sus moléculas (Karayannidis & Achilias, 2007). En este contexto, se puede realizar un reciclado químico del PET, por medio de procesos como hidrolisis, glicolisis y aminolisis Padrón et al., (2004). Para resolver esta problemática ambiental, diversos autores han empleado compuestos poliméricos de origen natural interviniendo como refuerzo en la matriz de polímeros generando así un nuevo material, entre ellos el almidón, la celulosa y la lignina. Hoy en día los polímeros biodegradables se encuentran en constante expansión, siendo su principal aplicación el sector de envases (FCEN-Universidad, 2010); al utilizar estos componentes se obtiene un material de fácil degradación, los cuales no tienen un efecto nocivo con respecto a los polímeros tradicionales.

1.3 Justificación

El presente trabajo de investigación busca estudiar la posibilidad del uso de la celulosa de la cascara de cacao como fuente primaria de material de refuerzo para compuestos poliméricos a base de polietileno tereftalato (PET) degradado mediante el proceso de glicolisis catalizada, considerando que se han realizado numerosos estudios sobre la glicólisis con diversos glicoles especialmente con etilenglicol (Giulliana, Bruno, & Manuel, 2012), mediante la transformación del Poli(tereftalato de etileno) a monómero bis (2-hidroxietil)

tereftalato (BHET) en presencia de catalizadores para acelerar el proceso de despolimerización (Al-Sabagh, Yehia, Eshaq, Rabie, & ElMetwally, 2016).

Generando un polímero, que pueda ser biodegradable en ambientes biológicamente activos, sin afectar las matrices ambientales, mejorando el equilibrio ecológico de la fauna que se ve afectada por la contaminación plástica matando a más de un millón de aves marinas y alrededor de 100.000 mamíferos y tortugas marinas cada año en el mundo (Barbarin, 2019); por lo tanto el reciclaje del PET no solo es una solución al reciclaje de residuo; si no también es una alternativa viable para la conservación de recursos fósiles, mitigando los trastornos causados por este tipo de material al ambiente (Karayannidis & Achilias, 2007).

Los residuos como el plástico pueden viajar kilómetros hasta llegar al mar si no se realiza una adecuada gestión de los mismo ocasionando un grave problema ambiental afectando a la salud de las especies. Luis Suarez, director ejecutivo de Conservación Internacional Ecuador (CI), el 95% de la contaminación marina es microplástico, un toxico que es integrado por el plancton, peces y otras especies marinas que luego son ingeridas indirectamente por el ser humano.

Según (SEO BirdLife & Ecoembes, 2019), estima que en nuestros mares y océanos hay entre 5 y 50 billones de microplásticos; por otra parte la producción mundial ha pasado de 2,3 millones de toneladas en 1950 a 407 millones en el 2005

Este proyecto consiste en dar una alternativa amigable con el ambiente mediante la creación de un nuevo material con características menos nocivas, integrando recursos naturales como la celulosa de la cascara de cacao y el Bhet a partir de la glicolisis del Pet, obteniendo un producto biodegradable.

La investigación propuesta tiene una importante relevancia social ya que ayudará a mitigar la contaminación por los envases de un solo uso; paralelo a esto, reducir el consumo de recursos no renovables, teniendo un gran aporte socio-ambiental ya que con los resultados obtenidos se demostrará que se puede implementar un nuevo material mediante el aprovechamiento de los recursos ya generados.

2 CAPITULO: OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.1 Objetivo General

- Analizar la degradabilidad de la mezcla del BETH (2-bis hidroexil tereftalato) proveniente de la degradación glucolítica del PET dosificado con la celulosa de la cascara de cacao.

2.2 Objetivos Específicos

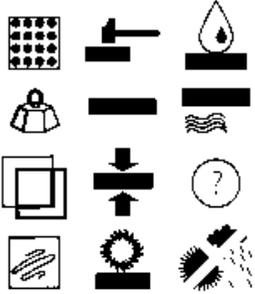
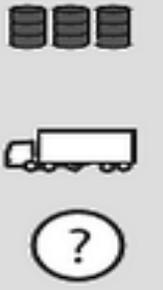
- Realizar el análisis proximal químico de la cascara del cacao
- Obtener BHET (2-bis hidroexil tereftalato) mediante el proceso de glicolisis catalizada del Polietilen Tereftalato.
- Generar un producto degradable mediante la dosificación del BHET con la celulosa de la cascara cacao (*Theobroma cacao L.*)
- Realizar procesos de degradación del producto obtenido mediante métodos físicos y biológicos para comparar su incidencia en el medio.
- Analizar estadísticamente los resultados con Espectrómetro infrarrojo (FTIR).

3 CAPÍTULO: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 PET (Polietilen Tereftalato)

Polietileno tereftalato comúnmente conocido como PET, es un polímero maleable que se forma mediante la reacción de policondensación del ácido tereftálico y el etilenglicol. Los británicos Whinfield y Dickson en 1941 descubrieron el Pet y en 1951 se comenzó a emplear como una fibra para conservar alimentos mientras que en el año de 1976 dio auge en el mercado para el embotellado de bebidas carbonatadas (Quevedo, 2017), el Pet pertenece a la familia del poliéster (Aldaz, 2019) y tiene una estructura termoplástica semicristalina y es un material ligero con una resistencia mecánica a la compresión y golpes ya que permite fabricar productos transparentes y opacos (Elgegren et al., 2012). Particularmente un kilogramo de PET está conformado por 64% de petróleo, 23% de derivados líquidos de gas natural y 13% de aire (Pérez & Ruiz, 2009), hoy en día un cierto porcentaje de la producción de botellas ha aumentado debido a su bajo peso, resistencia, transparencia y facilidad de almacenamiento (Elgegren et al., 2012; Nieto, Argüelles, & Basadre, 2008). En este sentido el incremento de la fabricación de botellas se han convertido en una amenaza para el medio ambiente debido a que la materia prima son recursos no renovables y por ende no son fácilmente biodegradables (Fuente et al., 2017). Sin embargo es un material 100% reciclable lo que permite elaborar envases reutilizables por el contrario se debe tener en cuenta que el PET no se descompone fácilmente en la naturaleza lo cual necesita procesos químicos para ser despolimerizado para así tener una materia prima, por ello en la siguiente Tabla 1 se recopila algunos aspectos generales del PET que se debe tener en cuenta.

Tabla 1: Aspectos generales del PET.

PET (Tereftalato)	
GENERALIDADES / APLICACIONES	 <p>1990 – Familia de los poliésteres. Es el más utilizado en envases plásticos alimenticios (55%). Representa el 7 % de todos los plásticos.</p>
COMPOSICIÓN / CARACTERÍSTICAS	 <p>Se fabrica a partir de un 64% de derivados del petróleo (etileno, paraxileno), un 23 % de derivados líquidos del gas natural y un 13 % de aceite. Alta densidad: 1,34 que permite un espesor reducido. No flota en el agua.</p>
IMPACTO AMBIENTAL	 <p>1 botella = 35 gr de materia prima = 100g r de petróleo Reduce un 40% el coste de transporte en comparación con el vidrio. En principio se consideró inocuo; posteriormente, se observó que el PET libera antimonio. Vida útil; 0 – 10 años. El 90% del PET se emplea en envases de usar y tirar. Se transforma en desecho el mismo año de fabricación, pero podría producirse para envases reutilizables.</p>
RECICLAJE	 <p>100% Ahorro energético del reciclaje 70% Se valorizan los azules y transparentes. Los otros servirán en la fabricación de material opaco, aunque el PET en si se encuentra bastante valorado. Primario (75%): fibras de poliéster: alfombras, textiles (5botellas=1impermeable), componentes automovilísticos, envases no alimenticios.</p>

Fuente:(*Virginie, 2011*)

3.2 Propiedades y uso del PET.

El PET generalmente es uno del plástico que en el campo de la ingeniería es más empleados debido a que tienen diferentes aplicaciones por sus excelentes propiedades por ello podemos decir que es un material ligero, higiénico, transparente, hermético, resistente, no tóxico y sobre todo no altera las propiedades del contenido. Además, el PET se caracteriza por

su alta pureza, resistencia y tenacidad, dependiendo del tipo de PET ya que se diferencian por su peso molecular y cristalinidad. En cuanto a los PET más utilizados en la industria existen dos tipos de polímeros el primero se usa para la fabricación de fibras y la segunda para fabricar botellas, sin embargo, sus propiedades diferencian entre su peso molecular, la viscosidad intrínseca y las propiedades ópticas, pero principalmente su diferentes cantidades y tipo de monómeros, estabilizadores y catalizadores metálicos. En la tabla 2 se muestran las propiedades generales (Virginia, 2011).

Tabla 2: Tabla resume de las propiedades físicas y químicas

PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS	
Resistencia al ataque químico	Resistente a: combustibles, alcoholes, grasas, éteres ácidos y bases diluidas.
Solubilidad	Insoluble: solventes orgánicos Solubilidad en menor grado: solventes halogenados, aromáticos, cetonas, ácidos y bases fuertes.
Resistencia al envejecimiento	Buena resistencia: Temperatura ambiental, radiaciones solares, humedad.
Estabilidad térmica	Estable a temperaturas < 71 °C Cristalizado estable a temperaturas < 230 °C
Permeabilidad	Excelente barrera al CO ₂ y O ₂
Densidad	Estado amorfo: 1.33 – 1.37 g/cm ³ Estado cristalino: 1.45 – 1.51 g/cm ³
Conductividad térmica	Buen aislamiento térmico: 0.24 W/ m x K
Absorción de agua	< 0.7 % durante 24 horas
Propiedades ópticas	Transmisión de luz: 89% Índice de fracción: 1.576
Propiedades biológicas	No presenta vulnerabilidad al ataque microbiológico

Fuente: (Suasnavas Flores, 2017)

3.3 Obtención del PET.

3.3.1 Refinado de Petróleo

Hace 500'000,000 de años los depósitos geológicos sedimentarios dan origen a una diversidad de polímeros sintéticos de la actualidad, en el cual existen procesos químicos y hay pequeños cambios en la energía química libre, o sea el vapor de ΔG es pequeño (Jones, 2012).

Las fuentes de petróleo generalmente son de forma cóncava y se encuentran en las cámaras voluminosas llamadas anticlinales presentan un domo y sinclinales.

La descomposición del petróleo de bajo peso molecular se evapora y recicla, también se encuentran las especies estables tales como las parafinas (hidrocarburos químicamente saturados), las parafinas cíclicas (*moléculas en forma de anillos*) y los aromáticos (*derivados del benceno*) (Jones, 2012).

3.3.2 Explotación.

La primera explotación se dio en Canadá hace 125 años, en la industria de plásticos su obtención viene dada por la transformación del petróleo natural (Jones, 2012). Base mineral (90%): derivados de petróleo (nafta, 4% de la producción mundial) o del gas natural, sal marina (Virginie, 2011).

3.3.3 Destilación del Petróleo.

En la industria química el petróleo generalmente se da el fraccionamiento de la Nafta ligera y nafta pesada sin embargo existen moléculas más pesadas (Jones, 2012), sin embargo para la obtención del monómero se destila, refina y se realiza un craqueo catalítico con el fin de separar la molécula grande y convertir en pequeñas monómeros (Virginie, 2011).

3.3.4 Polimerización del PET

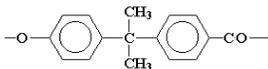
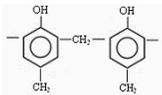
En la polimerización del PET a través de la reacción de condensación moléculas reaccionan y mediante la acción de Ácido tereftálico y el Etilenglicol se mezcla y se forman monómeros de BHET y polímeros con bajo peso molecular para finalmente eliminar el exceso de Etilenglicol y obtener el PET (Herrera Reséndiz & Estrada Monje, 2012).

3.4 Estructura química del PET.

Las estructuras de los polímeros se dividen en dos niveles: la estructura química y física. En cuanto a la estructura química hace referencia a la construcción de la molécula individual mientras que para una estructura física se refiere al ordenamiento de unas moléculas con respecto a otras (Beltrán & Marcilla, 2012).

La mayoría de compuestos poliméricos la estructura química tiene un papel importante, es por ello tener en cuenta el comportamiento de la naturaleza de los átomos que constituyen la cadena principal y los sustituyentes de la misma, las uniones entre monómeros, el peso molecular y su distribución y el efecto de las ramificaciones o entrecruzamientos de la cadena principal, debido a que estas características favorecen a la clasificación de las diversas familias de polímeros que existen (Beltrán & Marcilla, 2012). En muchos polímeros la cadena principal en la estructura química es importante puesto que define las propiedades del polímero.

Tabla 3: Polímeros de condensación de uso frecuente

POLÍMERO	ABREVIATURA	Unidad
Poliéster		$-R-OCO-R'-COO-$
Poliamida	PA	$-NH-R-NHCO-R'-CO-$
Policarbonato	PC	
Polietilen-tereftalato	PET	$-CH_2-CH_2-OCO-\text{C}_6\text{H}_4-COO-$
Poliuretano	PU	$-NH-COO-R-OCO-NH-R'-$
Resina de fenol-formaldehído	PF	

Fuente: (Seymour & Carraher, 2013)

3.4.1 Tipos de átomos en la cadena principal y sustituyentes.

Los átomos de carbono que constituyen la cadena principal presenta una forma de sp^3 debido al resultado de la unión de polímeros que se realiza mediante enlaces covalentes, y la unión de diversas cadenas pueden ser de diferentes formas donde están condicionadas por las características de los átomos (Beltrán & Marcilla, 2012). Sin embargo, las fuerzas de cohesión de los átomos están influenciadas por la porosidad y volumen ya que afectan a la reflexividad del material, temperatura de transición vítrea, temperatura de fusión y capacidad de cristalización entre propiedades. De modo que a mayor fuerza de cohesión más rígido será el polímero y a mayor temperatura de fusión para polímeros cristalinos y a temperatura de reblandecimiento en caso de polímeros no cristalinos.

Tal es el caso del Polietilen tereftalato (PET) debido que generalmente se introduce a su cadena principal grupos aromáticos (grupos voluminosos y fácilmente polarizables) donde este aumenta la rigidez y la presencia del anillo bencénico genera resistencia química a la saponificación (Blanco, 2012).

La molécula del PET consta de cadena macromoleculares sin ramificar y pertenece a la familia de los poliésteres cuyo nombre se atribuya a que contienen el grupo químico éster, donde sus grupos funcionales son Ácido tereftálico, etilenglicol; óxido de etileno; etileno (Blanco, 2012).

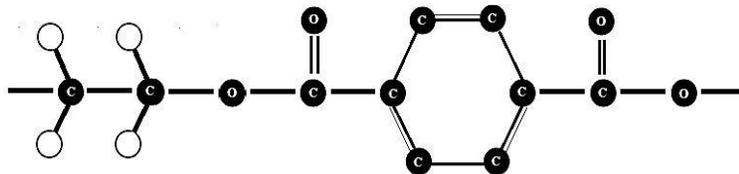


Figura 1: Estructura del PET.
Fuente: (Velasco & Mehrenberger, 1996)

3.4.2 Unión entre átomos.

Existen uniones normales de cadenas carbono-carbono y uniones débiles que se deben considerar para la estabilidad térmica del polímero y generalmente en el proceso de condensación se unen unos con otros de la misma forma, mientras que la polimerización por adición no ocurre esto (Beltrán & Marcilla, 2012).

3.4.3 Peso molecular y su distribución de los monómeros principales.

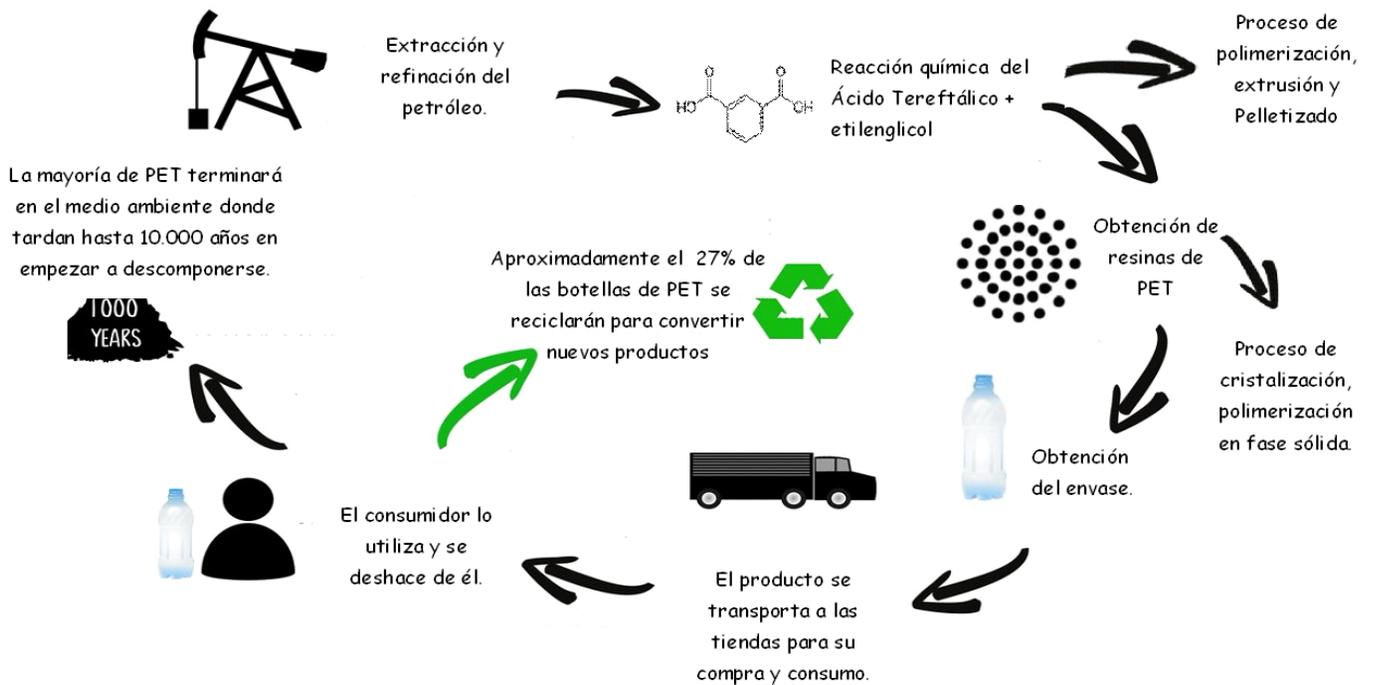
Muchas propiedades del PET dependen del peso molecular tales como la viscosidad, resistencia mecánica, la elasticidad de los cuchos, la temperatura de transición y de fusión elasticidad y dureza debido que estas propiedades se modifican en el proceso de degradación del PET a causa de este proceso se dividen las cadenas y forman moléculas pequeñas logrando tener un peso molecular pequeño (Beltrán & Marcilla, 2012; Seymour & Carraher, 2013). Sin embargo, las reacciones de polimerización producen pesos heterogéneos es decir cadenas con números distintos de unidades de repetición polímeros y macromoléculas son moléculas gigantes con pesos moleculares por lo menos 100 veces mayores que los de moléculas pequeñas. Así por ejemplo los polímeros de alto peso molecular se utilizan para la fabricación de artículos duros como botes de basura mientras que los de bajo peso molecular no son usados para fabricar artículos que requieran resistencia (Seymour & Carraher, 2013). En la Tabla 4 se muestra el estado de agregación de una molécula de alcanos de similar estructura química donde va aumentando el peso molecular (Beltrán & Marcilla, 2012).

Tabla 4: Estado de agregación de una molécula influenciado por su peso molecular.

$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$	Peso Molecular	Estado Físico a 20°C
1	300	Gas
6	170	Líquido
35	1000	Grasa
430	>12000	Resina

Fuente: (Seymour & Carraher, 2013)

3.5 Ciclo de vida del PET



3.6 Degradación del PET.

Se han generado alternativas para gestionar los residuos del PET debido a que tienen un peso ligero y una mayor durabilidad dado que los plásticos comúnmente se emplea para la fabricación de una amplia gama de productos habituales, las iniciativas que se han fomentado son tales como *a)* el reciclaje del polímero una vez utilizado produce productos de interés

industrial o energía, *b*) la degradación del PET esta debe ser controlada para tolerar el problema ecológico, por ejemplo al incorporar cetónicos al polietileno como material de esta forma la degradación por radiación ultravioleta es más pronta, y *c*) sistemas poliméricos reguladores de la incorporación de grupos activos, es decir, polímeros a los que se ha incorporado una función activa (farmacológica, herbicida, activadora del crecimiento de las plastas) que va siendo liberada mediante reacciones degradativas (Beltrán & Marcilla, 2012).

Por otra parte, es oportuno saber el peligro que causa en ecosistemas marinos y terrestres por efecto de su durabilidad, es por ello que se debe considerar que en la degradación de los polímeros intervienen factores externos tales como el calor, las radiaciones, humedad, oxígeno, el ozono, microorganismos entre otros, con el fin de deteriorar su estructura como el tamaño molecular, estructura química, macro estructura (interacciones intra e intermoleculares). Sin embargo, a la degradación del PET se define como una modificación de los polímeros puesto que puede afectar a la cadena principal o a los grupos laterales, considerando que las reacciones químicas producen la ruptura de enlaces covalentes llevando a la disminución del peso molecular y a la formación de nuevas funciones químicas en la cadena, reticulaciones y ciclaciones, según el tipo de polímero. Así por ejemplo cuando se reduce el peso molecular de un polímero produce una disminución en su dureza, en las propiedades mecánicas y en su resistencia química (ataque de disolventes u otros productos químicos) (Beltrán & Marcilla, 2012). Al mismo tiempo se debe conocer los mecanismos y causas de degradación, a continuación, se muestran varios tipos de degradación del PET que pueden sufrir los polímeros al momento que se exponen al ambiente causando una modificación de sus propiedades físicas y químicas.

3.7 Métodos de Degradación

3.7.1 Degradación Ambiental

Esta degradación polimérica se da por medio de la influencia de los factores naturales o porque ya cumple su ciclo de vida útil, en este caso tienen diferente manera en degradarse ya fundamentalmente depende del tipo del polímero (Frías, 2009).

3.7.2 Degradación Física

En la degradación física engloba los fenómenos que reaccionan con el polímero pero sin modificar la estructura química de la molécula, la temperatura es un factor importante en esta degradación lo cual ayuda a medir los cambios físicos que se dan al utilizar temperaturas vítreas, temperatura de cristalización, temperatura de fusión y por otra parte las fuerzas mecánicas y de las radiaciones debido que estas fuerzas se relacionan con las cargas estáticas o dinámicas que se aplican a elementos y estructuras (Bustamante, 2011). En cuanto a la temperatura vitra la degradación de PET a una mayor temperatura produce una cristalización mientras que a una menor temperatura su estructura se vuelve más flexible, por lo contrario al aplicar una temperatura de fusión se produce un cambio de estado de sólido a líquido (Perales, 2012). No obstante esta degradación también se puede dar una transferencia de masa y otro en el que no la hay (Frías, 2009).

3.7.3 Degradación térmica.

En la degradación térmica para la descomposición de los enlaces el principal agente es el calor razón por la cual el aumento de la temperatura modifica los enlaces logrando que se elimine los grupos hidroxilo del polivinil (Labeaga Viteri, 2018), sin embargo la acción conjunta del calor y fuerzas de cizalla se genera una acción hidrolítica la cual dependerá de la humedad y otros disolventes químicos (Beltrán & Marcilla, 2012). Se debe agregar que en

esta degradación ocurre por dos métodos la primera por la ruptura de cadena y la segunda por reacciones de sustitución o sin ruptura de cadenas (Frías, 2009).

3.7.4 Degradación fotoquímica.

En esta degradación no es clara en su fundamento de degradación debido a la complejidad de los procesos fotosintéticos y fotoquímicos presentes en los sistemas poliméricos. Sin embargo, la degradación fotoquímica sucede cuando la luz solar incide directamente al polímero, especialmente la luz ultravioleta, aunque la distribución de energía del espectro solar en el espacio abarca, longitudes de onda comprendidas entre 250nm y 2000nm, sin embargo, una cantidad importante de las radiaciones de onda menores a 290nm son absorbidas por la atmosfera terrestre. Aunque el espectro de radiación solar que llega a la superficie de la tierra no varía significativamente de un punto a otro de la misma, la región comprendida entre 290 y 313nm, muestra una fuerte dependencia de una serie de factores tales como: latitud y altitud, estación del año, hora del día (Beltrán & Marcilla, 2012).

3.7.5 Degradación Química.

Por lo se refiere a la degradación química esta engloba la modificación estructural del material polimérico expuesto a condiciones concretas como puede ser la luz, temperatura en presencia o ausencia de oxígeno, disolventes, radiación y a distintos microorganismos (Frías, 2009; Velasco & Mehrenberger, 1996). Sin embargo la influencia de reactivos químicos tal como ácidos bases, solventes, gases reactivos, entre otros entran en contacto con los polímeros para modificar sus propiedades y además algunos polímeros no permanecen intactos en la disolución, sino que son atacados químicamente por el líquido de bajo peso molecular provocando la fragmentación de la molécula de cadena larga (Bustamante, 2011).

3.7.6 Degradación Biológica

La degradación biológica se produce la ruptura de las moléculas poliméricas es similar a la degradación química debido a que se producción una diversidad de enzimas capaces de reacción con polímeros naturales y sintéticos.

La biodegradación de polímeros naturales es común en forma de degradación incompletas tales como la degradación de combustibles provenientes del petróleo y degradaciones completas de proteínas y lípidos para propósitos nutritivos (Frías, 2009).

Los productos naturales que son susceptibles al ataque biológico son:

- Plásticos industriales: hidrolizables por bacterias y hongos.
- Goma natural: parcialmente consumible por microorganismos de suelo.
- Almidón: degradado fácilmente por bacterias y hongos.
- Celulosa: atacada por agentes biológicos.

3.7.7 Fotodegradación

En cuento a la fotodegradación se lleva por medio de la luz solar donde afecta a las sustancias poliméricas y otros compuestos orgánicos causando un cambio en el peso molecular así pues pierdan sus propiedades físicas y mecánicas de forma irreversible por lo que generalmente producen cambios en la decoración, formación de grietas sobre la superficie, fragilidad, pérdida de propiedades de resistencia e incremento en la conductividad eléctrica (Frías, 2009).

3.7.8 Degradación Oxidativa

La degradación oxidativa o oxobiodegradable principalmente causa cambios a las propiedades físicas por la acción del oxígeno molecular ya que este ocasiona la disminución

del peso molecular del polímero (Perales, 2012). Además, existen dos tipos de degradación; la oxidación directa y la autooxidación, en el caso de la oxidación directa se degrada de manera natural a temperatura ambiente mientras que en la autooxidación esta ocurre cuando la incidencia de agentes tales como la luz ultravioleta, la radiación gama, las tensiones mecánicas o la electricidad realizan cambios a la molécula dejándole susceptible a la biodegradación. Sin embargo, la rapidez de degradación por oxidación de los polímeros puede ser causada mediante la acción de los aditivos químicos lo cual puede reducirse considerablemente si se incorporan antioxidantes (aminas o fenoles) al polímero. Es oportuno mencionar que al utilizar estabilizadores contra ultravioleta, descomponedores de peróxido, desactivadores metales y otros productos hacen que el proceso se retarde (Bustamante, 2011).

3.8 Despolimerización del PET

Actualmente el PET es reciclado mecánicamente, pero existen inconvenientes al realizar el proceso de reciclaje, así como la presencia de impurezas, en el caso de las botellas plásticas, poseen pegatinas y pinturas que dificulta el proceso de reutilizar es por ello se deben aplicar técnicas de coextrusión que se dan entre dos capas de PET virgen. Cabe señalar que la despolimerización es el proceso inverso de la polimerización de manera que este proceso se dan tres etapas importantes, comenzando por la ruptura de las macromoléculas de la estructura del polímero para seguir con la degradación al azar de los enlaces débiles por medio de la acción del calor, luz o radiación solar y terminar con la combinación con otras moléculas para una degradación más rápida (Elias & Jurado, 2012; Velasco & Mehrenberger, 1996).

Con el pasar los años se han generado alternativas de reciclaje químico de modo que permite obtener una materia prima de igual calidad a la original (Virginie, 2011), considerando que el PET es un polímero de adición y es muy útil para aplicar la

despolimerización (Hernández, 2007), esto se basa en la descomposición del polímero en moléculas más sencillas que pueden ser utilizados como materia primas o para lograr otros productos: aceite, grasas, etc. Además involucra un cambio químico y físico por la adición de sustancias químicas que se usan y al mismo tiempo tienen un considerable consumo de energía, por ello se han utilizado diferentes de reacciones, entre ellos está la Hidrólisis, Hidrólisis con ácidos y alcalina, Metanólisis, Hidroglicólisis, Glicólisis entre otros, sin embargo este último proceso es el más usando hoy en día aplicando el reciclaje químico (Elias & Jurado, 2012) ya que los resultados que se han logrado mencionan que sólidos recuperados poseen una actividad catalítica mayor que el óxido comercial y que actúan como catalizadores amigables con el medio ambiente (Elias & Jurado, 2012).

3.8.1 Tipos de Despolimerización

3.8.1.1 Despolimerización por vía radical

En la despolimerización por vía radical se da la división de la cadena principal, puesto que crean productos finales con estructuras que se distinguen de las unidades monoméricas. Sin embargo los mecanismos de despolimerización existen diversas reacciones como; iniciación al azar, iniciación en el extremo de la cadena, des propagación, transferencia y escisión intra molecular y terminación o recombinación (Beltrán & Marcilla, 2012). Sin embargo existen otros mecanismos de despolimerización que depende de la estructura de cada polímero generando sus propios productos de descomposición. Por ejemplo, el Polietilen tereftalato como se muestra en la Figura 2:

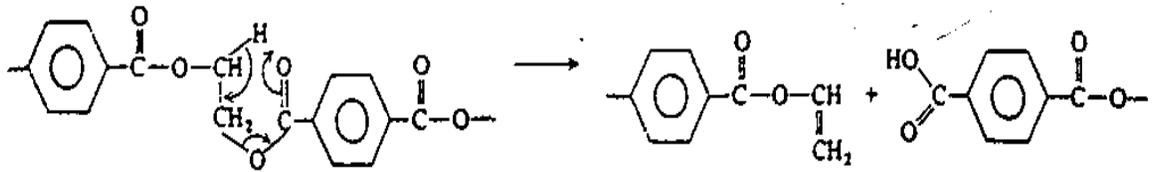


Figura 2: Estructura de Polietilen-tereftalato

Fuente: (Jones, 2012)

Este mecanismo conduce a la formación de grupos vinilo y carbonilo. En los poliésteres alifáticos los ácidos dan lugar a dióxido de carbono, cetonas cíclicas, aldehídos cíclicos y agua (Beltrán & Marcilla, 2012).

3.8.1.2 Metanólisis

El proceso de metanólisis se da por la despolimerización del PET cuando reacciona el metanol a una determinada presión y temperatura para obtener Teraftalato de dimetilo (DMT) y etilenglicol (EG). El DMT y el EG se pueden purificar para la obtención de PET de nuevo u otras aplicaciones (Elias & Jurado, 2012).

Según (Hernández, 2007) este proceso se da en temperaturas entre 180 - 280°C y presiones entre 2 y 4 MPa durante 3 – 5h. Los catalizadores empleados comúnmente son acetatos de Zn, Mg, Co, y sales de ácido arilsulfónico, siendo el grado de conversión de aproximadamente del 90%. En el trabajo de investigación realizado por (Padilla, 2014), indica una conversión de PET 100% y mas del 88% de recuperación del DMT al utilizar como catalizador acetato de zinc.

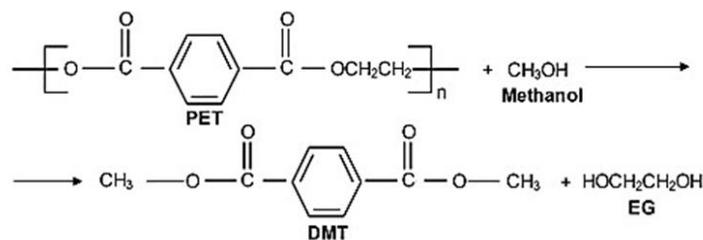


Figura 3: Metanólisis del PET

Fuente: (Al-sabagh, Yehia, Eshaq, Rabie, & Elmetwally, 2015)

Entre los inconvenientes de la metanólisis están la necesidad de catalizadores, las altas presiones requeridas, la producción de algunos oligómeros y la dificultad de separar los productos del etilenglicol (Bertolotti, Rospigliosi, & Nakamatsu, 2005).

3.8.1.3 Glicólisis

El proceso de despolimerización por glicólisis se da por acción del EG para reducir la larga cadena polimérica a oligómeros (Elias & Jurado, 2012). Se rompen los enlaces de éster y forman terminales hidroxilo para dar bis (2-hidroxiethyl tereftalato) (BHET) donde se recupera la materia prima de la producción del PET (Zhu, Shan, Zengxi, Xingmei, & Suojiang, 2012), en acción del etilenglicol actúa con el polímero y un enlace de éster aumentando la velocidad de difusión y de reacción del proceso. El BHET se purifica mediante filtración por fusión bajo presión y temperatura de 180 – 240°C (Han, 2019).

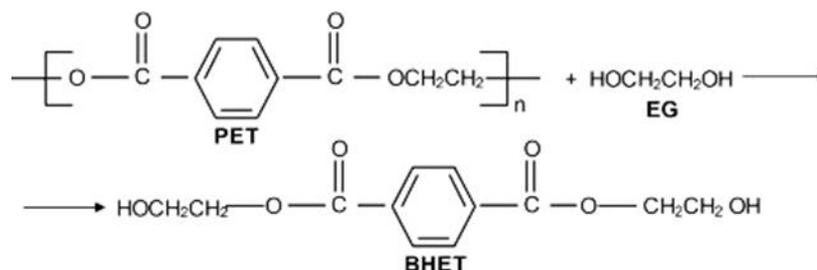


Figura 4: Gliólisis del PET
Fuente: (Al-Sabagh et al., 2016)

Las investigaciones hechas por (Elgegren et al., 2012) mencionan que se puede obtener el BHET bis(2-hidroxiethyleno) con un alto grado de pureza al variar condiciones de relación 5:1 EG:PET con el 1% en peso del catalizador de acetato de Zinc logrando obtener un rendimiento de 86%. De la misma forma demostraron que se puede obtener un rendimiento del 70% a 196°C, con una relación molar EG: PET de 7,6:1 y 1:380 de acetato de Zinc: PET. Por otra parte existen catalizadores que se pueden sustituir por el acetato de Zinc que

generalmente se usa para el proceso de glicolisis, debido que son amigables con el ambiente porque son menos nocivos tales como el bicarbonato de sodio, carbonato de sodio, sulfato de sodio y sulfato de potasio. Por este motivo se ha estudiado catalizadores como carbonato de sodio o bicarbonato de sodio a una concentración de 0,5 % en peso (respecto al PET) pero para lograr obtener el BHET se requieren de nueve horas de reacción mientras que con el acetato de zinc solo tres horas y los resultados que han obtenido son similar al rendimiento que se da con el catalizador del acetato de zinc o acetato de plomo evitando la utilización de sales de metales pesados, más costosas y contaminantes. De acuerdo con el empleo del BHET recuperado este se ha utilizado para producir productos es la materia prima para realizar espumas de poliuretano, copoliésteres, colorantes hidrófobos, resinas insaturadas y recubrimientos acrílicos (Sheel & Pant, 2019).

3.8.1.4 Hidrólisis

En cuanto a la despolimerización por hidrólisis los productos que se obtiene son el ácido tereftálico y EG donde luego se pueden usar para una nueva producción de PET, y su reacción puede darse mediante ácidos o base (Elias & Jurado, 2012), el proceso de la reacción se da por medio ácido-base entre una sustancia pero generalmente se da con una sal y el agua, para realizar la separación y la purificación de los monómeros. El inconveniente de este proceso su tiempo de reacción es largo, por lo que no es viable económicamente. (Bertolotti et al., 2005) en su estudio nos indica que en una reacción de hidrólisis ácida se utiliza el ácido sulfúrico, fosfórico o ácido nítrico concentrado. De la misma forma (Padilla, 2014), menciona que al utilizar ácido sulfúrico concentrado (>14,5 M) se evita las altas temperaturas y presiones con una eficiencia de despolimerización del 90% en tiempo corto (< 1h). De lo

contrario al utilizar ácidos diluidos (< 10M) es necesario aumentar las variables térmicas y atmosféricas.

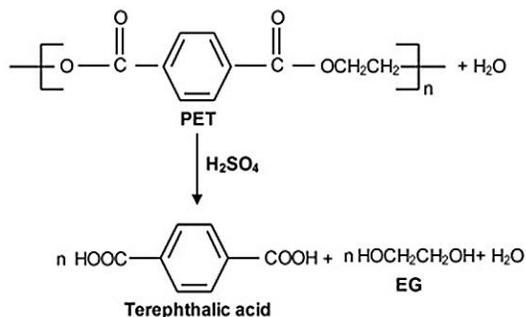


Figura 5: Hidrolisis Ácida del PET usando H2SO4

Fuente: (Sabagh, Yehia, Eshaq, & ElMetwally, 2016)

En la hidrólisis alcalina se utiliza una solución acuosa comúnmente en concentraciones entre 4 - 20 % en peso de NaOH, KOH, NH4OH. La reacción procede durante 2 a 5 horas, 210 – 250 °C y una presión de 1,4-2 MPa; sus principales productos son etilenglicol y disodio tereftalato (Bertolotti et al., 2005).

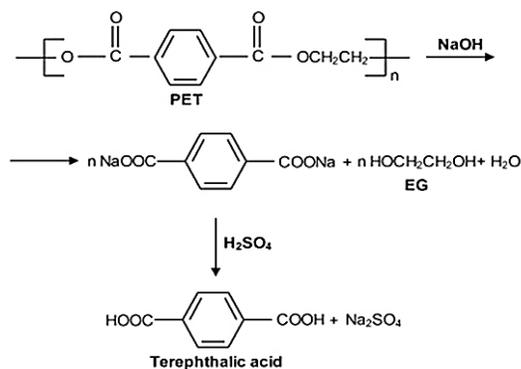


Figura 6 : Hidrólisis alcalina de PET usando NaOH

Fuente: (Sabagh et al., 2016)

Por otro lado, la hidrólisis neutra se lleva a cabo en agua o vapor de agua. Este proceso ocurre a presiones entre 1 y 4 MPa y a temperaturas entre 200 y 300 °C, con una relación molar PET/agua 1:2 – 1:12 y catalizadores como acetatos alcalinos obteniendo como productos ácido tereftálico, TPA (Padilla, 2014).

3.9 Despolimerización por glicólisis para obtener (2-bis Hidroxietil Tereftalato) BHET

Con el fin de reutilizar el PET hoy en día se han generado nuevas alternativas tomando en cuenta la economía circular y el principio de la cuna a la cuna, estas alternativas se basan principalmente en el reciclaje que una vez que se termina su vida útil de uso se aplican otras técnicas como reciclaje químico y mecánico.

El proceso de glicólisis del PET es una alternativa de reciclaje químico y a través de la acción de un catalizador rompe un diol en la cadena del PET para formar el bis-2-hidroxietiltereftalato (BHET) con la acción de los glicoles como el etilenglicol (Fernández, 2013), por tanto en reciclaje químico el PET se despolimeriza en dos o tres monómeros base generalmente son el Etilenglicol, Acido tereftálico, dimetil tereftalato o en oligómeros (Cuenca Valencia & Figueroa Brazzini, 2010).

El BHET es un sólido tipo polvo con un alto punto de fusión y a través del proceso de destilación su purificación no es total, por ello se aplica la filtración a baja presión con fin de retirar impurezas físicas (Estrada Flores, 2011) y para eliminar impurezas químicas se aplica carbono (Basque Mora & Quezada Andrade, 2016), sin embargo los autores (Herrera Reséndiz & Estrada Monje, 2012) mencionan que es difícil de purificar por procesos convencionales. En cuanto al proceso de poliesterificación del PET se usa el BHET dado que, es una previa etapa de la poli condensación del PET nuevamente o para formar poliuretano o las resinas de poliésteres insaturados a causa de las reacciones químicas con otros monómeros (Cuenca Valencia & Figueroa Brazzini, 2010).

Cuando el Etilenglicol y el Ácido tereftálico se mezclan al hervir se produce el BHET y al incrementar la temperatura y el tiempo el proceso despolimerización es rápida, sin embargo, el acetato de zinc como catalizador influye en el tiempo de despolimerización del PET.

3.10 Polímeros degradables Biobasados

Según la International Standards Organization son definidos como aquellos plásticos que se degradan por acción de microorganismos, son estructuras poliméricas que al ser desechados sufren cambios químicos por influencia de agentes ambientales y microorganismos, transformándolos en sustancias simples o en micro componentes que eventualmente son asimilables en el ambiente (Rodríguez, 2012). En su mayor parte proceden de recursos renovables, convirtiéndose en una interesante alternativa para la industria de los plásticos (Valero, Ortigón, & Uscategui, 2013). Estos plásticos pueden ser biobasados, es decir, son fabricados con materiales combinados basados de fuentes renovables y no renovables (materia orgánica, recursos naturales y residuos) provenientes de:

- Materias primas de origen renovable y biodegradable.
- Materias primas de origen renovable y no biodegradable.
- Materias primas de origen petroquímico y es biodegradable.

Es importante recalcar que el origen biobasados de un plástico no implica que este sea biodegradable. Aunque hay casos como el Ac. Poliláctico en el que reúnen ambas condiciones en un solo material, la biodegradabilidad de un material depende de su estructura química y no del proceso o materia prima mediante la cual se haya producido (Vazquez & Velasco Perez, 2016).

La Norma Europea EN 13432 ha definido el termino biodegradables como aquel en el que el mecanismo de degradación se caracteriza por la descomposición de químicos orgánicos por microorganismos en presencia de oxígeno a dióxido de carbono, agua y sales minerales de cualquier otro elemento presente (mineralización) o en ausencia de oxígeno a dióxido de carbono, metano, sales minerales y biomasa. Se pueden clasificar dependiendo de la naturaleza y la unidad repetitiva de la que están compuestos (Avérous & Pollet, 2012):

a) **Agropolímeros:** se obtienen de origen natural:

- Polisacáridos (p.Ej., Almidón, celulosa, lignina y quitina)
- Proteínas (p.Ej., Gelatina, caseína, gluten de trigo, seda y lana)
- Lípidos (p.Ej., Aceites vegetales que incluyen aceite de ricino y grasas animales)
- Poliésteres producidos por microorganismo o por plantas (p.Ej., Polihidroxi-
alcanoatos poli-3-hidroxibutirato)
- Poliésteres sintetizados a partir de monómeros bioderivados (ácido poliláctico)
- Polímeros diversos (cauchos naturales, compuestos)

b) **Biopoliésteres:** resultan de origen mineral:

- Poliésteres alifáticos (p.Ej., Acido poliglicólico (PGA), succinato de polibutileno (PBS) y poli (ϵ -caprolactona)
- Poliesteres aromáticos o mezclas de los dos tipos (p.Ej., tereftalato de succinato de polibutileno)
- Polivinilalcoholes
- Poliolefinas modificadas (polietileno o polipropileno con agentes específicos sensibles a la temperatura o a la luz)

Es importante comprender que la capacidad de degradación de los plásticos de origen biológico no depende de su contenido de origen biológico, sino de su estructura y propiedades físicas.

3.10.1 Beneficios de los Bioplásticos

El bioplástico ideal es de origen biológico dado que es renovable y biodegradable al final de su vida útil. Kargarzadeh et al., (2018) afirma que el almidón, la celulosa, el quitosano y las proteínas son algunos representantes de este bioplástico ideal. Además, la poliprolactona (PCL) y el poli (ácido láctico) (PLA) son ejemplos de polímeros que tienen origen sintético pero son biodegradables sin embargo, la sustitución de biobasados por polímeros sintéticos comerciales tienen algunos desafíos serios, como la fragilidad, la baja estabilidad térmica y las pobres propiedades de barrera (Okamoto, 2005). La incorporación de la celulosa en matrices de polímeros según estudios proporciona mejoras en el rendimiento y en las propiedades del polímero. Si bien es cierto existen beneficios de los plásticos de base biológica que disminuye el impacto ambiental que estos generan, a continuación se muestra una lista de beneficios y ventajas de los biopolímeros (Avérous & Pollet, 2012):

- ✓ Los plásticos de origen biológico contienen carbono renovable.
- ✓ Algunos plásticos de origen biológico se pueden degradar mediante compostaje.
- ✓ Los bioplásticos incorporados como el tereftalato de polietileno de base biológica (bio-Pet), son similares a los plásticos basados en fósiles y pueden reciclarse de la misma manera que los plásticos convencionales.
- ✓ Al final de su vida útil, cuando el reciclaje ya no es una opción, estos materiales pueden quemarse para producir energía renovable y / o usarse para producir biocombustibles.

- ✓ Los plásticos de origen biológicos pueden reducir el consumo de energía y las emisiones de dióxido de carbono en comparación con los de origen fósil.

3.10.2 Materiales Compuestos de matriz polimérica reforzados con materiales naturales

Los materiales compuestos son el producto de la combinación de materiales simples con diferentes características, cuyas propiedades son mejores que las de los constituyentes de manera individual, conformados por dos fases la matriz y el refuerzo (Guerrero et al., 2013). En la primera fase la matriz busca estabilizar y repartir las tensiones entre los refuerzos que pueden ser de naturaleza mecánica, polimérica o cerámica mientras que la segunda fase los refuerzos ayudan a soportar la tensión mecánica del material (Díaz, Peña, & Pérez, 2016).

A la matriz se le suele adicionar materiales de refuerzo en forma diferente naturaleza, los cuales determinan la estructura interna de los materiales compuestos, por lo que deben estar fuertemente unidos a la matriz (Guerrero et al., 2013).

A estos compuestos se generalmente se le adiciona calor para hacerlos procesables; Después del enfriamiento, dichos materiales conservan su forma. Además pueden recalentarse y reformarse, a menudo sin cambios significativos en sus propiedades (Kargarzadeh et al., 2018).

Por otra parte, Barrera, Hidalgo, & Mina, (2012) abordan que la inclusión de materiales orgánicos como refuerzo se están convirtiendo en una alternativa novedosa debido a su bajo costo y por ser una materia prima renovable con propiedades superiores a otros materiales cuando se utiliza como refuerzo en materiales compuestos de matriz polimérica. Este tipo de materiales se vienen utilizando en industrias como el calzado y marroquinería, componentes en caucho, sector de transporte y construcción, entre los más relevantes

Velásquez, Pelaéz, & Giraldo, (2016); según (Guerrero et al., 2013) en la actualidad se ha incrementado el interés en utilizar residuos orgánicos como refuerzo debido a la creciente preocupación por el medio ambiente, por lo tanto se han desarrollado las investigaciones sobre el empleo de materiales naturales como sustitutos de fibras sintéticas por ejemplo la introducción de la celulosa en matrices poliméricas tiene dos desafíos principales: el tiempo de procesamiento y la compatibilidad entre la celulosa y la matriz; La modificación y funcionalización de la celulosa podría mejorar sus propiedades térmicas y aumentar su compatibilidad con las matrices poliméricas termoplásticas (Kargarzadeh et al., 2018).

Guancha et al., (2015); Velásquez et al., (2016) expresan en sus investigaciones que actualmente materiales orgánicos como el sisal, fique, lino, abaca, coco, bambú, paja, yute, ramio, piña y bagazo de caña entre otros, se han utilizado como refuerzo para la obtención de materiales compuestos biodegradables.

3.10.3 Compuestos orgánicos utilizados como refuerzos

Se han investigado diversos materiales ecológicos fácilmente disponibles, ya que son una solución viable con impactos positivos como la biomasa lignocelulósica es la parte no comestible de los principales cultivos alimentarios, siendo hoy en día el principal atractivo para la generación de energía alternativa y compuestos biodegradables (Torres, 2016).

La estructura de las plantas se resume básicamente en biomasa, considerado como el polímero natural más abundante en la naturaleza, es un material fibroso, duro, insoluble en agua, que juega un papel esencial en el mantenimiento de la estructura de las paredes celulares de las plantas.

Según (Guancha et al., 2015) afirma que los materiales lignocelulósica son empleadas principalmente como refuerzo en la generación de nuevos materiales, usados en la industria como alternativa para reemplazar la utilización de fibras sintéticas con el objetivo de obtener productos de bajo costo y amigables con el medio ambiente. Dentro este tipo de material se incluyen productos de origen agrícola y forestal, constituidos por tres componentes estructurales polímeros: celulosa componente mayoritario 50%, hemicelulosa 15% y lignina 20% (Rodríguez García, 2006).

- **Celulosa:** la celulosa fue identificada por primera vez por el químico francés Anselme Payen en 1838 quien aisló la celulosa de varias plantas y determino su fórmula molecular ($C_6H_{10}O_5$). (Dieter Klemm, Heublein, Fink, & Bohn, 2005). Desde el punto de vista actual es el polímero orgánico más abundante en el mundo y el componente estructural más importante en la mayoría de materiales naturales, presentándose en forma de microfibrillas cristalinas, este polisacárido puede absorber agua entre un 6% al 20%, ocasionando un hinchamiento, que es el inicio de su despolimerización, produciendo cambios en las propiedades; es resistente a la hidrólisis, pero puede degradarse parcialmente cuando se expone a ácidos fuertes.
- **Hemicelulosa:** forma parte de la pared celular, es una cadena de glucosa más corta que la celulosa, su función es ser intermediara entre la lignina y la celulosa, se encarga de dar soporte a las microfibrillas de la celulosa en la pared celular, son más accesibles, degradable y más fáciles de disolver que la celulosa. Los monómeros principales que encontramos en la hemicelulosa son cinco: glucosa, manosa y galactosa que son hexosas, xilosas y arabinosa que son pentosas. Además de algunos ácidos uránicos (Morales De La Rosa, 2015).

- **Lignina:** es un polímero aromático ramificado y amorfo que se encarga principalmente en dar una fuerza a la estructura de la pared celular, es insoluble en ácido y soluble en álcalis fuerte como el hidróxido de sodio. Después de la celulosa, es el principal componente de materiales orgánicos, donde sus propiedades mecánicas son menores.

3.10.4 Polímeros Biodegradables Reforzados con Celulosa

La celulosa es el homopolímero lineal más abundante del mundo y la unidad estructural básica de células vegetales está compuesta por dos moléculas de anhidrido glucosa (UAG) unidas por enlace glucosídico 1,4- β , la molécula tiene tres grupos hidroxilo por cada UAG, con excepción de los extremos terminales (Marcano, E., Padilla, A., & Calderón, 2009).

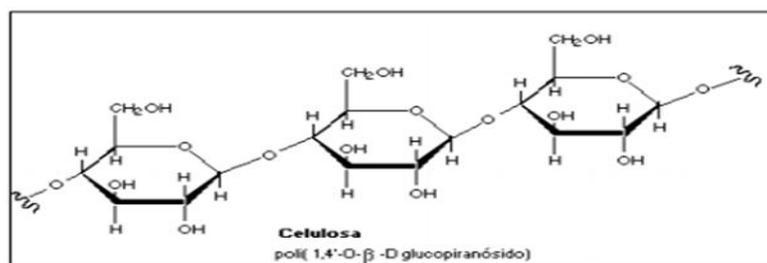


Figura 7: Estructura molecular de la celulosa
Fuente:(León Fernández, 2015)

Este componente representa una de las principales reservas de carbohidratos y tiene la peculiar ventaja de renovarse continuamente mediante la captura de la luz solar y la reducción del dióxido de carbono durante la fotosíntesis. Es uno de los más enigmáticos convirtiéndose en el más abundantes de todos los compuestos orgánicos naturales representando la tercera parte de toda la materia vegetal de la Tierra. Hace más de 40.000 años, se ha identificado el uso de materiales de origen vegetal, oscilando entre 30 y 90% de su composición en peso, entre los grandes avances generados con los procesos de extracción o aislamiento de la celulosa fue posible obtener papel (Gañán et al., 2017). Además, el desarrollo de sustancias

como la celulosa micro cristalina ha permitido su empleo como agente espesante de alimentos, cosméticos, fármacos, etc. Y también como producto de relleno, fibra dietética, agente antiagregante y emulsificante (Celis, M. T., Manchego, L., & Contreras, 2008).

En este punto las variaciones de los reforzantes a base de celulosa incluyen un amplio espectro de formulaciones que pueden ir desde fibras vegetales de menor nivel de comercialización como el fique, hasta las más tradicionales en el mercado como el lino o el algodón. La celulosa es un polímero hecho de largas cadenas las cuales se unen cuando se elimina el agua combinando el grupo H y el grupo hidroxilo (Kargarzadeh et al., 2018). Debido al fuerte enlace de hidrogeno en las regiones cristalinas, la celulosa tiene buena resistencia a los solventes.

Las nanoestructuras de celulosa también pueden ser empleadas para el desarrollo de nanocompuestos, en particular a partir de matrices poliméricas. Siendo una de las principales ventajas la resistencia térmica que ofrece la celulosa y que en general permite soportar una amplia gama de temperaturas requeridas bien sea para fijar, consolidar, formar la matriz polimérica o en otros casos brindar soporte (Gañán et al., 2017).

La celulosa posee propiedades que permiten su viabilidad como agentes reforzantes de compuestos poliméricos, tales como: aceptable resistencia mecánica a tracción y compresión, altos módulos de elasticidad específicos, biodegradabilidad y sobretodo bajo costo.

3.10.5 Influencia de la Celulosa en el BHET

En la interfaz Matriz-Refuerzo en nuestro caso BHET-Celulosa, la celulosa mejora la cristalización de la matriz. Según (Ferreira et al., 2018), esto se debe a que la mejora en la temperatura de fusión y la entalpia de fusión confirman que la celulosa favorece la

cristalización de los segmentos blandos del BHET, lo que quiere decir que la celulosa actúan como un agente nucleante para la cristalización del polímero. El trabajo de investigación realizado por este autor menciona que el poder de cristalización también es el resultado de una buena dispersión e interacción entre la celulosa y el polímero debido a la modificación de la superficie de estos materiales.

El poder de cristalización de materiales poliméricos depende del nivel de dispersión de la nucleación (celulosa), estructura química del polímero, historial térmico del material, etc. (Dufresne, 2018).

Se pudo evidenciar mejoras experimentales en las propiedades mecánica del BHET mediante la adición de la celulosa como refuerzo, conllevando a un aumento en las propiedades mecánicas del material compuesto (BHET-Celulosa). Estas propiedades pueden estar relacionadas con la adición de la fase dura (Celulosa) en la matriz del BHET que presenta características más suaves.

Según (Espino-Pérez et al., 2016; Follain et al., 2013); los autores indican que la celulosa actúan como agentes de bloqueo dentro de la matriz polimérica, promoviendo un camino tortuoso hacia la permeación de las moléculas de agua, por lo tanto, aumentando las propiedades de barrera del material como lo indican en la Figura 8.

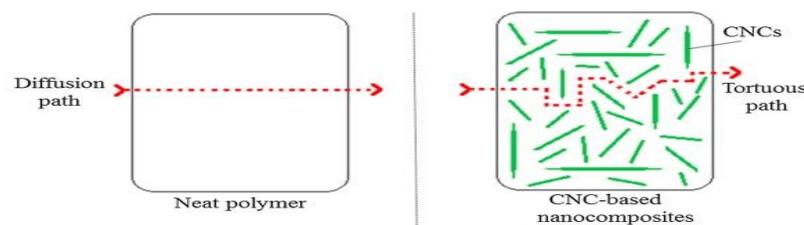


Figura 8: Propiedades de Barrera de la Celulosa en el Polímero

Fuente: (Espino-Pérez et al., 2016; Follain et al., 2013)

En este contexto, la morfología, orientación y buena dispersión de la celulosa dentro de la matriz polimérica del BHET conlleva a mayores efectos de tortuosidad, mejorando las propiedades de barrera del material. En conclusión, todos los resultados convergen en el hecho de que las propiedades del material compuesto cambian gradualmente con la cantidad de Celulosa en la matriz del BHET.

3.11 Desechos orgánicos y sus componentes

Se denomina desecho orgánico a todos aquellos materiales derivados de actividades de producción y consumo que no han alcanzado ningún valor económico, cuyo origen es fundamentalmente biológico (la materia orgánica representa 95-99% del total de la materia seca de los seres vivos) y participan en su composición sustancias orgánicas con elevada presencia de C,H y O, y en menor medida N,P y S así como otros elementos en menor proporción (Navarro-Pedreño, 1995).

En algunos casos pueden utilizarse a efectos de obtener algún tipo de beneficio de ellos, una de las formas es utilizar algunas de sus clases como abono para el cultivo, generando tierra rica en nutrientes. Otro tipo de tratamiento utilizarse como fuente de energía para generar gas; caracterizados por su capacidad de combustión.

Según (Navarro-Pedreño, 1995); los desechos orgánicos pueden clasificarse en función del sector de productivo que los origina estableciendo dos grupos:

- Derivados del sector primario: actividades como agricultura, ganadería, forestales y extractivas.
- Derivadas de sector secundario y terciario: formado por residuos industriales y urbanos.

Paralelamente Recytrans, (2013); indica que los residuos orgánicos tienen propiedades que condicionan la recogida y tratamiento entre ellos tenemos:

- Elevado contenido de agua 80% y material orgánico (hidratos de carbono, proteína y grasas).
- Degradable por microorganismos.
- Tiene una densidad elevada (0.3-0.8 t/m³ aproximadamente)
- No es una fracción uniforme: su naturaleza, origen y composición varían según las estaciones.

(Márquez & Zapata, 2008) señala que las propiedades biológicas de la mayoría de los desechos orgánicos se clasifican de la siguiente forma:

- Constituyentes solubles en agua: azúcares, féculas, aminoácidos y diversos ácidos orgánicos.
- Hemicelulosa: producto de la condensación de azúcares con cinco y seis carbonos: producto de la condensación de glucosa de azúcares de seis carbonos
- Celulosa: producto de la condensación de la glucosa de azúcares con seis carbonos
- Grasas, aceites y ceras: son ésteres de alcoholes y ácidos grasos de cadena larga
- Lignina: material polímero presentes en algunos productos de papel
- Lignocelulosa: combinación de lignina y celulosa
- Proteínas: formadas por cadenas de aminoácidos

3.11.1 Componentes y características de la Cascara de Cacao

El cacao (*Theobroma cacao L.*), de la familia del Sterculiaceae, es una planta originaria de América , perenne de porte bajo, de aproximadamente 6 metros de altura con ramas esparcidas que presentan un marcado dimorfismo, las hojas son pequeñas, pecioladas, elípticas, oblongadas y ovaladas de 15 a 30 centímetros de largo, redondas (Nizama, 2015). La mazorca de cacao está compuesta por el exocarpio, mesocarpio, endocarpio, fenículo y semillas.



Imagen 1: Morfología de la Mazorca de Cacao
Fuente: *Los Autores*

3.11.2 Variedades de Cacao

Según información de la Organización Internacional del Cacao ((ICCO), 2015) y el Instituto Nacional de Investigación Agropecuarias ((INIAP), 2017) existen cuatro variedades de árboles de cacao:

3.11.2.1 Criollo

Este tipo de Cacao dominó el mercado hasta mediados del siglo XVIII, pero en la actualidad quedan pocos árboles puros; Son árboles relativamente bajos o menos robustos respecto de otras variedades, hojas pequeñas de forma ovalada, de color verde claro, conocido como de “buen sabor” o de “alta calidad”.



Imagen 2: Mazorca de Cacao "Criollo"

Fuente : De La Cruz, Vargas, & Del Angel, (2009)

3.11.2.2 Forastero

El Cacao Forastero está conformado por un extenso grupo de poblaciones cultivadas, silvestres y semi-silvestres, constituyendo el 80% de la producción mundial de las cuales el amelonado es la más ampliamente sembrada. Las almendras son aplanadas y pequeñas, de color morado.



Imagen 3: Mazorca de Cacao "Forastero"

Fuente : De La Cruz, Vargas, & Del Angel, (2009)

3.11.2.3 Trinitario

Cacao Trinitario es descendiente de un cruce entre Criollo y Forastero, puesto que su calidad es intermedia surgido en la Isla Trinidad y de ahí su nombre. Los cacaos Trinitarios

representan entre el 10% al 15% de la producción mundial sus almendras son de color variable.



Imagen 4: Mazorca de Cacao "Trinitario"

Fuente : *De La Cruz, Vargas, & Del Angel, (2009)*

3.11.2.4 Nacional

Cacao Nacional conocido como “Cacao Arriba” presenta características semejantes al Tipo Forastero amelonado, pero produce cacao fino o de aroma. De este tipo de cacao se obtiene uno de los mejores chocolates del mundo, por su sabor y aroma floral, combinado con perfiles de frutas ((INIAP) Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, 2009).



Imagen 5: Mazorca de Cacao "Nacional"

Fuente: ((INIAP) Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, 2009)

Alberca Peña, (2018) indica que las principales variedades pertenecen a los Tipos Criollo representando un 10%, Forastero 70% y Trinitario 20%. Adicional a estos tres tipos

en Ecuador se reconoce un cuarto denominado Nacional por ser originario del país proveniente de la Cordillera de los Andes conocido tradicionalmente como “Ca cao Arriba” siendo este último cacao de exportación a nivel mundial.

En el proceso de siembra de cacao es aconsejable generalmente iniciarlo desde los meses de diciembre y enero, debido al comienzo de la temporada lluviosa. Para el establecimiento de cultivos de cacao es recomendable utilizar el método de propagación asexual por injerto, con el objetivo de lograr uniformidad, calidad y alta productividad.

Según el MAGAP los sembríos de cacao en el Ecuador se encuentran ubicados principalmente en las provincias del Guayas, Los Ríos, Manabí, El Oro y Esmeraldas; el cultivo de cacao se caracteriza por ser de bajo costo debido a la poca utilización de tecnologías o maquinaria, generalmente sus etapas de cultivo se realizan de forma manual, pero sin embargo se presentan impactos ambientales. Comúnmente se reconocen cuatro tipos de residuos en la actividad agrícola: residuos de plaguicidas, residuos de fertilizantes, residuos de biomasa y residuos inertes.

Información de la ESPAC 2014 sobre las características de las plantaciones de cacao a nivel de todo el país indica que cerca de la mitad del área dedicada al cultivo corresponde a plantas de cacao que tienen menos de 10 años de edad. De igual forma 56.4% de la superficie dedicada a cacao cuenta con plantas de la variedad común, 33.9% son de variedad mejorada y la diferencia está constituida por híbrido.

3.12 Actores que condicionan la producción de cacao en Ecuador

Algunos de los principales factores que condicionan la productividad de la producción de cacao en Ecuador Acebo Plaza, (2016).

- ✓ Fuerte presencia de enfermedades y plagas (“escoba bruja” y la “monilla”) lo cual ocasiona pérdidas de producción de entre 80% y 70%. Este problema es causado por el mínimo manejo que se da a la plantación: nula aplicación de insumos e insuficientes podas.
- ✓ La nula aplicación de insumos es también consecuencia del desconocimiento técnico de los productores, tanto en lo que se refiere a la preparación y aplicación de insumos orgánicos como a la aplicación de insumos químicos.
- ✓ Relativa deshidratación de los árboles de cacao (la aplicación de riego es prácticamente nula), lo que proviene en parte una insuficiente o inadecuada infraestructura de riego y drenaje.
- ✓ Baja densidad de siembra en las plantaciones (menos de 600 plantas por hectárea)

3.13 Impacto Ambiental de los residuos de la Cascara de Cacao

El cultivo de cacao es afectado por condiciones climáticas donde el hombre tiene injerencia, enfermedades y plagas que en gran proporción se propagan utilizando como medio las cascaras de cacao que quedan después de la cosecha. Las enfermedades de gran incidencia en el cultivo de cacao según lo indica (Sánchez, 2013) son:

- La Mazorca Negra (*Phytophthora sp*), causa pérdidas cercanas al 80% de la producción.
- Escoba Bruja (*Moniliophthora perniciosa*), genera un abultamiento en la parte floral originada por hongos.

En el cultivo de cacao, entre los residuos e biomasa se encuentra la cascara de cacao lo que corresponde un 70%; Chafla, Rodriguez, Boucourt Salabarría, & Torres Cárdenas, (2016) indican que el procesamiento de cacao genera un promedio de 7043 ton/año de cascara, especialmente de la cascara del fruto que se desecha anualmente se considera como un medio

para la propagación de *Phytophthora sp*; lo que ha motivado el desarrollo de estudios para la reincorporación de la cascara de cacao en procesos industriales. La cascara de cacao es de composición orgánica y renovable, constituida en su mayoría por agua, celulosa y lignina generando grandes cantidades de residuos ocupando así una alta dispersión espacial. La cascara de cacao tiene un proceso de biodegradación lento, desequilibrando su ciclo natural, generando problemas sanitarios, deterioro del paisaje y además un despilfarro de recursos potenciales, la cascara de cacao es una de las causas principales en el desarrollo de insectos transmisores de enfermedades es por ello que es imprescindible realizar un manejo adecuado de los mismos (Torres, 2016).

Este desecho agroindustrial nutricionalmente aporta como todo alimento con macronutrientes (proteínas, carbohidratos y lípidos) y micronutrientes (vitaminas y minerales). De acuerdo con las estimaciones del MAGAP en el año 2016 se registró una producción de cacao a nivel nacional de 293.478 toneladas, con una superficie plantada de 559.617 hectáreas, lo que implica un rendimiento del 0.52 toneladas por hectárea a nivel nacional incluye la superficie como cultivo solo y asociado; Baena & Garcia, (2012) & Nizama, (2015) nos dan a conocer que la cascara de cacao corresponde al 90% del fruto y es el principal desecho del proceso de cosecha de Cacao, el cual representa un 74% del peso total del fruto fresco. La cascara de cacao contiene 6-8% de proteína cruda y 24.36% de fibra cruda, y por cada kilogramo de semilla seca de cacao, quedan aproximadamente 2kg de cascar seca en el campo, que se desperdicia totalmente. Los valores de la composición proximal de la cascara se detallan a continuación:

Tabla 5: Composición Proximal de la cascara de la Mazorca de Cacao

Composición Proximal	%
Humedad	6,53
Proteína cruda	4,5
Fibra cruda	33,78
Cenizas	9,01
Extracto libre de N	43,68

Fuente: Heredia, (2015)

3.14 Métodos de extracción de la Celulosa

3.14.1 Tratamientos Físicos

Dentro de esta categoría se puede citar:

- **Fragmentación mecánica:** la mayor parte de la biomasa lignocelulósica requiere de un tratamiento mecánico previo para reducir el tamaño (Kumar, Barrett, Delwiche, & Stroeve, 2009). Existen varios métodos como la molienda, irradiación y la extrusión referidos a la reducción de un cuerpo o varios cuerpos en fragmentos de dimensiones previamente establecidas; o bien a elementos de volúmenes más pequeños (Castelló, Barrera, Perez, & Valls, 2017).
- **Pirólisis:** se lleva a cabo en ausencia de aire y temperaturas superiores a los 300 °C. Durante el calentamiento de la biomasa se forman gases, líquido y residuos calcinados en diferentes proporciones dependiendo del sistema de pirólisis (Kumar et al., 2009). La Hemicelulosa se descompone entre 250-400 °C, la celulosa requiere temperaturas entre 310- 430 °C y la lignina se descompone entre 300-530°C (Bulushev & Ross, 2011).
- **Explosión de Vapor:** es el método más utilizado para el tratamiento de materiales lignocelulósicos causando la degradación de la hemicelulosa y la transformación de la lignina. En este método la biomasa se trata con vapor en agua saturada a presión alta

(160-260°C y entre 0.690-04.83MPa), la presión se reduce provocando una descompresión explosiva en los materiales (Morales De La Rosa, 2015).

3.14.2 Tratamientos Químicos

Dentro de esta clase se puede describir:

- **Ozonólisis:** este tratamiento reduce el contenido de lignina en los materiales lignocelulósicos. El proceso de degradación se enfoca principalmente en la lignina. La Hemicelulosa se ve afectada ligeramente pero la Celulosa no recibe ningún cambio(Sun & Cheng, 2002).
- **Hidrólisis Ácida:** este tratamiento puede resultar una mejora en la obtención de azúcares de biomasa lignocelulósica. ácidos como H₃PO₄, H₂SO₄ y HCL son eficientes en la disolución de la hemicelulosa. Sin embargo, este método, no resulta eficiente para de la eliminación de la lignina (Morales De La Rosa, 2015).
- **Hidrólisis Alcalina:** el tratamiento alcalino es capaz de separar tanto la hemicelulosa como la lignina, sin tener grandes efectos sobre los demás componentes de la biomasa lignocelulósica. Los reactivos más utilizados son NaOH, NH₃, CaO y Ca(OH)₂ a diferencia de los tratamientos ácidos no necesitan altas temperaturas, aunque si por lo general tiempos más prolongados de reacción. El uso de un álcali provoca la degradación del éster y cadenas laterales alterando la estructura de la lignina (Kumar et al., 2009).

3.14.3 Tratamientos Biológicos

Los tratamientos biológicos pueden emplear una gran variedad de hongos y bacterias para reducir la cristalinidad de la biomasa lignocelulósica y facilitar los procesos de conversión.

Es una técnica de vanguardia con varias ventajas ya que no necesita de reactivos químicos que comprometan el medioambiente, los hongos de pudrición blanca tienen la capacidad de degradar la lignina como *Phanerochaete chrysosporium*, *Ceriporia lacerata*, *Cyathus stercoleris*, *Ceriporiopsis subvermispora*, y *Pleurotus ostreatus* mostrando una alta eficiencia de deslignificación. (Morales De La Rosa, 2015). Los tratamientos biológicos requieren un riguroso control del crecimiento microbiano, además muchos de estos microorganismos ligninolíticos consumen parte de la celulosa y hemicelulosa (Sun & Cheng, 2002).

3.15 Espectroscopia de Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR)

Este método nos ayuda obtener información sobre las estructuras de los polímeros obtenidos a través de los procesos de glicolisis del PET, hidrólisis ácida y básica, finalmente las identificaciones de las estructuras de las pastillas dosificadas con BHET y celulosa.

En cuanto a este método permite registrar el espectro infrarrojo de las muestras dando así el % de radiación infrarroja transmitida a través de la muestra en base al número de onda, es decir que nos genera los cambios de intensidad de bandas de absorción en función del tiempo (Cierva, 2009; Vicent, Gimeno, & Muños, 2016). Por otra parte, el orden e intensidad de los picos que presentan en el espectro se determinan diferentes grupos funcionales que aportan una información sobre la estructura del material, así pues, empleando el espectro IR se pone en contacto con el material para identificar su estructura y el proceso de degradación que haya tenido.

3.15.1 Espectrofotometría de infrarrojos

Esta técnica se da cuando la muestra absorbe un espectro electromagnético de infrarrojo, se presentan en dos maneras la primera cuando un material es absorbido en un determinado

rango y esta se genera una banda de absorción, mientras que, si existe una banda muy fina se forma un pico de absorción. De manera que al momento que se forman las bandas o picos ayudan a identificar la estructura del material (Vicent et al., 2016).

Los resultados de los análisis se dan en dos ejes el primero el eje de las abscisas que representan la longitud de onda o frecuencia (número de onda), mientras que, en el eje de las ordenadas nos da la energía absorbida. Por otro lado, este método nos ayuda como fotoindicadores sin embargo no se puede considerar un método a tiempo real ya que puede presentar continuos cambios lo que proporciona un espectro promedio cada cierto número de barridos. La ventaja de esta técnica es que cada barrido proporcionará un espectro completo de la muestra es por ello que habitualmente se utilizan en muestras con materiales poliméricos (Vicent et al., 2016). En la siguiente figura 8 se muestra los espectros de PET vs BHET.

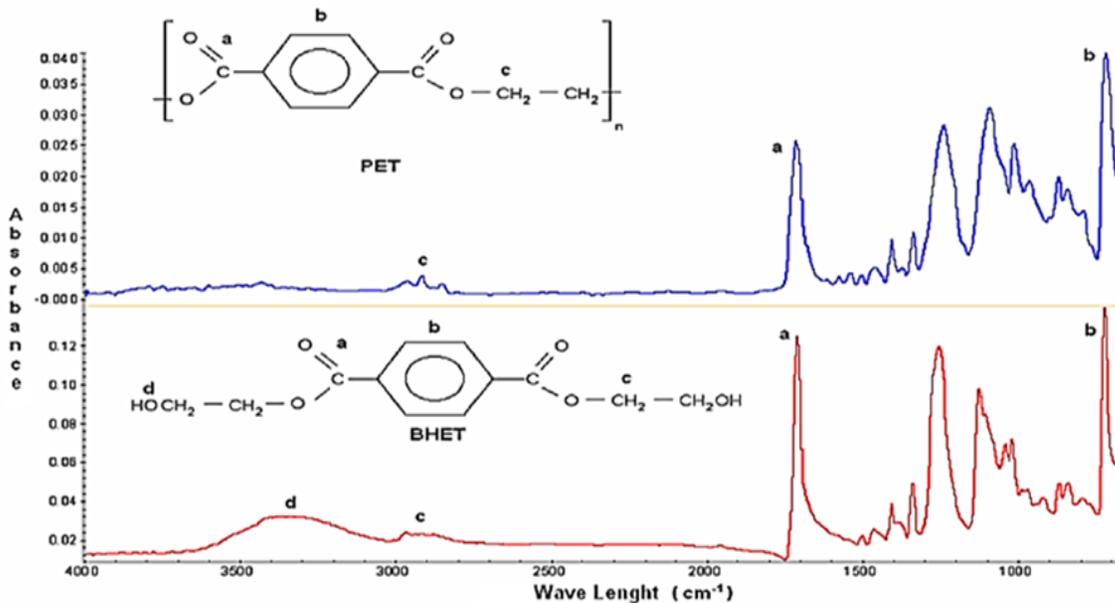


Figura 9: Espectros Infrarrojo PET y BHET

Fuente: (Vicent et al., 2016), La molécula del PET consta de cadena macromoleculares sin ramificar y pertenece a la familia de los poliésteres cuyo nombre se atribuya a que contienen el grupo químico éster, donde sus grupos funcionales son Ácido tereftálico, etilenglicol; óxido de etileno; etileno.

4 CAPÍTULO: MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente trabajo de titulación para alcanzar los objetivos propuestos, inició con un proceso de Glicolisis catalizada del Polietilen Tereftalato, realizando varias pruebas con diferentes dosis EG: PET (Etilenglicol/Polietilen Tereftalato) 3:1, 4:1, 5:1, 6:1 como se indica en el apartado 4.1.2 verificar Tabla 6 con el fin de obtener BHET (2-bis hidroexil tereftalato). También se realizó el cálculo del rendimiento del BHET para las diferentes dosis EG:PET con el propósito de identificar qué relación genera más producto utilizando diferentes volúmenes de Etilenglicol para verificar la influencia del Glicol en la reacción de despolimerización.

Luego se procedió a realizar un Análisis Químico Proximal de la Cascara de Cacao previamente seca y triturada para determinar y cuantificar su composición, seguidamente se aplicó una reacción de Hidrolisis Básica y Ácida para extraer la celulosa presente el material.

Posteriormente se generó un material compuesto a partir del BHET y la Celulosa realizando cuatro dosificaciones 80/20, 70/30, 60/40 y 50/50 con una relación de C/B y B/C (Celulosa/Bhet y Bhet/Celulosa), consecutivamente se analizó la degradabilidad del material compuesto aplicando diferentes metodologías como la degradación Biológica en Sustrato Orgánico, degradación Química utilizando agua y Fotodegradación a través de luz artificial lo cual nos ayudara a estimar un tiempo de degradación considerando la pérdida de peso del nuevo material.

4.1 Proceso de degradación del PET mediante glicolisis catalizada

4.1.1 Reciclaje Manual de las Botellas de PET

Para la obtención del BHET, inicio con el reciclaje manual de 400 botellas plásticas de agua; las mismas que fueron tomadas en varios lugares, luego se lavaron y secaron los envases para posteriormente ser cortados en pequeños trozos de 5 cm para evitar atascos en la trituradora.

El proceso de molienda se empleó el Molino de corte RETSCH SM 100 con tamices de fondo el cual nos permitió obtener escamas de 5mm generando 2 Kg de PET triturado como materia prima para el proceso de Glicolisis (ver Imagen 6), este proceso se basa en reciclaje químico ya que el PET se disuelve en Etilenglicol, es decir que por cada gramo de PET existe de 3 ml de Etilenglicol a una temperatura de 110 °C de acuerdo a la relación establecida.



Imagen 6: Trituradora de PET
Fuente: Autores

4.1.2 Degradación del PET por Glicolisis

La Glicolisis es una reacción en la que interviene como solvente el Etilenglicol y Acetato de Zinc como catalizador para acelerar el proceso. Se realizaron 4 relaciones diferentes EG: PET con el 1% en peso del catalizador 0.03 gr de Acetato de Zinc. En la tabla

6 se muestra relación molar Etilenglicol: Pet para cada experimento, con el fin de determinar qué relación presenta un mejor rendimiento del BHET.

Tabla 6: Relación Molar Etilenglicol: Pet

%	3:1	4:1	5:1	6:1
PET (gr)	2	2	2	2
EG (ml)	6.1	8.1	10.4	12.8
Acetato de Zinc (g)	0.03	0.03	0.03	0.03

Fuente: *Autores*, en la presente tabla se muestra la relación molar Etilenglicol: Pet para cada experimento, con el fin de determinar la influencia del glicol en la reacción para verificar el mayor porcentaje de rendimiento del BHET

El proceso de degradación inicio pesando los reactivos de acuerdo a las proporciones establecidas en la Tabla 6 para cada experimento, los mismo que fueron colocados en tubos de 20x200 ml tapados y rotulados previamente (ver Imagen 7 a). Se utilizó un soporte metálico para colocar las muestras y una estufa con un recipiente para calentar las muestras a una temperatura de 110 °C a baño glicerina liquida por un tiempo de 3 horas hasta obtener una mezcla homogénea. Paralelo a este procedimiento, con la ayuda de un termómetro se controló la temperatura cada 10 min que no sobrepase los 110 °C.

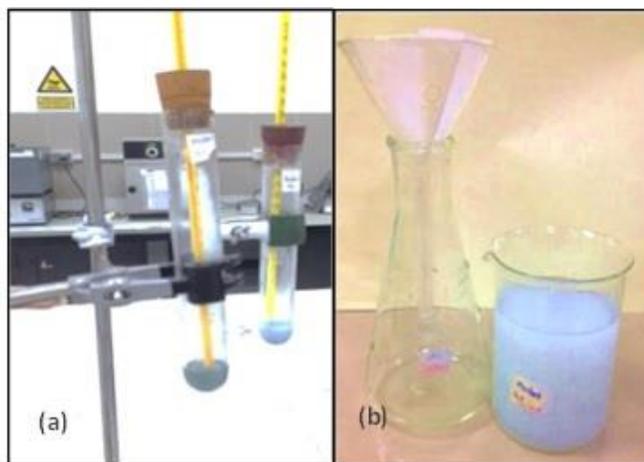


Imagen 7: Degradación del PET: (a) Tubos de 20x200 preparados para la degradación a baño glicerina; (b) Muestra mezclada con agua destilada

Fuente: *Autores*

Una vez culminadas las 3 horas de reacción se dejó enfriar las muestras a temperatura ambiente para posteriormente agregar 250ml de agua destilada a 90°C con la finalidad de remover impurezas presentes en la mezcla, con la ayuda de una varilla de vidrio se agito el contenido hasta obtener una mezcla homogénea (ver Imagen 7; b).

Para empezar el proceso de filtración la mezcla debe estar homogenizada y a través de un embudo de vidrio y papel filtro se separa las impurezas del BHET hasta disolver el etilenglicol excedente, luego se coloca la muestra liquida en la nevera a 4°C durante 4 horas para que se formen los cristales y posteriormente realizar la segunda filtración.

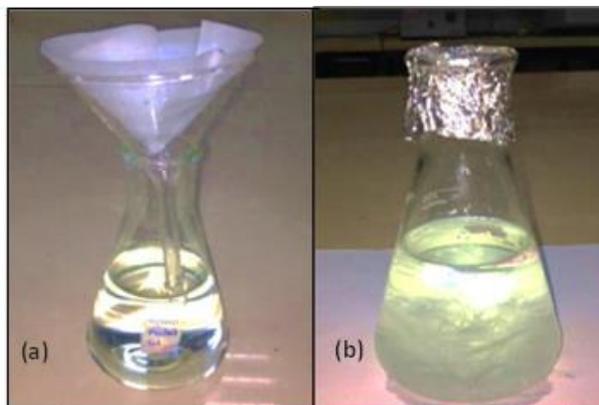


Imagen 8:Formación del BHET: (a) Separación de las impurezas del BHET; (b) Formación de cristales

Fuente: Autores

Culminado el tiempo de enfriamiento se procede a realizar la segunda filtración a diferencia de la primera separación, en esta muestra se debe tener formados los cristales de BHET, aplicando el mismo método de filtración inicial como se observa en la Imagen 9.



Imagen 9: Formación de Cristales de BHET
Fuente: Autores

Como resultado se forma una torta, la cual se colocó en la estufa Mehmet a 60°C por 72 horas, el resultado final del BHET lo podemos observar en la Imagen 10: b el mismo que fue triturado con la ayuda de un mortero.

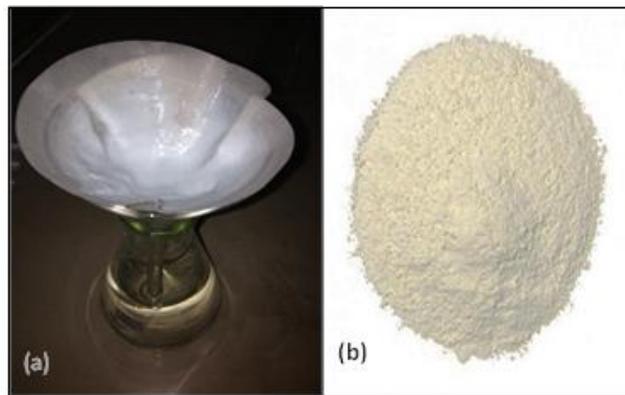


Imagen 10: Obtención del BHET: (a) Segunda Filtración; (b) Producto BHET
Fuente: Autores

$$\text{Rendimiento } \% = \frac{P_{\text{final}}}{P_{\text{inicial}}} * 100$$

Ec 1

Una vez culminado el tiempo de secado y triturado del BHET se calculó el porcentaje de rendimiento para cada relación EG:PET aplicando la Ecuación 1 (Ec1), con el fin de valorar cual es la mejor proporción, donde el cálculo se basada en el peso en gramos inicial

($P_0=2\text{gr}$) de PET para el peso final del producto obtenido de la reacción de despolimerización por el cien por ciento.

4.1.3 Diagrama de Procesos de Degradación del PET

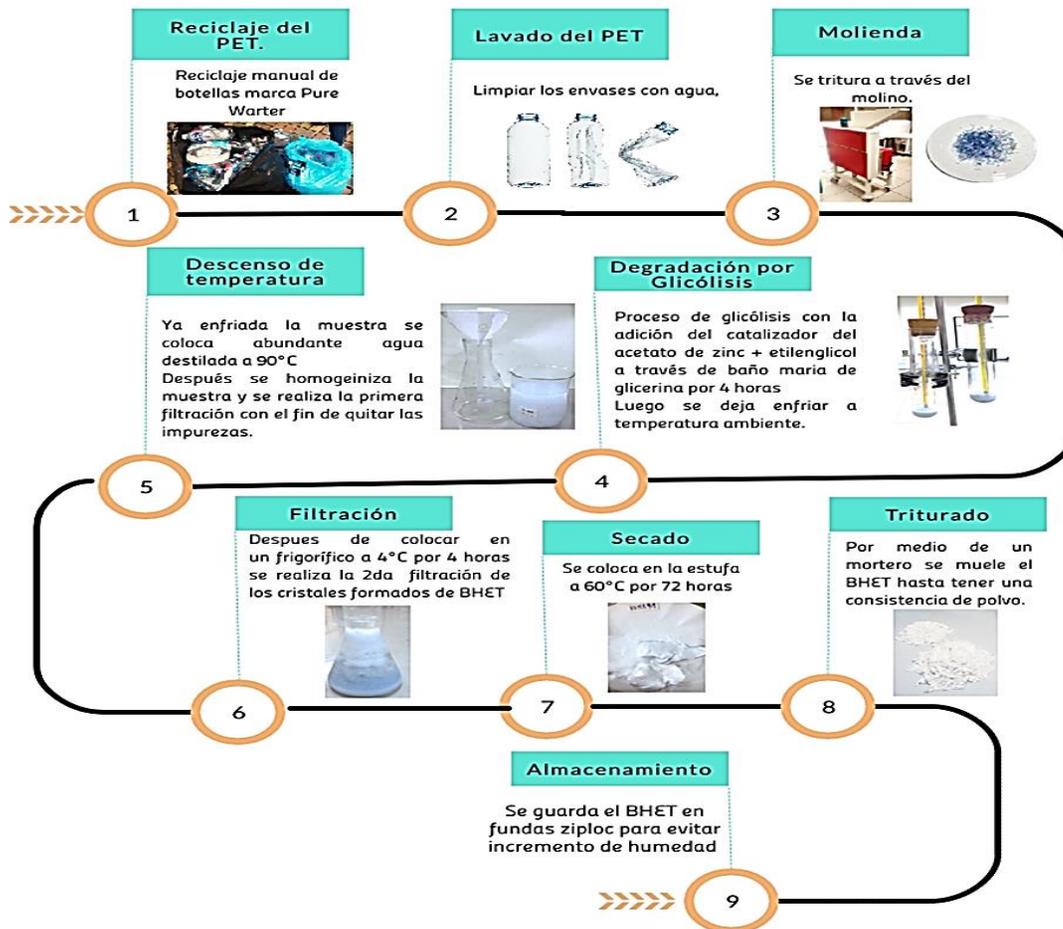


Figura 10: Proceso de Despolimerización
Fuente: Autores

4.2 Recolección y procesamiento de la Cascara de Cacao

Las Mazorcas de cultivos de Cacao Nacional fueron obtenidas en salidas de campo a plantaciones en la Hacienda “Castillo Peña” perteneciente a la Parroquia Jumón, del Cantón Santa Rosa, provincial de “EL Oro” ver Imagen 8. Manualmente se partieron las mazorcas separando las cascara de las semillas las cuales fueron utilizadas con otros fines,

posteriormente las cascaras fueron lavadas con agua para retirar impurezas, a continuación, con la ayuda de una navaja se inició con el troceado de las cascaras el cual permitió reducir su tamaño facilitando el siguiente proceso.



Imagen 11: (a) Recolección de las Cascaras de Cacao; (b) Troceado de las Cascaras de Cacao
Fuente: Autores

4.2.1 Secado y Triturado

Después de cortar las cascaras se realizó el proceso de secado en el Laboratorio de Pgwood de la Universidad Politécnica Salesiana en la estufa como se puede observar en la Imagen 12; durante un lapso de 48 horas a 80 °C, una vez secas las cascaras se realizó el proceso de triturado el cual nos permitió obtener una fibra de 2mm de diámetro aproximadamente.

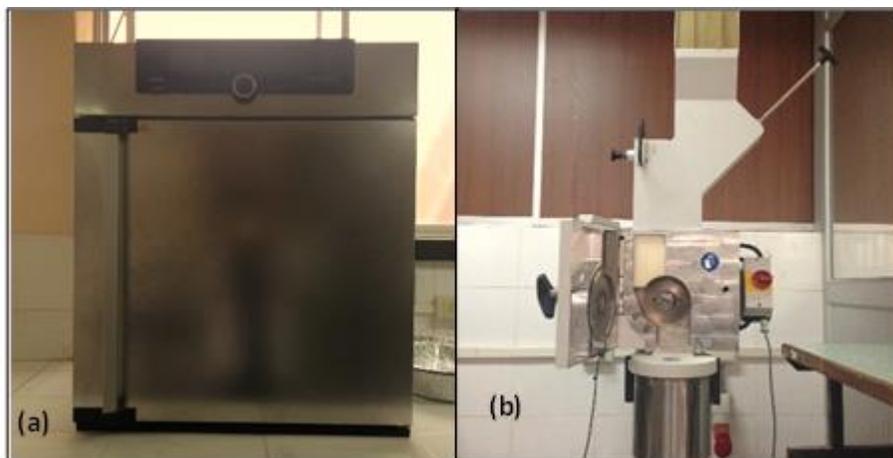


Imagen 12: Equipo de Secado de la fibra (a); Equipo de Triturado de la fibra (b)
Fuente: Autores

4.2.2 Análisis Proximal Químico de la Cascara de Cacao

Para el análisis químico las cascara de cacao se secaron y trituraron previamente, el cual fue sometido a diferentes metodologías y protocolos establecidos en normas vigentes considerando: Determinación de humedad (AOAC, 1990.930.15), determinación de cenizas (AOAC, 1990.942.05), Ph (NTE INEN 389- Determinación de la concentración ion hidrógeno), fibra cruda (AOAC, 1990.962.09), celulosa (TAPPI T17m-55) y lignina (TAPPI T13os-54).

4.2.2.1 Determinación de Humedad

Para determinar la Humedad se basó en el Método AOAC 930,15 Método gravimétrico el cual determina por diferencia de pesos de las muestras luego de ser sometidas a un proceso de secado.

En una capsula de porcelana se pesaron 2 gr de la muestra la cual se colocó en una estufa de secado a 60 °C por un tiempo determinado de 24 horas el cual se dejó enfriar y se realizó la cuantificación de pérdida de peso de las muestras. La determinación se realizó por duplicado.

La humedad se expresa como sustancia seca en porcentaje en masa de agua presente en el sólido seco o muestra a analizar cómo se representa en la siguiente ecuación:

$$SS(\%) = \frac{(m_2 - m)}{m_1 - m} * 100 \quad \text{Ec 2}$$

Donde:

SS (%) = Sustancia seca en porcentaje en masa

m = masa de la capsula vacía, en gramos

m1 = masa de la capsula con la muestra, en gramos

m2 = masa de la capsula con muestra después del secado, en gramos

Humedad (%) = 100 – SS (%)

4.2.2.2 Determinación de Cenizas Totales

Para determinar el contenido de Cenizas se basó en el Método AOAC, 942.05. Se pesaron 2 gramos de la muestra triturada en un crisol de porcelana, la muestra se introdujo en una Mufla hasta su incineración a una temperatura de 550 °C; hasta que la muestra tomara un color gris o blanco en un tiempo de 2 a 3 horas. La determinación se realizó por duplicado.

$$C(\%) = \frac{(m2-m)}{m1-m} * 100 \quad \text{Ec 3}$$

Donde:

C(%) = Porcentaje de cenizas

m = masa de la capsula vacía, en gramos

m1 = masa de la capsula con la muestra antes de la incineración, en gramos

m2 = masa de la capsula con las cenizas luego de la incineración, en gramos

4.2.2.3 Determinación del pH de la fibra de cacao

Para la determinación de la concentración ion hidrógeno se basó en la Norma Técnica NTE INEN 389, para lo cual se solubilizo y homogenizo la muestra con una pequeña cantidad de agua destilada, la cual se colocó en un vaso de precipitación de 10 ml de la muestra preparada, se añadió 100 ml de agua destilada y se agitó

Luego se dejó el recipiente en reposo para la decantación de los sólidos suspendidos, para la determinación del Ph se introdujo electrodos de potenciómetro en el vaso de precipitación con la muestra, cuidando que estos no toquen las paredes del recipiente. Se procedió a la lectura de los resultados, esta determinación se realizó por duplicado.

4.2.2.4 Determinación de Fibra Cruda de la cascara de cacao

La determinación de la Fibra Cruda se basó en el Método AOAC 962.09. Se pesó 2 gr de fibra; la muestra posteriormente se colocó en un matraz con una solución de 200 ml de ácido sulfúrico H₂SO₄ al 1.25% a 80°C por 30min agitando periódicamente. Se filtró la muestra varias veces con la ayuda de un embudo de vidrio y papel filtro hasta obtener un Ph similar al del Agua Destilada. El residuo se transfirió a un vaso de precipitación y se colocó una solución de 200ml de hidróxido de sodio al 1.25% hirviendo y calentando a punto de ebullición durante 30min, luego se lavó con agua destilada varias veces hasta que las aguas del filtrado tengan un Ph igual al del agua destilada.

El sólido que quedó en el papel filtro se lo transfirió a un crisol, la muestra se colocó en una estufa a 105 °C por un lapso de 2 horas, se dejó enfriar a temperatura ambiente y se realizó la cuantificación de pérdida de peso.

Por último, la misma muestra se calcino a 500°C durante 30 min hasta que la muestra tomara un color blanco o gris, se cuantificó la pérdida de peso después de la calcinación lo que representa el contenido de fibra cruda.

$$\text{Fibra Cruda (\%)} = \frac{(PCRS-PCRC)}{PM} * 100 \quad \text{Ec 4}$$

Donde:

Fibra Cruda (%) = Porcentaje de Fibra

PCRS = Peso del crisol con residuo seco

PCRC = Peso del crisol con el residuo calcinado.

PM = Peso de la muestra seca.

4.2.2.5 Contenido de Celulosa de la cascara de cacao

El Contenido de Celulosa se basó en el Método TAPPI T17m-55 para lo cual se pesó 1gr de muestra a la cual se le añadió 15 ml de ácido acético al 80% v/v y 1.5 ml de ácido nítrico al 68% v/v, se agito la mezcla por 20 min. Se filtró la muestra y se lavó con etanol, para luego ser secada en un horno a 105 °C por 3 horas para luego ser pesada.

Finalmente, la muestra se la coloco en una Mufla a 500 ° C durante 30 min, para su posterior pesado

$$\text{Celulosa (\%)} = \frac{(MS-MC)}{PM} * 100 \quad \text{Ec 5}$$

Donde:

MS = Peso de la muestra seca

MC = Peso de la muestra calcinada

PM = Peso inicial de la muestra

4.2.2.6 Contenido de Lignina de la cascara de cacao

Para esta determinación se realizó según la norma TAPPI T13os-54. Se pesó 1 gr de muestra, se añadió 15 ml de H₂SO₄ al 70% y se agitó durante 1min a una temperatura de 80°C se dejó reposar por 2 horas con agitación constante

Posteriormente a la muestra se le adicionó agua destilada agitando por 15min constantemente hasta homogenizar, se filtró al vacío y se lavó el residuo con 500 ml de agua hervida hasta quedar libre de ácido. Por último, se secó la muestra a 105 °C en un lapso de 3 horas para determinar el contenido de lignina.

$$Lignina (\%) = \frac{Mf}{Mo} * 100 \quad \text{Ec 6}$$

Donde:

Mf = Masa final de la muestra

Mo = Masa inicial de la muestra

4.3 Proceso de Obtención de Celulosa a partir de las Cascaras de Cacao

4.3.1 Procesos de Extracción de la Celulosa

Este proceso se basó en una metodología experimental propuesta por (García-Estrada et al., 2017) debido a que se presentan varios procesos y pruebas que fueron realizadas, con la finalidad de emplear el proceso más eficaz y así lograr los mejores resultados.

4.3.1.1 Hidrólisis Básica

La hidrólisis Básica se realizó empleando Hidróxido de Sodio (NaOH) diluido al 10% P/V, en un balón de aforo 500 ml con agua destilada. En la Tabla 7, podemos verificar las condiciones Físicas y Químicas utilizados en este proceso.

Tabla 7: Condiciones para la Hidrólisis Básica

Variable	Cantidad	Unidad
Hidróxido de Sodio	50	gr
Agua Destilada	500	ml
Fibra	100	gr
Tiempo	60	min
Temperatura	70	°C

4.3.1.2 Hidrolisis Ácida

Una vez culminado el lavado de la fibra se utilizó Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) a una concentración del 20%, diluido en un balón de aforo de 500 ml con agua destilada, se calentó la muestra durante 60 min a una temperatura de 80 °C mediante agitación constante con la finalidad de remover la hemicelulosa quedando la celulosa libre.



Imagen 15: Hidrólisis Ácida

Fuente: Autores

Las condiciones físicas y químicas utilizados se detallan a continuación en la Tabla 8.

Tabla 8: Condiciones para la Hidrólisis Ácida

Variable	Cantidad	Unidad
Ácido Sulfúrico	54	ml
Agua Destilada	500	ml
Fibra	100	gr
Tiempo	60	min
Temperatura	80	°C

Fuente: Autores

Una vez culminado el proceso de hidrólisis ácida se lavó la celulosa extraída con agua destilada mediante filtración al vacío hasta obtener valores de Ph neutro. El secado de la celulosa se realizó durante 17 horas en una estufa marca Mehmet a 70 °C.



Imagen 16: Filtrado de la Celulosa

Fuente: Autores

4.4 Elaboración de pastillas dosificadas con Bhet y Celulosa

Una vez obtenida el BHET y la celulosa, se realizaron dosificaciones diferentes con relación B-C y C-B (Bhet/Celulosa y Celulosa/Bhet) en la Tabla 9 - 10 se muestra parámetros para cada una de las muestras realizadas.

Tabla 9: Parámetros BHET / CELULOSA

Relación B/C	Temperatura	Tiempo de Prensado	Presión	Bhet	Celulosa	Peso total
80/20	110°C	1 min	50 Kg/cm ²	2.4 gr	0.6gr	3 gr
70/30	100 °C	3 min	150 Kg/cm ²	2.8gr	1.2gr	4 gr
60/40	90 °C	1.5 min	150 Kg/cm ²	1.5gr	1gr	2,5 gr
50/50	90 °C	1 min	100 Kg/cm ²	1.25gr	1.25gr	2.5gr

Fuente: Autores

*B/C (BHET / CELULOSA): el porcentaje en peso mayor corresponde al BHET y el porcentaje en peso menor corresponde a la Celulosa.

Tabla 10: Parámetros CELULOSA / /BHET

Relación C/B	Temperatura	Tiempo de Prensado	Presión	Celulosa	Bhet	Peso total
80/20	110°C	1 min	100 Kg/cm ²	1.6gr	0.4gr	2 gr
70/30	100 °C	4 min	150 Kg/cm ²	1.4gr	0.6gr	2 gr
60/40	100 °C	3 min	150 Kg/cm ²	1.2gr	0.8gr	2 gr

Fuente: Autores

*C/B (CELULOSA / BHET) el porcentaje en peso mayor corresponde a la Celulosa y el porcentaje en peso menor corresponde al BHET.

Las pastillas se elaboraron por medio de la prensa hidráulica con la ayuda del molde de calentamiento y enfriamiento de banda del laboratorio de Pgwood, el cual nos permitió obtener pastillas homogéneas de 30 mm de diámetro aproximadamente. Finalmente, las pastillas se sometieron a varios procesos de degradación como la degradación química, biológica y fotodegradación con el objetivo de observar su interacción en diferentes medios naturales (ver Anexo 1).

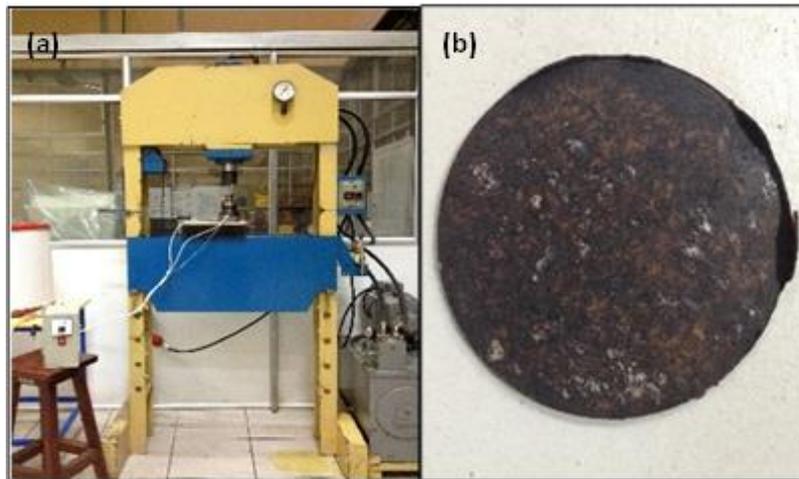


Imagen 17: (a): Prensa Hidráulica; (b):Resultado de la elaboración de las Pastillas.
Fuente: *Autores*

- Muestra N°1: Esta muestra se realizó bajo las condiciones establecidas en la Tabla 11, en este caso se utilizó una mayor proporción de BHET con una menor presión, previamente calentado el molde para luego compactar la muestra durante 1 minuto, luego se dejó enfriar, para encontrar el peso, la temperatura y el tiempo de compactación ideal se realizaron 4 pruebas para finalmente tener una perfecta pastilla.

Tabla 11: Condiciones B/C - 80/20

PASTILLA 1		
Relación B/C →80/20		
Porcentaje %	BHET	80
	Celulosa	20
Peso (gr)	BHET	2,4
	Celulosa	0,6
	Presión (kg/cm ²)	50
	Tiempo (min)	1
	Temperatura °C	110



Fuente: Autores

- Muestra N°2: Para la elaboración de la pastilla se siguió las condiciones de la Tabla 12, se empleó un mayor tiempo en relación a las otras muestras, el peso total de la muestra es de 4gr B/C – 70/30 y el peso final promedio prensado de las pastillas fue de 1,48 gr debido a que existe mayor cantidad de BHET, la compactación de las pastillas realizo durante 3 min dejando enfriar 5 min, el tiempo de enfriamiento cuando existe una mayor concentración BHET se tiene que dejar que esté totalmente frio o sea que se pueda tomar fácilmente con la mano para evitar que se fisure al momento del desmolde.

Tabla 12:Condiciones B/C - 70/30

PASTILLA 2		
Relación B/C →70/30		
Porcentaje %	BHET	70
	Celulosa	30
Peso (gr)	BHET	2.8
	Celulosa	1.2
	Presión (kg/cm ²)	150
	Tiempo (min)	3
	Temperatura °C	100



Fuente: Autores

- Muestra N°3: La realización de esta pastilla se inició con un peso de la muestra homogénea de Po=2,5 gr (ver Tabla 13) y obteniendo una pastilla Pf = 1gr la compactación del BHET y celulosa es buena, pero la existencia de pequeñas partículas de

BHET en la pastilla se notaban debido a que no existía una temperatura ideal en el disco del molde, sin embargo, las pastillas eran buenas.

Tabla 13: Condiciones B/C - 60/40

PASTILLA 3		
Relación B/C →60/40		
Porcentaje	BHET	60
	Celulosa	40
Peso (gr)	BHET	1.5
	Celulosa	1
	Presión (kg/cm ²)	150
	Tiempo (min)	1.5
	Temperatura °C	90



Fuente: Autores

- Muestra N°4: Para elaborar esta pastilla se comenzó con un Po= 2,5gr para obtener una pastilla de 0,99 gr según las condiciones establecidas en la Tabla 14, el peso final se debe a que el BHTE al momento de colocarlo en el molde tiende hacerse líquido y esto produce que haya fugas del material. En esta relación al ejercer una mayor presión a 100 kg/cm² las pastillas no se compactan el material y se pierde la mayor parte de este.

Tabla 14: Condiciones B/C - 50/50

PASTILLA 4		
Relación B/C →50/50		
Porcentaje	BHET	50
	Celulosa	50
Peso (gr)	BHET	1.25
	Celulosa	1.25
	Presión (kg/cm ²)	100
	Tiempo (min)	1
	Temperatura °C	90



Fuente: Autores

- Muestra N°5: Tomando en cuenta las condiciones de la Tabla 15, se inició con un Po= 2 gr y finalmente la pastilla obtuvo un Pf= 1,70gr, se realizó con un tiempo mayor, ya que

existía mayor presencia de celulosa, pero la pastilla tenía una mejor compactación y mejores características.

Tabla 15: Condiciones C/B - 80/20

PASTILLA 5		
Relación C/B →80/20		
Porcentaje %	BHET	80
	Celulosa	20
Peso (gr)	BHET	1.6
	Celulosa	0.4
	Presión (kg/cm ²)	150
	Tiempo (min)	4
	Temperatura °C	100

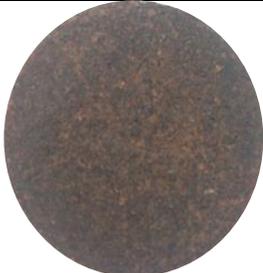


Fuente: Autores

- Muestra N°6: Para realizar la pastilla 6 se hizo en base a las condiciones establecidas en la Tabla 16, con Po=2 gr de mezcla para finalmente obtener una pastilla de Pf=1,51 gr, en esta relación no hubo una pérdida considerable de BHET debido a que su compactación es muy buena ya que hay una mayor cantidad de celulosa.

Tabla 16: Condiciones C/B - 70/30

PASTILLA 6		
Relación C/B →70/30		
Porcentaje %	BHET	70
	Celulosa	30
Peso (gr)	BHET	1.4
	Celulosa	0.6
	Presión (kg/cm ²)	110
	Tiempo (min)	1
	Temperatura °C	100



Fuente: Autores

- Muestra N°7: Con las condiciones establecidas en la Tabla 17, las características de compactación de la pastilla 7 son muy buenas ya que tiene mayor proporción de celulosa, por ello se trabajó con una muestra inicial 2gr C/B – 60/40 para finalmente obtener una

pastilla de 1,35gr. Cabe resaltar que las pastillas realizadas con mayor porcentaje de celulosa tienen una consistencia de compactación mejor y la presión es mayor a 100 kg/cm²

Tabla 17: Condiciones C/B - 60/40

PASTILLA 7		
Relación C/B →60/40		
Porcentaje %	BHET	60
	Celulosa	40
Peso (gr)	BHET	1.2
	Celulosa	0.8
	Presión (kg/cm ²)	150
	Tiempo (min)	3
	Temperatura °C	100



Fuente: Autores

5 CAPÍTULO: RESULTADOS

5.1 Porcentaje De Rendimiento del Bhet

El porcentaje de rendimiento se le calculo en base a la Ecuación 1 (Ec1) basada en el peso en gramos inicial ($P_0=2\text{gr}$) de PET para el peso final del producto obtenido de la degradación química por el cien por ciento en la Tabla 18 se evidencia el porcentaje de rendimiento para cada relación EG:PET.

Tabla 18: % de Rendimiento del BHET

Porcentaje EG/ PET	Volumen EG (ml)	Tiempo de Reacción (horas)	$P_0 = 2\text{gr}$	Rendimiento %
3:1	6,1	2,5	1,04gr	52
4:1	8,1	3	1,55gr	77,5
5:1	10,4	3,15	0.97gr	48.5
6:1	12,8	2,5	1,04gr	52

Fuente: Autores, El rendimiento del BHET varió con respecto al volumen de EG utilizado y el tiempo de reacción como se muestra en la Tabla 18, transcurrido el tiempo de 2:50 horas el PET se degradaba totalmente, sin embargo, el tiempo empleado para la relación 4:1 y 5:1 demoró unos minutos más por lo que aún había la presencia de pequeñas escamas de PET en la mezcla. Las variables como la temperatura, tiempo y tipo de catalizador influyen directamente en la reacción química, sin embargo, en cada experimento se utilizó la relación acetato de zinc 1,5:100 para la obtención del BHET, monómero del polímero. La relación de mayor rendimiento obtenido es la proporción 4:1 con un volumen de EG de 8,1 ml en un lapso de tiempo de 3 horas, obteniendo un rendimiento del 77.5 %, es decir por cada 2gr de PET utilizado se recuperó 1.55gr de BHET.

En la Figura 11 se corrobora que el mayor porcentaje de rendimiento del BHET para cada relación EG: PET teniendo mejores resultados la relación 4:1, es decir que el volumen en peso de obtención del Bhet tiene un mayor porcentaje de rendimiento a diferencia de las demás relaciones.

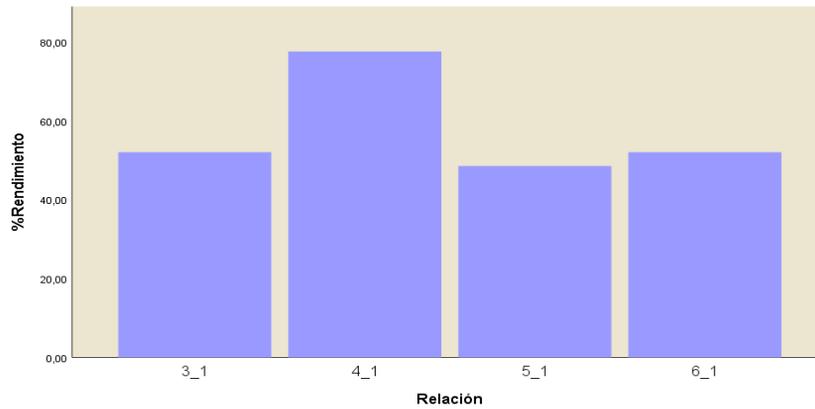


Figura 11: Rendimiento de concentración del BHET

Fuente: Autores, se demuestra en el gráfico de barras que la relación 4:1 EG:PET presenta un mayor rendimiento del BHET

5.2 Resultados del Análisis Proximal Químico de la Cascara de Cacao

5.2.1.1 Determinación de Humedad

La determinación del porcentaje de humedad que contiene la cascara de cacao se realizaron dos pruebas ejecutadas con la Ec 1, el cual permitió encontrar que el porcentaje promedio de humedad de la muestra del 6.8%, como se puede observar en la tabla 19.

5.2.1.2 Determinación de Cenizas Totales

Para la determinación del porcentaje de cenizas totales que contiene la cascara de cacao se realizaron dos pruebas ejecutadas con la Ec 2. El contenido promedio que se obtuvo en ambas pruebas fue del 9%, como se muestra en la tabla 19.

5.2.1.3 Determinación pH

Para a determinación del Ph se realizar dos pruebas obteniendo un Ph 6.52 como se muestra en la tabla 19.

5.2.1.4 Contenido de Celulosa

Para la determinación del contenido de celulosa se ejecutó en base a la Ec 4, obteniendo un porcentaje del 36%, como se muestra en la tabla 19.

5.2.1.5 Fibra Cruda

Para la determinación del porcentaje de cenizas totales que contiene la cascara de cacao se realizaron dos pruebas ejecutadas con la Ec 2. El contenido promedio que se obtuvo en ambas pruebas fue de 37.7%, como se muestra en la tabla 19.

5.2.1.6 Contenido de Lignina

Para la determinación del contenido de celulosa se ejecutó en base a la Ec 4, obteniendo un porcentaje del 19,6%, como se muestra en la tabla 19.

En la tabla 19 presenta un resumen de los resultados obtenidos del Análisis Proximal realizados a las muestras de cascara de cacao.

Tabla 19: Resumen de los Resultados del Análisis Proximal de la Cascara de Cacao

Parámetro	Norma	Prueba 1	Prueba 2	Promedio
Humedad	AOAC, 1990.930.15	6.85%	6.75%	6.8%
Cenizas Totales	AOAC, 1990.942.05	9.3%	8.7%	9%
Ph	NTE INEN 389	6.54	6.50	6.52%
Fibra Cruda	AOAC, 1990.962.09	34,8%	39.9%	37.7%
Celulosa	TAPPI T 17m-55	34%	38, %	36%
Lignina	TAPPI T 13os-54	19,27%	20%	19.6%

Fuente: *Autores*, mediante el análisis químico realizado a la cascara de cacao se determinó que contiene un porcentaje humedad aceptable del 6.8% dentro de las condiciones normalizadas de la misma manera el contenido de cenizas representa un porcentaje bajo 9% equivalente al residuo inorgánico que no se volatiliza y un Ph de 6.52% estos parámetros analizados indican las buenas condiciones del material a emplear. Paralelamente el contenido de celulosa fue del 36%, este contenido de celulosa es considerablemente buena dentro de los rangos investigados siendo una excelente fuente de materia prima. El contenido de lignina es bajo, lo que permitió reducir el gasto de reactivos para su remoción en el proceso de Hidrólisis Básica.

5.3 Resultados de los Espectros IR

5.3.1 Análisis IR del BHET

Para validar el proceso de glicolisis se realizó el análisis IR de las diferentes proporciones (EG/ PET) del producto obtenido, se identificó en cada reporte generado el BHET (bis-2-hidroxietilo) con el objetivo de analizar e identificar la estructura del mismo.

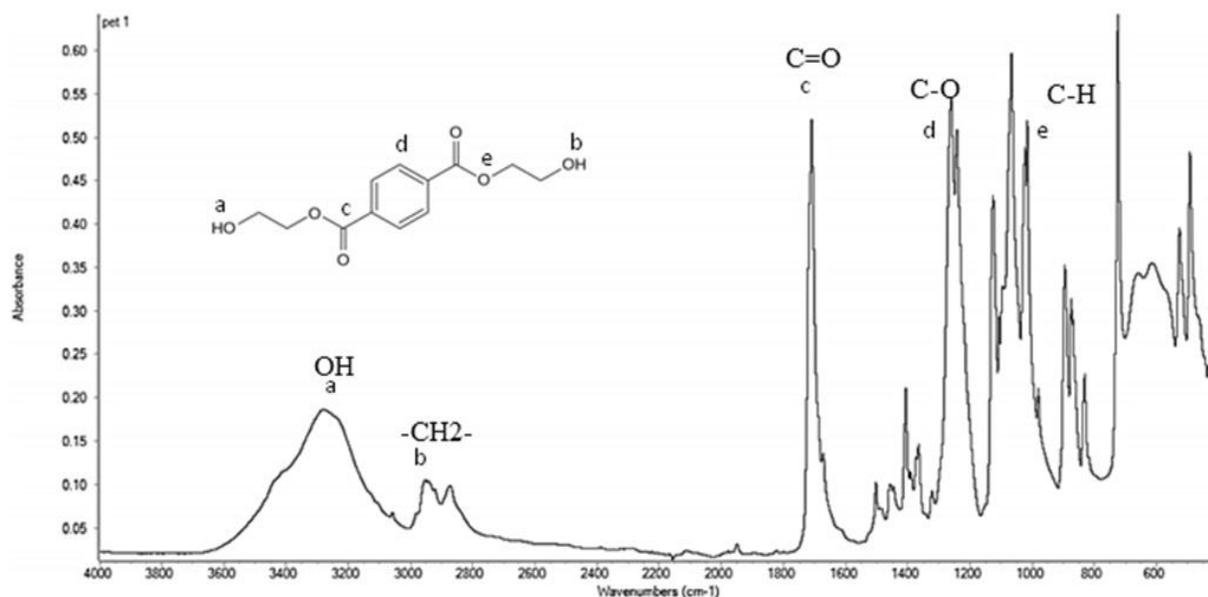


Figura 12: FTIR del. Relación 4:1

Fuente: *Autores*, en la Figura 12 se muestra espectro IR del BHET relación 4:1 en el que se aprecia una marcada intensidad a 3278.98 cm^{-1} respondiente al estiramiento del grupo hidroxilo -OH , en el pico 2952.38 cm^{-1} nos muestra el alargamiento asimétrico de grupos $\text{-CH}_2\text{-}$ y lo picos en 1709.72 cm^{-1} muestran la presencia de un éster aromático. En tanto que los picos en 1260.55 cm^{-1} y 1241.85 cm^{-1} nos indica la presencia de éster asimétrico (C-O) y en 1023.38 cm^{-1} y 1015.33 cm^{-1} muestra los esteres simétricos, las estructuras indicadas anterior mente coinciden con todos los grupos funcionales que tiene la molécula del BHET.

Tabla 20: Principales bandas del Espectro FTIR del BHET

Ítem	Absorbancia	Frecuencia cm^{-1}	Grupo Funcional	Nombre del Grupo Funcional
a	0.18	3278.98	OH	Hidroxilo
b	0.10	2952.38	$\text{-CH}_2\text{-}$	Éster Aromático
c	0.52	1709.72	C=O	Carbonilo
d	0.54	1260.55-1241.85	C-O	Carboxilo
e	0.49	1023.38-1015.33	C-H	Alcano

Fuente: *Autores*

Cabe destacar que todas las gráficas del espectro BHET de las 4 relaciones son similares con la estructura del monómero polimérico como se muestra en la Tabla 20, donde nos indica la presencia de los grupos funcionales correspondientes al BHET, sin embargo, la relación 4:1 tiene mayor porcentaje de similitud del 61% a comparación de las otras muestras analizadas.

5.3.2 Análisis IR de la Celulosa

El Análisis por espectroscopia infrarroja (FTIR) permitió caracterizar la estructura química de la muestra de celulosa mediante la identificación de los grupos funcionales presentes, a través del estudio de absorción o emisión de originada por la interacción entre la radiación electromagnética y las muestras analizadas. En la Figura 13a se muestra el espectro FTIR de la muestra de celulosa obtenida.

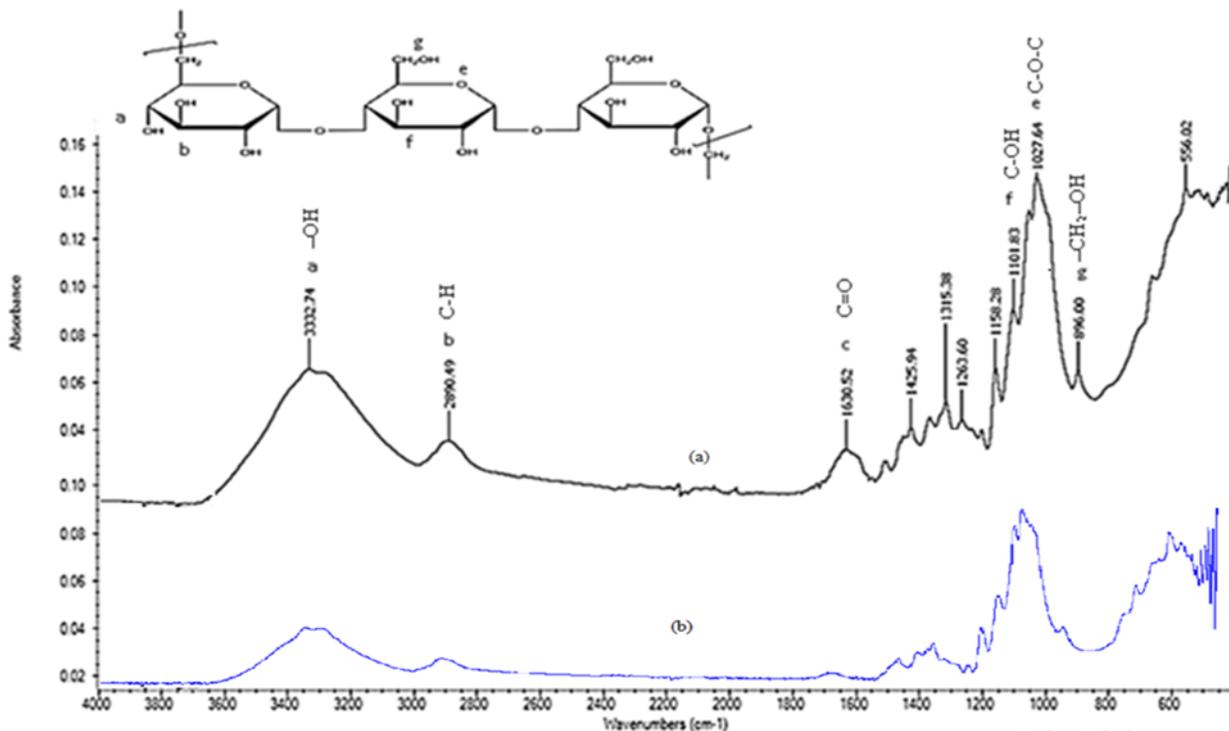


Figura 13: FTIR de la Celulosa: a) Muestra Celulosa; b) Celulosa Estándar

Fuente: *Autores*, se aprecia una marcada intensidad a 3332.74 cm^{-1} referente a la vibración por tensión y estiramiento del grupo hidroxilo -OH presente en los sacáridos, seguido por un pico a 2890.49 cm^{-1} particular del estiramiento del enlace C-H . A 1630.52 cm^{-1} se observa la banda de estiramiento del enlace -C=O , a 1101.83 y 1027.64 cm^{-1} se observan vibraciones del enlace

C-OH y C-O-C pertenecientes al anillo β -glucopiranososa de la celulosa, Finalmente se ve un pico a 896 cm^{-1} perteneciente a $-\text{CH}_2-\text{OH}$ característico de los azúcares. Obteniendo un porcentaje de similitud del 87.80% en la comparación de la muestra obtenida de celulosa con respecto a la Celulosa Estándar, en la Tabla 21, nos indica la presencia de los grupos funcionales correspondientes a la Celulosa.

Tabla 21: Principales bandas del Espectro FTIR de la Celulosa

Región	Absorbancia	Frecuencia cm^{-1}	Grupo Funcional	Nombre del Grupo Funcional
a	0.07	3332.74	-OH	Hidroxilo
b	0.04	2890.49	C-H	Alcano
c	0.02	1630.52	C=O	Carbonilo
e	0.09	1101.83	C-OH	Carboxilo
f	0.14	1027.54	C-O-C	Éter

Fuente: Autores

5.4 Películas de las Pastillas C/B relación 80/20, 70/30, 60/40 y 50/50

En la Imagen 18 se muestran las películas de las algunas pastillas en el cual se observa que existe pequeños poros en todas las dosificaciones realizadas debido a la diferente naturaleza química de ambos sustituyentes, es importante recalcar que una mayor concentración de celulosa ocasiono una mejor unión refuerzo-matriz lo cual sugiere un mejor material compuesto, ya que la celulosa actúa como un agente nucleante para la cristalización del BHET y este poder de cristalización depende de la dispersión e interacción entre ambos materiales la Celulosa y el Bhet. En conclusión, se pudo observar que las propiedades físicas del material compuesto cambian gradualmente con la cantidad de celulosa a ser adicionada a la matriz del Bhet.

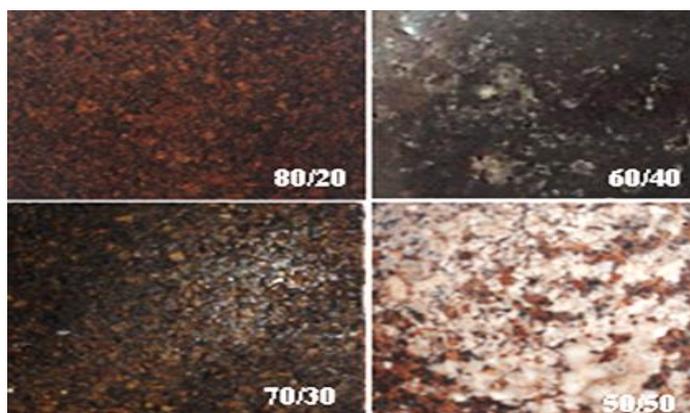


Imagen 18: Películas de las pastillas C/B

Fuente: Autores, correspondientes a las películas C/B 80/20 y 70/30 se puede visualizar una adecuada adhesión de ambos componentes a comparación de las películas 60/40 y 50/50 donde se puede observar que no ha existido una unión homogénea de la Celulosa y el Bhet durante la compactación de las pastillas en el cual el tiempo de prensado y temperatura son parámetros control imprescindibles a tener en cuenta en las diferentes dosis generando varias texturas en la superficie del material compuesto.

5.5 Descripción y Caracterización de la Degradación en diferentes medios (Sustrato Orgánico, Agua y Luz Artificial)

Teniendo un total de 16 pastillas con dos relaciones de B/C y C/B, se realizó un promedio de su dimensionamiento teniendo pastillas con un diámetro de 30,15 mm y un ancho de 1,47 mm, las pastillas cuentan con una dureza de 96,6 rockwell C/B-80/20 y 94,9 rockwell B/C-70/30 (ver Anexo 2-3).

El proceso de degradación consistió en colocar cada pastilla en diferentes cajas Petri, a cada una se le coloco sustrato orgánico, agua y se sometió a luz artificial con el objetivo de verificar los cambios que las pastillas puedan tener en cada uno de los medios ambientales utilizados para el proceso de degradación (ver Imagen 19). Cabe recalcar que cada proporción se replicó cuatro veces para someterlas a los diferentes procesos en medios como agua, sustrato orgánico y luz artificial.

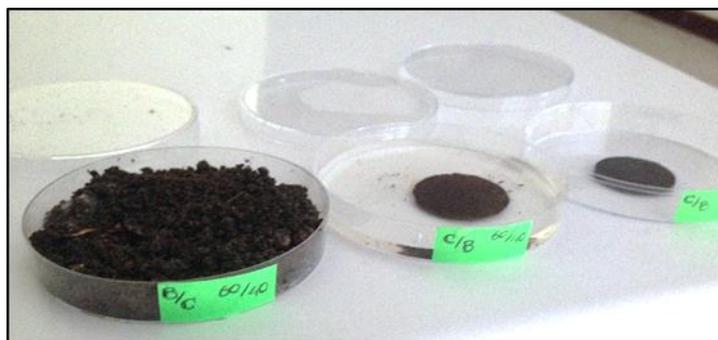


Imagen 19: Medios de Degradación: Sustrato Orgánico, Agua y Luz Artificial
Fuente: Autores

5.5.1 Degradación en Agua

Se pudo evidenciar que las pastillas que fueron suspendidas en agua, en la primera semana iniciaron con un proceso de hinchamiento con un peso de 2.76 gr, debido a la celulosa presente en el material compuesto responsable del proceso de capilaridad el cual acumula la humedad del medio, la adhieren y la transportan al exterior para su posterior evaporación, en la semana 2 se pudo observar pequeños cristales presentes en el agua debido a la presencia del BHET, en la tercera semana se disgregaron las pastillas, ya que no están bien compactas y formadas, en la cuarta semana cada pastilla tiene la presencia de hongos que se han generado en este medio acelerando el proceso de degradación de las mismas (ver Imagen 20), obteniendo un peso 2.73 gr.

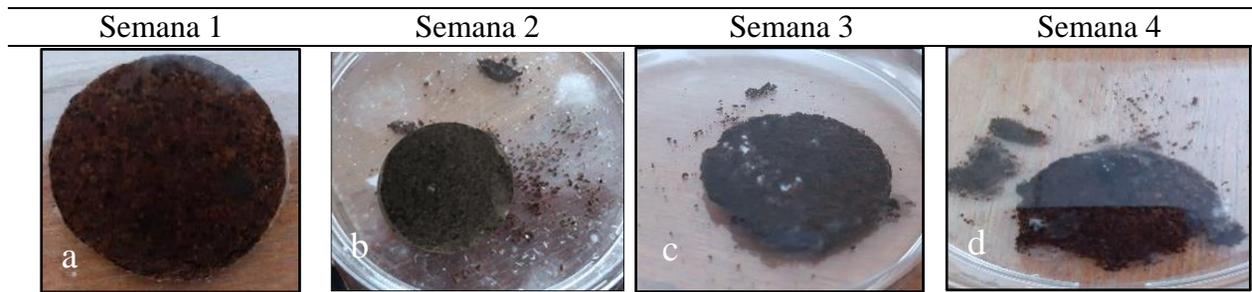


Imagen 20:Proceso de Degradación en Agua; Relación C/B-80/20

Fuente: Autores

5.5.2 Degradación en Sustrato Orgánico

Las pastillas que fueron cubiertas de sustrato orgánico en la semana 1 iniciaron con un proceso de hinchamiento en toda el área de contacto de la pastilla registrando un peso 2.32gr , en la segunda semana se observó el desarrollo de hongos cubriendo las pastillas, la tercera semana se pudo ver la presencia de pequeños brotes de vegetación en cada caja Petri, la cuarta semana cada muestra presenta un aumento de hongos y el desmoronamiento de las mismas (ver Imagen 21), logrando una pérdida de peso de 2.28gr.



Imagen 21: Proceso de Degradación en Sustrato Orgánico Relación C/B-80/20

Fuente: *Autores*

5.5.3 Degradación por luz artificial de fluorescencia

Las pastillas sometidas a luz artificial no tuvieron cambios evidentes en el transcurso de las semanas variaron su peso a menos 0.3gr, no se pudo observar cambios significativos en el proceso de degradación con luz ya que la pérdida de peso que se evidencio desde la tercera semana de degradación registrando un peso de 1.67gr para la relación C/B - 80/20 y la relación B/C - 70/30 con 1.68 gr, solo una pequeña variación en su peso y el color; las pastillas que tienen mayor proporción BHET se puede identificar con notoriedad la presencia del polímero con la celulosa (ver Imagen 22:a) y en las pastillas que constan en mayor proporción la celulosa se ha intensificado el color de la misma con pequeños agrietamientos en el área superficial de la pastilla (ver Imagen 22:b).



Imagen 22: Proceso de Degradación con Luz Artificial: a) Pastilla B/C - 70/30 ; b) Patillas C/B - 80/20

Fuente: *Autores*

5.5.4 Tiempo de Degradación por semanas en base a la pérdida de peso de las pastillas (Sustrato Orgánico, Agua y Luz Artificial)

Para la proyección de la degradación de las muestras se realiza con datos de peso registrados durante 7 semanas desde el 03 de octubre de 2019 hasta el día 12 de noviembre del presente año, en la Tabla 22 se refleja el peso inicial de cada pastilla y peso promedio final de cada muestra durante las 7 semanas presentes en los tres medios de degradación (sustrato orgánico, agua y luz artificial). Cabe mencionarse que en el transcurso de la primera semana se evidenció un incremento de peso en los tres medios de degradación debido a que la celulosa presente en las pastillas tiene la capacidad de absorber el vapor de agua (humedad) presente en el medio por las condiciones climáticas de la ciudad. A medida que transcurrió la primera semana se pudo denotar este cambio, sin embargo en el transcurso de las siguientes semanas el peso de las pastillas fue disminuyendo de acuerdo al medio de degradación expuesto. En el Anexo 4 se detalla el registro de datos completos del peso perdido de las pastillas.

Tabla 22: Promedio de Peso perdido durante 7 semanas en los Procesos de Degradación

		Degradación Sustrato Orgánico	Degradación Agua	Degradación Luz Artificial
Relación	Peso inicial	Peso final (gr)	Peso final(gr)	Peso final (gr)
C/B	80/20	1,70	2,25	1,68
	70/30	1,51	2,11	1,46
	60/40	1,35	1,81	1,39
C/B - B/C	50/50	0,99	1,15	0,98
B/C	80/20	0,73	0,88	0,72
	70/30	1,48	1,65	1,46
	60/40	1,40	1,96	1,39

Fuente: *Autores*, de acuerdo al promedio de los pesos de las pastillas en los distintos procesos de degradación (agua, sustrato orgánico y luz artificial) durante el transcurso de las 7 semanas se evidencia la pérdida de peso en los procesos de degradación biológica (sustrato orgánico), química (agua) y fotodegradación (luz artificial), la relación B/C-80/20 indica el menor peso registrando con un valor de 0.88 gr correspondiente a la degradación biológica (sustrato orgánico), debido a que la microflora presente en sustrato orgánico actúa con el material compuesto degradándolo a moléculas más pequeñas.

En la Figura 15 se ilustra que la relación B/C-70/30 en función del valor de peso perdido para los tres medios biológica, química y fotodegradación no hay una variación significativa es decir los procesos de degradación son lentos ya que en esta relación el material está formado en mayor porcentaje de BHET lo que hace que tenga un tiempo más prolongado entre 99 a 194 semanas en función del medio expuesto y la dosis de composición de las pastillas.

A comparación de la relación C/B-70/30, el material está conformado en mayor porcentaje de celulosa por ende procesos de degradación más rápido con una pérdida de peso del material más eficiente.

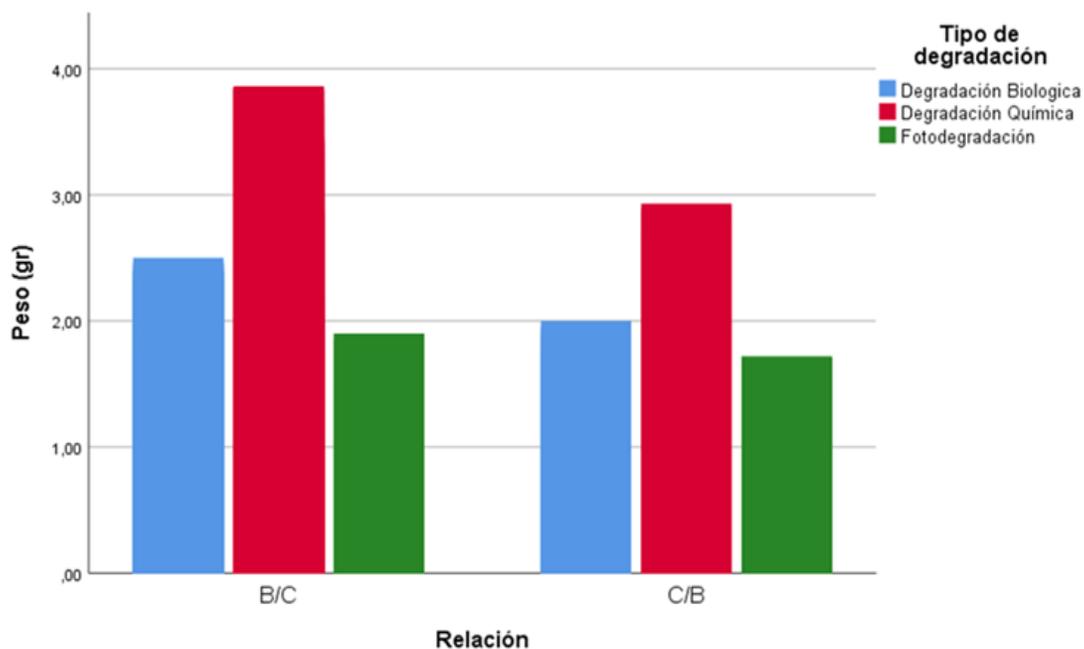


Figura 14: Degradación del B/C-70/30 y C/B-70/30 en los tres medios degradación Bilógica, Química y Fotodegradación (B/C-70/30 - C/B-70/30 sustrato orgánico, B/C-70/30 - C/B-70/30 agua, B/C-70/30 - C/B-70/30 luz artificial)

Fuente: Autores

En la figura 16 podemos observar el peso promedio general de acuerdo a cada relación de las pastillas transcurridas las 7 semanas de degradación, constatando que las barras de color celeste correspondientes a B/C en todas las dosificaciones (80/20, 70/30, 60/40 y 50/50),

a medida que incrementa el porcentaje de celulosa en el material el proceso de degradación mejora con una pérdida de peso regular.

Las barras de color rojo correspondientes a C/B en todas las dosificaciones (80/20, 70/30 y 60/40) se puede apreciar que la degradación es más efectiva ya que hay un mayor porcentaje de celulosa en relación al BHET, es por ello que no presenta una resistencia ante los procesos de degradación, del mismo modo a medida que incrementa el porcentaje del BHET pierde un poco su efectividad, pero sigue teniendo mejores resultados en el proceso de degradación con valores más significativos que las relaciones de B/C.

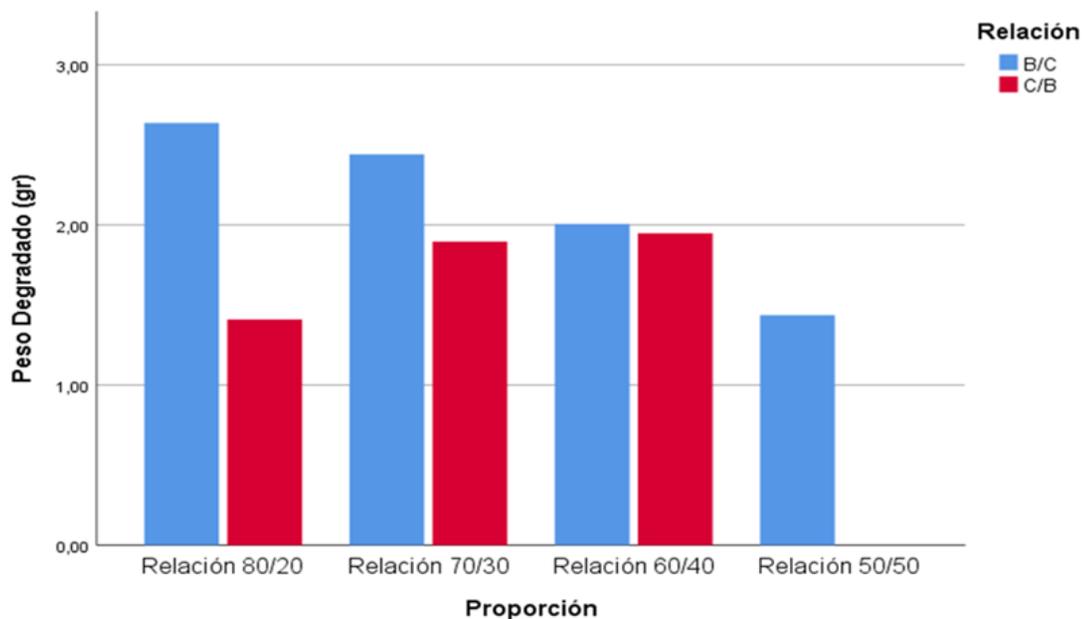


Figura 15 Degradación de las pastillas (gr) por 7 semanas.
Fuente: Autores

5.5.5 Proyección del Tiempo de degradación

Para el cálculo de la proyección de la degradación de las pastillas se realizó mediante un modelo lineal con las variables de peso en gr y el tiempo en semanas., en la relación donde hay mayor porcentaje de celulosa y menor porcentaje de BHET (C/B) el tiempo de la ruptura

total de las moléculas es mayor, es decir, el proceso de degradación es más rápido. Obteniendo así un tiempo aproximado por semanas de degradación de las pastillas (ver Tabla 23). En el Anexo 5 se detalla la proyección del tiempo de degradación de cada muestra.

Tabla 23: Periodo de degradación de cada pastilla en Sustrato Orgánico, Agua y Luz Artificial

Relación	B/C				C/B		
	80/20	70/30	60/40	50/50	80/20	70/30	60/40
N° Semanas Degradación Sustrato Orgánico	104	99	194	101	35	88	28
N° Semanas Degradación Agua	112	113	47	81	14	30	23
N° Semanas Degradación Luz Artificial	105	100	97	135	28	48	48

Fuente: Autores

**N° Semanas hace referencia al periodo de tiempo estimado de cada pastilla según su relación (C/B- B/C) de acuerdo al medio que tarda en degradarse (U/M : Semanas).*

La relación B/C-60/40 correspondiente a la barra de color verde obtuvo un mayor tiempo de degradación de 194 semanas por medio de una Degradación Biológica (Sustrato Orgánico) ya que se rompen totalmente las moléculas de la muestra. La relación C/B -80/20 por medio del proceso de degradación química (agua) es la proyección que se degrada en un menor tiempo con 23 semanas equivalente a 6 meses. En el análisis realizado, Figura 17 se evidencia que el tiempo de degradación es prolongado en todas las relaciones B/C.

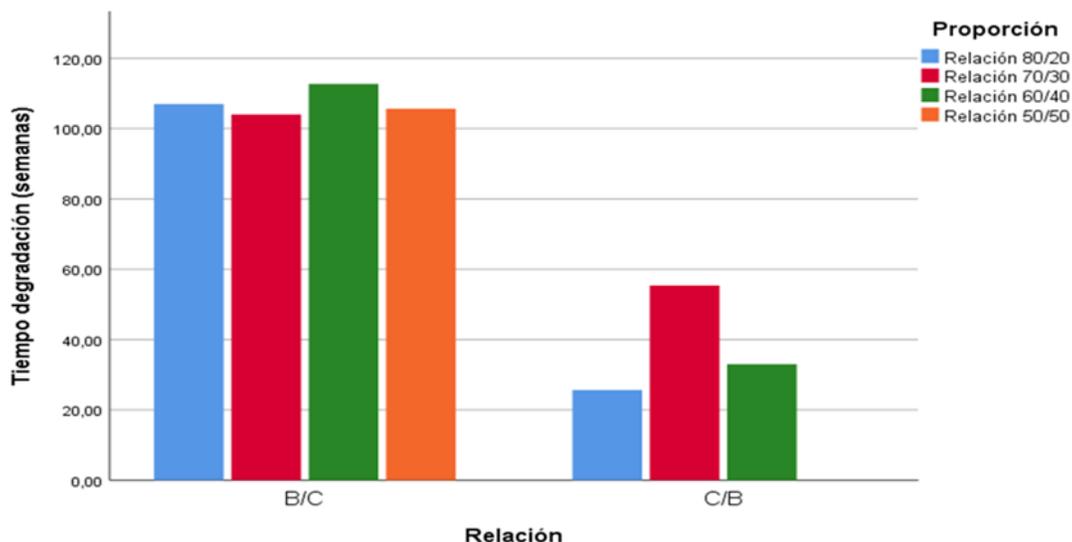


Figura 16 Proyección de degradabilidad

Fuente: *Autores*

La ruptura de las moléculas totales de la degradación biológica, química y la foto degradación a lo largo del tiempo de exposición del material en los diferentes ambientes como sustrato orgánico, agua y la exposición de luz artificial nos indica que la proyección de la degradabilidad es buena ya que el tiempo estimado es 10 veces menor al tener un producto no biodegradable con un promedio de 92 semanas para la relación C/B-70/30 en el proceso de degradación Biológica, 54 semanas para la degradación Química y 80 semana para la degradación con luz artificial respectivamente y al pasar el tiempo presentan características como pérdida de la dureza y su resistencia.

5.6 Análisis estadístico de la degradabilidad

El análisis estadístico se lo realizó con la ayuda del software MiniTab considerando el tiempo en los tres procesos de degradación (agua, sustrato orgánico y luz artificial) que fueron dispuestas las pastillas C/B 80/20 y B/C 70/30 ya que presentan mejores características físicas como la dureza y textura, con una mejor unión entre sus componentes Celulosa-Bhet.

5.6.1 Anova de un solo factor: Sustrato Orgánico; Agua; Luz Artificial (C/B-80/20)

Para este análisis estadístico se aplicó Anova de un solo factor se propuso una hipótesis nula: todas las medias muestrales son iguales y una hipótesis alternativa: no todas las medias muestrales son iguales para cada experimento, con un nivel de significancia del 0.05 para cada factor, obteniendo un valor $p = 0$, rechazando la hipótesis nula y aceptando la hipótesis alternativa. Determinando que las pastillas C/B-80/20 tienen un proceso de degradación diferente con respecto al tiempo en los tres medios de acuerdo al análisis de las varianzas con una variación de 14.71 entre los métodos.

Método:

<i>Hipótesis nula</i>	Todas las medias muestrales del grupo de datos son iguales
<i>Hipótesis alterna</i>	Todas las medias muestrales del grupo de datos no son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$

Para el análisis estadístico el nivel de significancia (α) se aplicó el valor de 0,05 lo cual indica un riesgo del 5% este nivel nos permite concluir que existe una diferencia entre los resultados del caso de estudio.

De acuerdo a la naturaleza de nuestro grupo de datos es aplicable el valor de significancia establecido ya que corrobora los experimentos realizados en el proyecto afirmando que la diferencia es estadísticamente significativa.

**Si el valor-p es menor que α se concluye a favor de la prueba de hipótesis alternativa*

**Si el valor-p es mayor que α se concluye a favor de la prueba de hipótesis nula*

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	3	SUSTRATO ORGÁNICO; AGUA; LUZ ARTIFICIAL

Análisis de Varianza

<u>Fuente</u>	<u>GL</u>	<u>SC Ajust.</u>	<u>MC Ajust.</u>	<u>Valor F</u>	<u>Valor p</u>
Factor	2	14,6452	7,32259	1869,98	0,000
Error	18	0,0705	0,00392		
Total	20	14,7157			

* El valor-p resulto ser 0,000 es menor que $\alpha = 0,05$ se concluye a favor de la prueba de hipótesis alternativa

GL Total: está determinado por el número de observaciones en la muestral: se obtuvo 20 observaciones obteniendo más información sobre la población

SC Ajust: Las sumas ajustadas de los cuadrados son medidas de variación para las diferentes partes del modelo, el cual nos permite cuantificar la cantidad de variación en los datos de respuesta que explica el grupo de términos. error puro existe cuando existen los grados de libertad. Cuantificando la variación total en los datos.

MC Ajust: los cuadrados medios ajustados consideran los grados de libertad. El cuadrado medio ajustado del error (también llamado MSE o s^2) es la varianza alrededor de los valores ajustados.

Valor F: es el estadístico de prueba usado para determinar si un grupo de términos está asociado con la respuesta. Minitab utiliza el valor F para calcular el valor p, que se usa para tomar una decisión acerca de la significancia estadística de la prueba.

Valor p: es una probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula. Las probabilidades más bajas proporcionan una evidencia más fuerte en contra de la hipótesis nula.

Resumen del modelo

<u>S</u>	<u>R-cuad.</u>	<u>R-cuad.</u>	<u>R-cuad.</u>
		<u>(ajustado)</u>	<u>(pred)</u>
0,0625769	99,52%	99,47%	99,35%

*Al obtener el resumen del modelo se determinaron los coeficientes de determinación múltiple del modelo con todas las variables independientes se obtiene el siguiente resultado que las variables introducidas al modelo explican el 99,47% de la variabilidad.

S: representa la desviación estándar de la distancia entre los valores de datos y los valores ajustados

R-cuad: El R2 es el porcentaje de variación en la respuesta que es explicada por el modelo, mientras mayor sea el valor de R2, mejor se ajustará el modelo a los datos. El R2 siempre está entre 0% y 100%

R-cuad. (ajustado): El R2 ajustado es el porcentaje de la variación en la respuesta que es explicada por el modelo

R-cuad.(pred): Utilice el R2 pronosticado para determinar qué tan bien el modelo predice la respuesta para nuevas observaciones. Los modelos que tienen valores más grandes de R2 pronosticado tienen mejor capacidad de predicción.

Medias

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
SUSTRATO ORGÁNICO	7	2,2671	0,0496	(2,2175; 2,3168)
AGUA	7	3,7929	0,0875	(3,7432; 3,8425)
LUZ ARTIFICIAL	7	1,8500	0,0404	(1,8003; 1,8997)

$$Desv.Est. agrupada = 0,0625769$$

**Indica que existen diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza del 95% determinando que el proceso de degradación en los tres métodos es diferente de acuerdo al valor de desviación estandar para cada factor, con una Desv.Est. agrupada = 0,0625769.*

También se puede determinar que el valor de las medias muestrales en los tres factores son diferentes situaciones que se confirma con la prueba de hipótesis, con un intervalo de confianza del 95% como se muestra en la Figura 17.

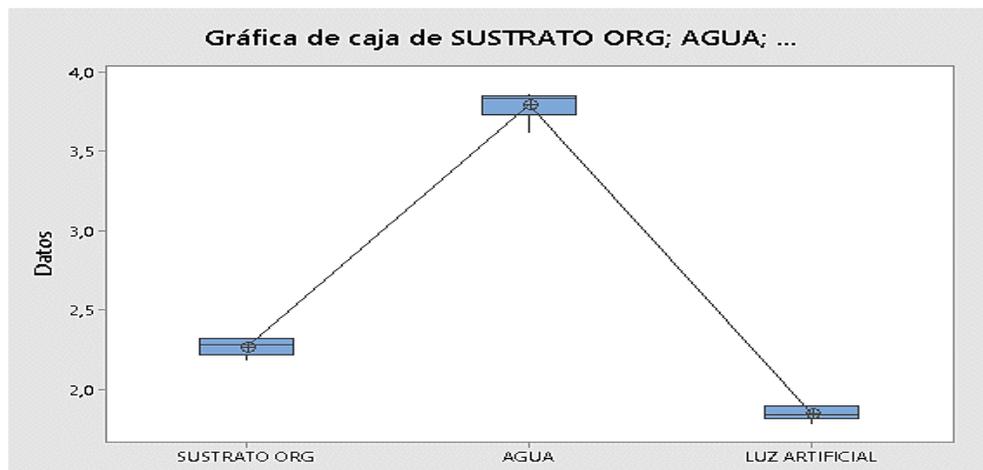


Figura 17: Valores individuales Sustrato Orgánico, Agua y Luz Artificial C/B-80/20
Fuente: Autores

En la Figura 18 se puede observar que la gráfica de probabilidad normal la distribución de los puntos de las muestras no se aproximan a la línea de tendencia afirmando que los datos no son normales incumpliendo el requisito de normalidad corroborado con el histograma de frecuencia, respecto a la igualdad de varianzas en el cuadro de valor ajustado los puntos de cada muestra tienen una gran diferencia, de la misma manera la magnitud de variación en el eje de residuos es mayor por lo que se puede afirmar que no existe igualdad de varianzas con un intervalo entre -0.15 a 0.05 lo cual no apoya el requisito de igualdad de varianzas. Concluyendo que los factores o métodos de degradación analizados en promedio tienen un rendimiento diferente.

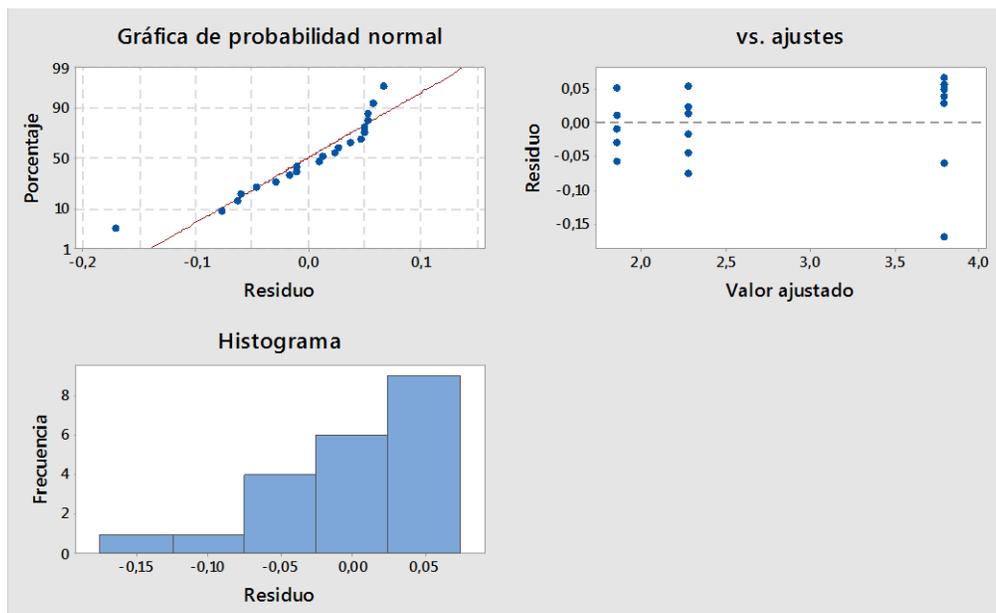


Figura 18:Residuos para Sustrato Orgánico, Agua y Luz Artificial C/B-80/20
Fuente: Autores

En las siguientes graficas 19, 20 y 21 se observa el ajuste lineal y la ecuación de regresión para cada proceso en función del tiempo (Sustrato Orgánico, Agua y Luz Artificial) determinando la relación de las variables.

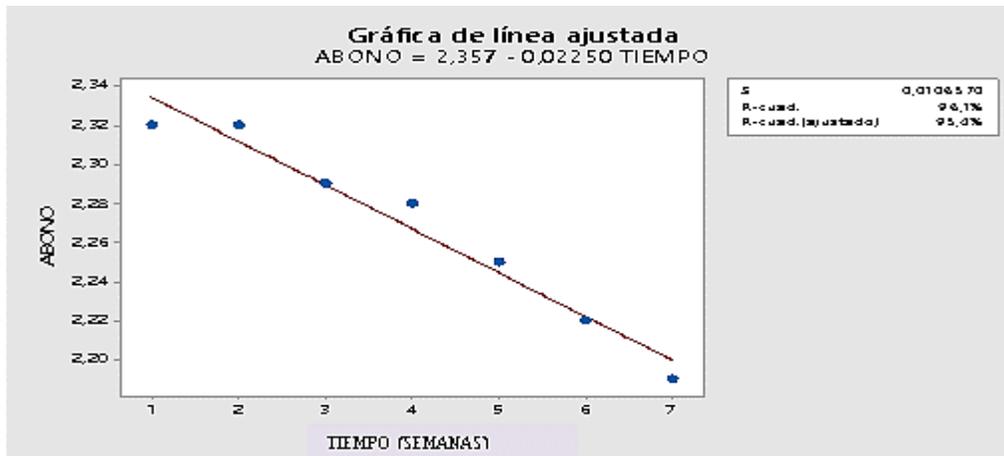


Figura 19: Ajuste Lineal Sustrato Orgánico (C/B-80/20)
 Fuente: Autores

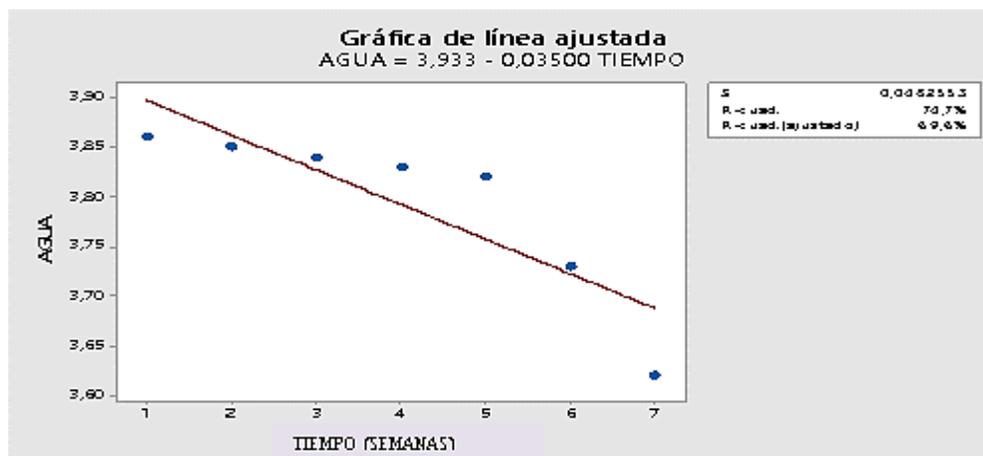


Figura 20: Ajuste lineal Agua (C/B-80/20)
 Fuente: Autores

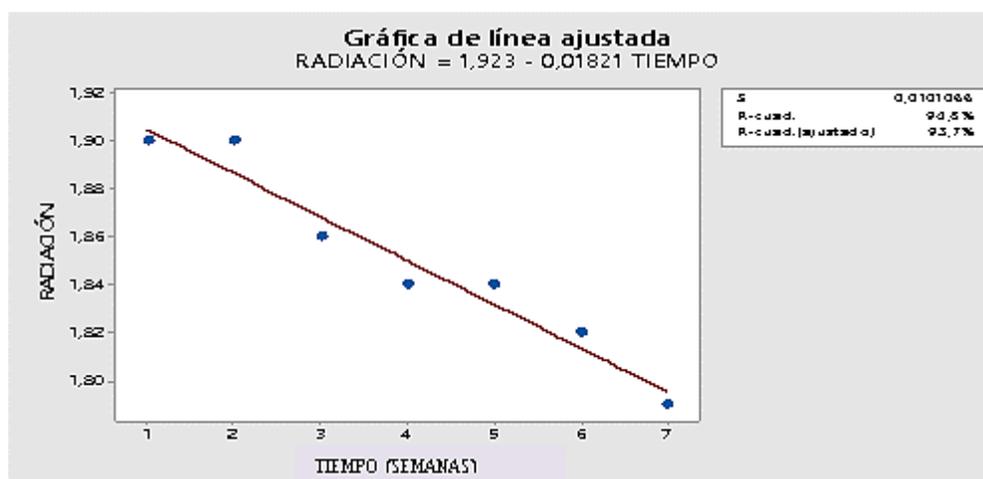


Figura 21: Ajuste lineal Luz Artificial (C/B-80/20)
 Fuente: Autores

5.6.2 ANOVA de un solo factor: Sustrato Orgánico; Agua; Luz Artificial (B/C-70/30)

Para este análisis estadístico se aplicó Anova de un solo factor se propuso una hipótesis nula: todas las medias muestrales son iguales y una hipótesis alternativa: no todas las medias muestrales son iguales para cada experimento, con un nivel de significancia del 0.05 para los factores, obteniendo un valor $p = 0$, rechazando la hipótesis nula y aceptando la hipótesis alternativa. Determinando que las pastillas elaboradas tienen un proceso de degradación diferente con respecto al tiempo y en el medio que se encuentren dispuestas.

Método:

Hipótesis nula: Todas las medias muestrales del grupo de datos son iguales
Hipótesis alterna: Todas las medias muestrales del grupo de datos no son iguales
Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

Para el análisis estadístico el nivel de significancia (α) se aplicó el valor de 0,05 lo cual indica un riesgo del 5% este nivel nos permite concluir que existe una diferencia entre los resultados del caso de estudio.

De acuerdo a la naturaleza de nuestro grupo de datos es aplicable el valor de significancia establecido ya que corrobora los experimentos realizados en el proyecto afirmando que la diferencia es estadísticamente significativa.

**Si el valor-p es menor que α se concluye a favor de la prueba de hipótesis alternativa*

**Si el valor-p es mayor que α se concluye a favor de la prueba de hipótesis nula
Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.*

Información del factor:

Factor	Niveles	Valores
Factor	3	SUSTRATO ORGÁNICO; AGUA; LUZ ARTIFICIAL

Análisis de Varianza:

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	2	2,8537	1,42686	88,85	0,000
Error	18	0,2891	0,01606		
Total	20	3,1428			

* El valor-p resulto ser 0,000 es menor que $\alpha = 0,05$ se concluye a favor de la prueba de hipótesis alternativa

GL Total: está determinado por el número de observaciones en la muestral: se obtuvo 20 observaciones obteniendo más información sobre la población

SC Ajust: Las sumas ajustadas de los cuadrados son medidas de variación para las diferentes partes del modelo, el cual nos permite cuantificar la cantidad de variación en los datos de respuesta que explica el grupo de términos. error puro existe cuando existen los grados de libertad. Cuantificando la variación total en los datos.

MC Ajust: los cuadrados medios ajustados consideran los grados de libertad. El cuadrado medio ajustado del error (también llamado MSE o s^2) es la varianza alrededor de los valores ajustados.

Valor F: es el estadístico de prueba usado para determinar si un grupo de términos está asociado con la respuesta. Minitab utiliza el valor F para calcular el valor p, que se usa para tomar una decisión acerca de la significancia estadística de la prueba.

Valor p: es una probabilidad que mide la evidencia en contra de la hipótesis nula. Las probabilidades más bajas proporcionan una evidencia más fuerte en contra de la hipótesis nula.

Resumen del modelo:

<u>S</u>	<u>R-cuad.</u>	<u>R-cuad.</u>	<u>R-cuad.</u>
		<u>(ajustado)</u>	<u>(pred)</u>
0,126723	90,80%	89,78%	87,48%

*Al obtener el resumen del modelo se determinaron los coeficientes de determinación múltiple del modelo con todas las variables independientes se obtiene el siguiente resultado que las variables introducidas al modelo explican el 89,78% de la variabilidad.

S: representa la desviación estándar de la distancia entre los valores de datos y los valores ajustados

R-cuad: El R2 es el porcentaje de variación en la respuesta que es explicada por el modelo, mientras mayor sea el valor de R2, mejor se ajustará el modelo a los datos. El R2 siempre está entre 0% y 100%

R-cuad. (ajustado): El R2 ajustado es el porcentaje de la variación en la respuesta que es explicada por el modelo

R-cuad.(pred): Utilice el R2 pronosticado para determinar qué tan bien el modelo predice la respuesta para nuevas observaciones. Los modelos que tienen valores más grandes de R2 pronosticado tienen mejor capacidad de predicción.

Medias:

Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
SUSTRATO ORGÁNICO	7	1,6543	0,0685	(1,5537; 1,7549)
AGUA	7	2,4186	0,1987	(2,3179; 2,5192)
LUZ ARTIFICIAL	7	1,6200	0,0632	(1,5194; 1,7206)

Desv.Est. agrupada = 0,126723

**Indica que existen diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza del 95% determinando que el proceso de degradación en los tres métodos es diferente de acuerdo al valor de desviación estandar para cada factor, con una Desv.Est. agrupada = 0,126723.*

En la Figura 22 se puede observar que la distribución de los puntos en los procesos de degradación en sustrato orgánico y luz artificial tienen una mejor aproximación corroborado en el valor de sus medias muestrales de 1.65 y 1.62, a comparación del proceso en agua la distribución de puntos es más dispersa con una media de 2.41. Concluyendo que los procesos tienen una tendencia similar pero no iguales en función a la desviación estándar con una variación de 3,14 y un intervalo de confianza del 95% entre los factores analizados.

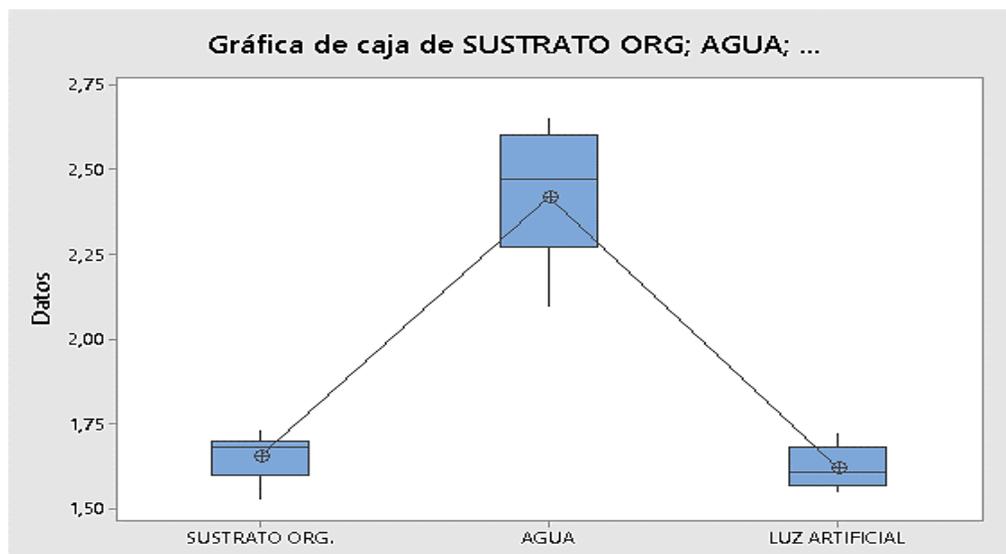


Figura 22: Valores individuales de Sustrato Orgánico, Agua y Luz Artificial B/C-70/30

Fuente: Autores

En la Figura 23 se puede observar que la gráfica de probabilidad normal y en el histograma de frecuencia algunos puntos se aproximan a una distribución normal mientras otros están alejados de la línea de tendencia por lo que se incumple esta probabilidad, respecto a la igualdad de varianzas en el cuadro de valor ajustado los puntos de cada muestra tienen cierta similitud en su distribución, de la misma manera la magnitud de variación en el eje de residuos es mayor por lo que se puede afirmar que no existe igualdad de varianzas con un intervalo entre -0.4 a 0.2 lo cual no apoya el requisito de igualdad de varianzas. Concluyendo que los valores de agua tienen un rendimiento diferente a comparación de los valores de sustrato orgánico y luz artificial con rendimientos similares para el caso de las pastillas de B/C-70/30.

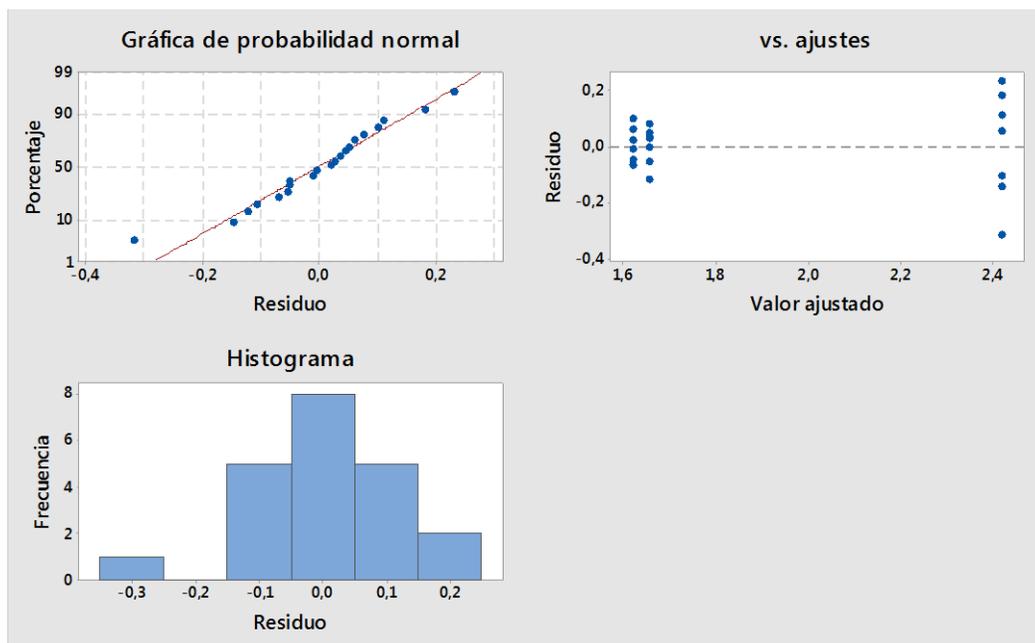


Figura 23: Residuos para Sustrato Orgánico, Agua y Luz Artificial B/C-70/30
Fuente: Autores

En las siguientes graficas 24,25 y 26 se observa el ajuste lineal y la ecuación de regresión para cada proceso en función del tiempo (Sustrato Orgánico, Agua y Luz Artificial) con el fin de determinar la dependencia de las variables.

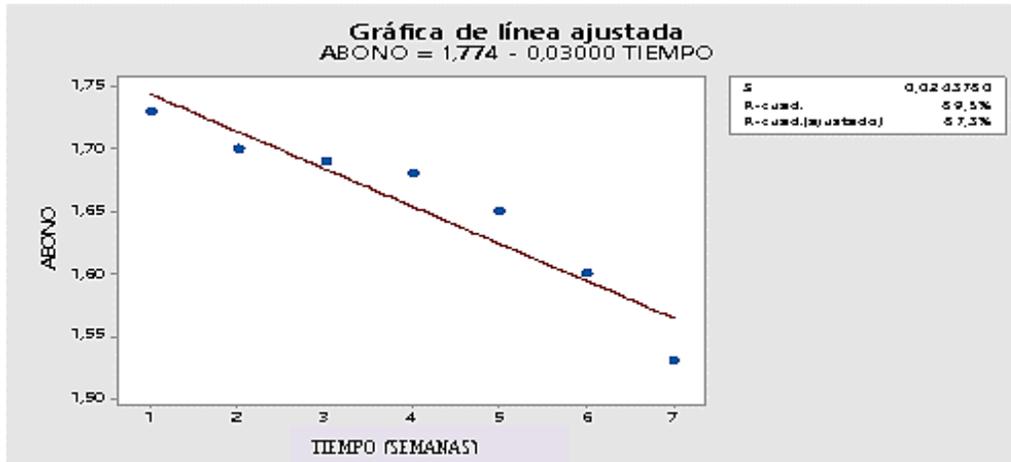


Figura 24: Ajuste lineal Sustrato Orgánico (B/C-70/30)
Fuente: Autores

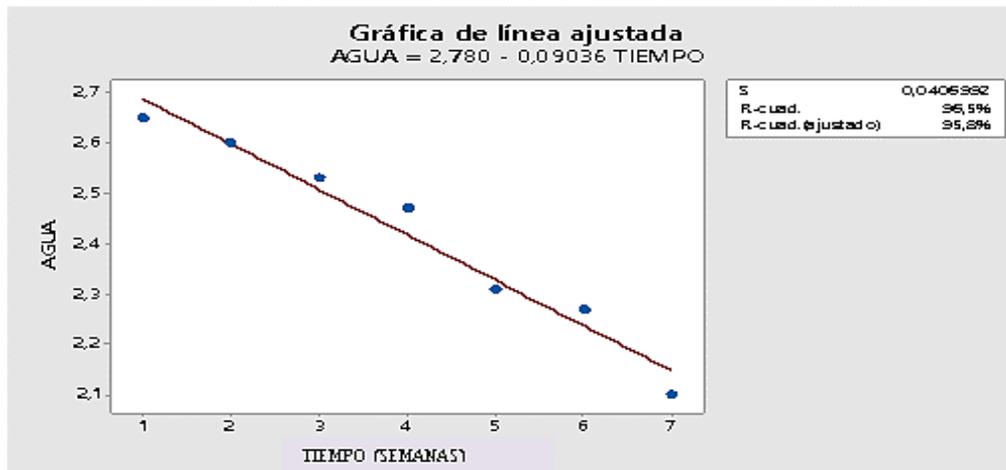


Figura 25: Ajuste lineal Agua (B/C-70/30)
Fuente: Autores

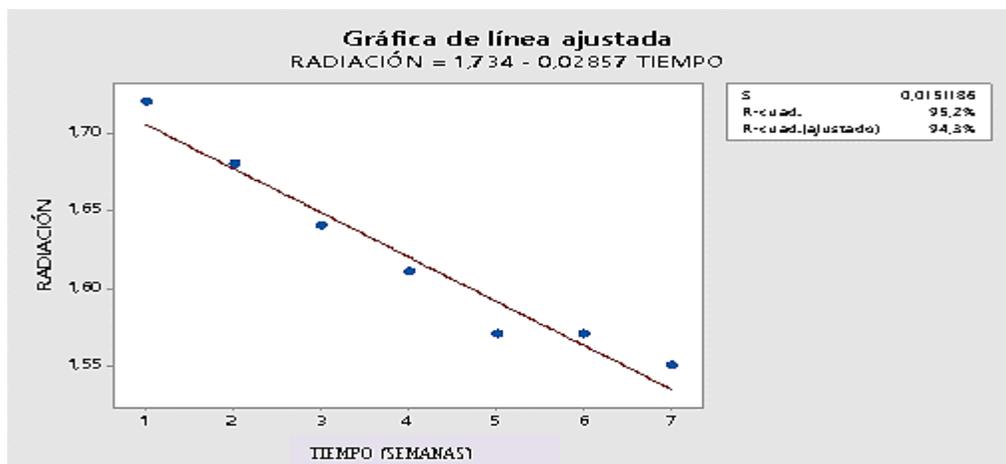


Figura 26: Ajuste lineal luz artificial (B/C-70/30)
Fuente: Autores

5.7 Producto degradable dosificado con Bhet y Celulosa

Para la elaboración de dos platos dosificados con Celulosa/Bhet se consideró la relación 80/20 tomando en cuenta las propiedades físicas que se obtuvieron al realizar las pastillas, como la dosis en gramos (C/B-80/20), temperatura y tiempo de prensado, textura y dureza del material, presentando esta relación las mejores características y un menor tiempo de degradación ver Anexo 1-2-3-4-5.

Los platos se elaboraron a través de un proceso manual de prensado previo al calentamiento de la mezcla con un peso inicial de 80 gr y un porcentaje de Celulosa al 56 % y Bhet de 24%, se compacto a través de un prototipo de molde de yeso por un tiempo de 10 min el cual se dejó enfriar a temperatura ambiente, el producto final como se muestra en la Imagen 24 tiene un diámetro de 10 cm y un espesor de 5 mm, el peso final de los dos platos fue de 65gr y 75gr (C/B-80/20), disminuyendo la pérdida del material a comparación del proceso de prensado hidráulico donde se ejerce una fuerza de presión superior.

El área superficial del plato presenta irregularidades ya que el molde empleado no es el adecuado para la elaboración del plato con este tipo de material.

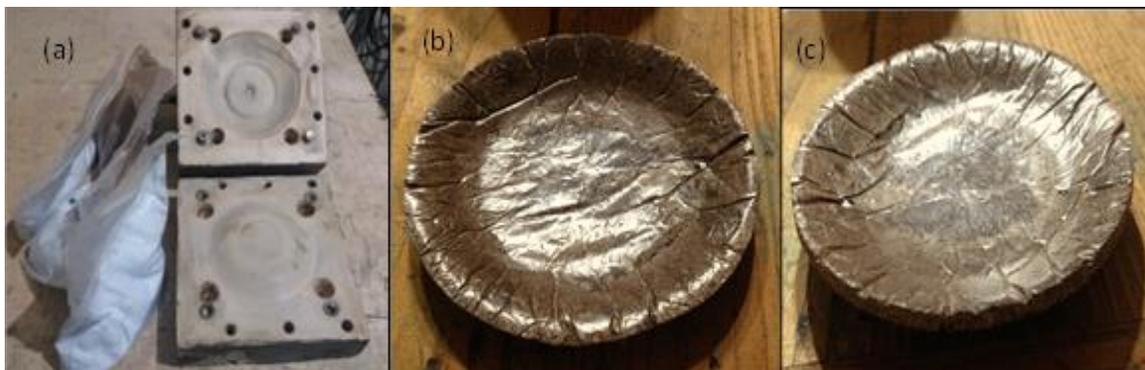


Imagen 23: Plastos Biodegradables: (a) Molde de yeso;(b)Vista frontal del plato; (c) Vista lateral del plato
Fuente: Autores

5.8 Valoración de costos para la elaboración de un producto dosificado con Bhet Y Celulosa.

Para realizar platos dosificados con BHET y Celulosa se debe evaluar todos los costos para estimar la viabilidad del proyecto, ya que hoy en día adquirir la maquinaria necesaria para la elaboración de un producto es compleja considerándose como proyecto verde o ecológicos amigables con el ambiente.

Se deben analizar todos los costos encontrados directa e indirectamente en relación con la producción de los platos dosificados con Bhet y celulosa, ya que es necesario conocer la cantidad mínima de unidades a producirse, en la Tabla 24 se detalla los costos de los recursos como el costo de energía, agua y transporte.

Tabla 24 Detalle de Costos de los Recursos

Recursos CIF	Costo/mes	Unidad/medida	Costo por gramo procesado
Energía	\$ 21,00	Kw	\$ 0,15
Agua	\$ 40,00	L	\$ 0,60
Transporte	\$ 30,00	pasaje	\$ 7,00

Fuente: Autores

En la Tabla 25 se detalla los materiales utilizados durante el proceso de la elaboración del producto, los valores expuestos en la tabla se toman como referencia para realizar una proyección económica con el propósito de verificar la viabilidad o rentabilidad de nuestro producto, que sirva como referencia para futuras investigaciones a partir de los resultados obtenidos.

Tabla 25 Descripción Costos de Inversión del Producto

Costo de Inversión para la obtención del BHET

Cantidad Referencia	2 PB1	Unidades Plato B-C	
Material			
Nombre	Cantidad usada	U/M	Valor Unitario
Etilenglicol	9	L	\$ 4,50
Acetato de Zinc	0,3	gr	\$ 3,00
Glicerina	2	gal	\$ 4,50
Papel Filtro	10	pliegos	\$ 0,70
Papel de Aluminio	1	m	\$ 0,50
<i>Total de materiales</i>			\$ 13,20
Recursos			
Molino de Polímeros	2	kg	\$ 0,50
Estufa	500	gr	\$ 0,15
Cocina eléctrica	500	gr	\$ 0,15
<i>Total de Recursos</i>			\$ 0,80
TOTAL			\$ 14,00

Costo de Inversión para la obtención de la Celulosa

Material			
Nombre	Cantidad usada	U/M	Valor Unitario
Triturado de fibra	3	kg	\$ 0,30
Ácido Sulfúrico	100	ml	\$ 0,35
Hidróxido de Sodio	108	gr	\$ 0,14
Bandejas de Aluminio	5	bandeja	\$ 0,60
Papel Filtro	3	pliegos	\$ 0,70
Otros			\$ 5,00
Total de materiales			\$ 7,09
Recursos			

Molino de fibra	3	kg	\$ 0,15
Estufa	500	gr	\$ 0,15
Cocina eléctrica	500	gr	\$ 0,15
Equipo de filtración	500	gr	\$ 0,15
Total de Recursos			\$ 0,60
TOTAL			\$ 7,69

Fuente: Autores

En la Tabla 26 se realiza un resumen de los costos que existen en cada uno de los procesos teniendo un valor total de 448,62

Tabla 26 Resumen de las Ordenes para la elaboración del producto

TOTALES			
CONCEPTO	MATERIALES	RECURSOS	TOTAL
Costo de Inversión para la obtención del BHET	\$ 13,20	\$ 0,80	\$ 14,00
Costo de Inversión para la obtención de la Celulosa	\$ 7,09	\$ 0,60	\$ 7,69
		TOTAL	\$ 21,69

Fuente: Autores

6 CAPÍTULO: DISCUSIÓN

La degradación de las botellas plásticas aplicando el proceso de glicolisis y en la adición de celulosa a esta matriz es un tema que hoy en día no existen investigaciones a profundidad, la importancia de realizar nuevos procesos de degradación del PET para la optimización del mismo ha permitido generar nuevos productos que sean amigables al ambiente, es decir que tengan un menor tiempo de degradación y no afecte a ningún ecosistema.

A partir de los hallazgos encontrados, establece que existe relación de dependencia entre el tipo de polímero utilizado y la matriz orgánica (celulosa) para la realización de nuevos productos biodegradables, se debe tomar en cuenta que la celulosa tiene una propiedad natural que absorbe la humedad lo cual es un factor influyente en la disgregación del producto.

Estos resultados guardan relación con lo que sostienen (Cabrera, 2017) en la adición de celulosa a matriz polimérica, (Chávez; Hidalgo, 2019) en la obtención y la utilización del BHET, quienes señalan que la adición de la celulosa en una matriz polimérica tiene que ver mucho con las características del material y el proceso de obtención del BHET ya que señalan que es necesario que las botellas pasen por un reciclaje mecánico previamente para continuar con reconversión del polímero (PET) a un monómero de partida o a su componente base. En general la adición de la celulosa en una matriz polimérica presenta ciertas limitaciones debido a la diferente naturaleza de los ambos sustituyentes, sin embargo, es importante recalcar que una mayor concentración de celulosa ocasiona una mejor tracción de los materiales lo cual existe una mejor adhesión refuerzo-matriz. Ello es acorde con lo que en este estudio se halla.

Pero, en lo que no concuerda el estudio de los autores referidas con el presente proyecto, es que mencionan que la utilización del BHET mezclado con celulosa se utiliza en la elaboración de productos como fibras, bloques, ladrillos, etc mas no para productos que sean de consumo humano y también que generalmente se debe aplicar otros procesos para que se modifique su composición, pero manteniendo la dureza del material. En lo que respecta a la adición de refuerzos (celulosa) a la matriz del bhet se obtiene una mayor dureza del material de 96.6 Rockwell C/B-80/20.

Sin embargo (Rodriguez,2017) menciona que las características que presenta esta mezcla del Bhet con un polímero natural sean eficientes ya que su estabilidad estructural es excelente logrando una mayor dureza en el producto, de acuerdo a lo que hace mención las investigaciones se puede corroborar que, en nuestro proyecto como por ejemplo para la relación C/B-80/20 con un peso total de 2gr de material compuesto (celulosa/bhet), el 80% representa 1,6 gr que corresponde a celulosa y 0,4 gr de BHET, tiene una mayor dureza con 96.6 Rockwell y una excelente textura con un menor tiempo de degradación.

7 CAPÍTULO: CONSLUSIONES

- De los resultados del análisis químico proximal de la cascara de cacao se obtuvo un porcentaje aceptable de humedad del 6.8%, cenizas 9% equivalente al residuo inorgánico que no se volatizo, Ph de 6.52 y con un 36% de celulosa según las condiciones normalizadas AOAC, INEN y TAPPI, estos valores concuerdan con estudios realizados por A.R.Villamizar-Jaimes&López-Giraldo, (2017).
- Se definió un protocolo para la extracción de la celulosa y la obtención del Bhet, mediante el proceso de hidrolisis acida y alcalina de las cascara cacao y la aplicación de varias relaciones en el proceso de glicolisis del PET; obteniendo un rendimiento óptimo de recuperación del Bhet de 77,5% y celulosa con un porcentaje máximo del 30% peso/peso que en confrontación con la literatura el valor obtenido de celulosa está dentro de los rangos investigados debido a que proviene de una fuente lignocelulósica (Elias & Jurado, 2012).
- En el proceso de glicolisis del PET reciclado es fundamental realizar la etapa filtración a baja presión con abundante agua destilada a punto de ebullición, con la finalidad de remover las impurezas presentes en la reacción y facilitar la formación de los cristales del BHET al final del proceso. Por otro lado, para los procesos de hidrolisis acida y básica de las cascara cacao se debe realizar el lavado o filtrado del material las veces que sean necesarias hasta obtener un Ph neutro con la finalidad de neutralizar los reactivos empleados en estas etapas.

- Se elaboraron 21 pastillas con diferentes dosis experimentales propuestas por los autores 80/20, 70/30, 60/40 y 50/50 relación Celulosa/Bhet y Bhet/Celulosa, con la finalidad de verificar que relación presenta mejores características para la elaboración del material compuesto. las pastillas obtuvieron buenos resultados en sus propiedades físicas como la dureza y textura del material. Referente a las pruebas físicas se puede concluir la pastilla que presenta una mejor dureza es la relación C/B-80/20 seguido de la relación C/B-70/30 con valores de 96,6 y 94,95 Rockwell respectivamente; Sin embargo, en las relaciones B/C de la proporción 70/30 presentó mejores características en su textura y dureza con un valor de 94,9 Rockwell. El diámetro promedio de todas las pastillas es de 30,15 mm y ancho de 1,47 m (ver Anexo 2 y 3).
- La degradación de las pastillas se lo realizó en tres medios diferentes en sustrato orgánico, agua y con luz artificial registrando datos de pérdida de peso durante un tiempo de 7 semanas.
- En los procesos de degradación las relaciones C/B 80/20 y 70/30 presentaron un menor tiempo de degradación de las pastillas con un peso inicial de 1,6gr de Celulosa y 0,4gr de Bhet relación 80/20 y para la relación 70/30 un peso inicial de 1,4gr de Celulosa y 0,6gr de Bhet. En los tres medios de degradación la relación C/B-80/20 presento un menor periodo de 35 semanas en Sustrato Orgánico, 14 semanas en Agua y Luz Artificial 28 semanas, debido a que el porcentaje de celulosa es mayor en relación al porcentaje de BHET presente en el material compuesto.
- La relación B/C-80/20 presento un tiempo de degradación mayor con 104 semanas en Sustrato Orgánico, 112 en Agua y 105 semanas con Luz Artificial ya el material compuesto tiene en mayor porcentaje de BHET con un valor de 2,4 gr y 0,6 gr de

Celulosa en cada pastilla elaborada. De modo que la presencia de un mayor porcentaje de Bhet hace más prolongada el tiempo de degradación.

- Se concluye que la mejor degradación fue la relación C/B-80/20 considerando las variables como la dosificación en gramos (C/B-80/20), peso inicial, temperatura y tiempo de prensado, textura y dureza del material; se registró un peso final en el transcurso de las 7 semanas en Sustrato Orgánico de 2.25gr, Agua 2.72gr y por Luz Artificial 1.68gr.
- En el análisis Anova relación C/B – 80/20 tienen un proceso de degradación diferente con respecto al tiempo en los tres medios de acuerdo al análisis de las varianzas con una variación de 14.71 entre los métodos confirmado con la prueba de hipótesis con un nivel de significancia del 0.05 obteniendo un valor $p = 0$, rechazando la hipótesis nula y aceptando la hipótesis alternativa con un intervalo de confianza del 95%.
- En el análisis estadístico B/C – 70/30 tienen un proceso de degradación diferente con respecto al tiempo en los tres medios de acuerdo al análisis de las varianzas con una variación de 3.14 entre los métodos confirmado con la prueba de hipótesis con un nivel de significancia del 0.05 obteniendo un valor $p = 0$, rechazando la hipótesis nula y aceptando la hipótesis alternativa con un intervalo de confianza del 95%.
- Para la ejecución de este proyecto se debe tener en cuenta un monto de \$21,69 para la elaboración de dos platos, este valor es estimado mediante un análisis financiero de los materiales y recursos utilizados.
- Como producto final se obtuvo dos platos C/B – 80/20 con un peso inicial de 80 gr y final 65-75 gr con un diámetro de 10 cm y un espesor de 5 mm compactado a través de un prototipo de molde de yeso.

- La investigación realizada ha permitido demostrar que la propiedad del material compuesto converge en la cantidad de Celulosa adicionada a la matriz del BHET, lo que permite obtener un material con buenas propiedades que puede ser utilizado en una gran variedad de aplicaciones, las principales características están relacionada a las buenas propiedades mecánicas. Por lo tanto, los materiales compuestos que contienen desechos provenientes de actividades agroindustriales son de gran importancia ambiental. Ya que no solo se permite el uso de residuos, si no que permite incluir materiales biodegradables como el BHET a partir del reciclaje de botellas plásticas con buenas propiedades de combinación siendo una alternativa a nivel industrial a su vez un gran aporte socio-ambiental mediante el aprovechamiento de los recursos ya generados.

8 CAPÍTULO: BIBLIOGRAFÍA

- (ICCO), I. C. O. (2015). Ad hoc Panel on Fine or Flavour Cocoa. *Review of Annex C of the International Cocoa Agreement 2010*, 29.
- (INIAP), I. N. de I. A. (2017). Análisis de la Cadenaq de Cacao y Perspectivas de los Mercados para la Amazonía Norte. *Miscelánea*, (153), 94.
- (INIAP) Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. (2009). Manual de Cultivo de Cacao para la Amazonía Ecuatoriana, (76), 6–10.
- A.R. Villamizar-Jaimes, & López-Giraldo, L. J. (2017). Cáscara de cacao fuente de polifenoles y fibra: simulación de una planta piloto para su extracción. *Respuestas*, 22(1), 75–83. <https://doi.org/10.22463>
- Acebo Plaza, M. (2016). Industria de Cacao. *Estudios Industriales*, 42. Retrieved from <http://www.espae.espol.edu.ec/publicaciones-de-espae/>
- Al-sabagh, A. M., Yehia, F. Z., Eshaq, G., Rabie, A. M., & Elmetwally, A. E. (2015). Greener routes for recycling of polyethylene terephthalate. *EGYPTIAN JOURNAL OF PETROLEUM*. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.03.001>
- Alberca Peña, Y. L. (2018). *DESARROLLO DE UN TÉ CON CASCARILLA DE LA ALMENDRA DEL CACAO (Theobroma cacao L.) FINO DE AROMA Y CCN-51*. UDLA.
- Aldaz, F. (2019). *Depolimerización de PET (tereftalato de polietileno) mediante bloqueo de escisión de cadena polimérica como alternativa para su reciclaje químico*.
- Arrieta, M. P. (2013). Films de PLA y PLA-PHB plastificados para su aplicación en envases de alimentos. Caracterización y análisis de los procesos de degradación. *Universidad Politécnica de Valencia*, 202. <https://doi.org/10.1174/021435502753511268>
- Avérous, L., & Pollet, E. (2012). Biodegradable Polymers\rEnvironmental Silicate Nano-Biocomposites. In 21 (pp. 13–39). https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4108-2_2
- Baena, L. M., & Garcia, N. (2012). *OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FIBRA DIETARÍA A PARTIR DE CASCARILLA DE LAS SEMILLAS TOSTADAS DE Theobroma cacao L. DE UNA INDUSTRIA CHOCOLATERA COLOMBIANA*. Universidad Tecnológica de Pereira.
- Barrera, M., Hidalgo, M. A., & Mina, J. (2012). Compuestos Laminados De Matriz Polimérica Reforzados Con Fibras Naturales: Comportamiento Mecánico. *Scientia et Technica*, 17(51), 51–59.
- Basque Mora, J. J., & Quezada Andrade, J. E. (2016). *Estudio cinético de la reacción para la obtención de la resina tereftálica utilizando el anhídrido maleico*.
- Beltrán, M., & Marcilla, A. (2012). *Tecnología de Polimeros, Procesado y Propiedades*.
- Bertolotti, B., Rospigliosi, C., & Nakamatsu, J. (2005). Poliésteres y reciclaje químico del

- Poli(tereftalato de etileno). *Revista de Química*, (7), 13–20.
- Blanco, F. (2012). Materiales polimericos y compuestos. Materiales poliméricos de mayor interés industrial.
- Bulushev, D. ., & Ross, J. R. . (2011). *Catalysis for conversion of biomass to fuels via pyrolysis and gasification* (Vol. 171).
- Bustamante, B. (2011). La Degradacion de los plasticos.
- Castelló, M., Barrera, C., Perez, E., & Valls, N. (2017). *Reducción del tamaño de partículas y tamizado de sólidos*. Universidad Politecnica de Valencia. Retrieved from [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/82132/Castelló%3BBarrera%3BPérez-Reducción del tamaño de partícula y tamizado de partículas.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/82132/Castelló%3BBarrera%3BPérez-Reducción%20del%20tamaño%20de%20partícula%20y%20tamizado%20de%20partículas.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Celis, M. T., Manchego, L., & Contreras, M. (2008). Efecto del polímero carboximetil celulosa de sodio sobre la inversión de emulsiones. *Revista Ciencia e Ingeniería*, 10.
- Chafla, A., Rodriguez, Z., Boucourt Salabarría, R., & Torres Cárdenas, V. (2016). Caracterización de los residuos de cosecha de cacao en la Amazonía, Ecuador. *V Congreso Internacional de Producción Animal Tropical*.
- Cierva, J. de la. (2009). *Ciencia y Tecnologia de los Plasticos*.
- Cuenca Valencia, J. R., & Figueroa Brazzini, J. P. (2010). *Diseño y construccion de un desgasificador al vacío para la extrusora de PET post consumo del LMM*.
- De La Cruz, J., Vargas, M. ., & Del Angel, O. . (2009). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). CACAO: Operaciones Poscosecha. *Fao*, 1–78. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-au995s.pdf>
- Díaz, L., Peña, A., & Pérez, J. (2016). *Materiales compuestos reforzados con fibras naturales*. Universidad Militae Nueva Granada.
- Dieter Klemm, B., Heublein, H., Fink, P., & Bohn, A. (2005). Cellulose: Fascinating Biopolymer and Sustainable Raw Material. *Angewandte Chemie International*, 44, 3358–3393.
- Dufresne, A. (2018). *Nanocellulose: From Nature to High Performance Tailored Materials*. France.
- Elgegren, M., Tiravantia, G., Ortiza, B., Oteroa, M., Wagnerb, F., Cerróna, D. A., & Nakamatsua, J. (2012). Reciclaje Químico De Desechos Plásticos. *Revista de La Sociedad Química Del Perú-Redalic*, 78(2), 105–119.
- Elias, X., & Jurado, L. (2012). *LOS PLÁSTICOS RESIDUALES Y SUS POSIBILIDADES DE VALORACIÓN*.
- Espino-Pérez, E., Bras, J., Almeida, G., Relkin, P., Belgacem, N., Plessis, C., & Domenek, S. (2016). Funcionalización de la superficie de nanocristales de celulosa para la sorción controlada de agua y vapores orgánicos. *Celulosa, Volumen 23*, 2955–2970. <https://doi.org/10.1007 / s10570-016-0994-y>

- Estrada Flores, J. D. (2011). *Alternativas de Biodegradabilidad del Polietilentereftalato (PET)*. CIQA.
- Fernández, A. (2013). *Optimización de bandejas de EPS y PET. Caracterización de las propiedades del material y diseño mediante MEF*.
- Ferreira, F. V., Dufresne, A., Pinheiro, I. F., Souza, D. H., Gouveia, R. F., Mei, L. H., & Lona, L. M. (2018). Cómo afectan los nanocristales de celulosa a las propiedades generales de los nanocompuestos de polímeros biodegradables: una revisión exhaustiva. *European Polymer Journal*, *Volumen 10*, 274–285. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2018.08.045>
- Follain, N., Belbekhouche, S., Bras, J., Siqueir, G., Marais, S., & Dufresne, A. (2013). Propiedades de transporte de agua de bio-nanocompuestos reforzados por nanocristales de celulosa *Luffa cylindrica*. *Journal of Membrane Science*, *Volumen 42*, 218–229. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2012.09.048>
- Frías, C. (2009). La situación de los envases de plástico en México, 14–24.
- Fuente, C., Gallegos, M. V., Moyano, D., Peluso, A., Cortizo, S., & Sambeth, J. (2017). Glicólisis de PET usando como catalizadores sólidos recuperados de pilas.
- Gañán, P., Zuluaga, R., Catro, C., Restrepo, A., Velásquez, J., Osorio, M., ... Molina, C. (2017, June). CELULOSA: UN POLÍMERO DE SIEMPRE CON MUCHO FUTURO Piedad. *Revista Colombiana de Materiales*, 1–4.
- García-Estrada, Salgado-García, S., Bolio-López, G. ., Córdova-Sánchez, S., Lagunes-Espinoza, L. ., Falconi-Calderón, R., & Veleza, L. (2017). METHODS USED TO EXTRACT CELLULOSE FROM SUGAR CANE (*Saccharum* spp.) STRAW, (January 2018).
- Guanca, M., May, L., López, J., Soto, J., Rendón, S., & Mondragón, K. (2015). Comportamiento reológico del material compuesto de almidón de papa (comercial) reforzado con material paticulado de guadua (*Angustifolia Kunth*). *Revista Informador Técnico*, *72(2)*, 16–19.
- Guerrero, V., Pontón, P., Tamayo, A., Villacís, H., Delgado, F., & Galeas, S. (2013). Materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibras naturales y sintéticas. *Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE*, *8(1)*, 70–74.
- Han, M. (2019). *Depolymerization of PET Bottle via Methanolysis and Hydrolysis. Recycling of Polyethylene Terephthalate Bottles*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811361-5.00005-5>
- Heredia, S. (2015). *Estudio del efecto de las condiciones de los tratamientos químicos en el proceso de obtención de andamios porosos para aplicaciones biomédicas*. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.
- Hernández, A. R. (2007). Estudio de la Depolimerización del Politereftalato de Etileno. *Revista de Química*, *9*, 346–351.
- Herrera Reséndiz, J. R., & Estrada Monje, A. (2012). *Despolimerización de botellas de*

Poli(tereftalato de etileno) post-consumo mediante glicólisis.

Jones, M. (2012). *Procesamiento de Plásticos, Inyección Moldeo, Hule, PVC.*

Kargarzadeh, H., Huang, J., Lin, N., Ahmad, I., Mariano, M., Dufresne, A., ... Gałęski, A. (2018). Recent developments in nanocellulose-based biodegradable polymers, thermoplastic polymers, and porous nanocomposites. *Progress in Polymer Science*, 87, 197–227. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2018.07.008>

Kumar, P., Barrett, D. M., Delwiche, M. J., & Stroeve, P. (2009). Methods for Pretreatment of Lignocellulosic Biomass for Efficient Hydrolysis and Biofuel Production. *Ind. Eng. Chem*, 48, 3713–3729.

Labeaga Viteri, A. (2018). Polímeros biodegradables . Importancia y potenciales aplicaciones.

León Fernández, V. (2015). Obtención y caracterización de un nuevo copolímero de celulosa, su evaluación como cubierta entérica del diclofenaco de sodio y análisis del mecanismo de liberación. *Editorial Universitaria*, 115.

Marcano, E., Padilla, A., & Calderón, D. (2009). Obtención de azúcares a partir de celulosa kraft mediante hidrólisis con ácido sulfúrico diluido. *Agricultura Andina Revista*, 12.

Márquez, G. J. H., & Zapata, L. M. (2008). *APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS. UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA.* <https://doi.org/10.11113/jt.v56.60>

Morales De La Rosa, S. (2015). *HIDRÓLISIS ÁCIDA DE CELULOSA Y BIOMASA LIGNOCELULÓSICA ASISTIDA CON LÍQUIDOS IÓNICOS.* Universidad Autónoma de Madrid.

Navarro-Pedreño, J. (1995). *Residuos orgánicos y agricultura.*

Nieto, A. F., Argüelles, A. T., & Basadre, J. C. C. (2008). *El envase de polietilentereftalato: su impacto medioambiental y los métodos para su reciclado.*

Nizama, K. (2015). *Obtención y Caracterización de Pectina a partir de Cáscara de Cacao (Theobroma cacao L.).* Universidad Nacional de Piura.

Okamoto, M. (2005). Biodegradable Polymer/Layered Silicate Nanocomposites: A Review. *Manual de Materiales Poliméricos Biodegradables y Sus Aplicaciones* , Publishers Scientific American, 1, 1–45.

Padilla, A. (2014). *DISEÑO DEL PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE RESINA POLIÉSTER INSATURADA MEDIANTE EL RECICLAJE QUÍMICO DE DESECHOS DE POLIETILENTEREFTALATO (PET).* Escuela Politécnica Nacional.

Perales, M. (2012). *“Modificación Estructural del Polietilentereftalato con Ácido Poliláctico. Síntesis de Polímeros Biodegradables.”*

Pérez, L. M., & Ruiz, M. R. (2009). Reciclaje de botellas de PET para obtener fibra de poliéster.

- Quevedo, E. (2017). *Influencia de las unidades de albañilería tipo pet sobre las características técnicas y económicas de viviendas ecológicas para la zona de expansión del distrito de nuevo chimbote, ancash*.
- Recytrans. (2013). Reciclaje de residuos orgánicos - Gestión de residuos - Soluciones Globales para el Reciclaje. Retrieved November 25, 2019, from <https://www.recytrans.com/blog/reciclaje-de-residuos-organicos/>
- Rodríguez, A. (2012). Biodegradabilidad de materiales bioplásticos. . In *Ciencia y Tecnología de alimentos vol. 22, no. 3* (D-Instit, pp. 69–72).
- Rodríguez García, I. M. (2006). Caracterización química de fibras de plantas herbáceas utilizadas para la fabricación de pastas de papel de alta calidad [Recurso electrónico] / Isabel María Rodríguez García ; directores, José C. del Río Andrade, Ana Gutiérrez Suárez.
- Romero Moreira, R. M. (2017). *Análisis Económico del reciclaje y el cuidado del medio ambiente en el Ecuador. Tesis*. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.90.4.644>
- Sabagh, A., Yehia, F., Eshaq, G., & ElMetwally, A. (2016). Greener routes for recycling of polyethylene terephthalate. *Egyptian Journal of Petroleum*, 53–64. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.03.001>
- Sánchez, J. (2013). *Evaluación energética de cáscaras de Cacao Nacional y CCN-51. El Escorial*. Universidad de Cuenca.
- SEO BirdLife, & Ecoembes. (2019). Impacto del abandono del plástico en la naturaleza, 24. Retrieved from https://proyectolibera.org/wp-content/uploads/2019/03/Impacto-de-los-plásticos-abandonados_LIBERA-def-1.pdf
- Seymour, R., & Carraher, C. (2013). *Introducción a la Química de los Polímeros*.
- Sheel, A., & Pant, D. (2019). *4 Chemical Depolymerization of PET Bottles via Glycolysis. Recycling of Polyethylene Terephthalate Bottles*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811361-5.00004-3>
- Sun, Y., & Cheng, J. (2002). NoHydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production. *Bioresour. Technol.*, 83, 1–11.
- Torres, Y. (2016). *Caracterización de biomasa lignocelulósica (theobroma cacao l) para su uso en la obtención de etanol por vía fermentativa*. Universidad Santo Tomás.
- Valero, M., Ortigón, Y., & Uscategui, Y. (2013). Avances biopolímeros, 171–180.
- Vazquez, A., & Velasco Perez, M. (2016). Bioplásticos y plásticos degradables, (May). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1294.4241>
- Velasco, M. U., & Mehrenberger, P. Y. (1996). *Los Polímeros , Síntesis, Caracterización, Degradación, Reología*.
- Velásquez, S. M., Pelaéz, G. J., & Giraldo, D. H. (2016). Use of vegetable fibers in polymer matrix composites : a review with a view to their application in designing new products.

SENA Centro Nacional de Asistencia Técnica a La Industria, 77–86.

Vicent, F. B., Gimeno, O. F., & Muños, N. M. (2016). *Caracterización de materiales poliméricos*. (U. P. de Valencia, Ed.).

Vilaseca, F., Valadez, A., Herrera, P., Àngels, M., Pere, J., & Pere, M. (2010). “Biocomposites from abaca strands and polypropylene. Part I: Evaluation of the tensile properties.” *Bioresource Technology*, *101*, 387–395.

Virginie, M. (2011). *Los caminos del reciclaje*.

Zhu, M., Shan, L., Zengxi, L., Xingmei, L., & Suojiang, Z. (2012). Investigation of solid catalysts for glycolysis of polyethylene terephthalate. *Chemical Engineering Journal*, *185–186*, 168–177. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.01.068>

9 ANEXOS

Anexo 1: Registro de datos del peso final de cada pastillas con cada una de las condiciones de prensado.

Tabla 27 Peso Final y condiciones de prensado relación B/C (60/40 – 80/20)

RELACION 60/40 T= 90 °C Tiempo = 1.5 min Presión = 150 Po= 2,5 gr		RELACION 80/20 T= 110°C Tiempo = 1 min Presión = 50 Po= 3 gr	
B/C	<i>Peso Final(gr)</i>	B/C	<i>Peso Final(gr)</i>
B/C_1	1.4	B/C_1	0.68
B/C_2	1.36	B/C_2	0.73
B/C_3	1.3	B/C_3	0.8
B/C_4	1.57	B/C_4	0.73
Promedio del Peso Final	1.4075	Promedio del Peso Final	0.735

Tabla 28 Peso Final y condiciones de prensado relación B/C (70/30 – 50/50)

RELACION 70/30 T= 100 °C Tiempo = 3 min Presión = 150 Po= 4 gr		RELACION 50/50 T= 90 °C Tiempo = 1 min Presión = 100 Po= 2,5 gr	
B/C	<i>Peso Final(gr)</i>	B/C	<i>Peso Final(gr)</i>
B/C_1	1.7	P/C_1	1.01
B/C_2	1.53	P/C_2	0.96
B/C_3	1.4	P/C_3	1.07
B/C_4	1.31	P/C_4	0.92
Promedio del Peso Final	1.485	Promedio del Peso Final	0.99

Tabla 29 Peso Final y condiciones de prensado relación C/B (60/40 – 80/20-70/30)

RELACION 60/40 T= 100 °C Tiempo = 3 min Presión = 150 Po= 2 gr		RELACION 80/20 T= 110°C Tiempo = 1 min Presión = 100 Po= 2 gr		RELACION 70/30 T= 100 °C Tiempo = 4 min Presión = 150 Po= 2 gr	
C/B	<i>Peso Final(gr)</i>	C/B	<i>Peso Final(gr)</i>	C/B	<i>Peso Final(gr)</i>
C/B_1	1.43	C/B_1	1.67	C/B_1	1.51
C/B_2	1.33	C/B_2	1.7	C/B_2	1.49
C/B_3	1.37	C/B_3	1.67	C/B_3	1.58
C/B_4	1.29	C/B_4	1.79	C/B_4	1.49
Promedio del Peso Final	1.355	Promedio del Peso Final	1.7075	Promedio del Peso Final	1.5175

Anexo 2: Registro de datos de la Dureza de las pastillas

**DUREZA DE LAS MUESTRAS
DOSIFICADO BETH (2-bis hidroexil tereftalato) /CELULOSA**



Tabla 30: Dureza B/C 60/40

RELACIÓN 60/40						
B/C	P1	P2	P3	P4	P5	Promedio
B/C_1	96	89	97	98	96	95.2
B/C_2	87	97	94	88	93	91.8
B/C_3	90	91	95	90	84	90
B/C_4	95	94	93	94	93	93.8
DURESA DEL MATERIAL RELACION 60/40						92.7

Tabla 31: Dureza B/C 80/20

RELACIÓN 80/20						
B/C	P1	P2	P3	P4	P5	Promedio
B/C_1	93	98	96	95	98	96
B/C_2	94	96	93	96	95	94.8
B/C_3	98	92	94	97	96	95.4
B/C_4	90	91	94	91	89	91
DURESA DEL MATERIAL RELACION 80/20						94.3

Tabla 33 : Dureza B/C - 70/30

RELACIÓN 70/30						
B/C	P1	P2	P3	P4	P5	Promedio
B/C_1	98	94	95	92	95	94.8
B/C_2	93	95	96	94	95	94.6
B/C_3	95	91	96	92	94	93.6
B/C_4	95	96	96	98	98	96.6
DURESA DEL MATERIAL RELACION 70/30						94.9

Tabla 32: Dureza B/C- 50 /50

RELACIÓN 50/50						
B/C	P1	P2	P3	P4	P5	Promedio
B/C_1	95	96	96	93	94	94.8
B/C_2	95	97	95	96	99	96.4
B/C_3	95	95	93	97	96	95.2
B/C_4	91	89	92	90	91	90.6
DURESA DEL MATERIAL RELACION 50/50						94.25

**DUREZA DE LAS MUESTRAS
DOSIFICADO CELULOSA / BETH (2-bis hidroexil tereftalato)**



Tabla 35: Dureza C/B – 60/40

Tabla 34: Dureza C/B – 80/20

RELACIÓN 60/40						
C/B	P1	P2	P3	P4	P5	Promedio
C/B_1	98	95	91	90	96	94
C/B_2	90	94	96	93	98	94.2
C/B_3	91	90	92	93	98	92.8
C/B_4	94	89	90	98	95	93.2
DURESA DEL MATERIAL RELACION 60/40						93.55

RELACIÓN 80/20						
C/B	P1	P2	P3	P4	P5	Promedio
C/B_1	98	97	99	95	97	97.2
C/B_2	98	96	97	98	93	96.4
C/B_3	97	96	97	96	98	96.8
C/B_4	94	96	97	97	96	96
DURESA DEL MATERIAL RELACION 80/20						96.6

Tabla 36 Dureza C/B - 70/30

RELACIÓN 70/30						
C/B	P1	P2	P3	P4	P5	Promedio
C/B_1	94	93	95	97	90	93.8
C/B_2	96	97	98	96	98	97
C/B_3	93	95	94	95	92	93.8
C/B_4	95	96	95	96	94	95.2
DURESA DEL MATERIAL RELACION 70/30						94.95

Anexo 3:Registro de datos de las dimensiones ancho y diámetro de las pastillas.

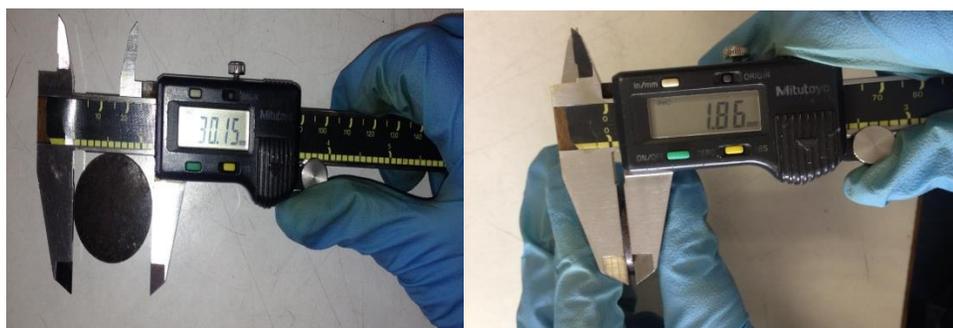


Tabla 37: Dimensiones : Ancho- Diámetro

MEDICIONES DE CALIBRADOR (mm)

C/B	Ancho	Diámetro	B/C	Ancho	Diámetro
C/B 70/30	1.73	30.17	B/C 70/30	1.53	30.25
C/B 80/20	1.98	30.09	B/C 80/20	0.95	30.07
C/B 60/40	1.61	30.19	B/C 60/40	1.45	30.14
			B/C 50/50	1.08	30.15

Anexo 4:Registro de datos del peso perdido (gr) en las pastillas.

Tabla 38 Datos de peso en semanas

SEMANAS		SEMANTAS									PROMEDIO
		Peso inicial	3/10/2019	10/10/2019	17/10/2019	24/10/2019	31/10/2019	7/11/2019	14/11/2019	21/11/2019	
DEGRADACIÓN EN SUSTRATO ORGÁNICO (gr)											
C/B	80/20	1,70	2.32	2.32	2.29	2.28	2.25	2.22	2.19	2.17	2,25
C/B	70/30	1,51	2.5	2.46	2.4	2.1	2	1.9	1.85	1.7	2,11
C/B	60/40	1,35	1.85	1.85	1.83	1.82	1.82	1.8	1.79	1.79	1,81
C/B y B/C	50/50	0,99	1.18	1.18	1.18	1.15	1.14	1.14	1.12	1.13	1,15
B/C	80/20	0,73	0.91	0.91	0.91	0.89	0.88	0.88	0.86	0.85	0,88
B/C	70/30	1,48	1.73	1.7	1.69	1.68	1.65	1.6	1.62	1.6	1,65
B/C	60/40	1,40	2	2	2	1.98	1.95	1.95	1.92	1.92	1,96
DEGRADACIÓN EN AGUA (gr)											
C/B	80/20	1,70	2,76	2,75	2,74	2,73	2,72	2,7	2,7	2,65	2,72
C/B	70/30	1,51	2,47	2,44	2,43	2,42	2,4	2,39	2,38	2,37	2,41
C/B	60/40	1,35	2,39	2,39	2,37	2,36	2,35	2,32	2,31	2,38	2,36
C/B y B/C	50/50	0,99	1,88	1,84	1,79	1,75	1,7	1,67	1,64	1,6	1,73
B/C	80/20	0,73	1,57	1,58	1,56	1,54	1,5	1,48	1,47	1,39	1,51
B/C	70/30	1,48	1,93	1,93	1,92	1,91	1,91	1,88	1,85	1,8	1,89

B/C	60/40	1,40	1,65	1,65	1,64	1,6	1,59	1,59	1,56	1,5	1,60
DEGRADACIÓN POR LUZ ARTIFICIAL (gr)											
C/B	80/20	1,70	1,70	1,69	1,67	1,65	1,58	1,58	1,57	1,68	
C/B	70/30	1,51	1,56	1,54	1,52	1,52	1,5	1,48	1,46	1,46	
C/B	60/40	1,35	1,5	1,46	1,44	1,42	1,42	1,42	1,39	1,39	
C/B y B/C	50/50	0,99	1,05	1,05	1,05	1,05	1,03	1,01	1,01	0,98	
B/C	80/20	0,73	1,02	0,89	0,9	0,84	0,82	0,79	0,78	0,72	
B/C	70/30	1,48	1,71	1,7	1,68	1,59	1,55	1,53	1,53	1,46	
B/C	60/40	1,40	1,72	1,68	1,64	1,61	1,57	1,57	1,55	1,39	

Anexo 5: Proyección del tiempo de degradación en Sustrato Orgánico, Agua y Luz Artificial en función del peso perdido (gr)

Tabla 39: Tiempo de Degradación en Sustrato Orgánico

SEMANAS	B/C (gr)				C/B (gr)		
	80/20	70/30	60/40	50/50	80/20	70/30	60/40
1	2,33	2,49	1,85	1,19	0,99	1,75	2,01
2	2,31	2,46	1,84	1,18	0,96	1,73	1,94
3	2,29	2,44	1,83	1,17	0,93	1,71	1,87
4	2,27	2,41	1,82	1,15	0,90	1,69	1,79
5	2,24	2,39	1,81	1,14	0,87	1,67	1,72
6	2,22	2,36	1,81	1,13	0,84	1,65	1,64
7	2,20	2,34	1,80	1,12	0,81	1,63	1,57
8	2,18	2,31	1,79	1,11	0,78	1,61	1,50
9	2,15	2,29	1,78	1,10	0,75	1,59	1,42
10	2,13	2,26	1,77	1,08	0,73	1,57	1,35
11	2,11	2,24	1,76	1,07	0,70	1,55	1,27
12	2,09	2,21	1,75	1,06	0,67	1,53	1,20
13	2,06	2,19	1,74	1,05	0,64	1,51	1,13
14	2,04	2,16	1,73	1,04	0,61	1,49	1,05
15	2,02	2,13	1,72	1,02	0,58	1,47	0,98
16	2,00	2,11	1,71	1,01	0,55	1,45	0,90
17	1,97	2,08	1,70	1,00	0,52	1,43	0,83
18	1,95	2,06	1,69	0,99	0,49	1,41	0,76
19	1,93	2,03	1,68	0,98	0,47	1,39	0,68
20	1,91	2,01	1,67	0,97	0,44	1,37	0,61
21	1,88	1,98	1,66	0,95	0,41	1,35	0,53
22	1,86	1,96	1,65	0,94	0,38	1,33	0,46
23	1,84	1,93	1,64	0,93	0,35	1,31	0,39

24	1,82	1,91	1,63	0,92	0,32	1,29	0,31
25	1,79	1,88	1,62	0,91	0,29	1,27	0,24
26	1,77	1,86	1,61	0,89	0,26	1,25	0,16
27	1,75	1,83	1,60	0,88	0,23	1,23	0,09
28	1,73	1,80	1,59	0,87	0,21	1,21	0,02
29	1,70	1,78	1,58	0,86	0,18	1,19	
30	1,68	1,75	1,57	0,85	0,15	1,17	
31	1,66	1,73	1,57	0,84	0,12	1,15	
32	1,64	1,70	1,56	0,82	0,09	1,13	
33	1,61	1,68	1,55	0,81	0,06	1,11	
34	1,59	1,65	1,54	0,80	0,03	1,09	
35	1,57	1,63	1,53	0,79	0,00	1,07	
36	1,55	1,60	1,52	0,78		1,05	
37	1,52	1,58	1,51	0,76		1,03	
38	1,50	1,55	1,50	0,75		1,01	
39	1,48	1,53	1,49	0,74		0,99	
40	1,46	1,50	1,48	0,73		0,97	
41	1,43	1,47	1,47	0,72		0,95	
42	1,41	1,45	1,46	0,71		0,93	
43	1,39	1,42	1,45	0,69		0,91	
44	1,37	1,40	1,44	0,68		0,89	
45	1,34	1,37	1,43	0,67		0,87	
46	1,32	1,35	1,42	0,66		0,85	
47	1,30	1,32	1,41	0,65		0,83	
48	1,28	1,30	1,40	0,64		0,81	
49	1,25	1,27	1,39	0,62		0,79	
50	1,23	1,25	1,38	0,61		0,77	
51	1,21	1,22	1,37	0,60		0,75	
52	1,19	1,19	1,36	0,59		0,73	
53	1,16	1,17	1,35	0,58		0,71	
54	1,14	1,14	1,34	0,56		0,69	
55	1,12	1,12	1,33	0,55		0,67	
56	1,10	1,09	1,33	0,54		0,65	
57	1,07	1,07	1,32	0,53		0,63	
58	1,05	1,04	1,31	0,52		0,61	
59	1,03	1,02	1,30	0,51		0,59	
60	1,01	0,99	1,29	0,49		0,57	
61	0,98	0,97	1,28	0,48		0,55	
62	0,96	0,94	1,27	0,47		0,53	

63	0,94	0,92	1,26	0,46		0,51	
64	0,92	0,89	1,25	0,45		0,49	
65	0,89	0,86	1,24	0,43		0,47	
66	0,87	0,84	1,23	0,42		0,45	
67	0,85	0,81	1,22	0,41		0,43	
68	0,83	0,79	1,21	0,40		0,41	
69	0,80	0,76	1,20	0,39		0,39	
70	0,78	0,74	1,19	0,38		0,37	
71	0,76	0,71	1,18	0,36		0,35	
72	0,74	0,69	1,17	0,35		0,33	
73	0,71	0,66	1,16	0,34		0,31	
74	0,69	0,64	1,15	0,33		0,29	
75	0,67	0,61	1,14	0,32		0,27	
76	0,65	0,59	1,13	0,30		0,25	
77	0,62	0,56	1,12	0,29		0,23	
78	0,60	0,53	1,11	0,28		0,21	
79	0,58	0,51	1,10	0,27		0,19	
80	0,56	0,48	1,09	0,26		0,17	
81	0,53	0,46	1,09	0,25		0,15	
82	0,51	0,43	1,08	0,23		0,13	
83	0,49	0,41	1,07	0,22		0,11	
84	0,47	0,38	1,06	0,21		0,09	
85	0,44	0,36	1,05	0,20		0,07	
86	0,42	0,33	1,04	0,19		0,05	
87	0,40	0,31	1,03	0,17		0,03	
88	0,38	0,28	1,02	0,16		0,01	
89	0,35	0,26	1,01	0,15			
90	0,33	0,23	1,00	0,14			
91	0,31	0,20	0,99	0,13			
92	0,29	0,18	0,98	0,12			
93	0,26	0,15	0,97	0,10			
94	0,24	0,13	0,96	0,09			
95	0,22	0,10	0,95	0,08			
96	0,20	0,08	0,94	0,07			
97	0,17	0,05	0,93	0,06			
98	0,15	0,03	0,92	0,05			
99	0,13	0,00	0,91	0,03			
100	0,11		0,90	0,02			
101	0,08		0,89	0,01			

102	0,06		0,88				
103	0,04		0,87				
104	0,02		0,86				
105	-	-				
194	-	-	0,00				

Tabla 40: Tiempo de Degradación en Agua

SEMANAS	B/C (gr)				C/B (gr)		
	80/20	70/30	60/40	50/50	80/20	70/30	60/40
1	3,90	3,49	2,95	2,20	3,14	2,69	2,79
2	3,86	3,46	2,88	2,18	2,92	2,60	2,66
3	3,83	3,43	2,82	2,15	2,69	2,51	2,54
4	3,79	3,39	2,76	2,12	2,47	2,42	2,41
5	3,76	3,36	2,69	2,09	2,24	2,33	2,29
6	3,72	3,33	2,63	2,07	2,02	2,24	2,16
7	3,69	3,30	2,57	2,04	1,79	2,15	2,04
8	3,65	3,27	2,50	2,01	1,56	2,06	1,91
9	3,62	3,24	2,44	1,98	1,34	1,97	1,79
10	3,58	3,21	2,38	1,96	1,11	1,88	1,66
11	3,55	3,18	2,31	1,93	0,89	1,79	1,54
12	3,51	3,15	2,25	1,90	0,66	1,70	1,41
13	3,48	3,11	2,18	1,87	0,44	1,60	1,29
14	3,44	3,08	2,12	1,85	0,21	1,51	1,16
15	3,41	3,05	2,06	1,82		1,42	1,04
16	3,37	3,02	1,99	1,79		1,33	0,91
17	3,34	2,99	1,93	1,76		1,24	0,79
18	3,30	2,96	1,87	1,74		1,15	0,66
19	3,27	2,93	1,80	1,71		1,06	0,54
20	3,23	2,90	1,74	1,68		0,97	0,41
21	3,20	2,87	1,68	1,65		0,88	0,29
22	3,16	2,83	1,61	1,63		0,79	0,16
23	3,13	2,80	1,55	1,60		0,70	0,04
24	3,09	2,77	1,49	1,57		0,61	
25	3,06	2,74	1,42	1,54		0,52	
26	3,02	2,71	1,36	1,52		0,43	
27	2,99	2,68	1,29	1,49		0,34	
28	2,95	2,65	1,23	1,46		0,25	

29	2,92	2,62	1,17	1,43		0,16	
30	2,88	2,59	1,10	1,41		0,07	
31	2,85	2,55	1,04	1,38			
32	2,81	2,52	0,98	1,35			
33	2,78	2,49	0,91	1,32			
34	2,74	2,46	0,85	1,30			
35	2,71	2,43	0,79	1,27			
36	2,67	2,40	0,72	1,24			
37	2,64	2,37	0,66	1,21			
38	2,60	2,34	0,59	1,19			
39	2,57	2,31	0,53	1,16			
40	2,53	2,27	0,47	1,13			
41	2,50	2,24	0,40	1,10			
42	2,46	2,21	0,34	1,08			
43	2,43	2,18	0,28	1,05			
44	2,39	2,15	0,21	1,02			
45	2,36	2,12	0,15	0,99			
46	2,32	2,09	0,09	0,97			
47	2,29	2,06	0,02	0,94			
48			
112	-	0,00	-				

Tabla 41 Tiempo de Degradación por Luz Artificial

SEMANAS	B/C (gr)				C/B (gr)		
	80/20	70/30	60/40	50/50	80/20	70/30	60/40
1	1,90	1,56	1,48	1,06	0,97	1,72	1,72
2	1,89	1,54	1,47	1,05	0,93	1,68	1,68
3	1,87	1,53	1,45	1,04	0,90	1,65	1,65
4	1,85	1,51	1,44	1,04	0,86	1,61	1,61
5	1,83	1,50	1,42	1,03	0,83	1,58	1,58
6	1,81	1,48	1,40	1,02	0,79	1,54	1,54
7	1,80	1,46	1,39	1,01	0,76	1,50	1,50
8	1,78	1,45	1,37	1,00	0,72	1,47	1,47
9	1,76	1,43	1,36	1,00	0,68	1,43	1,43
10	1,74	1,42	1,34	0,99	0,65	1,40	1,40
11	1,72	1,40	1,33	0,98	0,61	1,36	1,36
12	1,70	1,39	1,31	0,97	0,58	1,32	1,32
13	1,69	1,37	1,30	0,96	0,54	1,29	1,29

14	1,67	1,35	1,28	0,96	0,51	1,25	1,25
15	1,65	1,34	1,27	0,95	0,47	1,22	1,22
16	1,63	1,32	1,25	0,94	0,43	1,18	1,18
17	1,61	1,31	1,24	0,93	0,40	1,14	1,14
18	1,60	1,29	1,22	0,92	0,36	1,11	1,11
19	1,58	1,28	1,20	0,92	0,33	1,07	1,07
20	1,56	1,26	1,19	0,91	0,29	1,04	1,04
21	1,54	1,24	1,17	0,90	0,26	1,00	1,00
22	1,52	1,23	1,16	0,89	0,22	0,96	0,96
23	1,50	1,21	1,14	0,89	0,18	0,93	0,93
24	1,49	1,20	1,13	0,88	0,15	0,89	0,89
25	1,47	1,18	1,11	0,87	0,11	0,85	0,85
26	1,45	1,17	1,10	0,86	0,08	0,82	0,82
27	1,43	1,15	1,08	0,85	0,04	0,78	0,78
28	1,41	1,13	1,07	0,85	0,01	0,75	0,75
29	1,40	1,12	1,05	0,84		0,71	0,71
30	1,38	1,10	1,04	0,83		0,67	0,67
31	1,36	1,09	1,02	0,82		0,64	0,64
32	1,34	1,07	1,00	0,81		0,60	0,60
33	1,32	1,06	0,99	0,81		0,57	0,57
34	1,30	1,04	0,97	0,80		0,53	0,53
35	1,29	1,02	0,96	0,79		0,49	0,49
36	1,27	1,01	0,94	0,78		0,46	0,46
37	1,25	0,99	0,93	0,77		0,42	0,42
38	1,23	0,98	0,91	0,77		0,39	0,39
39	1,21	0,96	0,90	0,76		0,35	0,35
40	1,19	0,95	0,88	0,75		0,31	0,31
41	1,18	0,93	0,87	0,74		0,28	0,28
42	1,16	0,91	0,85	0,74		0,24	0,24
43	1,14	0,90	0,83	0,73		0,20	0,20
44	1,12	0,88	0,82	0,72		0,17	0,17
45	1,10	0,87	0,80	0,71		0,13	0,13
46	1,09	0,85	0,79	0,70		0,10	0,10
47	1,07	0,84	0,77	0,70		0,06	0,06
48	1,05	0,82	0,76	0,69		0,02	0,02
49	1,03	0,81	0,74	0,68			
50	1,01	0,79	0,73	0,67			
51	0,99	0,77	0,71	0,66			
52	0,98	0,76	0,70	0,66			

53	0,96	0,74	0,68	0,65			
54	0,94	0,73	0,67	0,64			
55	0,92	0,71	0,65	0,63			
56	0,90	0,70	0,63	0,62			
57	0,89	0,68	0,62	0,62			
58	0,87	0,66	0,60	0,61			
59	0,85	0,65	0,59	0,60			
60	0,83	0,63	0,57	0,59			
61	0,81	0,62	0,56	0,59			
62	0,79	0,60	0,54	0,58			
63	0,78	0,59	0,53	0,57			
64	0,76	0,57	0,51	0,56			
65	0,74	0,55	0,50	0,55			
66	0,72	0,54	0,48	0,55			
67	0,70	0,52	0,47	0,54			
68	0,69	0,51	0,45	0,53			
69	0,67	0,49	0,43	0,52			
70	0,65	0,48	0,42	0,51			
71	0,63	0,46	0,40	0,51			
72	0,61	0,44	0,39	0,50			
73	0,59	0,43	0,37	0,49			
74	0,58	0,41	0,36	0,48			
75	0,56	0,40	0,34	0,47			
76	0,54	0,38	0,33	0,47			
77	0,52	0,37	0,31	0,46			
78	0,50	0,35	0,30	0,45			
79	0,49	0,33	0,28	0,44			
80	0,47	0,32	0,27	0,44			
81	0,45	0,30	0,25	0,43			
82	0,43	0,29	0,23	0,42			
83	0,41	0,27	0,22	0,41			
84	0,39	0,26	0,20	0,40			
85	0,38	0,24	0,19	0,40			
86	0,36	0,22	0,17	0,39			
87	0,34	0,21	0,16	0,38			
88	0,32	0,19	0,14	0,37			
89	0,30	0,18	0,13	0,36			
90	0,28	0,16	0,11	0,36			
91	0,27	0,15	0,10	0,35			

92	0,25	0,13	0,08	0,34			
93	0,23	0,11	0,06	0,33			
94	0,21	0,10	0,05	0,32			
95	0,19	0,08	0,03	0,32			
96	0,18	0,07	0,02	0,31			
97	0,16	0,05	0,00	0,30			
98	0,14	0,04		0,29			
99	0,12	0,02		0,29			
100	0,10	0,00		0,28			
101	0,08			0,27			
102	0,07			0,26			
103	0,05			0,25			
104	0,03			0,25			
105	0,01			0,24			
135	-	-	-	...			