

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

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

**TRABAJO EXPERIMENTAL:**

**“OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA DE ALMIDÓN DOSIFICADO CON BHET  
CATALIZADO CON ÓXIDO DE METALES, MEDIANTE GLICÓLISIS DE PET”**

**AUTORES:**

JESSENIA BELÉN CAÑAR ARMIJOS

JUAN FERNANDO PARDO ENCALADA

**TUTOR:**

ING. JORGE BRAULIO AMAYA PINOS, Ph.D

CUENCA - ECUADOR

2021

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Jessenia Belén Cañar Armijos con documento de identificación N° 0105955090 y Juan Fernando Pardo Encalada con documento de identificación N° 0105810675, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA DE ALMIDÓN DOSIFICADO CON BHET CATALIZADO CON ÓXIDO DE METALES, MEDIANTE GLICÓLISIS DE PET”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniera Ambiental e Ingeniero 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 nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, marzo del 2021



Jessenia Belén Cañar Armijos

C.I. 0105955090



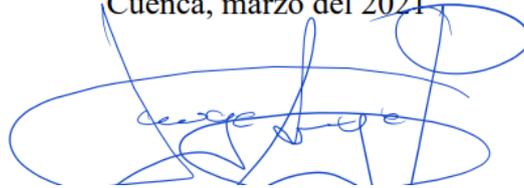
Juan Fernando Pardo Encalada

C.I. 0105810675

## CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA DE ALMIDÓN DOSIFICADO CON BHET CATALIZADO CON ÓXIDO DE METALES, MEDIANTE GLICÓLISIS DE PET”**, realizado por Jessenia Belén Cañar Armijos y Juan Fernando Pardo Encalada, obteniendo el *Trabajo Experimental* que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, marzo del 2021

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jorge Braulio Amaya Pinos', written over a large, stylized blue oval.

Ing. Jorge Braulio Amaya Pinos, Ph.D.

C.I. 0103444923

## DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Jessenia Belén Cañar Armijos con documento de identificación N° 0105955090 y Juan Fernando Pardo Encalada con documento de identificación N° 0105810675, autores del trabajo de titulación: **“OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA DE ALMIDÓN DOSIFICADO CON BHET CATALIZADO CON ÓXIDO DE METALES, MEDIANTE GLICÓLISIS DE PET”**, certificamos que el total contenido del *Trabajo Experimental*, es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, marzo del 2021



Jessenia Belén Cañar Armijos  
C.I. 0105955090



Juan Fernando Pardo Encalada  
C.I. 0105810675

## **DEDICATORIA**

A mi madre, Pilar Armijos, quien con todo su amor, paciencia, apoyo y esfuerzo me ha ayudado a cumplir hoy una meta más, por siempre confiar en mí, por ser el pilar más importante en mi vida y enseñarme a nunca dejarme ganar por las adversidades que la misma me pone, pero sobre todo te dedico esta investigación por enseñarme que con paciencia, esfuerzo y perseverancia se puede llegar muy lejos en la vida.

A mi padre, Stalin Cañar, por ser mi consejero, mi guía y siempre inculcarme el deseo de ser mejor cada día, a mi abuelita, Leonor Méndez, y a mis hermanas, Paula y Rafaela, por siempre estar presente en cada momento de mi vida y darme su apoyo incondicional.

*Jessenia Belén Cañar Armijos*

## **DEDICATORIA**

A mis padres Segundo Pardo y Cecilia Encalada, quienes me han apoyado a lo largo de mi carrera universitaria en todo aspecto, económico, moral y ético, a mis hermanos Diego, Paúl, Andrea y Santiago quienes siempre estuvieron al tanto de mis estudios, brindándome consejos y apoyo, de igual manera a mis abuelos Segundo, Elva y Balbina por estar siempre apoyándome y formándome a lo largo de mi vida.

*Juan Fernando Pardo*

## **AGRADECIMIENTO:**

Primeramente, a Dios, por llenarme de bendiciones, ser mi guía, protegerme y permitirme cumplir una meta más. A mi madre, por darme la oportunidad de estudiar en esta prestigiosa universidad y nunca dejar rendirme cuando parecía imposible culminar este camino.

A la Universidad Politécnica Salesiana por abrirme sus puertas y enriquecer mi conocimiento intelectual sin dejar de lado las enseñanzas espirituales, que en conjunto me ayudarán a ser un profesional de bien en esta nueva etapa de vida.

De igual forma quiero agradecer de manera muy especial al tutor del proyecto PhD. Jorge Amaya, quien con su experiencia, conocimiento, dedicación y predisposición ayudó a que esta investigación culmine de la mejor manera posible, pero sobre todo gracias por su paciencia y por nunca desfallecer en sus ganas de enseñarnos y compartir todo su conocimiento para hacer de nosotros unos mejores profesionales.

A mi compañero Juan Pardo, por todo su apoyo, dedicación, y amistad en esta última etapa de nuestras carreras, de igual forma quiero agradecer a todos mis compañeros y amigos que he ido conociendo en esta etapa tan linda de mi vida, gracias por todas las risas, complicidad y buenos momentos, dentro y fuera del aula, pero sobre todo gracias por haber hecho de esta etapa de mi vida mucho más linda.

*Jessenia Belén Cañar Armijos*

### **AGRADECIMIENTO:**

Primeramente, a Dios, por guiarme, protegerme en cada día de mi vida universitaria, a mis padres por darme la oportunidad de estudiar en esta prestigiosa carrera y siempre apoyarme.

A la Universidad Politécnica Salesiana por abrirme sus puertas y enriquecer mi conocimiento intelectual sin dejar de lado las enseñanzas espirituales que me ayudaron a formarme como persona y profesional.

De igual forma quiero agradecer de manera muy especial al tutor del proyecto PhD. Jorge Amaya, quien con su experiencia, conocimiento, dedicación y predisposición ayudó a que esta investigación culmine de la mejor manera posible, pero sobre todo gracias por su paciencia y por nunca desfallecer en sus ganas de enseñarnos y compartir todo su conocimiento para hacer de nosotros unos mejores profesionales.

A mi compañera Belén, por todo su apoyo, dedicación, y amistad en esta última etapa de nuestras carreras, de igual forma quiero agradecer a todos mis compañeros Christian, Pablo Darwin y Percy quien a lo largo de la carrera fueron un gran apoyo.

*Juan Fernando Pardo*

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como propósito obtener una película biodegradable a base de almidón de plátano extraído tanto de su cáscara como de su pulpa y dosificado con Bis-hidroxi-etilen tereftalato (BHET) producto derivado a partir del proceso químico de Glicólisis de PET catalizado con ZnO.

Para la obtención de óxido de Zinc se recicló pilas Everady tipo zinc-carbono, se recurrió a un proceso de filtración y calcinación a  $600^{\circ}\text{C}$  por 5 horas obteniendo de esta forma el ZnO como catalizador con un rendimiento del 66,03% de ZnO recuperado.

Para la despolimerización química del PET se recurrió al proceso químico de Glicólisis, aplicando una reacción de relación 4:1 Etilenglicol/PET (EG/PET) obteniendo un rendimiento de 76,25%, los valores iniciales para esta relación fueron: 2g de PET, 8.1 mL de EG y 0.03 g de catalizador.

Para la extracción de almidón se aplicó el método seco logrando un rendimiento de 44,21% y 67,12% para el almidón obtenido a partir de la cáscara en estado maduro e inmaduro respectivamente; y para el almidón obtenido a partir de la pulpa se obtuvo un rendimiento de 50,18% en estado maduro y 67,95% en estado inmaduro.

Se analizó mediante espectroscopia infrarroja (FTIR) el espectro de ZnO, BHET y almidón extraído, identificando su estructura molecular y comparando con una muestra estándar sus características y similitudes.

Finalmente se generó una película compuesta a base de BHET/almidón pulpa (B/AP) y BHET/almidón cáscara (B/AC) a diferentes dosificaciones: 50/50, 60/40, 70/30, 80/20 y 90/10, posteriormente se evaluó su degradabilidad y emisión de  $\text{CO}_2$  en un medio de sustrato

orgánico obteniendo como resultado que las pastillas de relación B/AC se degraden completamente en 44 días, siendo las primeras en degradarse las pastillas de dosificación 50/50 puesto que lo hicieron en 39 días, por otro lado, las pastillas de relación B/AP se degradaron completamente en 49 días, siendo las pastillas de dosificación 70/30 las primeraen degradarse ya que lo hicieron en 42 días. Además, las pastillas B/AP emitieron una media de 0,041 g de CO<sub>2</sub> por día y las pastillas B/AC emitieron una media de 0,037 g de CO<sub>2</sub> por día.

**Palabras Clave:** *BHET, óxido de Zinc, glicólisis, almidón, plátano, degradación, CO<sub>2</sub>.*

## ABSTRACT

The present research work aims to obtain a biodegradable film based on banana starch extracted from both its peel and its pulp and dosed with Bis-hydroxy-ethylene terephthalate (BHET), a product derived from the chemical process of PET Glycolysis catalyzed with ZnO.

To obtain zinc oxide, zinc-carbon type Everady batteries were recycled, a filtration and calcination process was used at 6000C for 5 hours, thus obtaining ZnO as a catalyst with a yield of 66.03% of recovered ZnO.

For the chemical depolymerization of PET, the chemical process of Glycolysis was used, applying a reaction of 4: 1 ratio Ethylene glycol / PET (EG / PET) obtaining a yield of 76.25%, the initial values for this ratio were: 2g of PET, 8.1 ml of EG and 0.03 g of catalyst.

For the starch extraction, the dry method was applied, obtaining a yield of 44.21% and 67.12% for the starch obtained from the shell in the mature and immature state respectively; and for the starch obtained from the pulp, a yield of 50.18% was obtained in the mature state and 67.95% in the immature state.

The spectrum of ZnO, BHET and extracted starch was analyzed by infrared spectroscopy (FTIR), identifying their molecular structure and comparing their characteristics and similarities with a standard sample.

Finally, a composite film based on BHET / pulp starch (B / AP) and BHET / shell starch (B / AC) was generated at different dosages: 50/50, 60/40, 70/30, 80/20 and 90 / 10, its degradability and CO<sub>2</sub> emission were subsequently evaluated in an organic substrate

medium, obtaining as a result that the tablets with a B / AC ratio were completely degraded in 44 days, being the first to degrade the tablets of 50/50 dosage since it made in 39 days, on the other hand, the B / AP ratio tablets were completely degraded in 49 days, being the 70/30 dosage tablets the first to degrade since they did so in 42 days. Furthermore, the B / AP tablets emitted an average of 0.041 g of CO<sub>2</sub> per day and the B / AC tablets emitted an average of 0.037 g of CO<sub>2</sub> per day.

**Key Words:** BHET, Zinc oxide, glycolysis, starch, banana, degradation, CO<sub>2</sub>.

## CONTENIDO

<b>1. CAPÍTULO</b> .....	<b>19</b>
1.1 Introducción .....	19
1.2 Antecedentes .....	20
1.3 Justificación .....	23
<b>2. CAPÍTULO: OBJETIVOS DEL PROYECTO</b> .....	<b>25</b>
2.1 Objetivos .....	25
2.1.1 <i>Objetivo General</i> .....	25
2.2 Objetivos específicos.....	25
<b>3. CAPÍTULO: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....	<b>26</b>
<b>3.1 Generalidades sobre las pilas</b> .....	<b>26</b>
<b>3.2 Características y Funcionamiento de las Pilas</b> .....	<b>26</b>
<b>3.3 Pilas o celdas primarias</b> .....	<b>27</b>
3.3.1 <i>Pilas Zinc –Carbono</i> .....	28
3.3.2 <i>Pilas Alcalinas</i> .....	29
3.3.3 <i>Pilas de Litio</i> .....	31
3.3.4 <i>Pilas Zinc-Plata</i> .....	32
3.3.5 <i>Pilas de Óxido de mercurio</i> .....	33
3.3.6 <i>Pilas Zinc-Aire</i> .....	33
3.3.7 <i>Componentes y usos de las principales pilas primarias</i> .....	34
<b>3.4 Pilas recargables o Celdas Secundarias</b> .....	<b>36</b>
3.4.1 <i>Níquel- Cadmio</i> .....	37
3.4.2 <i>Níquel Metal Hidruro</i> .....	37
3.4.3 <i>Ion Litio</i> .....	38
3.4.4 <i>Plomo</i> .....	38
3.4.5 <i>Componentes y usos de las principales pilas secundarias</i> .....	38
<b>3.5 Poliésteres</b> .....	<b>39</b>
3.5.1 <i>Politereftalato de Etileno (PET)</i> .....	41
3.5.2 <i>Líneas de producción y usos del PET</i> .....	47
3.5.3 <i>Impacto Ambiental del PET</i> .....	51
3.5.4 <i>Reciclaje del PET</i> .....	54
3.5.5 <i>Degradación del PET</i> .....	58
<b>3.6 Plátano</b> .....	<b>59</b>

3.6.1 Taxonomía del Plátano.....	59
3.6.2 Clasificación de los plátanos en Ecuador.....	60
<b>3.7 Almidón .....</b>	<b>62</b>
3.7.1 Polímeros de Almidón.....	63
3.7.2 Propiedades funcionales del plátano .....	64
3.7.3 Propiedades del almidón .....	64
3.7.4 Obtención de almidón .....	69
<b>3.8 Biodegradación en sustrato orgánico .....</b>	<b>70</b>
<b>3.9 Huella de Carbono .....</b>	<b>72</b>
3.9.1 Métodos de Cálculo de la Huella de Carbono.....	74
<b>3.10 Método de Walkey y Black.....</b>	<b>77</b>
<b>3.11 Análisis de Espectroscopia IR .....</b>	<b>80</b>
3.11.1 Modos normales de vibración .....	80
<b>4. CAPÍTULO: MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>83</b>
<b>4.1 Obtención de óxido de Zinc de pilas zinc-carbono.....</b>	<b>84</b>
4.1.1 Desmantelamiento de Pilas post-consumo para obtención de Zinc .....	84
4.1.2 Obtención de Sulfato de Zinc por método de filtración.....	86
4.1.3 Obtención de Óxido de Zinc mediante calcinación.....	89
<b>4.2 Degradación de PET mediante glicólisis .....</b>	<b>94</b>
4.2.1 Recolección manual de botellas y molienda.....	94
4.2.2 Glicólisis de PET .....	95
<b>4.3 Extracción de almidón de plátano .....</b>	<b>99</b>
<b>4.4 Elaboración de pastillas dosificadas con BHET y Almidón de Plátano.....</b>	<b>105</b>
4.4.1 Obtención de muestras dosificadas BHET/Almidón de pulpa de plátano (B/AP).....	105
4.4.2 Obtención de muestras dosificadas BHET/Almidón de cáscara de plátano (B/AC) .....	109
<b>4.5 Medición de huella de Carbono y Biodegradación mediante volumetría (titulación).....</b>	<b>114</b>
4.5.1 Acondicionamiento del Suelo .....	114
4.5.2 Montaje de muestras para estudio de Biodegradación .....	115
4.5.3 Cálculo de Carbono orgánico y materia orgánica .....	116
4.5.4 Cálculo de CO <sub>2</sub> y porcentaje de Biodegradación de pastillas BHET/Almidón.....	118
<b>5. CAPÍTULO: RESULTADOS .....</b>	<b>120</b>
<b>5.1 Obtención de Óxido de Zinc de pilas alcalinas .....</b>	<b>120</b>
5.1.1 Porcentaje de Rendimiento de Sulfato de Zinc.....	120
5.1.2 Porcentaje de rendimiento de Óxido de Zinc final.....	122
5.1.3 Análisis FTIR –Óxido de Zinc .....	124
<b>5.2 Porcentaje de rendimiento de BHET obtenido .....</b>	<b>126</b>

5.2.1 Análisis FTIR BHET .....	127
<b>5.3 Obtención de almidón de plátano .....</b>	<b>128</b>
5.3.1 Porcentaje de rendimiento de almidón obtenido.....	128
5.3.2 Prueba cualitativa de Lugol.....	131
5.3.3 Análisis FTIR – Almidón de plátano .....	132
<b>5.4 Biodegradación de pastillas B/A mediante volumetría.....</b>	<b>135</b>
5.4.1 Cálculo de parámetros para acondicionamiento de Suelo.....	135
5.4.1 Caracterización y descripción de la emisión de CO <sub>2</sub> y Biodegradación de pastillas (B/AP) y (B/AC) en sustrato orgánico. ....	137
<b>6. CAPÍTULO: DISCUSIÓN .....</b>	<b>153</b>
<b>7. CAPÍTULO: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>158</b>
<b>8. CAPÍTULO: BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>162</b>
<b>9. ANEXOS.....</b>	<b>170</b>

## ÍNDICE DE IMÁGENES

<i>Imagen 1.</i> Elementos de una celda zinc-carbono. ....	29
<i>Imagen 2.</i> Elementos de una celda alcalina .....	30
<i>Imagen 3.</i> Elementos de una celda zinc-plata.....	33
<i>Imagen 4.</i> Símbolo para identificación de envases PET.....	43
<i>Imagen 5.</i> Estructura química del PET (Polietilentereftálato).....	45
<i>Imagen 6.</i> PET de grado textil .....	48
<i>Imagen 7.</i> PET de grado botella .....	50
<i>Imagen 8.</i> Modos de vibración- molécula lineal/ molécula no lineal .....	81
<i>Imagen 9.</i> Recolección y desmantelamiento de pilas: a) Pilas recolectadas post –consumo; b) Contenedor de acero raspado para obtener Zinc.....	84
<i>Imagen 10.</i> Desmantelamiento de pilas: a) Retirada del tubo de Carbón; b) Zinc dentro del contenedor de acero.....	85
<i>Imagen 11.</i> Obtención de Zinc: a) Contenedor de acero en reposo para obtener zinc; b) Agua destilada con Zinc Metálico.....	85
<i>Imagen 12.</i> Sulfato de Zinc obtenido posterior al proceso de filtración.....	86
<i>Imagen 13.</i> Disolución de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> para obtenerlo en diferentes concentraciones .....	88
<i>Imagen 14.</i> Proceso de obtención de óxido de Zinc: a) Ácido Sulfúrico más Zinc en placa magnética; b) Filtrado del Sulfato de Zinc.....	89
<i>Imagen 15.</i> Obtención de muestras; (a) Preparación de Carbonato de Calcio; (b): Carbonato de Zinc completamente seco a 60°C y 300rpm. ....	92
<i>Imagen 16.</i> Obtención de Óxido de Zinc; (a) Carbonato de Zinc en la desecadora; (b): Óxido de Zinc obtenido .....	93
<i>Imagen 17.</i> Muestras de Botellas PET recolectadas y cortadas.....	94
<i>Imagen 18.</i> Molino de trituración .....	95

<i>Imagen 19.</i> Proceso de degradación de PET: a) Muestras a baño maría; b) Mezcla homogénea obtenida después del baño maría.....	96
<i>Imagen 20.</i> Mezcla obtenida previa a la obtención de BHET.....	97
<i>Imagen 21.</i> Refrigeración y congelación de muestras para obtención de BHET .....	97
<i>Imagen 22.</i> Cristales de BHET obtenidos mediante Glicólisis .....	98
<i>Imagen 23.</i> Preparación de Plátano especie Musa Paradisiaca; (a) Lavado y separación de cáscaras de la pulpa de plátano; (b): Pulpa de Plátano con corte transversal. ....	100
<i>Imagen 24.</i> Secado de pulpa de plátano en horno .....	102
<i>Imagen 25.</i> Máquina trituradora Retsch SM100.....	103
<i>Imagen 26.</i> Filtrado de almidón de plátano mediante una bomba de filtrado.....	104
<i>Imagen 27.</i> Colocación de muestras de pastillas en sustrato orgánico .....	115
<i>Imagen 28.</i> Montaje de muestras en desecador para estudio .....	116
<i>Imagen 29.</i> Sulfato de Zinc obtenido en diferentes concentraciones de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	121
<i>Imagen 30.</i> Prueba de Lugol; (a) Prueba de Lugol a almidón estándar; (b): Prueba de Lugol a almidón de Plátano obtenido en laboratorio.....	131
<i>Imagen 31.</i> Proceso de Biodegradación de pastillas BHET/Almidón de pulpa de plátano .....	138
<i>Imagen 32.</i> Proceso de Biodegradación de pastillas BHET/Almidón de cáscara de plátano .....	139
<i>Imagen 33.</i> Medición del diámetro de la pastilla obtenida con ayuda de un calibrador .....	178
<i>Imagen 34.</i> Medición del espesor de la pastilla obtenido con ayuda de un calibrador .....	179
<i>Imagen 35.</i> Pesaje de pastillas en balanza analítica .....	180

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Reducción del Mercurio en Pilas Alcalinas.....	30
<i>Figura 2.</i> Fórmulas de poliésteres termoplásticos .....	41
<i>Figura 3.</i> Formación del PET.....	41
<i>Figura 4.</i> Métodos para la elaboración del PET .....	44
<i>Figura 5.</i> Condensación del BHET para formar PET .....	44
<i>Figura 6.</i> Estructura de molécula de amilopectina .....	63
<i>Figura 7.</i> Estructura de molécula de amilosa .....	64
<i>Figura 8.</i> Espectro IR de absorbancia .....	81
<i>Figura 9.</i> Espectro IR de transmitancia .....	81
<i>Figura 10.</i> Grupos funcionales de una molécula .....	82
<i>Figura 11.</i> Porcentaje de rendimiento de las muestras de Óxido de Zinc obtenidas .....	124
<i>Figura 12.</i> Espectro FTIR- Óxido de Zinc comercial .....	124
<i>Figura 13.</i> Espectro FTIR- Óxido de Zinc obtenido .....	125
<i>Figura 14.</i> Rendimiento del BHET a diferentes dosificaciones .....	127
<i>Figura 15.</i> Espectro BHET obtenido mediante Glicólisis .....	127
<i>Figura 16.</i> Porcentaje de rendimiento de almidón de plátano en sus diferentes estados.....	131
<i>Figura 17.</i> Espectro del almidón de pulpa de plátano .....	132
<i>Figura 18.</i> Espectro del almidón de cáscara de plátano .....	133
<i>Figura 19.</i> Espectro del almidón comercial comparado con almidón de cáscara y pulpa de plátano .....	135
<i>Figura 20.</i> Dispersión de datos de g de CO <sub>2</sub> total producido diariamente por pastillas (B/AP) ....	140
<i>Figura 21.</i> Dispersión de datos de g de CO <sub>2</sub> total producido diariamente por pastillas (B/AC)....	141

<i>Figura 22.</i> Prueba de Normalidad para los g de CO2 producidos por pastillas a) (B/AP) y b) (B/AC)	143
<i>Figura 23.</i> Comparación del % de Biodegradación producido por pastillas (B/AP) y (B/AC)	144
<i>Figura 24.</i> Gráfica de línea ajustada de pérdida de Peso por día de pastillas (B/AP): a) 50/50; b) 60/40; c) 70/30; d) 80/20; e) 90/10.	146
<i>Figura 25.</i> Evaluación del tiempo de Biodegradación de pastillas (B/AP) obtenido de acuerdo a la pérdida de peso con su respectiva dosificación.	148
<i>Figura 26.</i> Gráfica de línea ajustada de pérdida de Peso por día de pastillas (B/AC): a) 50/50; b) 60/40; c) 70/30; d) 80/20; e) 90/10.	149
<i>Figura 27.</i> Evaluación del tiempo de Biodegradación de pastillas (B/AC) obtenido de acuerdo a la pérdida de peso con su respectiva dosificación.	150
<i>Figura 28.</i> Diagrama del proceso de obtención de Óxido de Zinc	170
<i>Figura 29.</i> Diagrama del proceso de degradación del PET	171
<i>Figura 30.</i> Diagrama de flujo de la extracción de almidón de plátano	172
<i>Figura 31.</i> Espectro obtenido de un Óxido de Zinc comercial	173
<i>Figura 32.</i> Espectro de la muestra A3 realizada para obtener óxido de zinc a nivel de laboratorio	174
<i>Figura 33.</i> Espectro de la muestra D3 realizada para obtener óxido de zinc a nivel de laboratorio	174
<i>Figura 34.</i> Espectro de la muestra A1 realizada para obtener óxido de zinc a nivel de laboratorio	175
<i>Figura 35.</i> Espectro de la muestra C3 realizada para obtener óxido de zinc a nivel de laboratorio	175
<i>Figura 36.</i> Espectro de la muestra C2 realizada para obtener óxido de zinc a nivel de laboratorio	176
<i>Figura 37.</i> Espectro de la muestra C1 realizada para obtener óxido de zinc a nivel de laboratorio	176
<i>Figura 38.</i> Espectro de la muestra D1 realizada para obtener óxido de zinc a nivel de laboratorio	177
<i>Figura 39.</i> Espectro de la muestra C3 realizada para obtener óxido de zinc a nivel de laboratorio	177

## TABLA DE CONTENIDOS

Tabla 1: Componentes de una celda primaria	27
Tabla 2: Componentes del Litio	32
Tabla 3: Componentes y usos de las pilas primarias	35
Tabla 4: Componentes y usos de las pilas secundarias	39
Tabla 5: Propiedades Físicas y Químicas del PET	47
Tabla 6: Producto y porcentaje del mismo que se envasó con PET	51
Tabla 7: Importaciones de Resina PET al Ecuador desde el año 2008 hasta el 2012	53
Tabla 8: Taxonomía del plátano	60
Tabla 9: Características de diferentes especies de plátano	61
Tabla 10: Características para un proceso de transición vítrea	65
Tabla 11: Factores que se requieren para un proceso de gelatinización	65
Tabla 12: Características que se requieren para un proceso de retrogradación	66

Tabla 13: Factores que se requieren para el proceso de desestructuración .....	67
Tabla 14: Factores para un proceso de biodegradación .....	68
Tabla 15: Volumen Final de la Disolución diluida.....	87
Tabla 16: Masa de Carbonato de Calcio en los diferentes porcentajes m/m que se trabajó .....	91
Tabla 17: Cantidad de Sulfato de Zinc colocada en Carbonato de Calcio en los diferentes porcentajes p/p .....	92
Tabla 18: Relación molar EG: PET.....	95
Tabla 19: Muestras a diferentes dosificaciones para el proceso de Glicólisis .....	99
Tabla 20: Pesos obtenidos para diferentes muestras recolectadas de cáscara de plátanos en estado maduro .....	101
Tabla 21: Pesos obtenidos para diferentes muestras recolectadas de cáscara de plátanos en estado inmaduro .....	101
Tabla 22: Pesos obtenidos para diferentes muestras recolectadas de pulpa de plátanos en estado maduro.....	101
Tabla 23: Pesos obtenidos para diferentes muestras recolectadas de pulpa de plátanos en estado inmaduro.....	101
Tabla 24: Obtención de pastillas con dosificación BHET/ Almidón de pulpa de plátano en relación 90/10 .....	106
Tabla 25: Obtención de pastillas con dosificación BHET/ Almidón de pulpa de plátano en relación 80/20 .....	106
Tabla 26: Obtención de pastillas con dosificación BHET/ Almidón de pulpa de plátano en relación 70/30 .....	107
Tabla 27: Obtención de pastillas con dosificación BHET/ Almidón de pulpa de plátano en relación 60/40 .....	108
Tabla 28: Obtención de pastillas con dosificación BHET/ Almidón de pulpa de plátano en relación 50/50 .....	109
Tabla 29: Obtención de pastillas con dosificación BHET/ Almidón de cáscara de plátano en relación 90/10 .....	110
Tabla 30: Obtención de pastillas con dosificación BHET/ Almidón de Cáscara de plátano en relación 80/20 .....	111
Tabla 31: Obtención de pastillas con dosificación BHET/ Almidón de cáscara de plátano en relación 70/30 .....	111
Tabla 32: Obtención de pastillas con dosificación BHET/ Almidón de cáscara de plátano en relación 60/40 .....	112
Tabla 33: Obtención de pastillas con dosificación BHET/ Almidón de cáscara de plátano en relación 50/50 .....	113
Tabla 34: Rendimiento de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a diferentes concentraciones.....	120
Tabla 35: Rendimiento de Óxido de Zinc segunda prueba .....	123
Tabla 36: Porcentaje de Rendimiento del BHET.....	126
Tabla 37: Principales picos de frecuencias del Espectro FTIR del BHET .....	128
Tabla 38: Porcentaje de rendimiento de almidón obtenido a partir de cáscara de plátano (Estado Maduro) .....	129
Tabla 39: Porcentaje de rendimiento de almidón obtenido a partir de cáscara de plátano (Estado Inmaduro).....	129
Tabla 40: Porcentaje de rendimiento de almidón obtenido a partir de pulpa de plátano (Estado Maduro) .....	129
Tabla 41: Porcentaje de rendimiento de almidón obtenido a partir de pulpa de plátano (Estado Inmaduro).....	130

Tabla 42: Promedios de rendimientos de almidón de plátano obtenido en sus diferentes estados .....	130
Tabla 43: Principales picos de frecuencias del Espectro FTIR del almidón de pulpa de plátano ...	133
Tabla 44: Principales picos de frecuencias del Espectro FTIR del almidón de cáscara de plátano	134
Tabla 45: Parámetros obtenidos para evaluar el acondicionamiento de suelo.....	137
Tabla 46: CO <sub>2</sub> teórico calculado a partir de diferentes parámetros para pastillas (B/AP) y (B/AC)	140
Tabla 47: Estadísticos descriptivos obtenidos.....	141
Tabla 48: Análisis de Correlación .....	142
Tabla 49: Resumen del modelo obtenido mediante Regresión Lineal para pastillas de relación (B/AP) .....	147
Tabla 50: Tiempo de degradación de las pastillas (B/AP) de acuerdo a su dosificación.....	148
Tabla 51: Resumen del modelo obtenido mediante Regresión Lineal para pastillas de relación (B/AC) .....	150
Tabla 52: Tiempo de degradación de las pastillas (B/AC) de acuerdo a su dosificación.....	151
Tabla 53: Cuadro comparativo entre el tiempo de biodegradación obtenido por volumetría y por regresión lineal.....	151
Tabla 54: Media g de CO <sub>2</sub> por dosificación de pastillas B/AP .....	152
Tabla 55: Media g de CO <sub>2</sub> por dosificación de pastillas B/AC.....	152
Tabla 56: Rendimiento de Óxido de Zinc primera prueba .....	173
Tabla 57: Datos iniciales de pastillas BHET/almidón de pulpa de plátano .....	178
Tabla 58: Datos iniciales de pastillas BHET/almidón de cáscara de plátano .....	179
Tabla 59: Datos de dimensiones de pastillas B/AP registrados durante 19 días .....	180
Tabla 60: Datos de dimensiones de pastillas B/AC registrados durante 19 días .....	181
Tabla 61: Resultados de g de CO <sub>2</sub> , % de CO <sub>2</sub> y % de Biodegradación de pastillas (B/AP) obtenidos por volumetría.....	182
Tabla 62: Resultados de g de CO <sub>2</sub> , % de CO <sub>2</sub> y % de Biodegradación de pastillas (B/AP) obtenidos por volumetría.....	183
Tabla 63: Proyección mediante regresión línea de acuerdo al peso perdido de pastillas (B/AP) .	184
Tabla 64: Proyección mediante regresión línea de acuerdo al peso perdido de pastillas (B/AC) .	185

# 1. CAPÍTULO

## 1.1 Introducción

El uso de envases PET ha conseguido una mayor demanda reemplazando en los últimos 20 años a materiales como: vidrio, cartón, aluminio entre otros. El PET debido a sus propiedades mecánicas resulta más resistente y sólido al impacto y sobre todo liviano produciendo en el nivel industrial ventajas a nivel económico (K. I. Zamudio & Cuervo, 2013).

Debido a sus propiedades físico químicas el reciclaje del PET resulta complejo, la necesidad de reducir su acumulamiento en el ambiente, se está promoviendo y desarrollando métodos alternativos de su reciclado y valorización (Vichique, 2010).

Ante esta situación, el presente trabajo de investigación se enfoca en una propuesta de reciclaje químico de las botellas PET post consumo mediante glicólisis como una alternativa para disminuir su presencia en el ambiente obteniendo como producto final o Bis Hidroxi-Etilen Tereftalato (BHET) nombre que se le asigna al PET degradado.

Además, el reciclaje químico mediante glicólisis se asocia a la fabricación de polímeros biodegradables plastificados, que aparece como una alternativa sostenible; cuya degradación es mucho más veloz que la de los plásticos provenientes del petróleo. (Valero-Valdivieso, Ortegón, & Uscategui, 2013) recalca que los biopolímeros a base de materiales orgánicos de frutas, tubérculos y más, están generando un gran interés no solo en la industria de los plásticos sino en la sociedad. El reciclado común no es una solución efectiva para todos los plásticos debido a que se enfoca y produce sobre el residuo ya producido, ante esto aparecen los biopolímeros como una alternativa desde la fuente de origen del problema

transformándose en una atractiva opción para la industria del plástico y una solución para combatir la contaminación.

Ante esta perspectiva el objetivo principal de esta investigación es obtener una biopelícula degradable elaborada a base de almidón de plátano y plastificado con BHET siendo este producto biodegradable y amigable con el medio ambiente generando un impacto positivo para el ambiente como tal y para la sociedad.

## **1.2 Antecedentes**

Actualmente el mundo desarrolla nuevas tecnologías a pasos agigantados, logrando cada vez facilitar la vida de las personas. Uno de los inventos más usados en el mundo y que más contaminación ha causado es el plástico. En 1940 el científico J.T. Dickson, obtuvo el primer PET (politereftalato de etileno) a partir de Etilenglicol y Ácido Tereftálico, por lo que el 29 de Julio de 1941 obtuvo su primera patente. Para el año 1950 este ya se empezó a producir en grandes cantidades, sin embargo, desde 1960 este se usó para fabricar botellas de bebidas (Bertolotti, Chávez, Laos, Rospigliosi, & Nakamatsu, 2005).

Aunque el plástico ha facilitado la vida de las personas, este es uno de los mayores contaminantes del planeta tierra, solo el 9% del total de plástico que se ha producido en el mundo han sido reciclados, el 79% se encuentra en vertederos, basureros o deambulando en el ambiente y el 12% ha sido incinerado (United Nations Environment Programme, 2018). La producción de plástico mundial por año es de 400 millones de toneladas (de las cuales el 36% son botellas plásticas), estos al no ser biodegradables contaminan el ambiente y causan daños económicos, se estima que los daños económicos totales producidos por el plástico al ecosistema marino mundial son de mínimo \$13 mil millones de dólares anualmente. En la actualidad varios investigadores intentan reciclar o reutilizar los desechos plásticos, para de esta manera reducir la contaminación ambiental. El reciclaje químico es una de las posibles

soluciones ya que permite aprovechar los desechos plásticos y fabricar nuevos mediante una despolimerización. Se han realizado varias investigaciones respecto al glicólisis del PET con diversos glicoles, especialmente con etilenglicol. El investigador (Xi, Lu, & Sun, 2005) afirma que para lograr esta despolimerización del PET mediante glicólisis y obtener el monómero tereftalato de bis(2-hidroxietileno), BHET, con alto grado de pureza y con un rendimiento del 86% se debe tener una relación en peso de EG:PET de 5, un tiempo de reacción de 3 horas y 1% en peso de catalizador, por otro lado los autores (López-Fonseca, Duque-Ingunza, de Rivas, Arnaiz, & Gutiérrez-Ortiz, 2010) proponen realizar una glicólisis del PET con una relación molar de 7.6:1 de EG:PET y 1:380 de acetato de zinc: PET, lo que da como resultado un rendimiento del 70%, de igual forma estos autores proponen como catalizadores el uso de otras sales más amigables con el ambiente como carbonato de sodio, sulfato de potasio y bicarbonato de sodio. Se sigue investigando nuevas maneras de realizar una despolimerización del PET de forma más amigable con el ambiente, por ejemplo el autor (Elgegren et al., 2012) propone una glicólisis del PET usando como catalizador bicarbonato de sodio y compara su rendimiento con una glicólisis de PET con el acetato de zinc como catalizador, sin embargo, en esta investigación aunque los parámetros usados fueron los mismos para ambas glicólisis, el rendimiento con bicarbonato de sodio como catalizador fue de 60% , lo que es mucho menor que cuando se usó el acetato de zinc como catalizador ya que su rendimiento fue de 81.62%, además afirma que con el bicarbonato de sodio se necesitó un tiempo de 4 horas para que se forme el BHET, mientras con el otro catalizador se necesitó un tiempo de 3 horas, en este caso los parámetros usados fueron 18 g de PET, 84 ml de etilenglicol, EG (relación en peso EG:PET de 5:1), y 0.7% de catalizador (con respecto a la masa del PET). De igual forma, el mismo autor propone una glicólisis del PET mediante un calentamiento por microondas, para esto utilizó un horno microondas convencional de 900 watts de potencia máxima y 2450 MHz de frecuencia, en este caso

trabajó con 10 mL de EG (relación 5:1 de EG:PET, en masa), 2.23 g de PET y 0.02 g de acetato de zinc como catalizador (0.7%, w/w, respecto de la masa de PET). La muestra se calentó con la potencia máxima del horno dos veces por un periodo de tiempo de 3 minutos y se dejó reposar 5 minutos entre cada calentamiento, además se tuvo un rendimiento del 70% demostrando así que este método de despolimerización de PET es altamente efectivo, rápido de realizar y mucho más amigable con el ambiente.

Otro tipo de contaminación ambiental grave es causada por la mala disposición de las pilas y baterías al terminar su vida útil, las mismas al estar en contacto con el entorno, son afectadas por la humedad, luz solar y distintos factores climáticos que aceleran la desintegración de las mismas (Criollo, & Mejía, 2017), provocando que se emitan al ambiente elementos tóxicos como Hg, Zn, Cd, Ni, Mn, etc.; los mismos al liberarse empiezan a contaminar el agua, suelo y aire; así mismo; causan problemas en la salud de las personas como ceguera, daños en riñones, pulmones, cáncer y si la persona llega a estar en altas exposiciones puede causarle la muerte (Cárdenas & Gaibor, 2019). A pesar de que las pilas se fabrican desde el año 1986, no fue hasta el año 1989 que se concientizó que la cantidad de mercurio que contienen era excesivamente contaminante para el ambiente, por lo que se empezó a tener iniciativas ambientales para tratar de eliminar el mercurio de las pilas, sin embargo; hasta la actualidad el mismo está presente en todas las pilas, pero en pequeñas cantidades. (Cárdenas & Gaibor, 2019).

Para evitar que las pilas al terminar su vida útil contaminen el ambiente lo que se debe hacer es una recolección selectiva, lamentablemente el Ecuador no posee una tecnología para procesar las pilas y reciclarlas, sin embargo; actualmente lo que se tiene es diferentes puntos de acopio de pilas y luego a estas se las lleva a depositarlas en celdas para que no contaminen el ambiente. Se calcula que en el Ecuador se utilizan alrededor de 35 millones de pilas al año, las cuales pueden llegar a tener un proceso de contaminación de hasta 500 años y

contaminar desde 167 mil a 600 mil litros de agua cada una (EL Universo, 2018), según las estadísticas, en Ecuador, en el año 2016, el 85.09% de los hogares usan pilas, de estos solo el 10% usa pilas recargables (1.218.790 pilas), del total de hogares que desecharon pilas, el 79,53% las depositaron en la basura (INEC, 2016), para el año 2017, las estadísticas subieron y del total de hogares que usaban pilas, el 83.97% las depositaron en la basura y solo un 5.24% llevaron las pilas a un centro de acopio (EL Universo, 2018), lo que demuestra la falta de conocimiento y conciencia ambiental por parte de los Ecuatorianos con respecto al correcto depósito de pilas y a los daños que causan al ambiente. Para hacer frente a esta falta de conocimiento y conciencia ambiental, actualmente el MAE (Ministerio del Ambiente del Ecuador) impulsa una campaña llamada “Ponte pilas RecoPila” con el objetivo de incentivar a la población de depositar sus pilas usadas en los puntos de acopio autorizados, los cuales actualmente se encuentran en Quito, Guayaquil, Cuenca, Ambato, Loja, Riobamba y Portoviejo (MAE, 2015). Sin embargo a las pilas recolectadas en el país no se les realiza ningún tratamiento de reciclaje o descomposición, lo que se hace es confinarlas en celdas de seguridad y en ciertos casos exportarlas a otros países, en el caso de Cuenca a las pilas recolectadas se las usaron para la construcción de 3 monumentos (EL Universo, 2018).

### **1.3 Justificación**

El tema de investigación del presente proyecto se eligió específicamente por la gran problemática ambiental provocada por la excesiva cantidad de plásticos y pilas que se producen y consumen diariamente.

Las pilas contienen un alto porcentaje de componentes tóxicos que están contaminando el planeta y contribuyendo a destruir lo poco que queda de él. Con la metodología de reciclaje que se propone en el presente trabajo de investigación, se intentará disminuir esa contaminación. (Ayala, 2017).

Aunque es un hecho que el mercado de pilas domésticas en Ecuador no se encuentra suficientemente caracterizado, se entiende que la mayoría de las pilas que se comercializan son de tipo primario, es decir, las de un solo uso, y entre éstas destacan con diferencia las denominadas pilas alcalinas. (Díaz, Orta, Ramos, & Delvasto, 2012).

Según (INEC, 2016) indica que dentro de los diferentes residuos clasificados a nivel nacional en el año 2016 el plástico fue el residuo con mayor clasificación (34,08%) en comparación a los residuos de papel-cartón, vidrio y otros. Según la EMAC en el año 2015 en la ciudad de Cuenca se produjo 300 toneladas anuales de botellas PET que representan 10.800.000 unidades. Así mismo el (INEC, 2016) señala que el 85,09 % de hogares en el país utilizan pilas, de los cuales el 10% utilizan pilas recargables.

La investigación de este proyecto tiene su relevancia social porque ayudaría al medio ambiente, reduciendo la contaminación de envases de botellas PET y pilas alcalinas que son desechados en calles, carreteras, fuentes de agua, etc., por lo que además contribuirá con la reducción del consumo de los recursos naturales no renovables como el petróleo. Por otro lado, se tendrá un gran valor teórico, ya que en base a los resultados obtenidos se quiere demostrar que se puede implantar un nuevo modelo de reciclaje químico.

Al no existir una tecnología de reciclaje de pilas disponible en nuestro país, es necesario buscar una alternativa como el reciclaje químico, empleando como catalizadores en procesos químicos de Glicólisis de PET. Por tal motivo, un estudio en el cual se ensaye este tipo de alternativa se hace indispensable para evaluar la viabilidad tanto técnica, y ambiental para poder llevar a cabo y sobre todo conocer los resultados esperados.

## **2. CAPÍTULO: OBJETIVOS DEL PROYECTO**

### **2.1 Objetivos**

#### **2.1.1 Objetivo General**

- Obtener una película de almidón dosificado con BHET catalizado con óxidos de metales, mediante glicólisis de PET.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Obtener óxido de Zinc proveniente de las pilas alcalinas mediante calcinación y filtración y comparar los rendimientos de ambos métodos,
- Obtener el BHET a partir de la despolimerización química del PET mediante glicólisis catalizada con óxido de Zinc para dosificar con la película de almidón de plátano.
- Obtener la película de almidón y caracterizar en una espectroscopia IR para conocer la degradabilidad del producto.
- Realizar una proyección estadística de la degradabilidad del producto.

### 3. CAPÍTULO: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

#### 3.1 Generalidades sobre las pilas

Una pila es un instrumento químico que sirve para almacenar electricidad, tiene la capacidad de proveer potencia eléctrica instantáneamente, su portabilidad (cuando se trata de las baterías de pequeños tamaños) y la posibilidad de escoger entre las de uso único y las recargables (Jeaniscar Diaz-Salaverria, Orta, Casal-Ramos, & Delvasto, 2012). Además, las pilas producen un gran problema ambiental, ya que las mismas liberan grandes cantidades de zinc y manganeso, mercurio, plomo y producen corrosión y lixiviados, por lo cual son altamente peligrosos y contaminantes, así mismo las pilas post consumo son consideradas como desechos peligrosos, por lo que terminan con una disposición inadecuada en vertederos.

#### 3.2 Características y Funcionamiento de las Pilas

Una pila es un generador primario que produce energía, la energía química actúa como un medio de almacenamiento, y durante la descarga se produce un proceso químico que produce energía que puede extraerse de la batería en forma de corriente eléctrica a un voltaje designado.(Kiehne, 2003).

Existen dos sistemas de pilas:

- **Pilas Primarias:** Convierten la energía química en energía eléctrica, es decir posee una reacción química irreversible (solo una vez, no son recargables).
- **Pilas Secundarias:** Diseñados para cargas y descargas repetidas, es decir son convertidores de energía reversibles (recargables).

### 3.3 Pilas o celdas primarias

Estos dispositivos son desechables ya que poseen un ciclo de vida, es decir una vez que se transforman en energía eléctrica ya no es posible recuperar. El Zinc es un material del ánodo más común para las pilas primarias, ya que posee una afinidad con electrolitos acuosos, un buen comportamiento electroquímico, una vida útil moderadamente buena y un bajo costo en el mercado.(Kiehne, 2003). En la tabla 1 se puede observar los componentes de las pilas primarias.

Tabla 1: Componentes de una celda primaria

1. Contenedor	
2. Cátodos	
3. Separador	
4. Ánodo	
5. Electrodo Positivo/Negativo	 
6. Electrolito	
7. Colector	

Fuente: Energizer <https://energizer.com.ec/>

Estas pilas son comercializadas en un 80% en todo el mundo, dentro de las ventajas que se puede encontrar es que no necesitan mantenimiento, poseen un bajo costo, y se pueden encontrar en diferente tamaño. (Strunz, 2009). Estas pilas se clasifican en:

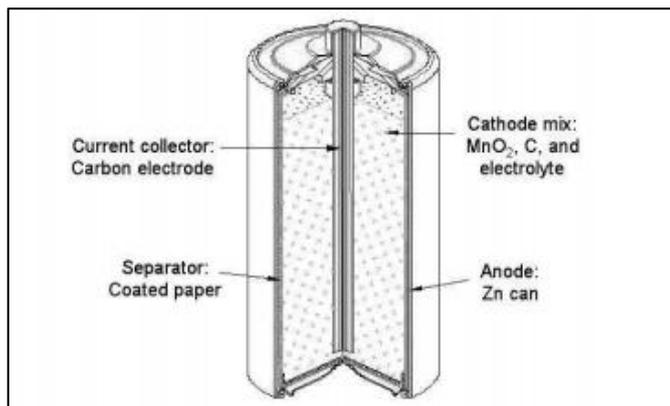
- Pilas Zinc-Carbono
- Pilas Alcalinas
- Pilas de Litio
- Pilas Zinc Plata
- Pilas de óxido de mercurio
- Pilas Zinc Aire

### **3.3.1 Pilas Zinc –Carbono**

Son las más comunes y comerciales, sirven para aparatos de poco consumo, su funcionamiento se fundamenta en la oxidación del Zn en un medio ligeramente ácido. Existen compuestos de Zinc metálico, dióxido de manganeso y cloruro de amonio.(GCABA, 2009).

Según (Strunz, 2009), este tipo de pilas son amigables con el medio ambiente ya que no contienen ni mercurio ni cadmio, estos elementos poseen una capacidad de contaminación muy alta; los dispositivos de mercurio contaminan hasta 600.000 litros de agua y los dispositivos de manganeso contamina hasta 167.000 litros de agua.

Las pilas Zinc Carbono están compuestas por los siguientes elementos ver Imagen 1.



*Imagen 1.* Elementos de una celda zinc-carbono.

Fuente:(C. Ayala, 2017)

El exterior de la pila es cubierto por un film de plástico y finalmente se coloca una lata con la etiqueta del producto para su posterior comercialización.

### 3.3.2 Pilas Alcalinas

(Strunz, 2009) indica que las pilas alcalinas revolucionaron el mercado en 1959 debido a que presentaba grandes ventajas con respecto a las pilas de Zinc Carbono, como:

- Densidad de energía mayor
- Mayor alcance
- Durabilidad del contenedor
- Resistencia al lixiviado es mayor
- Menor resistencia interna

Según (Martha de Souza, Corrêa de Oliveira, & Tenório, 2001); tanto la célula alcalina como las células de zinc-carbono utilizan el mismo sistema electroquímico, la diferencia está en que las pilas alcalinas utilizan además un electrolito fuerte de solución de KOH (hidróxido de potasio).

El ánodo contiene zinc pulverizado, mientras que el cátodo contiene dióxido de manganeso con una mezcla de grafito/carbono. Para obtener mayor reactividad que los

minerales naturales y capacidad, se produce una reacción electrolítica en la cual se obtiene dióxido de manganeso que es utilizado en el cátodo.

El mercurio era el principal problema de este tipo de pilas, ya que producía grandes daños al medio ambiente, para lo cual según (Strunz, 2009) en el año de 1980, la Pila alcalina abrió las puertas para el desarrollo de nuevas tecnologías amigables con el ambiente reduciendo a cero el mercurio para el año 1990; cómo se puede observar en la Figura 1.



Figura 1. Reducción del Mercurio en Pilas Alcalinas.

Fuente: Energizer

En la Imagen 2 se observa los elementos que conforma una pila alcalina

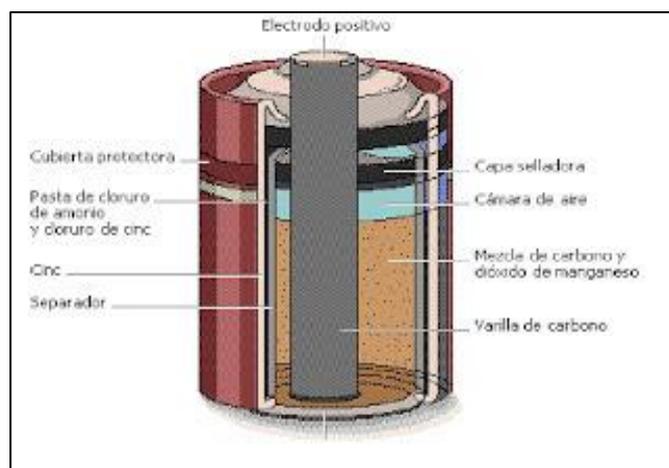


Imagen 2. Elementos de una celda alcalina

Fuente:(Calatrava, 2013)

El exterior de la pila es cubierto por un film de plástico y finalmente se coloca una lata

con la etiqueta del producto para su posterior comercialización.

### 3.3.3 Pilas de Litio

Sale en el año 1970 las primeras pilas de Litio al mercado, en un principio solo eran utilizados para aplicaciones médicas y militares, hoy en día son utilizadas en numerosas aplicaciones debido a que poseen una alta densidad, funcionan en amplios rangos de temperatura y tienen un largo ciclo de vida.(Strunz, 2009).

El Litio un metal muy liviano, posee un potencial estándar de reducción de  $-3.040\text{V}$ ; por ende, produce una capacidad energética teórica mayor de  $3860\text{ Ah/Kg}$  (Amperios hora/Kilogramo). Debido a su valor tan negativo de su potencial mencionado anteriormente, le provee una inestabilidad termodinámica en disolvente protónicos, como el agua, o en ambientes húmedos, esto se debe a que reacciona elementalmente.(Hamel, 2011).

Las pilas de litio son utilizadas en dispositivos portátiles siendo sus principales características:

- Alta energía: comprendida entre más de  $200\text{ Wh/kg}$  y  $400\text{ Wh/l}$ .
- Ciclo de vida largo
- Niveles de potencial altos:  $3\text{V}$  aproximadamente
- Rangos de temperatura amplios
- Distintas formas de fabricación: cilíndricas, botón, prismáticas

Según (Medina, 2008) los componentes principales del Litio son: (Ver Tabla 2)

Tabla 2: Componentes del Litio

<b>Componente</b>	<b>% en peso del componente en la pila</b>
Litio	1-3%
1,2- dimetoxietano	2-4 %
Polipropileno	2-6%
Carbonato de polipropileno	2-6%
Monofluoruro de carbono	6-12%
Acero inoxidable	70-80%

*Fuente: (Medina, 2008)*

### **3.3.4 Pilas Zinc-Plata**

Al igual que las pilas de Litio, las pilas de zinc-plata son usadas en aplicaciones militares debido a que requieren un voltaje riguroso y controlado, por ende, estas pilas tienen una alta potencia instantánea, incluso trabajan con altas temperaturas.(Smith & Gucinski, 1999), y altas densidades de energía (Sabzi & Mersagh Dezfuli, 2018). Además, contiene un alto aditivo conductivo y estructural de alta superficie para los electrodos en la pila.(Ozgit, Hiralal, & Amaratunga, 2014).

Dentro del funcionamiento de estas pilas no puede cumplirse el almacenamiento ya que ocurre una serie de reacciones de degradación que implica el electrolito y el separador; de igual manera se debe también a la corrosión del electrodo del zinc y la solubilidad del electrodo de plata. Para esto la solución se dio en laboratorios donde las celdas de zinc-plata se ensamblan en una batería, en donde dichas celdas se sostienen en un ambiente seco durante el periodo de almacenamiento. Posteriormente el electrolito se inyecta a la batería seca, entregando así una alta potencia.(Smith & Gucinski, 1999).

Según este autor rendimiento de estas pilas dependen de sus componentes de fabricación (Imagen 3)

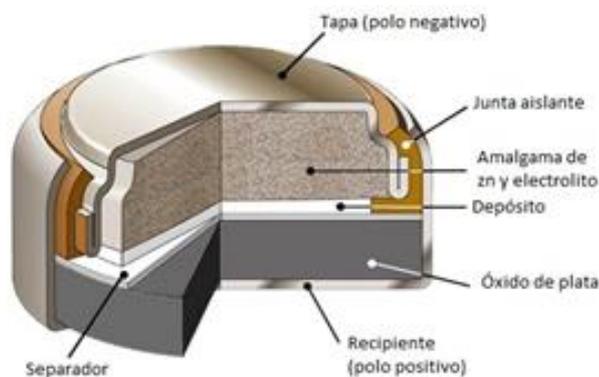


Imagen 3. Elementos de una celda zinc-plata.

Fuente: [www.industrialmarti.com/noticias/](http://www.industrialmarti.com/noticias/)

### 3.3.5 Pilas de Óxido de mercurio

Debido a su principal componente el Mercurio, son las más tóxicas ya que contienen un 30% aproximado de este elemento. Tiene que ser manipulado con precaución, ya que el mal uso generalmente en hogares, ya sea una ingestión accidental puede ser letal,(GCABA, 2009); de la misma forma causa grandes daños ambientales por lo que su tratamiento debe ser muy riguroso.

Según (Padrón, 2013), los componentes de las pilas de Óxido de Mercurio

- Electrodo negativo (placas de zinc)
- Electrodo positivo (placas de mercurio),
- Separador (Plástico y lámina)
- Electrolitos (hidróxido de potasio o hidróxido de sodio)

### 3.3.6 Pilas Zinc-Aire

Es un dispositivo que se diferencia del resto por tener una gran cantidad de orificios en su superficie. Tiene gran capacidad y produce energía de una manera continua. Estas pilas

causan igual grandes y graves problemas ambientales por el residuo generado ya que contiene 1% de Mercurio.(GCABA, 2009).

Las principales características de estas pilas son:

- Bajo costo en el mercado
- Altas corrientes
- Voltaje estable
- Resistencia interna constante
- Se activa al quitar su envoltura
- Capacidad constante
- Densidad de energía alta

Las pilas zinc-aire están compuestas por los siguientes elementos:

- Carcasa o contenedor: Es de cobre y acero, cubre a todos los componentes de una pila.
- Cátodos: Contiene oxígeno
- Separador: Tejido de papel
- Ánodo: Zinc metal en polvo o pulverizado
- Electrolito: Por medio de una solución acuosa de Hidróxido de Potasio o Hidróxido de Sodio
- Colector: Es el mismo contenedor (solo en este caso).

### **3.3.7 Componentes y usos de las principales pilas primarias**

En la Tabla 3 se puede observar la clasificación de las pilas primarias de acuerdo a su tipo de pila, Zinc- carbono, alcalinas, Litio, zinc-plata, óxido de mercurio, y zinc-aire y los

elementos que componen cada una expresado en %, así mismo los usos que se aplican para cada tipo.

*Tabla 3: Componentes y usos de las pilas primarias.*

<b>Tipos de Pila</b>	<b>Componentes</b>	<b>Usos</b>
<b>Zinc-Carbono</b>	Zinc: 17% (ánodo) Dióxido de Manganeso: 29% (cátodo) Carbón: 7% Mercurio: 0,01 % (electrolito, cátodo y ánodo) Cadmio: 0,08% Cloruro de Amonio: (electrolito) Cloruro de Zinc: alto rendimiento (electrolito) Film de plástico y papel: 26%	Linternas, radios, juguetes, caseteras
<b>Alcalinas</b>	Zinc: 14 % (ánodo) Dióxido de Manganeso: 22% (cátodo) Carbón: 2% Mercurio: 0,5 a 1 % (ánodo) Hidróxido de Potasio (electrolito) Film de plástico y papel: 42%	Juguetes, cámaras fotográficas, grabadoras
<b>Litio</b>	Litio: 1 al 3%	Equipos de comunicación, radios
<b>Zinc-Plata</b>	Zinc: 10% (ánodo) Mercurio 1% Óxido de Plata: 27% (cátodo) Film de plástico y lámina: 29% Cloruro de Sodio o Hidróxido de sodio (electrolito)	Aparatos auditivos, relojes y calculadoras

<b>Óxido de Mercurio</b>	Óxido de Mercurio: 33%	Aparatos auditivos, relojes y calculadoras e instrumentos de precisión
	Zinc: 11% (ánodo)	
	Hidróxido de Sodio o hidróxido de potasio (electrolito)	
	Film de plástico y lámina: 29%	
<b>Zinc-Aire</b>	Zinc: 30% (ánodo)	Aparatos auditivos, marcapasos y equipos fotográficos
	Mercurio 1%	
	Plata: 1%	
	Film de plástico y lámina: 67%	
	Cloruro de Sodio o Hidróxido de sodio (electrolito)	
	Oxígeno ( del aire, cátodo)	

---

*Fuente: Environment Canada. Report EPS 4/CE/1, 1991*

### **3.4 Pilas recargables o Celdas Secundarias**

Son dispositivos que se encargan de almacenar la energía química para convertirla en energía eléctrica mediante su descarga, así mismo puede recargarse mediante corriente. Las pilas que más son comercializadas en el mercado son las pilas de iones de litio que generalmente son utilizadas para laptops, cámaras digitales, celulares, etc.(Vidotti, Torres, & Córdoba de Torres, 2010).

Freitas, Ketzer, & Lima Antonio afirman que estos dispositivos están proyectados para representar el funcionamiento, operación y la predicción del comportamiento frente a diferentes niveles de descargar y carga.

Según (Vidotti et al., 2010) las celdas secundarias están compuestas de :

- Ánodo: de carbono y solución electrolítica de sal de litio ( $\text{LiPF}_6$ ).
- Cátodo: de óxido de cobalto

Entre las principales pilas secundarias tenemos:

- Níquel- Cadmio
- Níquel Metal Hidruro
- Ion Litio
- Plomo

### **3.4.1 Níquel- Cadmio**

(Padrón, 2013) afirma que estos dispositivos constan de un sistema formado por Cadmio metálico, hidróxido de níquel e hidróxido de potasio, generalmente son utilizadas en el sector industrial.

Las pilas de Níquel-cadmio tienen entre sus componentes:

- Electrodo positivo: de hidróxido de níquel
- Electrodo negativo: cadmio metálico
- Electrolito: Hidróxido de potasio

### **3.4.2 Níquel Metal Hidruro**

Estas pilas son muy similares a las de Níquel- Cadmio, pero la diferencia recalca en que el Cadmio es reemplazado por una aleación metálica que sirven para almacenar, absorber y liberar hidrógeno. Poseen una buena densidad de energía (40% más alto que los dispositivos de níquel-cadmio (Paredes, 2013) y un ciclo de vida mejorado pero su costo es elevado y es muy sensible a sobrecargas y descargas completas, así mismo su fabricación es dificultosa (Padrón, 2013).

### 3.4.3 Ion Litio

El litio es el elemento químico que ayuda a la fabricación de acumuladores que utilizan los dispositivos eléctricos habituales. Estas baterías son un modelo o un prototipo energético ya que se lo incluye dentro de una generación renovable, ya que es utilizado principalmente para dar movilidad y fuerza a los autos eléctricos.(Fornillo & Gamba, 2019) .

Las pilas de io litio están compuestas de carbono grafitado que se utiliza como material anódico para este tipo de pilas (Hoon Kim et al., 2007) y de óxidos de manganeso con estructura tipo espinela ( $LiMn_2O_4$ ) que se utiliza como material catódico (Uribe-Grajales et al., 2018).

### 3.4.4 Plomo

Son dispositivos muy antiguos, sirven para almacenar energía; su uso se debe todavía a que posee un bajo costo con respecto a los otros tipos de pilas que tienen la misma capacidad nominal. Se usa en aplicaciones como vehículos eléctricos, redes de comunicación y fuentes de alimentación interrumpidas (Freitas et al., 2016).

### 3.4.5 Componentes y usos de las principales pilas secundarias

En la Tabla 4 se puede observar la clasificación de las pilas secundarias de acuerdo a su tipo de pila, Níquel –Cadmio, Níquel –Metal Hidruro, Ión-Litio y Plomo y los elementos que componen cada una expresado en %, así mismo los usos que se aplican para cada tipo.

Tabla 4: Componentes y usos de las pilas secundarias.

Tipos de Pila	Componentes	Usos
Níquel -Cadmio	Cadmio: 18% Níquel: 20% Hidróxido de Potasio o Sodio	Juguetes, lámparas, equipos electrónicos portátiles
Níquel –Metal Hidruro	Níquel: 25% Hidróxido de Potasio	Equipos electrónicos portátiles
Ión-Litio	Óxido de Litio-cobalto (cátodo) Carbón altamente cristalizado (ánodo) Solvente orgánico (electrolito)	Celulares, computadoras, cámaras digitales
Plomo	Plomo Ácido Sulfúrico	Uso doméstico, industrial y automotriz

Fuente: Environment Canada. Report EPS 4/CE/1, 1991

### 3.5 Poliésteres

Los poliésteres son el conjunto de polímeros que tienen en común el grupo éster  $-CO-$   $O-$  como parte del esqueleto de la cadena principal (Bertolotti et al., 2005). Existen varios polímeros como almidón, celulosa, caucho, etc. Los polímeros naturales pueden ser degradados fácilmente por agentes químicos y biológicos, es decir; cuando un polímero de este tipo está en el ambiente empieza a perder de forma relativamente rápida sus propiedades físicas y químicas. Por otro lado los polímeros sintéticos son aquellos que poseen una larga vida útil y no se degradan fácilmente al estar en el ambiente, por el contrario pueden estar cientos de años expuestos al ambiente antes de perder completamente sus propiedades químicas y físicas (Sánchez, Rosales, & Maldonado, 2011). Por otra parte, los Poliésteres, pueden clasificarse en termoplásticos y termoestables. Los termoplásticos más conocidos

(ver Figura 2) son poli( Tereftalato de etileno)(PET), poli(Tereftalato de butileno)(PBT) y poli(tereftalato de trimetileno) (Bertolotti et al., 2005). Estos plásticos al calentarse fluyen como líquidos viscosos y al enfriarse se solidifican, su enfriamiento y calentamiento se lo puede llevar a cabo una infinidad de veces puesto que estos plásticos nunca pierden sus propiedades. Componen el 85% del total de los plásticos consumidos y son reciclables (Hachi & Rodríguez, 2010). Por otro lado, los Poliésteres termoestables son polímeros entrecruzados los cuales podrían ser resinas insaturadas que contienen dobles enlaces reactivos que son polimerizados posteriormente logrando el entrecruzamiento o poliestéres saturados que son polimerizados y entrecruzados en un solo paso (Bertolotti et al., 2005). Estos poliésteres se funden al aplicar calor y se solidifican al suministrar aún más calor, pueden ser procesados por fusión, pero no pueden ser recalentados ni remodelados, de igual forma son más resistentes y más frágiles que los termoplásticos. Los más usados son: Resina de poliéster, Melanina Formaldehído, Urea Formaldehído, etc (Hachi & Rodríguez, 2010).

Nombre Común	Unidad Repetitiva
Poli(tereftalato de etileno) (PET)	$\left[ \text{C}(=\text{O})-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O} \right]$
Poli(tereftalato de trimetileno)	$\left[ \text{C}(=\text{O})-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-(\text{CH}_2)_3-\text{O} \right]$
Poli(tereftalato de butileno) (PBT)	$\left[ \text{C}(=\text{O})-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-(\text{CH}_2)_4-\text{O} \right]$
Poli(naftalen-2,6-dicarboxilato de etileno) (PEN)	$\left[ \text{C}(=\text{O})-\text{C}_{10}\text{H}_6-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O} \right]$
Poli(tereftalato/isoftalato de bisfenol A)	$\left[ \text{C}(=\text{O})-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{C}_6\text{H}_4-\text{O} \right]$
Policaprolactona	$\left[ \text{C}(=\text{O})-(\text{CH}_2)_5-\text{O} \right]$
Poli(ácido glicólico)	$\left[ \text{C}(=\text{O})-\text{CH}_2-\text{O} \right]$

Figura 2. Fórmulas de poliésteres termoplásticos

Fuente: (Bertolotti et al., 2005)

### 3.5.1 Politereftalato de Etileno (PET)

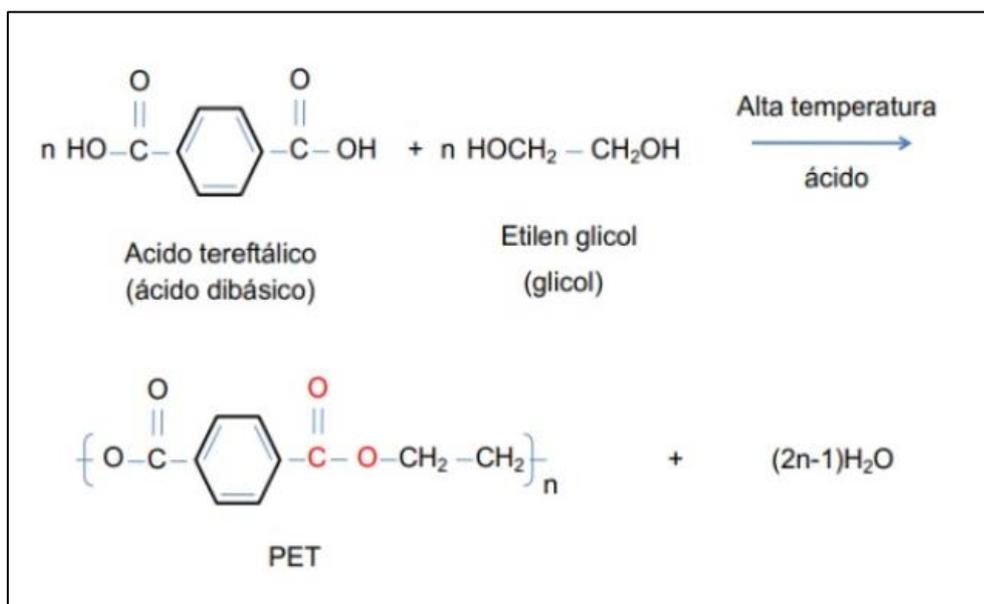


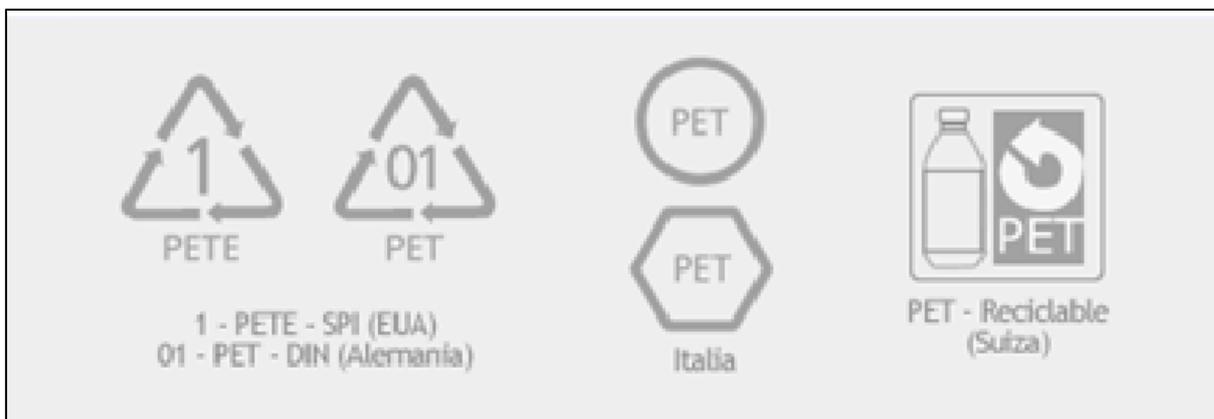
Figura 3. Formación del PET

Fuente: (Espinosa, 2018)

El Polietilen Tereftalato, Tereftalato de Polietileno, Polietileno Tereftalato ó Politereftalato de Etileno, más conocido como PET fue realizado por primera vez en la década de los cuarentas, en esa época el objetivo era encontrar una fibra sintética que sustituyera al algodón, el principal motivo de esta búsqueda era debido a que por la Segunda Guerra Mundial que se vivía era difícil la importación del mismo de Países Africanos (K. I. Zamudio & Cuervo, 2013). El científico James Tennant Dickson, obtuvo el primer PET a partir de Etilenglicol y Ácido tereftálico (ver Figura 3) mediante poli condensación en el año 1940 y el 29 de Julio de 1941 obtuvo su primera patente. En el año 1946 se lo usó como fibra y hoy en día se lo sigue usando en el área textil, para el año 1950 ya empezó a ser producido en cantidades comerciales pero como para ese entonces tenía características de ser quebradizo y tendía a cristalizar, durante la solidificación solo se lo usaba para envasar alimentos, no fue hasta finales de 1960 que se lo logró producir en estado amorfo y empezó a utilizarse para fabricar botellas de bebidas (Bertolotti et al., 2005). A partir del año 1976, se abrió camino en el mercado internacional gracias a la elaboración de botellas que iban a ser utilizadas para bebidas que sean poco sensibles al oxígeno como los refrescos carbonatados. Hoy en día; gracias a los avances tecnológicos la industria global de PET gana mercado a pasos agigantados, esto es porque una botella de PET posee un peso escaso con relación al producto final obtenido, pudiendo llegar a ser 50 veces menor que el líquido que va a contener, esta característica permite que se ahorre hasta un 35% del combustible usado para trasladar mercadería, de igual forma su peso es 28 veces menor que el de un envase de vidrio y posee una alta resistencia a roturas de envases (K. I. Zamudio & Cuervo, 2013).

El PET se elabora de materias primas provenientes del petróleo, un kilo de PET está formado por 64% de petróleo, 23% de derivados líquidos del gas natural y 13% de aire. Para saber si un producto está fabricado con PET, lo que se debe hacer es verificar que el mismo posea un símbolo (generalmente en su parte inferior) que es un triángulo constituido por

flechas con el número 1 en el centro y bajo estas siglas debe decir “PET o “PETE” (ver Imagen 4). Los artículos más comunes almacenados con este tipo de plásticos son agua purificada, medicinas, agroquímicos, aceites comestibles, etc. (K. I. Zamudio & Cuervo, 2013).



*Imagen 4.* Símbolo para identificación de envases PET

Fuente: (C. Zamudio & Cuervo, 2013)

En lo que respecta a la elaboración del PET, el mismo se lo puede realizar usando dos métodos, el primero es por transesterificación del tereftalato de dimetilo con etilenglicol (EG) y el segundo método por esterificación directa del ácido terftálico con etilenglicol, para los dos métodos el producto final es el tereftalato de bis (2-hidroxietileno) (BHET) (ver Figura 4), considerado como un monómero del PET (Bertolotti et al., 2005).

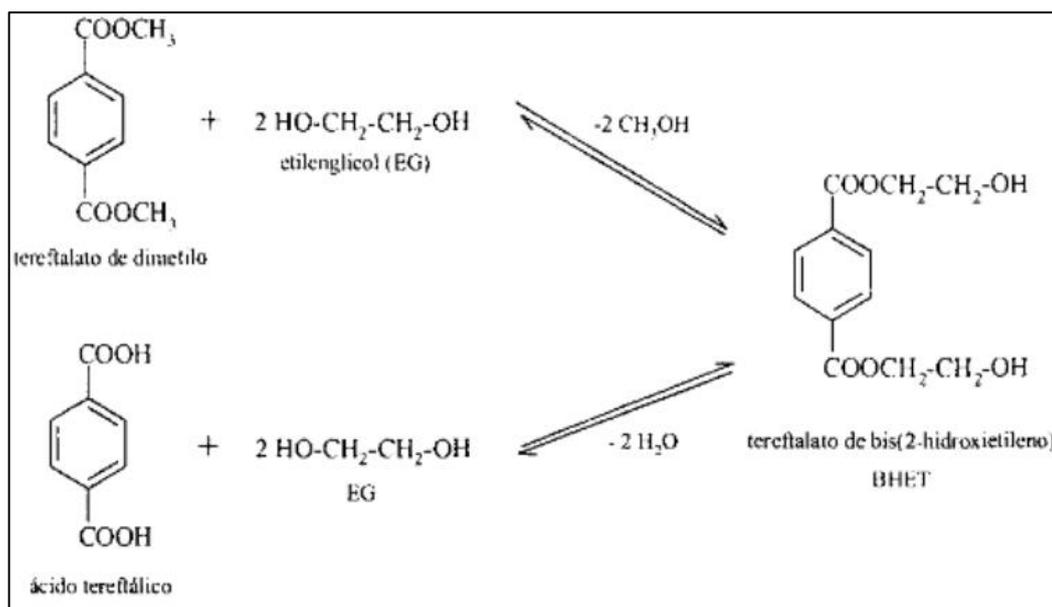


Figura 4. Métodos para la elaboración del PET

Fuente: (Bertolotti et al., 2005)

Una vez obtenido el BHET, al mismo se lo debe condensar con trióxido de antimonio, el cual actúa como catalizador (ver Figura 5). En este proceso, la presión se debe reducir a 0.13KPa y así poder eliminar el exceso de etilenglicol, una vez que se tiene a este poliéster fundido, el mismo es transformado en fibras o es extruido para ser convertido en gránulos y así ser conservado hasta su procesamiento final (Espinosa, 2018).

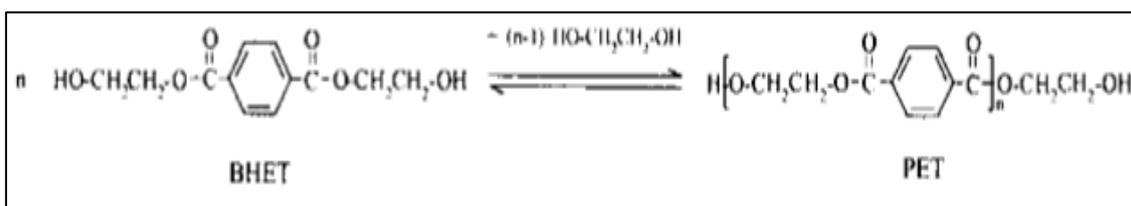


Figura 5. Condensación del BHET para formar PET

Fuente: (Bertolotti et al., 2005)

El PET posee gran resistencia al agua y a ácidos minerales diluidos, por otro lado, es sensible a álcalis, su temperatura de fusión cristalina es de  $265^{\circ}\text{C}$ , así mismo, la resistencia a la tracción de una película de PET es de 117 a 173 MPa, la de una fibra es de 79MPa y su

densidad es de  $1.35\text{g/cm}^3$ . Cabe recalcar, que de este proceso se obtiene como producto secundario al dietilenglicol (DEG) (el cual es producido en la polimerización) (Bertolotti et al., 2005).

### 3.5.1.1 Propiedades y características del PET

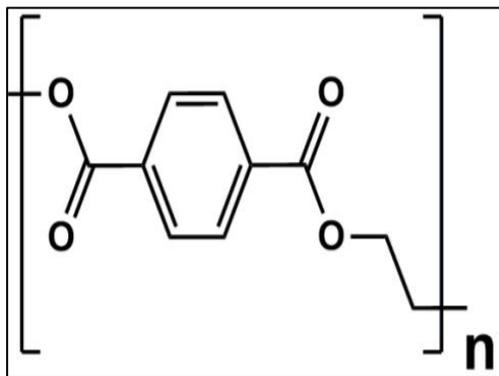


Imagen 5. Estructura química del PET (Polietilentereftalato)

Fuente: (Espinosa, 2018)

Gracias a su peso ligero, disponibilidad de materias primas, bajo coste, bajos requerimientos energéticos para su procesado y fabricación, el PET ha llegado a ser uno de los materiales poliméricos más usados en las últimas décadas, en el año 2015 el 7.1% del total de plásticos producidos fue el PET (Villafañe, 2018). Actualmente, el PET de grado botella es una de las líneas primordiales de productos PET, su importancia ha crecido con el pasar de los años debido a que el mismo ha ido reemplazando al vidrio y al policloruro de vinilo (PVC), esto es porque actualmente posee ciertas características como ser irrompible, ligero, fuerte, transparente, manejable, reciclable y no transfiere ningún tipo de sabor u olor al producto, además; protege el contenido que lleva dentro manteniendo la totalidad de sus características y beneficios intactos. A todo esto se le debe sumar que el PET utilizado para la fabricación de envases no es tóxico (R. Cobos, 2016).

Así mismo, las botellas PET poseen ciertas propiedades, las cuales dependen de varios factores y condiciones de operación (Villafañe, 2018). Según Toledo (2013), el PET tiene propiedades generales que lo hace ser mejor que otros plásticos; por ejemplo; sus propiedades químicas más relevantes son:

- Alta transparencia
- Alta resistencia al desgaste y corrosión
- Buena resistencia química y térmica
- Tiene una buena barrera de CO<sub>2</sub>
- Es 100% reciclable, pero suele disminuir su viscosidad
- Procesable por soplado
- Presenta una barrera a gases o aromas
- Es aprobado para usar en productos que tienen que estar en contacto con otros productos de uso alimentario.

De igual forma el PET posee ciertas propiedades físicas que le dan la capacidad de cumplir diversas especificaciones técnicas adaptándose a la necesidad de cada producto a llevar, por lo que este material ha llegado a poseer un crecimiento importante en la fabricación de fibras textiles y en la elaboración de una gran variedad de envases, sobre todo en la elaboración láminas, flejes, botellas y bandejas. (Toledo, 2013).

En la Tabla 5 se puede observar las propiedades físicas y químicas más importantes del PET:

*Tabla 5: Propiedades Físicas y Químicas del PET*

<b>Fórmula molecular</b>	<b>(C<sub>10</sub>H<sub>8</sub>O<sub>4</sub>)<sub>n</sub></b>
<b>Densidad amorfa</b>	<b>1.37 g/cm<sup>3</sup></b>
<b>Densidad cristalina</b>	<b>1.45 g/cm<sup>3</sup></b>
<b>Modulo de Young (E)</b>	<b>2800 – 3100 Mpa</b>
<b>Presión</b>	<b>55 – 75 Mpa</b>
<b>Limite elástico</b>	<b>50 – 150 %</b>
<b>Notch test</b>	<b>3.6 kJ/m<sup>2</sup></b>
<b>Glass temperature</b>	<b>75 °C</b>
<b>Punto de fusión</b>	<b>260 °C</b>
<b>Vicat B</b>	<b>170 °C</b>
<b>Conductividad térmica</b>	<b>0.24 W/(m·K)</b>
<b>Coefficiente de dilatación lineal (α)</b>	<b>7x10<sup>-5</sup> /K</b>
<b>Calor específico (c)</b>	<b>1.0 kJ/(Kg·K)</b>
<b>Absorción de agua (ASTM)</b>	<b>0.16</b>
<b>Índice de refracción</b>	<b>1.575</b>
<b>Costo</b>	<b>7.25 – 18 \$/Kg</b>

*Fuente:(Toledo, 2013)*

Algo importante a recalcar del PET es su viscosidad, la cual va de 0.5 a 0.6 centiestokes, gracias a esto el mismo posee resistencia a la abrasión, tensión y además es imposible que se dé una reacción química con alcoholes, detergentes, hidrocarburos aromáticos, soluciones acuosa de ácidos fuertes y débiles, blanqueadores, etc. (Toledo, 2013).

### **3.5.2 Líneas de producción y usos del PET**

Actualmente el PET se utiliza principalmente en 3 líneas de producción, las cuales son PET de grado Film, de grado botella y de grado textil.

#### **3.5.2.1 PET de Grado Textil**

El PET posee buenas cualidades para el proceso textil, una de las más importantes es que posee gran resistencia a la deformación y su estabilidad dimensional, cabe recalcar que este les da la cualidad a las prendas de un lavado y secado rápido sin que sea necesario realizar

un planchado. Sin embargo, posee algunos inconvenientes como su dificultosa tintura, la formación de pilling (bolitas) y tacto duro de los tejidos, pero para estos problemas ya se ha desarrollado ciertas soluciones eficaces. Este tipo de PET ya sea como fibra cortada o como filamento continuo, lidera a los polímeros textiles, al mismo se lo utiliza para realizar fibras sintéticas, sobre todo en poliéster, se lo usa para producir fibras de confección sometidas en mezclas de varios porcentajes con el algodón y para rellenos de edredones o almohadas, también se manufacturan con PET tejidos industriales de sustentación para cauchos, lonas, bandas transportadoras, etc. (Quispe, Malpartida, & Yataco, 2017).



*Imagen 6. PET de grado textil*

Fuente: (Toledo, 2013)

### ***3.5.2.2 PET de Grado Botella***

Con referencia al PET de grado botella, este se empezó a producir en Europa en 1974 y se comercializó por primera vez a EEUU. A partir de ese año ha teniendo una demanda continua, ya que ofrece grandes características en cuanto a resistencia contra agentes químicos, transparencia, ligereza y sobre todo posee bajos costos de fabricación y facilidad en su manejo (Quispe et al., 2017). Cabe recalcar, que actualmente este PET cumple con los requerimientos de la FDA( Food and Drug Administration, USA ) y la BGA ( Bundesgesundheitsamt, Alemania) para estar en contacto con alimentos, puesto que no necesita aditivos, por lo que es considerado puro e inerte (K. I. Zamudio & Cuervo, 2013).

Se puede señalar que a este tipo de PET se lo asocia solo con el embotellado de bebidas debido a que posee una barrera a gases logrando así evitar la oxidación del contenido; sin embargo; tiene muchísimos usos en otros sectores como en el sector alimenticio como envasado de salsas, mermeladas, miel, etc. También se lo usa para el envasado de productos farmacéuticos y actualmente se lo quiere usar en el envasado de leche y cerveza; aunque para esto todavía se están haciendo pruebas (Quispe et al., 2017).

Según (Toledo, 2013), este es el PET más utilizado a escala mundial como se acaba de mencionar se lo utiliza para fabricar envases alimentarios y no alimentarios, entre los usos más demandados está:

- Contenedores alimentarios
- Envases para bebidas carbónicas, aguas minerales, jugos, té, vinos, etc
- Envases para aceites, salsas, etc.
- Envases para detergentes y productos de limpieza
- Envases para productos cosméticos
- Envases para productos químicos y lubricantes
- Envases para productos de tratamiento agrícola.



*Imagen 7. PET de grado botella*

Fuente: (Toledo, 2013)

### ***3.5.2.3 PET del Grado Film***

Este tipo de PET en forma FILM es usado para la fabricación de películas fotográficas, rayos X, láminas, cintas de audio/video, Films High-Tech, embalajes especiales, en aplicaciones eléctricas y electrónicas (Quispe et al., 2017). Las películas suelen tener de 8 a 16cm de espesor y tienen propiedades mecánicas en ambos sentidos (transversal y longitudinal), mantienen todas las propiedades del material que contienen (K. I. Zamudio & Cuervo, 2013).

Existe una infinidad de usos y aplicaciones del PET aparte de las ya mencionadas, por ejemplo también se lo usa para la fabricación de piezas técnicas, en este caso el PET es reforzado con fibra de vidrio y con este se puede fabricar productos resistentes al desgaste como piezas de cerraduras, partes de automóviles, aparatos electrónicos, etc (Toledo, 2013). Como se puede apreciar, existen muchos productos que usan PET, lo que da como consecuencia grandes niveles de consumo y con eso se genera una gran cantidad de residuos

sólidos (Quispe et al., 2017). A continuación, se presenta la Tabla 6 en donde se muestra que porcentaje de cada producto fue envasado con PET en el año 2013:

*Tabla 6:* Producto y porcentaje del mismo que se envasó con PET

<b>SEGMENTO</b>	<b>PORCENTAJE DE MERCADO</b>
<b>Refrescos</b>	<b>52.8 %</b>
<b>Agua purificada</b>	<b>14.9 %</b>
<b>Aceite</b>	<b>14.5 %</b>
<b>Alimentos</b>	<b>7.0 %</b>
<b>Cuidado personal</b>	<b>2.2 %</b>
<b>Agroquímicos</b>	<b>1.4 %</b>
<b>Licores</b>	<b>0.3 %</b>
<b>Otros envases</b>	<b>1.5 %</b>
<b>Otras aplicaciones</b>	<b>2.4 %</b>
<b>Preforma exportada</b>	<b>5.0 %</b>
<b>TOTAL</b>	<b>100 %</b>

*Fuente:* (Toledo, 2013)

### **3.5.3 Impacto Ambiental del PET**

Como ya se ha mencionado anteriormente las botellas de plástico PET poseen varias propiedades como baja densidad, impermeabilidad, resistencia a la corrosión, bajo costo, etc.; las cuales son favorables desde el punto de vista de los usos que estos puedan tener; sin embargo; estos plásticos generan inconvenientes en el manejo de desechos que se generan con el consumo creciente de los mismos. Hasta mediados del siglo XX la basura generada por las actividades humanas en su mayoría eran desechos biodegradables y reciclables, pero al sumarse el plástico a la vida diaria, una gran parte de los desechos producidos empezó a acumularse en el ambiente, esto es debido a su propiedad de resistencia a la corrosión, intemperie y degradación por microorganismos o biodegradación. Actualmente se producen

millones de toneladas de plásticos en el mundo y su degradación es muy lenta llegando a tardar alrededor de 500 años. Del total del plástico producido mundialmente, solo el 9% de los 9 mil millones de toneladas han sido reciclados, el 79% se encuentra en vertederos, basureros o deambulando en el ambiente y el 12% ha sido incinerado. La producción de plástico mundial por año es de 400 millones de toneladas, de las cuales el 36% son botellas plásticas, por otro lado, se estima que para el año 2050 existirán alrededor de 12 mil millones de toneladas de basura plástica en el ambiente en general, estos al no ser biodegradables, aparte de daño ambiental también causan daño económico, por ejemplo en la región Asia-Pacífico solo los desechos plásticos les cuesta a sus industrias de turismo, pesca y transporte \$1.300 millones de dólares anualmente, así mismo a Europa le cuesta €630 millones de euros al año por la limpieza de los residuos plásticos de sus costas y playas, se estima que los daños económicos totales producidos por el plástico al ecosistema marino mundial es de mínimo \$13 mil millones de dólares anualmente (United Nations Environment Programme, 2018). Actualmente, se comercializa alrededor de 20.000 botellas plásticas por segundo, en el año 2016 se vendieron 480.000 millones de botellas plásticas en el mundo, por otro lado, tan solo el 50% de las mismas se recolectaron para ser recicladas, de estas el 7% fueron convertidas en botellas nuevas. De igual forma, para el año 2021, el reporte global de preferencias de envases de Euromonitor International predice que se va a tener alrededor de 583.300 millones botellas plásticas vendidas (Quishpe & Ortiz, 2018).

En el caso del Ecuador, la resina PET se la ocupa como insumo para productos tanto de la industria como del hogar, por lo que su consumo ha ido incrementando a lo largo de los años, en el año 2008 se consumió 37.729,79 toneladas, pero para el año 2012 su consumo subió a 52.005,46 toneladas (ver tabla 7), es decir su consumo aumentó en un 37.84% en un período de 5 años. Lo preocupante del caso es que cada año se incrementa en el país el consumo de plásticos, pero no se tiene datos reales de cuanto de este plástico consumido se

recicla, reutiliza o simplemente se tira en la basura, por lo tanto, no se puede saber con exactitud la cantidad de contaminación que causa el mismo ni las zonas del país en donde se encuentra la mayoría de estos residuos (Zambrano, 2013).

*Tabla 7. Importaciones de Resina PET al Ecuador desde el año 2008 hasta el 2012*

<b>SUBPARTIDA NANDINA</b>	<b>AÑO</b>	<b>TONELADAS</b>
3907609000	2008	37.729,79
	2009	44.530,38
	2010	46.897,88
	2011	47.069,18
	2012	52.005,46
	<b>TOTAL:</b>	<b>228.232,69</b>

Fuente: (Zambrano, 2013)

En muchos casos, cuando los plásticos empiezan a degradarse se descomponen en partículas de plástico más pequeñas que se acumulan en los ecosistemas. Estas partículas de plásticos más pequeñas se les denomina micro plásticos, lo cuales son fragmentos de plástico de tamaño inferior a 5 milímetros y se acumulan en mayor cantidad en los mares (Segura, Noguez, & Espín, s. f.). En el caso de los océanos, el 80% de la contaminación de los mismos es debido al plástico (D. Cobos & Lucia, 2012).

### **3.5.3.1 Contaminación marina y micro plásticos**

Se puede denominar a la contaminación marina como la introducción por el hombre ya sea de manera directa o indirecta de sustancias en el ambiente marino y que estas produzcan efectos nocivos en el mismo (Chamorro, 2015). Se conoce como basura marina a los materiales manufacturados o procesado sólido y persistente que ha sido abandonado en las costas o en el mar, esta basura marina se encuentra en todo el planeta, siendo así una amenaza para todos los ecosistemas de agua dulce y marina del mundo. Se aprecia que cada año entra

al océano de 6 a 8 millones de toneladas de basura marina, siendo estos en su mayoría plásticos, los cuales representan el 80% del total de basura marina en el mundo (Rojo, Montoto, & Área de Medio Marino de Ecologistas en Acción, 2017). Actualmente existen varios tipos de contaminación marina, por ejemplo, la provocada por pesticidas, por hidrocarburos, por residuos industriales y domésticos, por pesca, por navegación, por turismo, etc. (Chamorro, 2015). Sin embargo; la contaminación provocada por los plásticos es la más trascendente ya que los mismos tardan cientos de años en desaparecer, y mientras se descomponen, estos se convierten en micro plásticos. Una vez que este tipo de plástico está en el océano, ya es casi imposible que los mismos sean recogidos ya que están esparcidos por todas las zonas del planeta, desde las más remotas hasta las mayormente habitadas, logrando llegar incluso a las áreas más profundas del océano. Se estima que alrededor de 286.940 toneladas de plástico están flotando en el mar (Chamorro, 2015).

La existencia de residuos plásticos en los mares es más que un problema estético, pues representa un peligro para los organismos marinos que sufren daños por ingestión y atragantamiento. Se calculan en cientos de miles las muertes de mamíferos marinos al año por esta causa. En aves se determinó que 82 de 144 especies estudiadas contenían fragmentos de plástico en sus estómagos y en algunas especies hasta el 80% de los individuos los presentan (Segura, Noguez, & Espín, 2007).

#### **3.5.4 Reciclaje del PET**

El reciclaje desempeña un papel importante en el cuidado del ambiente, este se fundamenta en colocar un material o producto ya utilizado en un nuevo ciclo de tratamiento total o parcial para de esta manera lograr obtener un nuevo producto o materia prima. De la misma forma, al reciclaje también se lo puede definir como la obtención de materia prima a partir de desechos mediante el ciclo de la reutilización. Realizar un reciclaje es sumamente

importante ya que así se ayuda a reducir el consumo de recursos naturales y se elimina de forma eficaz los desechos (Hachi & Rodríguez, 2010).

Para el reciclaje de plásticos es necesario separar los distintos tipos de plásticos en fracciones individuales, una vez realizado esto se tiene dos opciones para su reciclaje, el cual puede ser mecánico o químico (Hachi & Rodríguez, 2010).

#### ***3.5.4.1 Reciclaje Mecánico***

El reciclaje mecánico consiste en la transformación de desechos plásticos post-industriales o post-consumo en gránulos para que puedan ser reutilizados en la producción de otros productos. Este tipo de reciclaje ayuda a conseguir distintos plásticos en determinadas proporciones o productos formados por un único tipo de plástico. Cuando se realiza un reciclaje mecánico lo que se obtiene es pellet o granos plásticos los cuales sirven como materia prima para desarrollar nuevos objetos (Hachi & Rodríguez, 2010).

#### ***3.5.4.2 Reciclaje Químico***

Es importante considerar que el Reciclado Químico se desarrolló por la industria petroquímica con el objetivo de optimizar recursos y recuperar residuos. Fundamentalmente, este tipo de reciclaje hace referencia a los distintos procesos mediante los cuales las moléculas de polímeros son craqueadas o rotas para dar origen nuevamente a materia prima básica la cual puede ser utilizada para fabricar nuevos plásticos (Hachi & Rodríguez, 2010). Gracias al reciclaje químico se logra obtener productos de calidad muy similar a los obtenidos de material virgen. Los procesos comunes para la degradación química del PET se dividen comúnmente en metanólisis, glicólisis, hidrólisis (ácida, alcalina o neutra), y otros métodos.

### **3.5.4.3 Pirolisis**

La Pirolisis hace referencia a un craqueo de moléculas por calentamiento en el vacío, es decir es el proceso químico por el cual se rompen o quiebran las moléculas del PET para así producir compuestos más simples, generando así hidrocarburos líquidos o sólidos los cuales luego pueden ser procesados en refinerías (Hachi & Rodríguez, 2010).

### **3.5.4.4 Hidrogenación**

Cuando se da un proceso de hidrogenación el plástico PET es tratado con hidrógeno y calor, se puede señalar que en este caso se rompen las cadenas poliméricas y son convertidas en un petróleo sintético el cual puede ser usado en refinerías y plantas químicas (Hachi & Rodríguez, 2010).

### **3.5.4.5 Gasificación**

En un proceso de gasificación, los plásticos son calentados con aire u oxígeno, logrando obtener monóxido de carbono e hidrógeno, los cuales pueden ser usados para la producción de metano o amoníaco, también se los puede utilizar como agentes para la producción de acero en hornos de venteo (Hachi & Rodríguez, 2010).

### **3.5.4.6 Metanólisis**

En lo que se refiere al proceso de Metanólisis, aquí se descompone al PET con metanol a elevadas temperaturas (entre 180<sup>0</sup>y 280<sup>0</sup>C) y presiones entre 2 y 4 MPa desde 3 hasta 5 horas; los catalizadores típicos a usar son acetato de magnesio, acetato de cobalto, o acetato de zinc, sin embargo, el más usado para este proceso es el acetato de zinc. Una vez finalizada la metanólisis, se obtiene principalmente tereftalato de dimetilo (DMT) y etilenglicol (EG), que son utilizados como materia prima para obtener nuevamente el PET. Entre los inconvenientes que presenta este método están las altas presiones requeridas, la producción

de algunos oligómeros y la dificultad de separar los productos del etilenglicol. Por otro lado, una de las ventajas que posee este método es que el DMT obtenido tiene las mismas características que el DMT puro, por eso este puede ser usado para la realización del PET, otra ventaja es que el etilenglicol y el metanol son reciclados fácilmente (Padilla, 2014).

#### **3.5.4.7 Glicólisis**

Debe señalarse que el proceso de Glicólisis se ejecuta principalmente con etilenglicol, dietilenglicol, propilenglicol o dipropilenglicol. Se realiza una glicólisis cuando al PET se lo disuelve en exceso de etilenglicol a elevadas temperaturas, los factores principales que influyen en este proceso son la concentración del catalizador, temperatura y tiempo. El producto obtenido es principalmente el Bis-hidroxi-etileno-tereftalato (BHET) y varios oligómeros de bajo peso molecular. Los catalizadores usados para la reacción son acetatos de Mn, Pb, Zn, Co; siendo el principal el de Zinc. Este proceso se realiza con una temperatura de  $190^{\circ}\text{C} - 240^{\circ}\text{C}$  y una presión de  $1 - 0.6 \text{ Mpa}$  (Padilla, 2014).

Gracias a la Glicólisis se puede obtener directamente el monómero del PET y puede realizarse directamente en la planta de producción del PET para incorporar el BHET directamente en la línea de producción. Una desventaja de este proceso es la dificultad para separar los oligómeros formados (Bertolotti et al., 2005).

#### **3.5.4.8 Hidrólisis**

Con la hidrólisis del PET se puede obtener ácido tereftálico y etilenglicol. El interés en este método está creciendo pues ambos pueden introducirse en la cadena de producción del PET. Sin embargo; una desventaja es la dificultad de purificar el ácido tereftálico producido. La hidrólisis del PET puede realizarse en medio ácido, alcalino o neutro (C. Zamudio & Cuervo, 2013).

La hidrólisis ácida se realiza con mayor frecuencia con un ácido inorgánico fuerte como ácido sulfúrico, fosfórico o nítrico concentrado. Se recomienda que este tipo de hidrólisis no sea utilizado a nivel industrial, puesto que, consume una alta cantidad de ácidos los cuales pueden dar como consecuencia problemas de efluentes. En la hidrólisis alcalina se utiliza una solución del 4-20% en peso de NaOH, la reacción se realiza en un período de 2 a 5 horas, con temperaturas entre 210-250<sup>0</sup>C y presiones desde 1.4 MPa hasta 2MPa. Entre las ventajas que posee este tipo de hidrólisis es que se la puede realizar con cualquier PET contaminado y se obtiene buenos resultados, además esta hidrólisis posee menor costo que realizar una metanólisis (Padilla, 2014). Por otro lado, la hidrólisis neutra se realiza en agua o vapor de agua. El proceso ocurre a presiones entre 1 y 4 MPa y a temperaturas entre 200<sup>0</sup>C y 300<sup>0</sup>C. Durante la hidrólisis se produce éster del glicol y ácido tereftálico como subproducto. El éster de glicol se disuelve en agua entre 95<sup>0</sup>C y 100<sup>0</sup>C, pero el ácido tereftálico es insoluble a estas temperaturas, haciendo fácil su separación de la mezcla de reacción (Bertolotti et al., 2005). La hidrólisis en modo neutro tiene mayores ventajas en comparación con la hidrólisis ácida y básica puesto que esta no forma sales complicadas de tratar, por lo tanto, es un tipo de hidrólisis amigable con el ambiente y además no produce problemas de corrosión, por otro lado, una desventaja de la hidrólisis neutra es que los productos que se obtienen con la misma son considerados de menor pureza en comparación con los productos obtenidos de la hidrólisis ácida y alcalina (Padilla, 2014).

### **3.5.5 Degradación del PET**

Se interpreta como degradación al cambio químico que reduce el peso molecular de un polímero, esta debilita al material y debido a las características mecánicas que poseen los plásticos estos se degradan principalmente cuando se encuentran en el ambiente (Villafañe, 2018). Cuando se encuentran en el ambiente la velocidad de degradación de los plásticos PET es muy baja (alrededor de 500 años), sin embargo la radiación solar UV es una

herramienta de degradación muy eficiente cuando el plástico se encuentra ubicado al aire libre o en una superficie sólida, pero si el mismo se encuentra expuesto a la luz solar y flotando en el agua la degradación se ve severamente retardada (llegando a tardar incluso 1000 años en degradarse) (Villafañe, 2018).

### **3.6 Plátano**

“El plátano es uno de los frutos tropicales más importantes que constituyen una de las bases esenciales para la alimentación en algunos países; es también producto importante de exportación. Se le conoce con el nombre de plátano macho, banano o cambur; El primero se consume comúnmente cocido y el último como fruta cruda” (Quiñonez, 2013).

El plátano *Musa paradisiaca spp.* es una fruta de consumo generalizado en Ecuador debido a su valor nutritivo, disponibilidad todo el año y su precio relativamente bajo (García Mata, 2017). El fruto puede tener entre 80 a 120 gramos de peso, tiene un gran valor nutricional debido a su alto contenido de carbohidratos, lípidos y proteínas.(Casallas, 2010).

#### **3.6.1 Taxonomía del Plátano**

Según (Nadal-Medina, Manzo-Sánchez, Orozco-Romero, Orozco-Santos, & Guzmán-González, 2009) los plátanos y bananos son monocotiledóneas de porte alto, originadas de cruces intra e inter-específicas entre *Musa acuminata* Colla y *Musa balbisiana* Colla que pertenecen a la familia *Musaceae*. La subfamilia Musoidea está conformada por dos géneros muy conocidos por todo el mundo, como son el Ensete y el Musa, siendo este último el de gran importancia e interés para el hombre, ya que debido a su cualidad partenocárpica posee una gran cantidad de especies alimenticias. En la Tabla 8 se observa la taxonomía del plátano.

Tabla 8: Taxonomía del plátano

<b>Taxonomía</b>	
<b>Reino:</b>	<i>Plantae</i>
<b>División:</b>	<i>Magnoliophyta</i>
<b>Clase:</b>	<i>Lilipsida</i>
<b>Orden:</b>	<i>Zingiberales</i>
<b>Familia:</b>	<i>Musaceae</i>
<b>Género:</b>	<i>Musa</i>
<b>Especie:</b>	<i>M. paradisiaca</i>

*Fuente: (M. Soto, 2002)*

### 3.6.2 Clasificación de los plátanos en Ecuador

El plátano también conocido como plátano verde comprende tres variedades: maqueño, barraganete y dominico, los cuales se producen en la costa ecuatoriana en zonas de clima cálido (Bahamonde, 2014).

#### 3.6.2.1 Plátano maqueño

Puede medir hasta 20 y 25 cm de largo y pesar entre 150 a 200 gr, este tipo de plátano es el que más dedos en su racimo presenta, tiene la piel rojiza y su pulpa es dulce y pegajosa

#### 3.6.2.2 Plátano barraganete

El plátano barraganete puede ser tanto verde como maduro puede medir hasta 30cm de largo y 5cm de ancho. El plátano maduro es rico en azúcares y vitaminas del grupo B.

#### 3.6.2.3 Plátano dominico

Fruta tropical de color amarillo o verde, tiene una gran combinación de minerales, vitaminas y energía lo que la convierten en un alimento indispensable. Posee un peso entre 150 a 200 gr.

En la Tabla 9 se muestran las características de cada especie de plátano, dedos por mano (racimo), largo, ancho y sus respectivos usos.

Tabla 9: Características de diferentes especies de plátano.

Especie	Dedos por mano	Largo de la fruta (cm)	Ancho de la fruta (cm)	Usos
MAQUEÑO <i>Musa Cavandanaish</i>	Hasta 80	20 a 25	2 a 4	Consumo interno, elaboración de snack.
DOMÍNICO <i>Musa cavendishii L</i>	23 a 50	22 a 30	2 a 4	Sus hojas son usadas para la cocción de alimentos.
BARRAGANETE <i>Musa Paradisiaca</i>	22 a 44	22 a 30	2 a 5	Variedad de mayor exportación.

Fuente:(Herrera, 2017)

(Herrera, 2017) indica que el género *Musa* comprende 40 especies, pero de ellas solo las variedades *Musa paradisiaca*, *Musa cavandanaish* y *M cavendishii L*, son comestibles.

Además (Bahamonde, 2014) indica más variedades de plátano, las cuales son:

#### 3.6.2.4 Plátano Horton verde

También llamado macho, es más grande que el plátano común, es de color verde y al llegar a su estado de maduración se torna amarillo con manchas marrones (Bahamonde, 2014).

### 3.6.2.5 Plátano orito maduro

El orito es una variación más pequeña del banano con un tamaño aproximado de 12 cm y con un sabor más dulce, posee su piel de color amarillo y su pulpa de color blanco y de alta consistencia (Bahamonde, 2014).

## 3.7 Almidón

El almidón con fórmula  $(C_6H_{10}O_5)_n$ , estructurado por macromoléculas amilopectina y amilosa; es un carbohidrato muy importante que se le ha incluido a la dieta del hombre por su gran valor nutritivo; después de la celulosa es el polisacárido más cuantioso y considerable desde el enfoque comercial. Su concentración cambia conforme avance el estado de madurez, por ejemplo, el plátano en estado verde o inmaduro, el almidón conforma la mayor fracción de hidratos de carbono y en menor fracción se encuentran los azúcares que son muy limitados.(Badui, 2006).

Según (V. Soto, 2010) el almidón es un carbohidrato muy importante ya que contiene un porcentaje almidón de 68, 13% en el plátano en estado inmaduro ( o verde) , y para el banano un porcentaje de 73,42% de contenido de almidón dependiendo del tipo de especie, tamaño estado y el contenido de azúcares reductores; en este caso los porcentajes mencionados comprenden para la especie *Musa paradisiaca* lo cual se asemeja a (G. B. López & Montaña, 2014) que afirma el fruto en estado inmaduro posee un contenido de 70% de almidón a comparación del fruto en estado maduro.

(Martínez, Lapo, Pérez, Zambrano, & Maza, 2015) señala también que de este fruto se puede conseguir un 70% de rendimiento de este hidrato de carbono aproximadamente.

Cuando la fruta llega a su estado de madurez, las amilasas provocan la hidrólisis del polisacárido y por medio de sistemas enzimáticos es sintetizada la fructosa y sacarosa cuando

llegan a la absoluta maduración. Este polisacárido de reserva energética se puede encontrar en cereales como el arroz y maíz; algunas frutas como mango, plátano y tubérculos como la papa y yuca (Badui, 2006).

### 3.7.1 Polímeros de Almidón

Este polisacárido está conformado por macromoléculas glucosídicas; “la amilopectina (Ver Figura 6) está compuesta de segmentos de glucosa unidos por enlaces que contienen ramificaciones mediante unidades de glucosa, “94 a 96% por enlaces  $\alpha$  (1-4), y de 4 a 6% por uniones  $\alpha$  (1-6)” (Martínez et al., 2015); por otro lado, la amilosa (Ver Figura 7) es una cadena lineal de D-glucosa, que tiene en promedio 500 y 6000 unidades las cuales pueden distribuirse desde 1 a 20 cadenas”. (Cuevas, 2017).

El almidón del plátano comprende una mezcla de macromoléculas de amilosa (15 a 30%) y amilopectina (70 a 85%); por ende, a mayor contenido de amilopectina incrementan sus características adhesivas, entretanto la amilosa aumenta la capacidad de gelatinización (Khoramnejadian et al., 2011; Hernández et al., 2013 citado por Lambis et al., 2015).

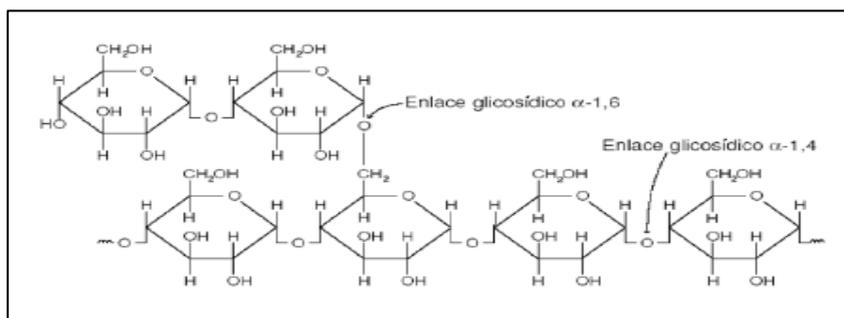


Figura 6. Estructura de molécula de amilopectina

Fuente:(Meneses et al., 2007)

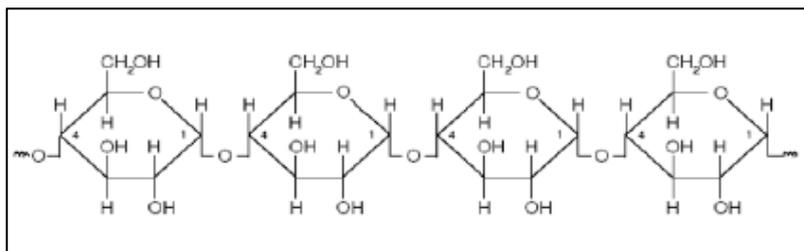


Figura 7. Estructura de molécula de amilosa

Fuente: (Meneses et al., 2007)

### 3.7.2 Propiedades funcionales del plátano

#### 3.7.2.1 Propiedades funcionales de la pulpa del plátano

La pulpa de plátano es una magnífica fuente de potasio, de todas formas este elemento se puede encontrar en grandes variedades de frutas, sin embargo (G. B. López & Montaña, 2014) afirma que solo un plátano puede proporcionar hasta el 23% de potasio que se requiere al día.

#### 3.7.2.2 Propiedades funcionales de la cáscara plátano

La cáscara del plátano posee componentes sustanciales como ácido salicílico, fibra, proteínas, ácido cítrico y una combinación de manganeso y potasio que son empleados en beneficio de otros productos alimenticios, además es rico en proteínas, aminoácidos, potasio y fibra dietética especialmente. Representa el 30% del peso del fruto y sus usos dependen de su composición química (G. B. López & Montaña, 2014).

### 3.7.3 Propiedades del almidón

#### 3.7.3.1 Transición vítrea:

La transición vítrea se presenta macroscópicamente por cambios físicos en donde ocurre un ablandamiento del material (Schebor, 2000) ; además se producen otros cambios como el calor inducido sobre las propiedades del polímero, el cual produce modificaciones en el

material debido al incremento de la temperatura provocando que pase de sólido a flexible concordando así con el autor antes citado (Meneses, Corrales, & Valencia, 2007). En la Tabla 10 se puede observar las características requeridas para un proceso de transición vítrea

*Tabla 10:* Características para un proceso de transición vítrea

<b>Características para una Transición vítrea</b>
Rigidez de cadenas
Entrecruzamiento de cadenas
Aparición de cristales
Crecimiento de secciones amorfas

*Fuente: Autores*

### 3.7.3.2 *Gelatinización:*

La estructura molecular de los gránulos de almidón es destruida paulatina e invariable debido a la presencia de altas temperaturas (Quintero & Ramírez, 2013), calor y elevadas cantidades de agua con escasa influencia de despolimerización (Meneses et al., 2007). En la Tabla 11 se observan los factores que se requieren para que se dé un proceso de gelatinización.

*Tabla 11:* Factores que se requieren para un proceso de gelatinización

<b>Factores de Gelatinización para almidón de plátano</b>
Temperatura (60°C-70°C)
Viscosidad (depende de la concentración y absorción del agua)
Cristalinidad (se va perdiendo en el transcurso del proceso)

*Fuente: Autores*

### 3.7.3.3 *Retrogradación:*

Este proceso se da luego de la gelatinización, en donde se produce una etapa de enfriamiento, la viscosidad aumenta otra vez y se produce la retrogradación (Meneses et al., 2007). Como resultado los almidones retrogradados por así llamarlo, tienen una gran compactación debido a sus buenas características, siendo así utilizados en elaboración de pastillas por compresión directa. (Garzón, 2006). En la Tabla 12 se observan los factores que se requieren para que se dé un proceso de retrogradación.

*Tabla 12:* Características que se requieren para un proceso de retrogradación

---

#### **Características para una retrogradación**

---

Presencia de gránulos

Presencia de amilosa insoluble

Hinchamiento de la amilopectina

Reorganización de pH (Potencial de Hidrógeno) y  
viscosidad

Reorientación de cadenas moleculares

Decrecimiento de solubilidad

Fuente: Autores

### 3.7.3.4 *Desestructuración:*

La desestructuración del almidón es un fenómeno en cual ocurre una alteración de los gránulos de almidón semicristalino en una matriz uniforme de polímero amorfo, seguida por una rotura de los puentes de hidrógeno en las moléculas de almidón y por otro lado se da la despolimerización de las moléculas en forma parcial. (Meneses et al., 2007).

Según (Avilés, 2006) este fenómeno también se puede dar aplicando calor inducido, es decir al aumentar la temperatura incrementa la solubilidad del almidón en agua, teniendo como resultado una despolimerización relevante con una temperatura de 150°C

aproximadamente, no obstante, el incremento de la solubilidad se presenta en una temperatura por encima de los 190°C. A mayor humedad de la mezcla se reduce el grado de desestructuración.

En la Tabla 13 se observan los factores físico químicos que se requieren para que se dé un proceso de desestructuración.

*Tabla 13:* Factores que se requieren para el proceso de desestructuración

<b>Factores físico químicos para una desestructuración</b>
Temperatura
Esfuerzo cortante
Tasa de esfuerzo
Tiempo de residencia
Contenido de agua
Cantidad de energía aplicada

Fuente: Autores

#### ***3.7.3.5 Biodegradación en elementos orgánicos como propiedad funcional***

La biodegradación tiene como fin reducir el impacto ambiental ocasionado mediante una degradación rápida, permitiendo así reintegrarse a la naturaleza en poco tiempo a comparación de los materiales comunes.

La norma ASTM D 5488-944 define la biodegradabilidad como la descomposición de un material en elementos orgánicos o biomasa, dióxido de carbono, metano y agua en donde se produce una acción enzimática de microorganismos (Meneses et al., 2007). En la Tabla 14 se observan los factores que se requieren para que se dé un proceso de degradación.

Tabla 14: Factores para un proceso de biodegradación

<b>Factores de Biodegradación</b>
Presencia de microorganismos
Presencia de Oxígeno (si se requiere)
Humedad relativa
Minerales necesarios
Temperatura (20°C- 60°C) depende del microorganismo
pH adecuado (entre 5 y 8)

Fuente: Autores

### **3.7.3.6 Granulometría del almidón de plátano**

Según (Bonifácio, de Nóbrega, & Silveira, 2011) la granulometría es la medición y graduación del tamaño de partículas de almidón que consiste en separar dichas partículas en distintos tamaños por medio de tamices de diferentes diámetros y distintos pesos, llegando así a una fracción muy pequeña.

### **3.7.3.7 Prueba cualitativa -Complejo Yodo-almidón**

La molécula de Yodo, I<sub>2</sub>, está conformada por dos átomos de yodo unidos con enlace covalente. La obtención del reactivo de Lugol sirve para distinguir la presencia de almidón u otros polisacáridos, ya sea en frutas, pan, papas, cereales entre otros. Esta sustancia absorbe el yodo provocando una coloración azul.

“Una solución de yodo di-yodo disuelto en una solución acuosa de yoduro de potasio reacciona con almidón produciendo un color púrpura profundo. Esta reacción es el resultado

de la formación de cadenas de poliyoduro a partir de la reacción del almidón con el yodo presente en la solución de un reactivo llamado lugol “(Vega, 2014).

### **3.7.4 Obtención de almidón**

La obtención del almidón se ha venido realizando desde hace varios años, en diferentes tipos de frutas, vegetales, cereales y tubérculos por medio de diferentes métodos, los cuales han venido innovándose hasta conseguir extracciones calificadas que puedan ser adaptadas en el entorno industrial. A continuación, se describen los métodos para obtener el almidón (Ayala, 2016).

#### ***3.7.4.1 Métodos de extracción del almidón***

Para la extracción del almidón del plátano se realizan dos tipos de métodos que se describen a continuación:

##### **3.7.4.1.1 Método Seco:**

Consiste en la deshidratación tanto de la pulpa como de la cáscara en un horno. Según (Mazzeo, Alzate, & Marín, 2008) para poder realizar la extracción en seco es imprescindible tener en cuenta el contenido de humedad del plátano, que es de 83% en masa aproximadamente.

##### **3.7.4.1.2 Método Húmedo:**

El método de extracción húmedo consiste primeramente en triturar la pulpa y separar en un medio líquido (agua destilada) las partículas que se encuentran en una fracción más grande a los componentes de la pulpa o cáscara del plátano, como por ejemplo fibras, proteínas y cenizas utilizando tamices de diferentes diámetros, finalmente se expone a un proceso de secado (Mazzeo et al., 2008).

#### ***3.7.4.2 Métodos de cuantificación del almidón***

Este método consiste en verificar el contenido de almidón presente en vegetales, frutas, cereales y tubérculos mediante el método de reacción colorida de yodo, a dicha muestra se la coloca en una solución de yoduro de potasio, para posteriormente realizar las lecturas respectivas en un espectrofotómetro (M. Ayala, 2016).

### **3.8 Biodegradación en sustrato orgánico**

La biodegradación es la consecuencia de los procesos de digestión, asimilación y metabolización de un compuesto orgánico, estos procesos son realizados por bacterias, hongos, protozoos, etc. Este proceso es natural y esencial en el ambiente debido a que se eliminan compuestos nocivos y se reciclan los elementos naturales en la biósfera logrando así restituir los elementos esenciales para la formación y crecimiento de los microorganismos (Gomero & Velásquez, 1999). Cabe recalcar que todo compuesto sintetizado biológicamente puede ser descompuesto de la misma manera. La degradación puede realizarse de forma aeróbica o anaeróbica. La descomposición aeróbica se realiza con la presencia de oxígeno, en esta descomposición se libera energía, dióxido de carbono y agua, además posee un alto rendimiento energético, como contra partida; los procesos anaeróbicos se dan por la ausencia de oxígeno y son oxidaciones incompletas en donde se libera una cantidad baja de energía (Acuña, Pucci, Morales, & Pucci, 2010).

La biodegradación depende de las características del hábitat, del contaminante y de los microorganismos (Acuña et al., 2010). Los compuestos o materiales son biodegradables a diferentes ritmos, pero a nivel general, los microorganismos que realizan una biodegradación necesitan la presencia en cantidades óptimas de luz, agua, oxígeno y temperatura. La temperatura y humedad son los factores climáticos más importantes para que se realice una biodegradación, debido a que los mismos controlan la tasa de descomposición en

condiciones naturales, así mismo; la aireación y estructura del suelo poseen un papel importante indirecto en este proceso. En lo que respecta a la temperatura, en ecosistemas tropicales se da un porcentaje bajo de biodegradación y una de las razones es que en altas temperaturas se tiene un menor almacenamiento de compuestos orgánicos, mientras que los ecosistemas de zonas templadas poseen altos niveles de materia orgánica y energía acumulada, finalmente los ecosistemas con temperaturas bajas suelen retrasar la actividad biológica, por lo que la tasa de biodegradación suele ser baja. La temperatura ideal para que se dé una biodegradación es aproximadamente de 25<sup>0</sup>C a 30<sup>0</sup>C, la misma permite que se dé un hacinamiento de materia orgánica y se mejore las propiedades del suelo, pero si, por el contrario; se posee temperaturas muy altas con respecto a la ideal, se tiene como resultado una aceleración de la degradación de restos vegetales en el suelo causando grandes problemas de fertilidad. Por otra parte, la humedad es otro factor climático importante, la cual se recomienda que esté entre el 60-70%, sin embargo; esta porcentaje óptimo está directamente ligado a la temperatura del lugar, por lo que para cada zona estos porcentajes pueden variar(Arguello, s. f.).

En lo que respecta a la descomposición de materia orgánica en el suelo, en el mismo se da un ciclo muy importante, el cual es el ciclo del Carbono. Se conoce que la cantidad total de carbono que tiene el suelo es de dos a tres veces mayor al del CO<sub>2</sub> atmosférico. Este carbono se produce en el mismo a través del metabolismo de la microflora y de las raíces de las plantas, sin embargo; es la descomposición microbiana de compuestos orgánicos el proceso más importante que estimula que se genere este carbono. Mientras se produce esta descomposición, una parte del carbono es regresado a la atmósfera en forma de CO<sub>2</sub> y la otra parte se convierte en compuestos más sencillos o se almacena en las estructuras microbianas. Cabe destacar, que los flujos del CO<sub>2</sub> entre la atmósfera y el suelo cumplen una función muy importante en el desempeño del ciclo global del carbono, por lo que la alteración de alguno

de los procesos que lo regulan puede cambiar la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico. Las actividades más comunes que aumentan el CO<sub>2</sub> en la atmósfera son los cambios en el uso del suelo, su sobreexplotación, deforestación y labores silvícolas. Esta modificación del suelo también influye en las funciones que desempeña la materia orgánica y todo lo mencionado junto da como resultado un suelo erosionado, infértil, etc (Pérez, Ouro, Merino, & Macías, 1998).

### **3.9 Huella de Carbono**

La huella de Carbono es la cantidad de kilos o toneladas de Dióxido de Carbono equivalente que una persona u organización produce en un lapso determinado de tiempo (Schneider & Samaniego, 2009; Valencia, 2018). Es importante conocer que la misma representa la cantidad de gases de efecto invernadero (GEI) enviados hacia la atmósfera, estos gases son provenientes de las actividades de producción o consumo de bienes y servicios. La medición de la huella de carbono es considerada una de las herramientas más importantes para la cuantificación de las emisiones de los GEI (Espíndola & Valderrama, 2012). Se debe considerar que la huella de carbono puede abarcar desde algo simple como solo la emisión directa del CO<sub>2</sub> e ir a algo más complejo como por ejemplo analizar el ciclo de vida completo de la emanación de gases de efecto invernadero desde la elaboración de materias primas hasta el destino final del producto y de sus embalajes. Es importante agregar que, para tener una definición completa de la huella de carbono en toda su dimensión, también se debe considerar la responsabilidad que tienen en todo este proceso los consumidores mediante sus decisiones de compra ya que los mismos pueden ser contemplados como uno de los causantes esenciales de generar la huella de carbono al adquirir un determinado bien o servicio. Actualmente, en los modelos contables disponibles la contabilidad de emisiones se la realiza tan solo a quienes generan carbono en los procesos de producción y transporte, por lo que es muy importante determinar que emisiones van a

ser analizadas en cada etapa del ciclo de vida del producto, bien o servicio, también se debe decidir si se va a considerar las emisiones vinculadas al consumo del producto y al comportamiento del consumidor (Schneider & Samaniego, 2009). Se pueden establecer tres ámbitos de emisiones de gases de efecto invernadero las cuales son:

- **Ámbito 1:** Hace referencia a las emisiones directas de gases de efecto invernadero, las cuales pueden ser desde fuentes propias o controladas (Schneider & Samaniego, 2009).
- **Ámbito 2:** Con respecto al ámbito 2, en este se encuentran las emisiones indirectas provenientes de la generación de energía, calor o vapor por parte de terceros (Schneider & Samaniego, 2009).
- **Ámbito 3:** En relación al ámbito 3, aquí también se encuentran las emisiones indirectas, pero a diferencia de las del ámbito 2, estas emisiones son resultado de las actividades de la empresa u organización que realiza el producto, pero ocurren fuera de sus instalaciones y no son controladas por la misma. Por ejemplo, a este caso pertenecen las emisiones generadas por los viajes, gestión y disposición de residuos, etc. (Schneider & Samaniego, 2009).

Por otro lado, los modelos de cálculo de la Huella de Carbono posibilitan calcular la huella de carbono para un solo individuo o un grupo de ellos (Valencia, 2018), es importante señalar que la huella de carbono individual se forma por la suma de dos partes, siendo estas la huella primaria y la secundaria. La Huella primaria es la que mide las emisiones directas del CO<sub>2</sub> a partir de la quema de combustibles fósiles, en este caso se incluye el consumo doméstico de energía y transporte sobre los cuales se tiene control directo. Por otra parte, la huella secundaria es la que mide las emisiones indirectas de CO<sub>2</sub> de todo el ciclo de vida de los productos que se realizan, es decir, son las emisiones de CO<sub>2</sub> de los procesos productivos de los bienes y servicios que adquiere el consumidor (Schneider & Samaniego, 2009). En

contraposición a la huella de carbono individual, se encuentra la huella de carbono de una empresa o institución, para el cálculo de la misma se debe incluir todas las operaciones y sus emisiones de GEI y además se debe trabajar con los ya mencionados ámbitos de las emisiones de gases de efecto invernadero (Valencia, 2018).

Actualmente en el Ecuador, el Ministerio de Ambiente (MAE), desde al año 2011 posee un proyecto llamado “*Identificación, Cálculo y Mitigación de la Huella Ecológica del sector público y productivo del país*”, dentro del proyecto se realiza el análisis de la Huella de Carbono para mediante este análisis poder estimar la cantidad de gases de efecto invernadero emitido por las actividades de los ecuatorianos. En el Ecuador la emisión de los GEI se divide en cinco sectores, estos son: procesos industriales, cambio de usos del suelo y silvicultura, energía, agricultura y generación de desechos. La huella de Carbono para Ecuador en el 2006 fue de 36.39 millones de toneladas métricas de CO<sub>2</sub>eq, de igual forma, la huella per cápita fue de 2.70t CO<sub>2</sub>eq (The Guardian, 2016; Valencia, 2018).

### **3.9.1 Métodos de Cálculo de la Huella de Carbono**

Para calcular la Huella de Carbono se puede utilizar principalmente cuatro métodos que sirven para analizar las emisiones de gases de efecto invernadero, la diferencia que existe entre los mismos es el alcance que cada uno posee, de igual forma y de manera general, estos métodos estudian el ciclo de vida del producto, bien o servicio brindado. Los métodos son:

#### ***3.9.1.1 Protocolo GEI***

El protocolo GEI, también conocido como *El Protocolo Global para “Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero o Green house Gas Protocol”*, es una herramienta internacional utilizada para calcular las emisiones de gases de efecto invernadero (Valencia, 2018), el cual tiene como meta establecer bases para la contabilización de emisiones de los gases de efecto invernadero (Valderrama, Espíndola, & Quezada, 2011). Este protocolo fue creado en el año 1998 por el World Resources Institute

(WRI) y el World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), de igual manera para la creación de este protocolo colaboraron grupos de empresas y ambientalistas cuyo objetivo era poder afrontar el cambio climático con herramientas más eficientes y certeras. Actualmente este protocolo es el más usado en todo el mundo y sirve como modelo estándar de cuantificación y gestión de emanación de gases de efecto invernadero. (Valencia, 2018).

Gracias a este protocolo, una vez realizado el cálculo de las emisiones, también se puede conocer cuáles van a ser las emisiones a futuro, para que la empresa pueda establecer las políticas y metas de mitigación, sus plazos para conseguirlas a partir de los inventarios obtenidos y los períodos de tiempo en donde se realizarán seguimiento, por lo mismo, las organizaciones deberán elegir justificadamente un año de referencia para cumplir los objetivos de reducción y así poder evaluar los resultados (Valencia, 2018).

### ***3.9.1.2 Balance de Carbono***

El método Balance de Carbono es llamado internacionalmente como Bilan Carbone. Fue creado en el año 2002 por Jean -Marc Jancovivi para la Agencia del Medio Ambiente y energía de Francia (ADEME). Se creó con el objetivo de transformar de manera rápida los datos de actividad de emanación de gases de efecto invernadero mediante la utilización de factores de emisión, con este método se obtiene un balance neto de dichos gases y son manifestados en CO<sub>2</sub>eq. Una de las ventajas de la utilización de este método es que permite valorar cual sería el posible impacto de una nueva actividad dentro del cálculo global de emanación de gases de efecto invernadero, además su metodología es beneficiosa a diferentes escalas, va desde inversiones locales hasta de manera mundial ayudando a calcular la Huella de Carbono de un país (Valencia, 2018). Es conveniente recalcar que el Bilan Carbone posee una visión generalista muy completa, ya que, gracias a sus distintos módulos

se puede trabajar desde el nivel de empresas y eventos hasta territorios y productos(Valderrama et al., 2011).

### **3.9.1.3 PAS 2050**

También conocida internacionalmente como *Método de las Especificaciones Públicas Disponibles*, se creó en el año 2007 por el Instituto Británico de Estandarización (BSI) con la ayuda del Consorcio del Carbono (Carbon Trust) y el Departamento para el Ambiente, la Alimentación y Asuntos Rurales (DEFRA). El objetivo de este método es calcular las emisiones de gases de efecto invernadero correspondientes a productos y servicios, pero basándose en las normas ISO 14040 (Análisis del ciclo de Vida) e ISO 14067 (Huella de Carbono). Para la norma PAS 2050 es de mucha importancia darle especial atención a la obtención del ciclo de vida para cada bien o servicio que esté dentro del proyecto de cálculo de la huella de carbono, por lo que en esta norma se diferencian dos tipos de ciclo de vida de acuerdo al tipo de producto que se obtenga, estos son Business to business y Business to customer. El primero se usa cuando un ciclo de vida de un producto finaliza en la entrega de este como materia prima a otra empresa u organización, por el contrario, el ciclo de vida conocido como Business to customer, considera el ciclo de vida completo del producto, bien o servicio, es decir, también le interesa las actividades subsiguientes a la entrega al cliente como el reciclaje o disposición final. Para finalizar, cabe recalcar que la PAS 2050 necesita para el cálculo de la Huella de Carbono las fuentes de emisión, las cuales pueden ser: uso de energía, procesos de combustión, las distintas reacciones químicas, pérdida de gases refrigerantes, etc (Valencia, 2018).

### **3.9.1.4 Método Compuesto de las Cuentas Contables (MC3)**

Este método se desarrolló en el año 2004 por J.L. Doménech, su objetivo fue expresar la Huella de Carbono en unidades de superficie bioproductivas (tCO<sub>2</sub>eq)(Valencia, 2018). En este caso la información necesaria para estimar la Huella de Carbono se obtiene de

documentos contables, los cuales pueden ser el balance y la cuenta de pérdidas y ganancias, para así poder tener una información más clara respecto a las actividades que están asociadas a cada organización (Valderrama et al., 2011). Para calcular las emisiones, este método propone una matriz conocida como Matriz consumo/superficie, en la cual se debe colocar los consumos que la empresa necesita para la fabricación de un producto, se debe incluir los residuos generados y el uso del suelo, al acabar de realizar esta matriz, este consumo de recursos será transformado a unidades de superficie ( $\text{TCO}_2\text{eq}$ ). Al MC3 también se lo puede considerar como una herramienta de cálculo de la huella ecológica, debido a que aquí también se obtiene cuantas hectáreas de terreno bioproductivo son imprescindibles para la elaboración de un producto (Valencia, 2018). Una de las ventajas más importantes al ocupar este método para el cálculo de la Huella de Carbono es:

- Permite determinar cuáles son las fuentes principales de emisión de GEI de una empresa, dado que usa los datos contables de la misma (Valencia, 2018).
- Mediante este método se puede Eco Etiquetar a una organización ya que se analiza los procesos y fuentes dentro de ella para volverlos más amigables con el ambiente (Valencia, 2018).
- Con este método se puede declarar las emisiones en toneladas equivalentes de  $\text{CO}_2$  y también se puede manifestar las hectáreas de terreno necesarias para elaborar los diferentes productos que las empresas ofrecen (Valencia, 2018).

### **3.10 Método de Walkey y Black**

En 1916 Ames y Gither llegaron a demostrar que la cuantificación del carbono orgánico del suelo era posible mediante oxidación con mezcla sulfocrómica, generalizando así los métodos basados en combustión húmeda. Para 1926, Shollenberger desarrolla una técnica en la cual se aplica calefacción externa a los tubos de reacción con una temperatura de  $175^\circ\text{C}$ , además adicionó el método de valoración de carbono por medio de la titulación del exceso

de Cromo VI con una sal ferrosa. En 1930, Degtajareff utiliza peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) en la etapa previa del agregado de la mezcla sulfocrómica, asegurando que así se mejora el nivel de oxidación del CO (Carreira, s. f.). Sin embargo, en 1934 Allan Walkley y Amstrong Black rechazan el proceso planteado demostrando el error, pero aclaran que es necesaria la disolución de ácido sulfúrico en la solución del peróxido para generar el calor necesario y así lograr una oxidación en niveles aceptables del CO. Entonces, modifican el método reemplazando la calefacción externa de la mezcla sulfocrómica por el calor que genera la disolución del ácido sulfúrico. Para que el ensayo tenga resultados acertados se deben respetar las condiciones del procedimiento y usar un factor de recuperación para estimar el CO. A lo largo de los años se han planteado algunas modificaciones al método y para estabilizarlo, en 1991, PROMARCAACS publica dos variantes del método original, una a nivel macro y el otro a nivel micro, pero estas más tarde se editaron por SAMLA en el año 2004 (García & Ballesteros, 2005). Los puntos críticos a tomar en cuenta dentro del proceso es principalmente las características del suelo y la calidad de materia orgánica, de esto dependerá el porcentaje de recuperación. Es necesario usar un método referencial para definir un factor de recuperación específico para cada tipo de suelo. Este método está asociado estrechamente a la concentración del ácido ( $H_2SO_4$ ) y la temperatura de reacción, siendo así que al aumentar la concentración del ácido aumentaría la fuerza oxidante y a su vez se reduce la temperatura alcanzada en la disolución. Cabe recalcar que la concentración del dicromato empleado en la mezcla debe asegurar una intensidad oxidativa constante. De igual forma, la relación ácido-dicromato que propone este método, es la indicada para alcanzar temperaturas entre  $120^\circ C$  y  $140^\circ C$ . Por otro lado, el nivel de oxidación depende de la temperatura máxima alcanzada y la persistencia del calor generado, si se añade calefacción externa, esta ayudará a recuperar niveles más altos de carbono ya que las temperaturas que generan son entre  $125^\circ C$  a  $150^\circ C$ , las cuales mejoran los niveles de oxidación. Al mismo

tiempo, este método posee interferencias químicas, los interferentes más comunes son los iones ferrosos o iones cloruros que se encuentran en suelos salinos y consumen dicromato, sobreestimando así la cantidad de CO. Finalmente, al aplicar el presente método, es probable que el nivel de oxidación del carbono se vea afectado por los materiales finos que se encuentran en los suelos como las arcillas silicatas, vermiculita y montmorillonita y materiales alofánicos. Para solventar este problema, los autores recomiendan que el grado de molienda del suelo sea tal que pase por un tamiz de 0.5 mm para recuperar en mayor cantidad el CO (Carreira, s. f.).

Como ya se dijo anteriormente, el método de Walkey y Black, es usado para la determinación de carbono oxidable en muestras de suelos. Su realización básicamente consiste en la oxidación del suelo con un volumen conocido de solución de dicromato de potasio estandarizada ( $K_2Cr_2O_7$ ) en un medio de ácido fuerte como es el  $H_2SO_4$  (ácido sulfúrico concentrado) en una cantidad ya establecida. El calor que se desprende el ácido al momento de diluirse favorece la reacción del dicromato de potasio con la materia orgánica contenida en la muestra de suelo (Aguilera, 2000). La cantidad de carbono se determina valorando por retroceso la cantidad de dicromato que no ha sido reducido por la materia orgánica, titulando con una solución de sulfato ferroso ( $FeSO_4$ ) de normalidad conocida el cual actúa como reductor, usando como indicador difenilamina. En ciertas muestras de suelo se tienen cantidades considerables de cloruros, como es el caso de suelos salinos, para evitar interferencias de estos en la titulación ya que pueden consumir dicromato de potasio, se debe realizar un primer proceso que es una precipitación en forma de cloruro de plata ( $AgCl$ ) mediante la adición de sulfato de plata ( $Ag_2SO_4$ ) (García & Ballesteros, 2005).

### 3.11 Análisis de Espectroscopia IR

La espectroscopía consiste en la interacción de sus ondas electromagnéticas (EM) con la materia. La luz infrarroja no es visible para el ojo humano, ya que este responde a longitudes de 390 a 750 nm. El espectro infrarrojo se divide en infrarrojo cercano (NIRS), 12800-4000  $\text{cm}^{-1}$ , infrarrojo medio (MIRS) 4000-400  $\text{cm}^{-1}$ ; e infrarrojo lejano (FIRS) 400-10  $\text{cm}^{-1}$  (Theophanides, 2012) , siendo el infrarrojo medio (MIRS) donde se dan la mayoría de aplicaciones analíticas comunes (Serrano, 2015).

La interacción entre la materia y la radiación infrarroja provoca una alteración la cual se relaciona con el campo vibracional de las moléculas que consiste en el movimiento o vibración de todos los átomos con la misma fase y frecuencia normal, a esto también se lo conoce como modos normales de vibración (Gómez & Murillo, 2006).

#### 3.11.1 Modos normales de vibración

La manera de vibrar en una molécula poliatómica resulta más compleja que una molécula diatómica debido a que existen varias formas de vibración, tensionando los enlaces, flexionando los ángulos, entre otras (Sancho, 2012).

Según (Serrano, 2015) el número de maneras de vibración en una molécula lineal de N átomos se calcula tomando en cuenta el movimiento que produce cada átomo de acuerdo a sus desplazamientos a lo largo de tres direcciones espaciales  $3N$ , es decir la molécula contiene  $3N$  grados de libertad, por lo tanto dichos desplazamientos corresponden con las traslaciones de su centro de masas. Por otro lado, si la molécula es no lineal, aparecen otras tres combinaciones  $3N-6$  que determinan la rotación de la molécula en su centro de masas. En este caso en la nueva combinación los átomos se alejan del centro de masa y la molécula se desorienta, por ende, estas distorsiones no son de importancia (Ver Imagen 8).

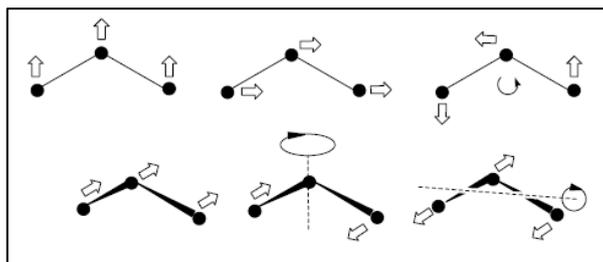


Imagen 8. Modos de vibración- molécula lineal/ molécula no lineal

Fuente:(Serrano, 2015)

El espectro infrarrojo es un gráfico conformado por picos y bandas, cada pico representa un tipo de vibración distinto; en el eje de las abscisas se encuentran los valores del intervalo de longitud de onda del IR medio (número de onda  $\text{cm}^{-1}$ ) mientras que en el eje de las ordenadas se encuentran los valores representados en dos formas : absorción (Figura 8) o transmisión (Figura 9) (Mondragón, 2017).

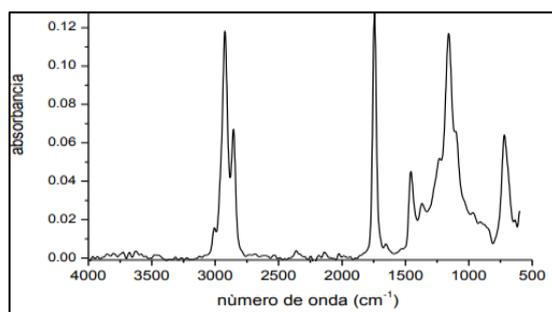


Figura 8. Espectro IR de absorbancia

Fuente:(Mondragón, 2017)

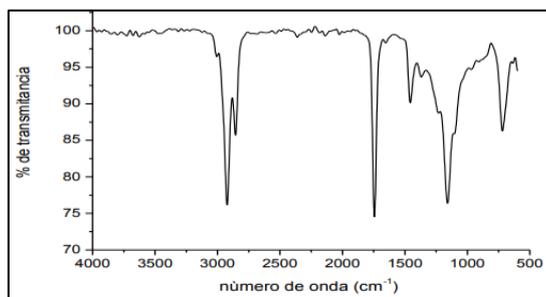


Figura 9. Espectro IR de transmitancia

Fuente: (Mondragón, 2017)

Para reconocer los grupos funcionales (Figura 10) presentes en un espectro, la región que se encuentra entre los 4000 y 1400  $\text{cm}^{-1}$  es de suma importancia para poder identificarlos en las moléculas orgánicas. Cada compuesto tiene una absorción particular en la región comprendida entre los 1400 y 600  $\text{cm}^{-1}$ , esta zona es muy compleja, ya que se manifiestan vibraciones de flexión y estiramiento, por lo que el espectro resultante se le conoce como región de huellas dactilares (Mondragón, 2017).

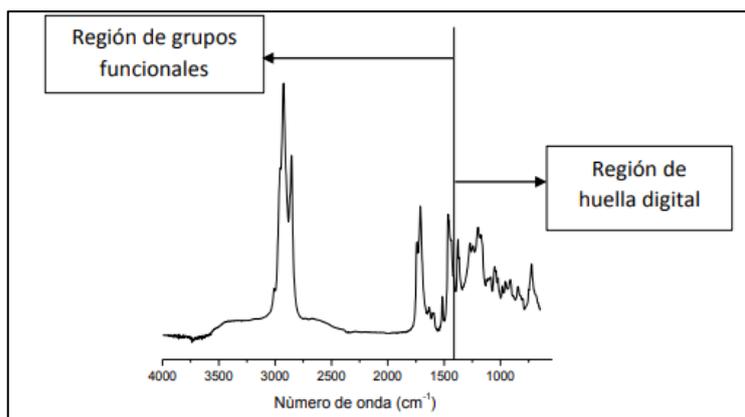


Figura 10. Grupos funcionales de una molécula

Fuente: (Mondragón, 2017)

## 4. CAPÍTULO: MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo, para poder alcanzar los objetivos establecidos se requirió de varios métodos y procedimientos; comenzando por la obtención del catalizador (óxido de zinc) de las pilas zinc-carbono (Eveready tipo D2), extrayendo así el Zinc de las mismas. Mediante una reacción con ayuda de Ácido Sulfúrico se obtuvo Sulfato de Zinc, y finalmente para obtener el ZnO se llevó a un proceso de calcinación donde se requirió una segunda reacción con Carbonato de Calcio.

Para el proceso de Glicólisis se realizó varias pruebas, en una relación 4:1 EG:PET (Etilenglicol: Polietilen Tereftalato), ya que esta relación presenta un mayor rendimiento comparando con otras relaciones, con la finalidad de obtener BHET (Bis- Hidroxi Etilen Tereftalato).

Posteriormente se procedió a extraer el almidón del plátano macho spp. *musa paradisiaca* en estado inmaduro, tanto de su cáscara como de su fruta. Mediante un análisis químico proximal se reguló el Ph con hidróxido de sodio hasta que este se encuentre en estado neutro para así evaluar su condición de almidón mediante una prueba de lugol, la cual se tornó de una coloración azulada, indicando presencia de almidón.

A continuación, se procedió a elaborar la película en forma de pastillas circulares, para lo cual se realizó varias dosificaciones BHET: Almidón (90:10; 80:20; 70:30; 60:40; 50:50) a diferentes parámetros (presión, temperatura y tiempo). Debido a que el almidón contiene bastante cantidad de glucosa no se realizó dosificaciones de la forma Almidón: BHET ya que las pastillas se adhieren al molde metálico. Finalmente se analizó la degrabilidad del material en sustrato orgánico, midiendo la huella de carbono, y su biodegradación mediante la técnica de Titulación.

## 4.1 Obtención de óxido de Zinc de pilas zinc-carbono

### 4.1.1 Desmantelamiento de Pilas post-consumo para obtención de Zinc

Para la extracción del Zinc de las pilas, primeramente, se recicló alrededor de 200 pilas usadas, se verificó que estas sean de la marca Eveready D2 (pilas zinc-carbono) (Ver Imagen 9a) y que no estén oxidadas. Estas pilas estaban formadas por un recubrimiento de acero, el cual era el encargado de proteger a la lámina de zinc, la cual presentaba una forma de cilindro y en la parte interna de esta lámina se encontraba adherida una mayor cantidad de Zinc, el Zinc era un metal cristalino de color gris y brillante.

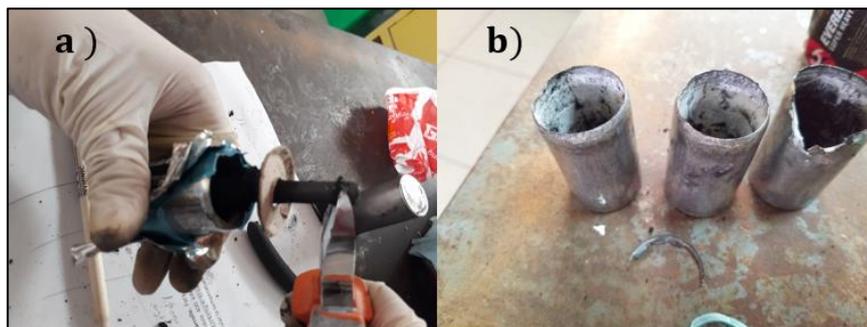
Una vez conocida la estructura de esta pila, se procedió al desmantelamiento de la misma con ayuda de herramientas manuales (lima, playo, alicate, tijeras, gillete); logrando así el retiro de la cubierta de aluminio, film de plástico, tapas de aluminio superior e inferior y el contenedor de acero; este último posee en sus paredes zinc, el cual se raspó y se retiró en gran cantidad.



Imagen 9. Recolección y desmantelamiento de pilas: a) Pilas recolectadas post-consumo; b) Contenedor de acero raspado para obtener Zinc.

Fuente: Autores

Inmediatamente con ayuda de un playo se retiró el colector que contiene carbón y un tubo de igual manera de carbón (electrodo) (Ver Imagen 10a); así también y cuidadosamente se apartó la lámina de papel que contiene en sus paredes internas zinc en menor cantidad, seguidamente se raspó la misma con apoyo de un cutter para así obtener dicho metal. (Ver Imagen 9b)



*Imagen 10.* Desmantelamiento de pilas: a) Retirada del tubo de Carbón; b) Zinc dentro del contenedor de acero.

Fuente: Autores

Una vez retirado el zinc del contenedor de acero se observó que en sus paredes se encontraba adherido más de este metal, por lo que se dejó reposar en agua destilada por 24 horas (Ver Imagen 11a), hasta que este se desprenda por completo (Ver Imagen 11b), luego se sometió a un proceso de filtrado con ayuda de un embudo de vidrio y papel filtro para separar el agua del zinc metálico. Finalmente, se dejó secar completamente a temperatura ambiente durante un día, recuperando así una gran cantidad de este catalizador.

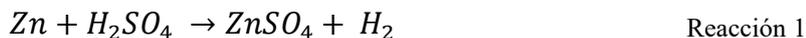


*Imagen 11.* Obtención de Zinc: a) Contenedor de acero en reposo para obtener zinc; b) Agua destilada con Zinc Metálico.

Fuente: Autores

#### 4.1.2 Obtención de Sulfato de Zinc por método de filtración

Una vez recuperado el Zinc de pilas usadas se procedió a la obtención del Sulfato de Zinc aplicando la siguiente formulación:



$\text{H}_2\text{SO}_4$ : Ácido sulfúrico

$\text{ZnSO}_4$ : Sulfato de zinc



Imagen 12. Sulfato de Zinc obtenido posterior al proceso de filtración

Fuente: Autores

Para esta etapa se empleó Ácido Sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) con una concentración inicial de 94% (estado puro), al ser miscible en agua se experimentó con concentraciones de 94%, 50%, 30% y 10%; lo que representó una concentración de 0.94; 6.49; 4.52 y 1.79 moles/litro respectivamente; para posteriormente evaluar su rendimiento.

Para realizar las diferentes concentraciones de Ácido Sulfúrico ya mencionadas se aplicó el siguiente principio de dilución:

$$V_c * C_c = V_f * C_f$$

$$V_f = \frac{V_c * C_c}{C_f}$$

EC 1

Donde:

V<sub>c</sub>= Volumen inicial de la disolución

C<sub>c</sub>= Concentración inicial de la Disolución

V<sub>f</sub>= Volumen final de la disolución diluida

C<sub>f</sub>= concentración final de la Disolución diluida

Donde, V<sub>c</sub> y C<sub>c</sub> fueron valores constantes de Ácido Sulfúrico, pero cuando se reemplazó la variable C<sub>f</sub> con las diferentes concentraciones establecidas se alcanzaron los siguientes resultados para V<sub>f</sub>:

Tabla 15: Volumen Final de la Disolución diluida

V <sub>c</sub>	C <sub>c</sub>	C <sub>f</sub>	V <sub>f</sub>
100mL H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	94%	50%	188mL
100mL H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	94%	30%	313.33 mL
100mL H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	94%	10%	940 mL

Fuente: Autores

El valor obtenido de  $V_f$  representó las diferentes cantidades de agua destilada que se añadió respectivamente a los 100 mL de Ácido Sulfúrico para su posterior disolución y obtención de las concentraciones requeridas (ver Imagen 13).



*Imagen 13.* Disolución de  $H_2SO_4$  para obtenerlo en diferentes concentraciones

Fuente: Autores

Después de que se consiguió la disolución en la concentración requerida, del total obtenido solo se extrajo 25mL de disolución y se la colocó en un vaso de precipitación. Seguidamente, a esos 25mL, se le agregó 1g de Zinc obtenido anteriormente de las pilas usadas.

A cada muestra que se obtuvo se la colocó en una placa magnética por una hora, se la agitó a 200 rpm y a temperatura ambiente (Ver Imagen 14a). Una vez terminado el tiempo de agitación, se sometió a un proceso de filtrado con la ayuda de un papel filtro y un embudo de vidrio (Ver Imagen 14b). Finalmente, se dejó secar hasta obtener un peso seco. Como resultado final de todo este proceso se obtuvo Sulfato de Zinc ( $ZnSO_4$ ).

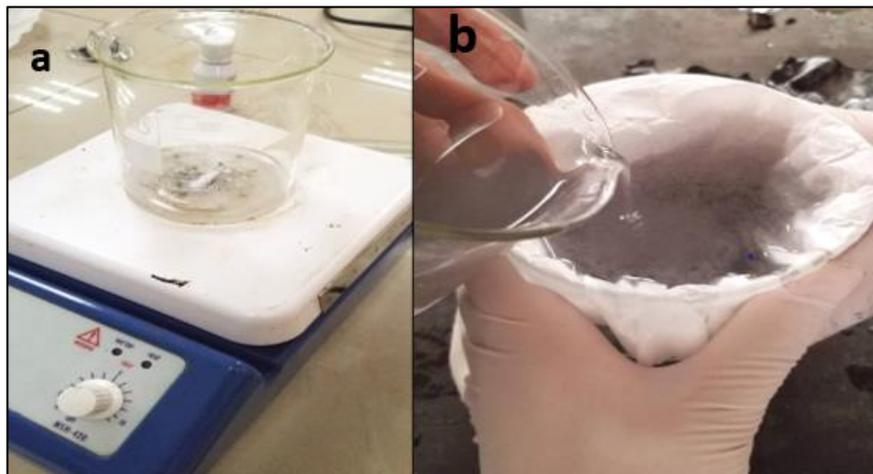


Imagen 14. Proceso de obtención de óxido de Zinc: a) Ácido Sulfúrico más Zinc en placa magnética; b) Filtrado del Sulfato de Zinc.

Fuente: Autores

Una vez obtenido Sulfato de Zinc, se analizó sus rendimientos con la ayuda de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Redimiento} = \frac{\text{Peso final}}{\text{Peso Inicial}} * 100 \quad \text{EC 2}$$

#### 4.1.3 Obtención de Óxido de Zinc mediante calcinación

Inmediatamente obtenido el Sulfato de Zinc se procedió a mezclarlo con Carbonato de Calcio para neutralizar el exceso de ácido que quedó en la etapa anterior. Una de las grandes ventajas que se obtuvo al escoger dicho componente es que se lo puede encontrar fácilmente en el mercado, es barato, pero sobre todo ayuda a neutralizar el ácido remanente producido en la etapa anterior. Cabe recalcar que el Carbonato de Calcio a partir de su oxidación nos ayudó a obtener Óxido de Zinc, sin embargo; previo a la obtención del mismo, primero se obtuvo carbonato de zinc.

- Para la obtención de Carbonato de Zinc se aplica la siguiente formulación:



$(\text{ZnSO}_4)$ : *Sulfato de Zinc*

$(\text{CaCO}_3)$ : *Carbonato de Calcio*

$(\text{ZnCO}_3)$  : *Carbonato de Zinc*

$(\text{CaSO}_4)$ : *Sulfato de Calcio*

- Para la obtención de Óxido de Zinc mediante calcinación se aplica la siguiente formulación:



$\text{ZnCO}_3$ : *Carbonato de Zinc*

$\Phi$ : *Calcinación a 600°C*

$\text{ZnO}$ : *Óxido de Zinc*

$\text{CO}_2$ : *Dióxido de Carbono*

En primera instancia, para conseguir Carbonato de Zinc ( $\text{ZnCO}_3$ ), primero se estableció el porcentaje de Carbonato de Calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) que se necesitaba que esté presente en el compuesto. Para conocer cuál es la cantidad de masa que representaba dicho porcentaje, se aplicó la ecuación de “Porcentaje masa/masa en disoluciones” (% m/m), la cual en su principio indica la masa de soluto contenida en 100g de solución:

$$\% m/m = \frac{\text{Masa Soluta}}{\text{Masa soluto} + \text{Masa sustancia}} * 100\% \quad \text{EC 3}$$

Donde:

Masa Soluta = Representa la cantidad de Carbonato de Calcio a utilizar

Masa Sustancia= Representa la cantidad de agua destilada en la que se va a disolver en el soluto (100mL).

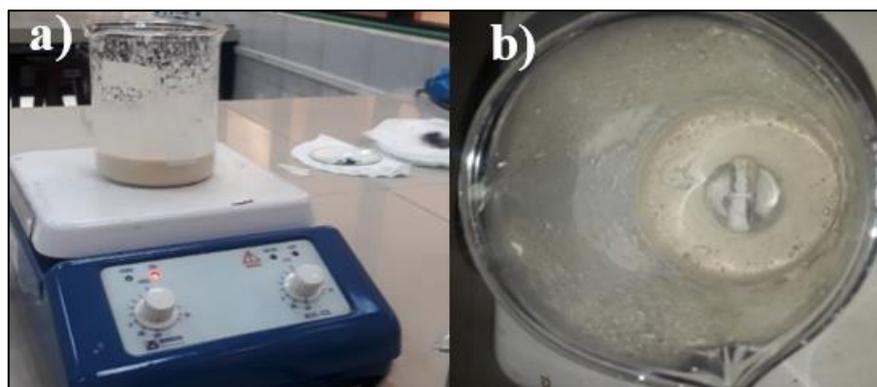
Para esta investigación se trabajó con %p/p de 10%, 7%, 5% y 4%, lo que dejó como resultado las siguientes cantidades de masa de Carbonato de Calcio:

*Tabla 16:* Masa de Carbonato de Calcio en los diferentes porcentajes m/m que se trabajó

<b>% <i>m/m</i></b>	<b>Masa Soluta</b>
10%	11.11 g
7%	7g
5%	5g
4%	4g

Fuente: Autores

Para la preparación del Carbonato de Calcio, se ubicó cada masa obtenida en la Tabla 16 en su respectivo vaso de precipitación; y enseguida se agregó agua destilada hasta llegar a los 100mL. Para terminar, se situó la mezcla obtenida en un agitador magnético a 700 rpm y a temperatura ambiente hasta que se encontró completamente homogenizada (Ver Imagen 15a).



*Imagen 15.* Obtención de muestras; (a) Preparación de Carbonato de Calcio; (b): Carbonato de Zinc completamente seco a 60°C y 300rpm.

Fuente: Autores

De la mezcla obtenida anteriormente, para formar Carbonato de Zinc, se extrajó 15mL de la misma, a la cual se agregó varias cantidades de Sulfato de Zinc para los diferentes concentraciones de % m/m con los que se trabajó anteriormente, estas cantidades fueron:

*Tabla 17:* Cantidad de Sulfato de Zinc colocada en Carbonato de Calcio en los diferentes porcentajes m/m

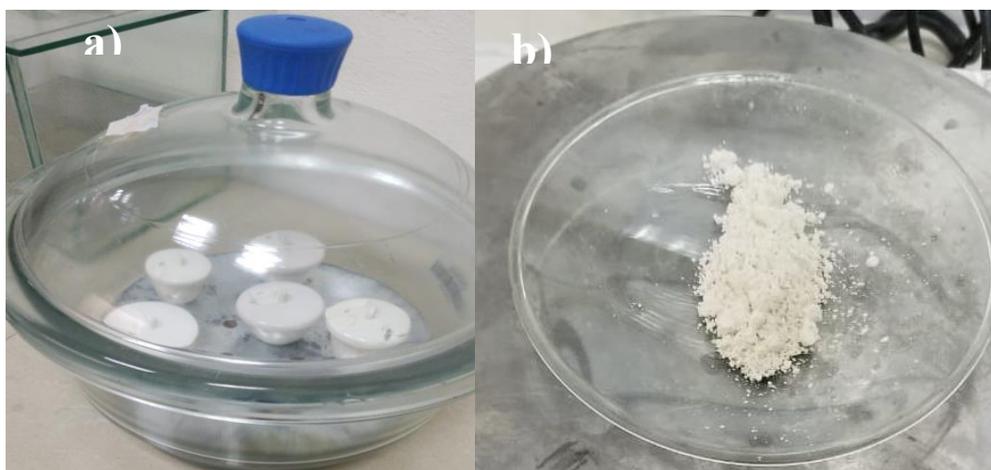
Peso Sulfato de Zinc ( $ZnSO_4$ ) colocado (g)	%m/m de Carbonato de Calcio				
	10% (11g)	6% (7g)	5% (5g)	4% (4g)	3% (3g)
0.64	X				
0.09	X				
0.57	X				
0.38	X	X	X	X	
0.20		X	X	X	
0.123		X	X	X	
0.34			X		X

Fuente: Autores

A la nueva mezcla resultante se la situó en el agitador magnético a 60<sup>0</sup>C y a 300 rpm hasta que estuvo completamente seca (Ver Imagen 15b).

Al Carbonato de Zinc obtenido, se lo pesó y colocó en un crisol previamente tarado, seguidamente se lo llevó a realizar un proceso de calcinación el cual consistió en colocar a la muestra con una temperatura de 600<sup>0</sup>C por 5 horas en una mufla Nabertherm, de dimensiones 810mm \* 570mm \* 760mm, eléctrica, con potencia de 1200Watts, velocidad de calentamiento de 30 minutos, con control inteligente de temperatura de capacidad de funcionamiento desde 600 a 1500<sup>0</sup>C, formada por materiales térmicos y aislantes y un ventilador turbina eléctrico el cual permite la uniformidad y circulación de la temperatura en toda la cámara de tratamiento.

Una vez concluido el período de 5 horas, al carbonato de zinc se los trasladó a la desecadora para completar su secado (Ver Imagen 16a), logrando así obtener Óxido de Zinc (Ver Imagen 16b).



*Imagen 16.* Obtención de Óxido de Zinc; (a) Carbonato de Zinc en la desecadora; (b): Óxido de Zinc obtenido

Fuente: Autores

Finalmente, se analizó cada muestra obtenida mediante sus rendimientos y también por medio del análisis FTIR.

$$\% \text{ Redimiento} = \frac{\text{Peso final}}{\text{Peso Inicial}} * 100 \quad \text{EC 4}$$

## 4.2 Degradación de PET mediante glicólisis

### 4.2.1 Recolección manual de botellas y molienda

Para la obtención del BHET, primeramente, se recolectó 300 botellas plásticas post consumo, seleccionando solo las de agua, ya que poseen un polímero más limpio; posteriormente se sometió a un proceso de lavado y secado a temperatura ambiente para eliminar cualquier aditivo e impureza, finalmente se cortó en pequeños pedazos para así llevarlos a la trituradora. (Ver Imagen 17)



*Imagen 17.* Muestras de Botellas PET recolectadas y cortadas

Fuente: Autores

Para el proceso de molienda, se utilizó una trituradora RETSCH M 100 (Ver Imagen 18) que consta de varios tamices en los cuales se obtuvo un PET triturado de 5mm y un peso total de 1,80kg.



*Imagen 18.* Molino de trituración

Fuente: Autores

#### 4.2.2 Glicólisis de PET

Para el proceso de Glicólisis se empleó como materia prima el PET ya triturado anteriormente, como catalizador el óxido de zinc que se obtuvo de las pilas para acelerar la reacción y como solvente el etilenglicol (EG).

(C. Zamudio & Cuervo, 2013) y posteriormente (Tenesaca & Palma, 2019) realizaron cuatro experimentos con cuatro relaciones diferentes (3:1, 4:1,5:1, 6:1, EG/PET) con el 1% en peso del catalizador, 0,03 g para todas las relaciones, en donde concordaron que la relación 4:1 presentó un mejor rendimiento entre (70-80%) en comparación a las otras cuatro relaciones; por lo que se optó por esta relación.

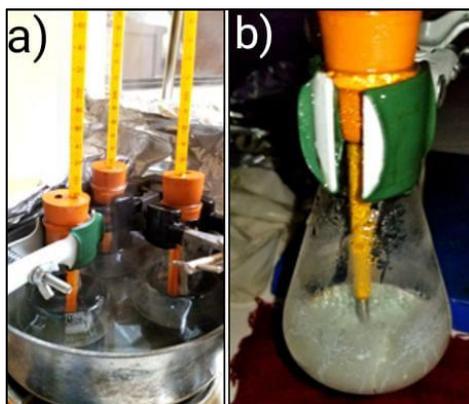
*Tabla 18:* Relación molar EG: PET

Relación %	4:1
PET (g)	2
EG (mL)	8:1
Óxido de Zinc (g)	0.03

Fuente: Autores

Una vez preparado los contenidos descritos en la Tabla 18 se procedió a colocarlos en un matraz de 100 mL, el mismo fue taponado con un corcho de dos orificios; el uno para

salida de vapores y el otro para introducir un termómetro que registre una temperatura recomendable entre (180° a 210° C), trabajando específicamente con 190 °C la cual es controlada cada cierto tiempo (Ver Imagen 19a). Seguidamente se calentó el matraz con la muestra en baño maría de glicerina sujetado por un soporte universal durante un periodo de 4 horas hasta obtener una muestra homogénea color azul cielo (Ver Imagen 19b).



*Imagen 19.* Proceso de degradación de PET: a) Muestras a baño maría; b) Mezcla homogénea obtenida después del baño maría.

Fuente: Autores

Después de haberse cumplido las 4 horas del baño maría se procedió a agregar 50 mL de agua destilada a 90°C, con el propósito de remover impurezas presentes en la mezcla, con apoyo de una varilla se agitó hasta que la muestra esté completamente homogénea nuevamente.

La mezcla anteriormente obtenida se sometió a un proceso de filtración con el fin de separar remanentes y materia prima inaprovechable sin reaccionar, mediante un embudo de vidrio y papel filtro (Ver Imagen 20a). El resultado final muestra en la superficie del matraz una coloración azul blanquecina con unos pequeños grumos (Ver Imagen 20b).

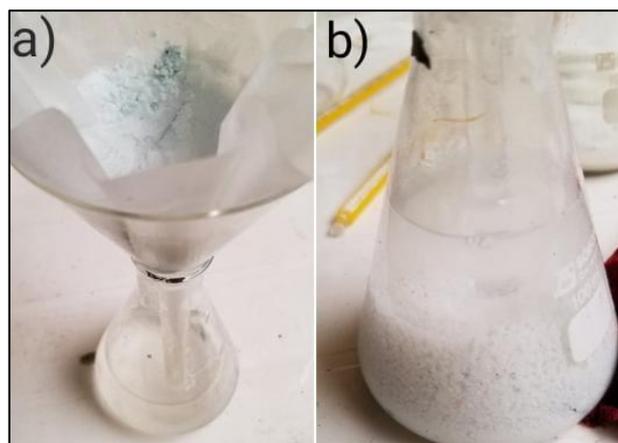


Imagen 20. Mezcla obtenida previa a la obtención de BHET

Fuente: Autores

La muestra obtenida se llevó a un refrigerador a  $1^{\circ}\text{C}$  durante 3 horas para que se puedan formar los cristales (Ver Imagen 21a), culminado este tiempo de refrigeración la muestra se colocó en un recipiente cubierto con hielos, hasta que estos se derritan por completo (Ver Imagen 21b). Seguidamente en la muestra se observó unos pequeños destellos, lo cual indica la presencia de cristales.



Imagen 21. Refrigeración y congelación de muestras para obtención de BHET

Fuente: Autores

Después de la fusión o derretimiento, se llevó a cabo un segundo proceso de filtración, así mismo mediante un embudo y papel filtro, finalmente la muestra se colocó en cápsulas en pequeñas cantidades y se sometió a un proceso de secado a  $60^{\circ}\text{C}$  durante 72 horas en una

estufa Melhmet, obteniendo así la formación de cristales característicos del BHET. (Ver Imagen 22).



*Imagen 22.* Cristales de BHET obtenidos mediante Glicólisis

Fuente: Autores

Finalmente se evaluó el rendimiento obtenido referente a la relación EG:PET aplicando la EC 5, con el fin de evaluar su proporción y comparar con lo mencionado en la bibliografía.

$$\% \text{ Redimiento} = \frac{\text{Peso final}}{\text{Peso Inicial}} * 100 \quad \text{EC 5}$$

Al requerir al menos 400 g de BHET para los siguientes procesos, se mantuvo la relación 4:1 pero se aumentó en mayor cantidad el peso de PET en gramos, así mismo la cantidad de catalizador en gramos y el contenido de etilenglicol en mililitros como se puede observar en la Tabla 19.

Tabla 19: Muestras a diferentes dosificaciones para el proceso de Glicólisis

Nº Muestra	Catalizador	PET (g)	EG (mL)
1	0.03	2	8.1
2	0.15	10	40.5
3	0.3	20	81
4	0.45	30	121.5
5	0.6	40	162
6	0.75	50	202.5
7	1.5	100	405

Fuente: Autores

### 4.3 Extracción de almidón de plátano

La extracción del almidón se desarrolló a nivel de laboratorio utilizando principalmente la metodología propuesta por Ayala (2016), cabe recalcar que solo se empleó el método seco ya que es más breve y menos complejo que el método húmedo.

La especie macho de plátano *Musa Paradisiaca*, fue recolectada en el Mercado 9 de octubre de la Ciudad de Cuenca. Para eliminar las impurezas de los mismos se los lavó con agua y jabón, posteriormente con la ayuda de una navaja se separó la cáscara de la pulpa o fruta del plátano (Ver Imagen 23a). El tipo de corte que se realizó a la cáscara fue longitudinal pero el de la pulpa fue transversal. Seguidamente, se colocó a la cáscara y fruta en bandejas diferentes (Ver Imagen 23b) y se registró sus pesos por separado, luego se las llevó al proceso de secado y triturado en el laboratorio Pgwood de la Universidad Politécnica Salesiana.



*Imagen 23.* Preparación de Plátano especie *Musa Paradisiaca*; (a) Lavado y separación de cáscaras de la pulpa de plátano; (b): Pulpa de Plátano con corte transversal.

Fuente: Autores

Para este procedimiento se tomó en cuenta el estado del plátano (maduro e inmaduro) tanto para la cáscara como para la pulpa, para lo cual se elaboró varias muestras con diferentes pesos iniciales. En la Tabla 20 se observa 5 lotes de cáscaras en estado maduro y sus pesos correspondientes, En la Tabla 21 se ilustra así mismo 5 lotes de cáscara de plátano, pero en estado inmaduro. En la Tabla 22 se observa 5 lotes de pulpa de plátano en estado maduro y de igual forma en la Tabla 23 se presenta 5 lotes de pulpa de plátano en estado inmaduro.

- **Cáscara de Plátano**

*Tabla 20:* Pesos obtenidos para diferentes muestras recolectadas de cáscara de plátanos en estado maduro

<b>ESTADO DEL PLÁTANO</b>	<b>Nombre de la muestra o lote</b>	<b>PESO TOTAL (g)</b>
Maduro	A	263.89
	B	90.1
	C	117
	D	216
	E	137.1

Fuente: Autores

*Tabla 21:* Pesos obtenidos para diferentes muestras recolectadas de cáscara de plátanos en estado inmaduro

<b>ESTADO DEL PLÁTANO</b>	<b>Nombre de la muestra o lote</b>	<b>PESO TOTAL (g)</b>
Inmaduro	F	325
	G	460
	H	406
	I	371
	J	214

Fuente: Autores

- **Pulpa del Plátano**

*Tabla 22:* Pesos obtenidos para diferentes muestras recolectadas de pulpa de plátanos en estado maduro

<b>ESTADO DEL PLÁTANO</b>	<b>Nombre de la muestra o lote</b>	<b>PULPA PESO TOTAL (g)</b>
Maduro	K	751
	L	667
	M	645
	N	700
	Ñ	681

Fuente: Autores

*Tabla 23:* Pesos obtenidos para diferentes muestras recolectadas de pulpa de plátanos en estado inmaduro

<b>ESTADO DEL PLÁTANO</b>	<b>Nombre de la muestra o lote</b>	<b>PULPA PESO TOTAL (g)</b>
Inmaduro	O	802
	P	1778
	Q	1205
	R	867
	S	556

Fuente: Autores

Para el proceso de secado se introdujo las bandejas en el horno de extracción de humedad; la cascara se dejó secar a  $60^{\circ}\text{C}$  por 12 horas y a la pulpa se la colocó a  $160^{\circ}\text{C}$  por una hora, una vez concluido ese periodo se redujo la temperatura a  $100^{\circ}\text{C}$  y se lo dejó reposar alrededor de 24 horas para que seque completamente.



Imagen 24. Secado de pulpa de plátano en horno

Fuente: Autores

Una vez culminado el proceso de secado, se llevó a triturar la cáscara y pulpa en el molino de trituración de malla 1mm con un motor de 1,5 kW y una velocidad del rotor de 1.500 rpm y un tiempo de 2 minutos, cabe recalcar que nunca se mezcló las partículas de pulpa y de cáscara de plátano. Es importante saber que este proceso no produce un tamaño de partículas homogéneas, por lo que también se sometió a un proceso de tamizado con número de tamiz (U.S. STD. Sieve-100-80,70,60,50,40 y 35) con el objetivo de conseguir que la mayor parte de las partículas posean un tamaño entre 0.5mm a 0.2mm.



*Imagen 25.* Máquina trituradora Retsch SM100.

Fuente: Autores

Las partículas obtenidas después de realizar el proceso de tamizado eran de 0.3mm; a las mismas se les realizó el proceso de extracción del almidón, para esto se usó una solución de Hidróxido de Sodio 0.5 Molar (con el objetivo de aumentar el pH de la muestra) y una relación muestra-agua destilada de 1:3, razón por la que se agregó 200g de pulpa triturada y 600mL de agua destilada. Una vez colocada la muestra en agua destilada, se midió su pH inicial, el cual podía comprender desde 4.13 hasta 5, seguidamente se la colocó en un turbo agitador y al mismo tiempo se la calentó a una temperatura de 45<sup>0</sup> C; a la muestra se la mantuvo calentándose y agitándose por 30 minutos como máximo, de la misma forma, se añadió gotas de Hidróxido de Sodio 0.5 Molar hasta llegar a un pH de 7, midiéndolo constantemente, de manera general; para llegar al pH deseado (7), la cantidad de hidróxido de sodio colocado estaba en el rango de 350 a 430 gotas, esto va a depender del valor de pH inicial de la muestra. Una vez conseguido un pH igual a 7 en la muestra, a la misma se la dejó reposar 24 horas para luego filtrar mediante la ayuda de una bomba de filtrado (ver Imagen 26); la muestra que quedó en el papel filtro se la colocó en una bandeja y se le sometió a un proceso de secado en una estufa a una temperatura de 60<sup>0</sup>C y hasta que el contenido de humedad se encuentre en un rango de 1 a 3%.



Imagen 26. Filtrado de almidón de plátano mediante una bomba de filtrado

Fuente: Autores

Finalmente, para comprobar si lo obtenido es almidón, se realizó una prueba cualitativa, la prueba de lugol. Para realizar esta prueba se utilizó la metodología propuesta por (Hernández, Martínez, Contreras, & Pérez, 2017), los cuales afirman que al colocar un par de gotas de lugol comercial a una muestra, esta debe tomar una coloración azul como reacción positiva a la presencia de almidón, para comprobar que la coloración sea la correcta también se debe hacer la prueba con almidón comercial.

Para realizar la prueba del lugol se colocó una cantidad pequeña de muestra final en una luna de vidrio y con la ayuda de un gotero se añadió de una a dos gotas de yodo sobre la muestra, se lo mezcló y enseguida se observó una coloración azul. Siguiendo las recomendaciones de los autores mencionados anteriormente se hizo el mismo procedimiento con almidón comercial y se comprobó que la coloración posee la misma tonalidad, por ende, la prueba es correcta. De igual forma analizó la muestra obtenida en un FTIR comparando su espectro con el almidón comercial. Es importante acotar que para la obtención de almidón se trabajó con las partículas de pulpa y cáscara de plátano por separado ( a pesar que se realizó exactamente el mismo procedimiento), por ende se obtuvo dos tipos de almidón, el primero era almidón de cáscara de plátano y el segundo era almidón de pulpa de plátano.

#### **4.4 Elaboración de pastillas dosificadas con BHET y Almidón de Plátano**

Posteriormente a la obtención de BHET y de almidón de plátano se realizó diferentes dosificaciones con relación a BHET/Almidón (B/A). Para este procedimiento se tomó en cuenta el contenido de humedad del almidón de la pulpa y de la cáscara de plátano, el cual se procuró que al finalizar su extracción quede en un porcentaje entre el 1 y 3% de humedad, sin embargo, el material obtenido poseía una propiedad higroscópica; es decir; este ganaba humedad con gran facilidad del ambiente, lo que trajo como consecuencia que no se pueda hacer una relación Almidón /BHET y que la relación de BHET/Almidón no pueda ser menor a 50/50.

Para la elaboración de las pastillas se utilizó la prensa hidráulica, la cual se encuentra dentro del laboratorio de transformación de Polímeros de la Universidad Politécnica Salesiana, los parámetros que exige la prensa hidráulica son temperatura, presión y tiempo de prensado al que se iba a someter a la muestra para la obtención de pastillas. Se obtuvo pastillas homogéneas de acuerdo a las diferentes dosificaciones realizadas. Para finalizar, las pastillas fueron sometidas a un proceso de degradación en sustrato orgánico y a su vez se realizó la medición de carbonatos y su porcentaje de biodegradación.

##### **4.4.1 Obtención de muestras dosificadas BHET/Almidón de pulpa de plátano (B/AP)**

Al formar las diferentes dosificaciones se colocó un total de muestra de 3g dentro de la prensa hidráulica, sin embargo; la cantidad respectiva de muestra colocada de BHET y almidón de plátano varió de acuerdo a la relación BHET/AP a realizar.

Tabla 24: Obtención de pastillas con dosificación BHET/ Almidón de pulpa de plátano en relación 90/10

<b>Relación BHET/Almidón pulpa</b> →		<b>90/10</b>					
	Nº muestra	Temperatura (°C)	Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tiempo prensado (seg)	Peso Final (g)	Espesor pastilla (mm)	Diámetro pastilla (mm)
	AP1	69	100	45	2,91	3,35	30,24
	AP2	90	50	60	2,82	3,79	30,71
	AP3	105	50	30	2,78	3,45	31,4

Fuente: Autores

Como se puede observar en la Tabla 24, se obtuvieron 3 muestras con relación BHET/Almidón de pulpa de plátano de 90/10, para cada muestra se colocó 2,7g de BHET y 0,3g de almidón de pulpa de plátano, dando un total de 3g de cantidad inicial de muestra, sin embargo; esta al estar sometida a altas presiones y temperaturas tiende a alcanzar cierta fluidez y se cuele por los espacios, provocando así la pérdida del material. La cantidad de material perdido va a depender de ciertos factores como presión, temperatura y tiempo de prensado. En este caso el peso, espesor y diámetro final promedio de las pastillas fue de 2.83g, 3.53mm y 30.78mm respectivamente.

Tabla 25: Obtención de pastillas con dosificación BHET/ Almidón de pulpa de plátano en relación 80/20

<b>Relación BHET/Almidón pulpa</b> →		<b>80/20</b>					
	Nº muestra	Temperatura (°C)	Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tiempo prensado (seg)	Peso final (g)	Espesor pastilla (mm)	Diámetro pastilla (mm)
	AP4	70	50	60	2,8	3,49	30,44
	AP5	90	50	60	2,85	3,62	30,26
	AP6	105	50	30	2,75	3,56	30,49

Fuente: Autores

Para realizar las pastillas con dosificación BHET/Almidón de pulpa de plátano de 80/20 se colocó 2,4g de BHET y 0,6g de almidón. El peso promedio, espesor y diámetro final de las pastillas fue de 2.8g, 3.55mm y 30,30mm respectivamente. Como se puede observar en

la Tabla 25, en este caso la única presión con la que se trabajó fue de 50 Kg/cm<sup>2</sup> debido a que así se obtuvieron pastillas en mejores condiciones y se perdía menor cantidad de material, por otro lado; también se varió las temperaturas y el tiempo de prensado, en este caso la relación entre temperatura y tiempo de prensado era inversamente proporcional, es decir; a mayor temperatura menor tiempo de prensado y viceversa. Se hizo esta relación ya que si la temperatura era baja y el tiempo de prensado era bajo la pastilla salía muy débil o no salía, por otro lado; si el tiempo de prensado era alto y la temperatura también era alta la pastilla resultante se pegaba a la prensa hidráulica o se quemaba.

Tabla 26: Obtención de pastillas con dosificación BHET/ Almidón de pulpa de plátano en relación 70/30

Relación BHET/Almidón pulpa → 70/30							
	Nº muestra	Temperatura (°C)	Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tiempo prensado (seg)	Peso final (g)	Espesor (mm)	Diámetro (mm)
	AP7	80	50	50	2,75	3,51	30,36
	AP8	90	50	60	2,89	3,45	31,13
	AP9	100	50	30	2,87	3,58	31,25

Fuente: Autores

Para realizar la relación BHET/almidón de pulpa de plátano de 70/30 se colocó 2.1g de BHET y 0.9g de almidón de plátano, como se puede observar en la Tabla 26, para este caso se ha decidido mantener una presión constante de 50 Kg/cm<sup>2</sup>. En el caso de la temperatura, se ha decidido que esta no sea mayor a 100°C ya que el punto de fusión de los cristales de BHET es de 106°C a 109°C. Para compensar esta alta temperatura se redujo el tiempo de prensado a 30 segundos y de esta manera evitar que se queme el material o que quede pegado en los moldes de la prensa hidráulica. El peso, espesor y diámetro final promedio de las pastillas fue de 2.83, 3,51 y 30.91 respectivamente.

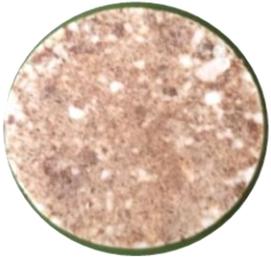
Tabla 27: Obtención de pastillas con dosificación BHET/Almidón de pulpa de plátano en relación 60/40

Relación BHET/Almidón pulpa → 60/40							
	Nº muestra	Temperatura (°C)	Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tiempo prensado (seg)	Peso final (g)	Espesor (mm)	Diámetro (mm)
	AP10	70	50	60	2,78	3,39	30,57
	AP11	60	50	45	2,83	3,3	31,89
	AP12	90	50	40	2,85	3,12	30,31

Fuente: Autores

En la obtención de las pastillas con BHET/Almidón de plátano de 60/40 se colocó 1.8g de BHET y 1.2g de almidón, como ya se mencionó anteriormente al calentar a la muestra y someterla a presión esta tiende a alcanzar cierta fluidez y se cuela por los espacios, provocando así pérdidas de material. La temperatura máxima usada fue de 90<sup>0</sup>C debido a que al subir la temperatura se perdía demasiado material y las pastillas resultantes eran demasiado débiles y se quebraban con facilidad, cabe recalcar que se mantuvo este patrón con todas las temperaturas mayor a 90<sup>0</sup>C probadas así sea que los tiempos de prensado eran mínimos. La Tabla 27 permite identificar que la muestra que menor pérdida de material tuvo fue la AP12, la cual se la realizó con una temperatura de 90<sup>0</sup>C, presión de 50 Kg/cm<sup>2</sup> y un tiempo de prensado de 40 segundos, dando como resultado una pastilla con un peso final de 2.85g es decir solo se perdió el 4.33%. Finalmente, en esta relación el peso final, espesor y diámetro promedio de las pastillas fue de 2.82g, 3.12mm, 31.02mm.

Tabla 28: Obtención de pastillas con dosificación BHET/ Almidón de pulpa de plátano en relación 50/50

Relación BHET/Almidón pulpa → 50/50							
	Nº muestra	Temperatura (°C)	Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tiempo prensado (seg)	Peso final(g)	Espesor (mm)	Diámetro (mm)
	AP13	71	50	55	2,8	2,3	30,55
	AP14	80	50	30	2,86	3,36	30,69
	AP15	90	50	30	2,76	3,58	31,5

Fuente: Autores

Para la relación BHET/Almidón de pulpa de plátano de 50/50 se colocó 1.5g de BHET y 1.5g de Almidón. En este caso se mantuvo una presión constante de 50 kg/cm<sup>2</sup>, pero si se varió considerablemente la temperatura y el tiempo de prensado tomando en cuenta que los mismos son inversamente proporcional el uno del otro. Bien se sabe que el punto de fusión de los cristales de BHET es de 106<sup>0</sup>C a 109<sup>0</sup>C, sin embargo; en este caso no se ha aumentado la temperatura de 90<sup>0</sup>C ya que al aumentar la misma se perdía demasiada muestra (a pesar que el tiempo de prensado era el mínimo) y las pastillas resultantes no poseían las propiedades deseadas. La pastilla que menor cantidad de muestra perdió fue la AP14, la cual tuvo un peso final de 2.86g, es decir solo perdió el 4.67% de muestra inicial. Para finalizar, las pastillas tuvieron un peso final, espesor y diámetro promedio de 2.80g, 3.08mm, 30.91mm respectivamente, de igual forma la pérdida promedio de muestra fue de 6.67%.

#### 4.4.2 Obtención de muestras dosificadas BHET/Almidón de cáscara de plátano (B/AC)

Para la realización de muestras dosificadas con BHET/AC, se mantuvieron los mismos parámetros que se utilizaron para la realización de pastillas dosificadas con BHET/Almidón

de pulpa de plátano a diferentes dosificaciones (ver apartado 4.4.1) debido a que las pastillas tuvieron el mismo comportamiento.

Tabla 29: *Obtención de pastillas con dosificación BHET/Almidón de cáscara de plátano en relación 90/10*

<b>Relación BHET/Almidón Cáscara → 90/10</b>							
	Nº muestra	Temperatura (°C)	Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tiempo prensado (seg)	Peso final 2,87 (g)	Espesor (mm)	Diámetro (mm)
	AC1	69	100	45	2,95	3,4	30,3
	AC2	90	50	60	2,85	3,83	30,76
	AC3	105	50	30	2,83	3,5	31,43

Fuente: Autores

Con respecto a la relación BHET/Almidón de cáscara de plátano con dosificación 90/10 se colocó 2.7g de BHET y 0.3g de almidón, dando un total de 3g como cantidad inicial de muestra, sin embargo; la misma al estar sometida a altas presiones y temperaturas tiende a alcanzar cierta fluidez y se cuela por los espacios, provocando así la pérdida del material; en este caso; el promedio de pérdida de muestra es del 4.33%. Como se puede observar en la Tabla 29, en la muestra AC1 se utilizó la máxima presión trabajada, la cual fue de 100 Kg/cm<sup>2</sup> y para compensar esta alta presión se redujo la temperatura y tiempo de prensado. Por otro lado; la temperatura máxima trabajada fue de 105<sup>0</sup>C debido a que el punto de fusión de los cristales de BHET es de 106<sup>0</sup>C a 109<sup>0</sup>C, pero para compensar esta alta temperatura se redujo la presión y el tiempo de prensado, logrando así obtener una pastilla final en condiciones óptimas. Finalmente; el peso final, espesor y diámetro promedio de las pasillas fue de 2.87g, 3.58mm y 30.83mm respectivamente.

Tabla 30: Obtención de pastillas con dosificación BHET/ Almidón de Cáscara de plátano en relación 80/20

<b>Relación BHET/Almidón pulpa</b> →		<b>80/20</b>					
	Nº muestra	Temperatura (°C)	Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tiempo prensado (seg)	Peso (g)	Espesor (mm)	Diámetro (mm)
	AC4	70	50	60	2,83	3,53	30,47
	AC5	90	50	60	2,9	3,7	30,3
	AC6	105	50	30	2,78	3,61	30,55

Fuente: Autores

Para la dosificación BHET/Almidón de cáscara de plátano con relación 80/20 se colocó 2.4g de BHET y 0.6g de almidón. Como se puede observar en la Tabla 30, para este tipo de pastillas se mantuvo una presión constante de 50 Kg/cm<sup>2</sup> debido a que con esta presión la pastilla resultante no se quedaba pegada en el molde de la prensa hidráulica. El peso promedio, espesor y diámetro final de las pastillas fue de 2.84g, 3.61mm y 30,44mm respectivamente, de igual forma la pérdida promedio de muestra fue de 5.33%. Por otro lado; la muestra que menos pérdida de material tuvo fue la AC5 debido a que esta solo perdió el 3.33% de la cantidad inicial colocada y la muestra que mayor pérdida tuvo fue la AC6, perdiendo un total del 7.33% de su cantidad inicial colocada.

Tabla 31: Obtención de pastillas con dosificación BHET/ Almidón de cáscara de plátano en relación 70/30

<b>Relación BHET/Almidón cáscara</b> →		<b>70/30</b>					
	Nº muestra	Temperatura (°C)	Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tiempo prensado (seg)	Peso (g)	Espesor (mm)	Diámetro (mm)
	AC7	80	50	50	2,79	3,55	30,42
	AC8	90	50	60	2,91	3,47	31,2
	AC9	100	50	30	2,9	3,56	31,29

Fuente: Autores

Con respecto a la dosificación BHET/Almidón de cáscara de plátano con relación 70/30, se colocó 2.1g de BHET y 0.9g de almidón de plátano, de nuevo en este caso se ha mantenido una presión constante de 50 Kg/cm<sup>2</sup> ya que así se perdía menos material, pero si se varió en

temperatura y tiempo de prensado manteniendo una relación indirectamente proporcional entre ellas. De igual forma la máxima temperatura con la que se trabajó fue con 100<sup>0</sup>C (ver Tabla 31) porque se conoce que el punto de fusión de los cristales de BHET es de 106<sup>0</sup>C a 109<sup>0</sup>C, se puede señalar que cuando se trabajó con temperaturas mayores, las pastillas resultantes siempre se quedaban adheridas en el molde de la prensa hidráulica. El peso final, diámetro y espesor promedio de las pastillas obtenidas fue de 2.86g, 3.56mm, 30.97mm respectivamente, así mismo el porcentaje promedio de pérdida de material fue del 4.67%.

Tabla 32: Obtención de pastillas con dosificación BHET/Almidón de cáscara de plátano en relación 60/40

Relación BHET/Almidón cáscara → 60/40							
	Nº muestra	Temperatura (°C)	Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tiempo prensado (seg)	Peso (g)	Espesor (mm)	Diámetro (mm)
	AC10	70	50	60	2,82	3,43	30,6
	AC11	60	50	45	2,83	3,3	31,89
	AC12	90	50	40	2,9	3,2	30,37

Fuente: Autores

Con el objetivo de obtener pastillas con dosificación BHET/Almidón de cáscara de plátano con relación 60/40, se colocó 1.8g de BHET y 1.2g de almidón de cáscara de plátano. En este caso se mantuvo una presión constante de 50 Kg/cm<sup>2</sup>. En lo que respecta a la temperatura, la máxima utilizada fue de 90<sup>0</sup>C ya que al subir la temperatura se perdía demasiado material y las pastillas resultantes eran demasiado débiles y se quebraban con facilidad, cabe recalcar que las pastillas mantuvieron este comportamiento con todas las temperaturas mayor a 90<sup>0</sup>C probadas así sea que los tiempos de prensado eran mínimos. La muestra AC12 (ver Tabla 32) fue la que obtuvo una pastilla con mayor peso, siendo este de 2.9g, es decir solo se perdió el 3.33% de material inicial. De manera general el peso final, espesor y diámetro promedio de las pastillas obtenidas con la relación ya mencionada fue de 2.85, 3.31 y 30.95 respectivamente.

Tabla 33: Obtención de pastillas con dosificación BHET/Almidón de cáscara de plátano en relación 50/50

Relación BHET/Almidón cáscara → 50/50							
	Nº muestra	Temperatura (°C)	Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tiempo prensado (seg)	Peso (g)	Espesor (mm)	Diámetro (mm)
	AC13	71	50	55	2,75	3,37	30,6
	AC14	80	50	30	2,89	3,39	30,72
	AC15	90	50	30	2,8	3,6	31,54

Fuente: Autores

Para la obtención de pastillas con dosificación BHET/Almidón de cáscara de plátano con relación 50/50 se colocó inicialmente 1.5g de BHET y 1.5g de almidón. Como ya se ha venido mencionando anteriormente la muestra inicial al estar sometida a presiones y temperaturas elevadas tiende a alcanzar cierta fluidez y se cuele por los espacios, la cantidad de pérdida de material va a depender de ciertos factores como presión, temperatura y tiempo de prensado. Como se puede observar en la Tabla 33, la muestra AC14 fue la que menos pérdida de material tuvo, logrando alcanzar que su pastilla resultante tenga un peso final de 2.89g; es decir; tan solo perdió el 3.67% de muestra inicial colocada. Por otro lado; el peso final, espesor y diámetro promedio de las pastillas obtenidas fue 2.81, 3.45 y 30.95 respectivamente, de igual forma la pérdida promedio de material colocado para formar las pastillas fue de 6.33%. Así mismo, se mantuvo constante la presión de 50 Kg/cm<sup>2</sup>, pero se varió la temperatura y tiempo de prensado, los cuales tienen una relación inversamente proporcional la una del otro. Por otro lado, la temperatura máxima ocupada fue de 90<sup>0</sup>C (a pesar que el punto de fusión de los cristales de BHET es de 106<sup>0</sup>C a 109<sup>0</sup>C), no se realizó pastillas a mayores temperaturas debido a que al subir la temperatura las pastillas resultantes no tenían las características deseadas incluso cuando el tiempo de prensado era el más bajo posible.

## **4.5 Medición de huella de Carbono y Biodegradación mediante volumetría (titulación).**

Una vez obtenida las pastillas BHET/Almidón se procedió a la investigación y análisis de la biodegradación de dichas pastillas en muestras de sustrato orgánico en los laboratorios de CCVV de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca

### **4.5.1 Acondicionamiento del Suelo**

Siguiendo la metodología de (Pinchao-Pinchao, Osorio-Mora, Checa-Coral, & Tobar, 2019) y (Merchán, Ballesteros, Jiménez, Medina, & Álvarez, 2009) y realizando así mismo una modificación en el peso del medio (sustrato orgánico); se requirió como sustrato al menos 5 kilogramos de muestra de suelo, la cual se tomó de un suelo apto para cultivo; seguidamente se realizó análisis de pH, humedad, conductividad, carbono orgánico y materia orgánica en base a la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2642:2012 Y Norma Técnica Colombiana ASTM D5988-12 “Standard Test Method for Determining Aerobic Biodegradation in Soil of Plastic Materials or Residual Plastic Materials After Composting”. Posteriormente se llevó a cabo un proceso de tamizado en donde se separó partículas de suelo obteniendo un tamaño ideal de partículas de 2 mm; se registró el peso inicial, espesor y diámetro de cada pastilla (parámetros que se registrarán diariamente) tanto BHET/Almidón pulpa como BHET/Almidón cáscara, y se los colocó en un desecador de vidrio de 2L que contiene 55 g de sustrato orgánico para cada pastilla cubriendo superficialmente la muestra con el suelo. (Ver Imagen 27).



*Imagen 27.* Colocación de muestras de pastillas en sustrato orgánico

Fuente: Autores

#### **4.5.2 Montaje de muestras para estudio de Biodegradación**

Una vez colocada las pastillas en el sustrato orgánico se atrapó el  $\text{CO}_2$  en un desecador cerrado herméticamente producido con 200 mL de KOH 0,5 N; y para preservar la humedad de cada montaje se colocó 500 mL de agua destilada colocados en vasos de precipitación, los cuales fueron instalados sobre una rejilla e introducidos en el desecador de vidrio. (Ver Imagen 28). De la misma forma se elaboró un control de blanco, pero a diferencia del montaje anterior, se trabajó con las mismas condiciones, sin embargo, no se colocó ninguna muestra de pastilla.

EL  $\text{CO}_2$  producido por los microorganismos presentes en el suelo y por ende el porcentaje de biodegradación se estimó mediante titulación del KOH con HCL 0,25 N diariamente tanto para el blanco como para la muestra; previamente se dejó airear de forma natural por 30 minutos. La titulación se elaboró tanto para la muestra como para el blanco extrayendo diariamente como titulado 2 mL de KOH colocado en un vaso de precipitación de 50 mL, además se agregó una gota de indicador fenolftaleína y como titulante se empleó HCl colocando en una bureta 25mL del mismo.

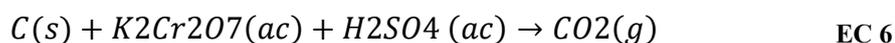


*Imagen 28. Montaje de muestras en desecador para estudio*

Fuente: Autores

### 4.5.3 Cálculo de Carbono orgánico y materia orgánica

El carbono orgánico presente en una muestra de suelo se oxidó ante una solución de Dicromato de Potasio en medio ácido (ácido sulfúrico) como se puede ver en la siguiente ecuación nombrada como EC 6. Este método volumétrico es conocido como el método de Walkley & Black.



Por lo antes mencionado, primeramente, se pesa 2g de suelo, tamizado previamente con un tamaño de partícula de 2mm; posteriormente se coloca la muestra de suelo en un matraz Erlenmeyer de 100 mL, se agrega 10 mL de dicromato de potasio 0.1 M y 10 mL de ácido sulfúrico concentrado (96%); se agitó rigurosamente durante un minuto aproximadamente hasta que la mezcla sea homogénea. Se dejó reposar durante 30 minutos hasta que la solución se enfríe. Luego de ese periodo de tiempo se diluyó con agua destilada hasta llegar a un volumen de 100 mL, seguidamente se agregó 5mL de ácido fosfórico concentrado. Se dejó reposar por 15 minutos y se valoró mediante titulación el exceso de dicromato como titulado con una solución de sulfato ferroso o sal de Morh 0,1 N como titulante y como indicador se

añadió 3 gotas de orto-fenantrolina, teniendo en cuenta un cambio en la coloración de transparente a rosa. Es importante recalcar que se trabajó con un control de blanco (García Galvis & Ballesteros González, 2005).

Solamente la materia orgánica es oxidada, esta metodología oxida aproximadamente un 77% del total de materia orgánica lo que equivale a su rendimiento. Se realizaron al menos 3 titulaciones realizando un promedio para el volumen de Dicromato de Potasio gastado en la muestra y de igual manera para los mL del control del blanco. Para el cálculo del % de carbono orgánico se utilizó la ecuación EC 7.

$$\%C.O = \frac{\text{Vol Dicromato (blanco)} - \text{Vol de Dicromato (muestra)} * N \text{ morh} * 0,003}{g \text{ muestra de suelo}} * 1.3 * 100 \quad \text{EC 7}$$

- Dónde:

Vol Dicromato (blanco) = mL gastados de Dicromato en el control del blanco

- Vol Dicromato (muestra) = mL gastados de Dicromato en el control de muestra
- N morh= Normalidad de la Sal de Morh o Sulfato Ferroso.

Meq= 0,003

g muestra de suelo= peso en gramos de la muestra de suelo

Factor de Corrección = 1.3

La materia orgánica se obtuvo a partir de la ecuación EC 8 teniendo en cuenta el factor de Bemmelen que indica que en 100 g de materia orgánica hay 58 g de carbono orgánico, bajo este fundamento se convierte el carbono orgánico en materia orgánica.

$$\% M.O = \% C.O * 1.742$$

EC 8

#### 4.5.4 Cálculo de CO<sub>2</sub> y porcentaje de Biodegradación de pastillas BHET/Almidón

Según (Pinchao-Pinchao et al., 2019), el % de Biodegradación es calculado como la relación entre los g de CO<sub>2</sub> producido y los g de CO<sub>2</sub> teóricos (ASTM D5988-12). La cantidad de CO<sub>2</sub> teórico se calcula en base a la ecuación EC 9, multiplicando el contenido en g de las muestras de pastillas multiplicado por el contenido de carbono orgánico calculado previamente y multiplicado por 44/12 que es la proporción del peso molecular del dióxido de carbono y el carbono

$$CO_2 \text{ teórico} = M_{tot} \times C_{org \text{ tot}} \times \frac{44}{12}$$

EC 9

Donde:

- CO<sub>2</sub> teórico: es la cantidad teórica de CO<sub>2</sub> que puede emitir las muestras de pastillas BHET/almidón.
- M<sub>tot</sub>: es el peso total en gramos de todas las muestras de pastillas.
- C<sub>org tot</sub>: es la proporción en gramos de carbono orgánico obtenido en el suelo.

Para el cálculo del % de biodegradación se calculó acorde a la ecuación EC 11, antes es necesario conocer los g de CO<sub>2</sub> producidos por la muestra y los g de CO<sub>2</sub> producido por el blanco conforme a la EC 10.

$$g\ CO_2 = \frac{0,5N \times mLHCl \times 44}{1000} \quad \text{EC 10}$$

Donde:

- 0,5N: es la normalidad del KOH
- mL HCl: son los mililitros gastados de ácido clorhídrico tanto para la muestra como para el blanco.

$$\% \text{ Biodegradación} = \frac{g\ CO_2\ (muestra) - gCO_2\ (blanco)}{CO_2\ Teórico} \quad \text{EC 11}$$

## 5. CAPÍTULO: RESULTADOS

### 5.1 Obtención de Óxido de Zinc de pilas alcalinas

#### 5.1.1 Porcentaje de Rendimiento de Sulfato de Zinc.

Según lo planteado en la metodología del punto 4.1.2, se obtuvo los siguientes resultados que son referentes a los rendimientos del Sulfato de Zinc a diferentes concentraciones del  $H_2SO_4$ , estos rendimientos son calculados con ayuda de la EC 2.

Tabla 34: Rendimiento de  $H_2SO_4$  a diferentes concentraciones

Peso Zinc colocado (g) de pilas post-uso	Concentración del $H_2SO_4$	Sulfato de Zinc obtenido ( $ZnSO_4$ )	Nombre de la Muestra	Rendimiento %
1	94%	0.38	A	38
1	50%	0.64	B	64
1	30%	0.60	C	60
1	10%	0.37	D	37

Fuente: Autores; las letras "A", "B", "C" y "D" corresponden al nombre asignado a cada muestra de Sulfato de Zinc obtenida<sup>1</sup>.

Como se puede observar en la Tabla 34, la muestra que presenta un mayor rendimiento (calculado con la EC 2) es la muestra "B", sin embargo, en el procedimiento que se detalla en el punto 5.1.2, al colocar Carbonato de Calcio para la obtención de Óxido de Zinc, la gráfica obtenida en el FTIR no formó el espectro deseado, es decir no hubo presencia de óxido de Zinc, por ende, no hubo presencia de Sulfato de Zinc, por lo que fue la primera

<sup>1</sup> Las letras denominadas "A", "B", "C" y "D" corresponden al nombre asignado a las diferentes muestras de Sulfato de Zinc obtenidas a diferentes concentraciones de 94%, 50%, 30% y 10% respectivamente.

muestra en descartar su validez. Así mismo, luego de varias pruebas, la muestra más óptima fue la muestra “D”, a pesar de que su rendimiento es tan solo del 37%, en ella se colocó de igual manera Carbonato de Calcio y se realizó la calcinación respectiva, a dicha muestra obtenida se analizó su espectro en el FTIR ( ver figura 13) y se pudo observar que mostró una mayor similitud al espectro de Óxido de Zinc comercial con el cual se comparó todas las gráficas.

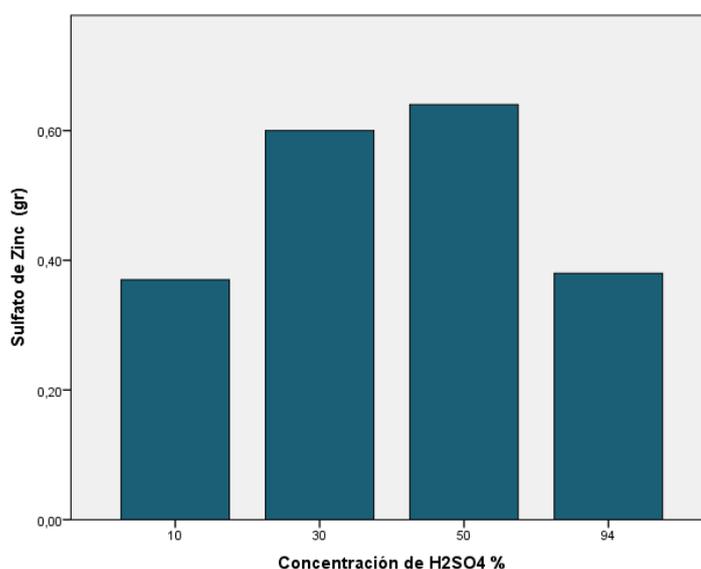


Imagen 29. Sulfato de Zinc obtenido en diferentes concentraciones de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Fuente: Autores

En la Imagen 29 se puede observar un gráfico de barras de la Concentración en % de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> aplicado vs la cantidad de sulfato de Zinc (g) (etapa previa a la obtención de ZnO). En esta imagen se observa que a concentraciones de 30% y 50% de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> diluido se obtiene mayor contenido de sulfato de zinc, por el contrario trabajando con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> puro al 94% se recupera muy poca cantidad de Sulfato; de la misma manera al trabajar con una concentración diluida al 10% se obtiene cantidades muy bajas de sulfato de zinc.

### 5.1.2 Porcentaje de rendimiento de Óxido de Zinc final

De acuerdo a lo planteado en la metodología del apartado 4.1.3, para calcular el rendimiento de Óxido de Zinc en el proceso de calcinación se utilizó la EC 4; para esto se tomó como peso inicial a la cantidad de Carbonato de Calcio inicial que se colocó dentro de la mufla y se tomó como peso final a la cantidad de muestra que salió de la mufla luego de la calcinación obteniendo de esta forma Óxido de Zinc, de igual manera para elegir la muestra más óptima, también se analizó dichas muestras en el espectro FTIR para determinar su similitud con una gráfica de óxido de Zinc comercial.

Para la obtención de Óxido de Zinc mediante calcinación se colocó a cada una de las muestras de Sulfato de Zinc obtenidas (“A”, “B”, “C” y “D”) (Ver Tabla 34) en la mezcla de carbonato de calcio en un %m/m del 10% es decir 11.11g. Las 4 muestras realizadas tuvieron un rendimiento promedio del 91.26% ( ver anexo 4 Tabla 56) pero al analizar las muestras en el FTIR, se pudo observar que no se formó el espectro deseado ya que los mismos al compararlos con el espectro de Óxido de Zinc comercial no tenían ninguna similitud, esto se debe a que existió una gran cantidad de Carbonato de calcio presente, razón por la cual para pruebas posteriores se redujo la presencia del mismo.

Para las siguientes pruebas solo se tomaron en cuenta las muestras “A”, “C” y “D”, colocando así mismo la mezcla de carbonato de calcio, pero esta vez, en menor concentración con un %m/m de 7% (7g), 5%(5g) y 4%(4g).

Tabla 35: Rendimiento de Óxido de Zinc segunda prueba

Muestra de Sulfato de Zinc usada (Tabla 32)	Peso Sulfato de Zinc ( $ZnSO_4$ ) colocado (g)	Gramos de Carbonato de Calcio	Carbonato de Zinc (g)	Óxido de Zinc (g)	Rendimiento %	Nombre asignado a la muestra final obtenida
A	0.38	4g	1.3064	0.9197	70.39	A1
A	0.38	5g	1.0345	0.5885	56.88	A2
A	0.38	7g	1.0509	0.9797	93.22	A3
C	0.20	4g	0.6406	0.3865	60.33	C1
C	0.20	5g	0.8508	0.5490	64.52	C2
C	0.20	7g	0.7980	0.5233	65.57	C3
D	0.123	4g	0.7584	0.4542	59.88	D1
D	0.123	5g	0.8006	0.5257	66.03	<b>D2</b>
D	0.123	7g	1.4494	1.0253	70.73	D3

Fuente: Autores; Las muestras nombradas desde “A1” hasta “D3”, representan el nombre colocado a cada muestra de Óxido de Zinc obtenida<sup>2</sup>.

A las nuevas muestras de óxido de Zinc obtenidas (ver Tabla 35) también se analizó su similitud en el espectro FTIR (ver anexo 5), en este caso al comparar el espectro de cada muestra se concluyó que la muestra “D2” era la más óptima ya que su gráfica espectral presentó gran similitud con la gráfica de Óxido de Zinc comercial (ver figura 13) con la que se comparó los resultados. Así mismo, como se puede observar en la Figura 11, la muestra

<sup>2</sup> Las muestras denominadas “A”, “C” y “D” corresponden al nombre dado a las muestras de Sulfato de Zinc obtenidas anteriormente en el punto 5.1.1(ver tabla 5), las mismas nos sirven para conocer las características que poseen las diferentes muestras de Sulfato de Zinc colocadas en el Carbonato de Calcio. Las muestras nombradas desde “A1” hasta “D3”, representan el nombre colocado a cada muestra de Óxido de Zinc obtenida, se les asignó nombres independientes ya que cada muestra posee diferentes características y rendimientos.

D2 no posee el mayor rendimiento en comparación con las demás muestras, sin embargo, su rendimiento es uno de los más altos siendo este del 66.03 %.

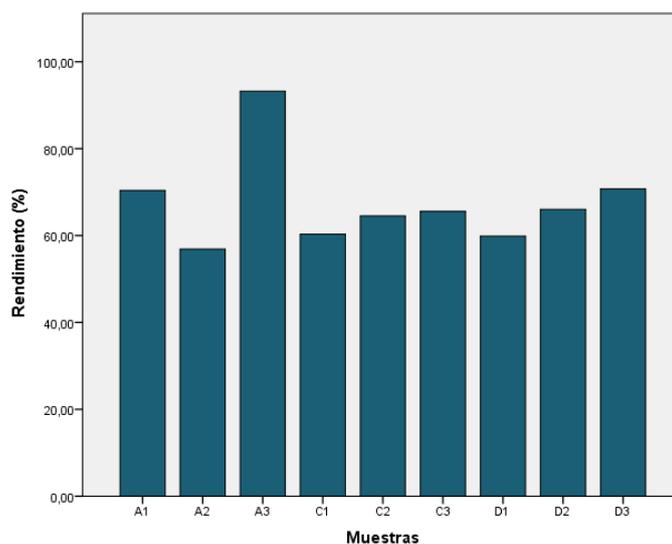


Figura 11. Porcentaje de rendimiento de las muestras de Óxido de Zinc obtenidas

Fuente: Autores

### 5.1.3 Análisis FTIR –Óxido de Zinc

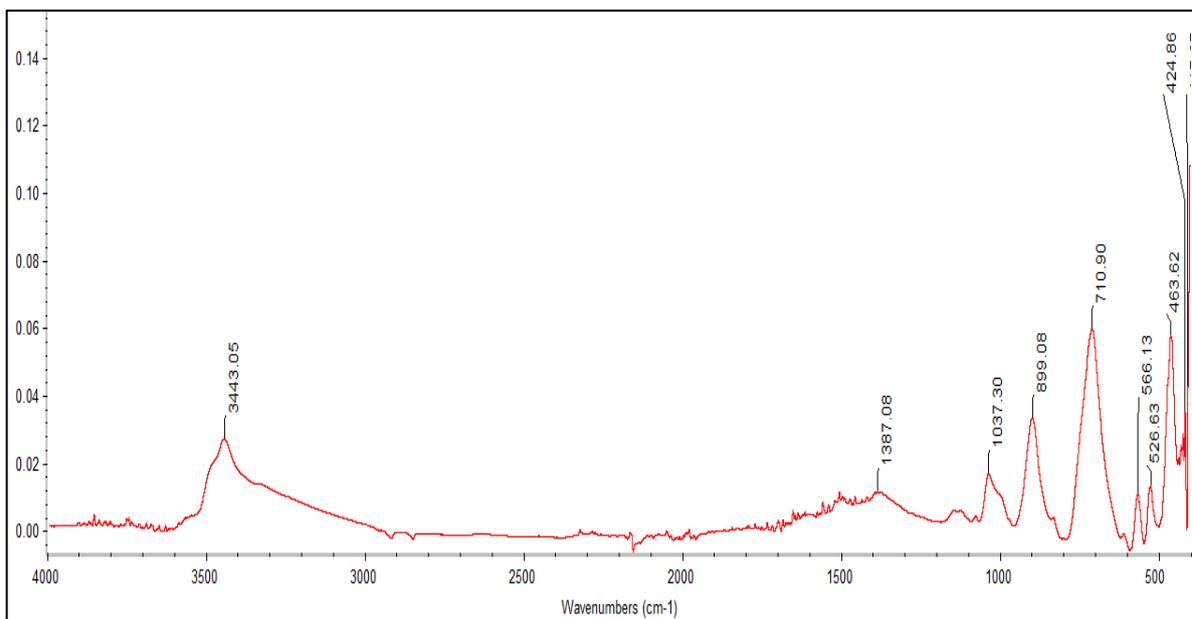


Figura 12. Espectro FTIR- Óxido de Zinc comercial

Fuente: Autores

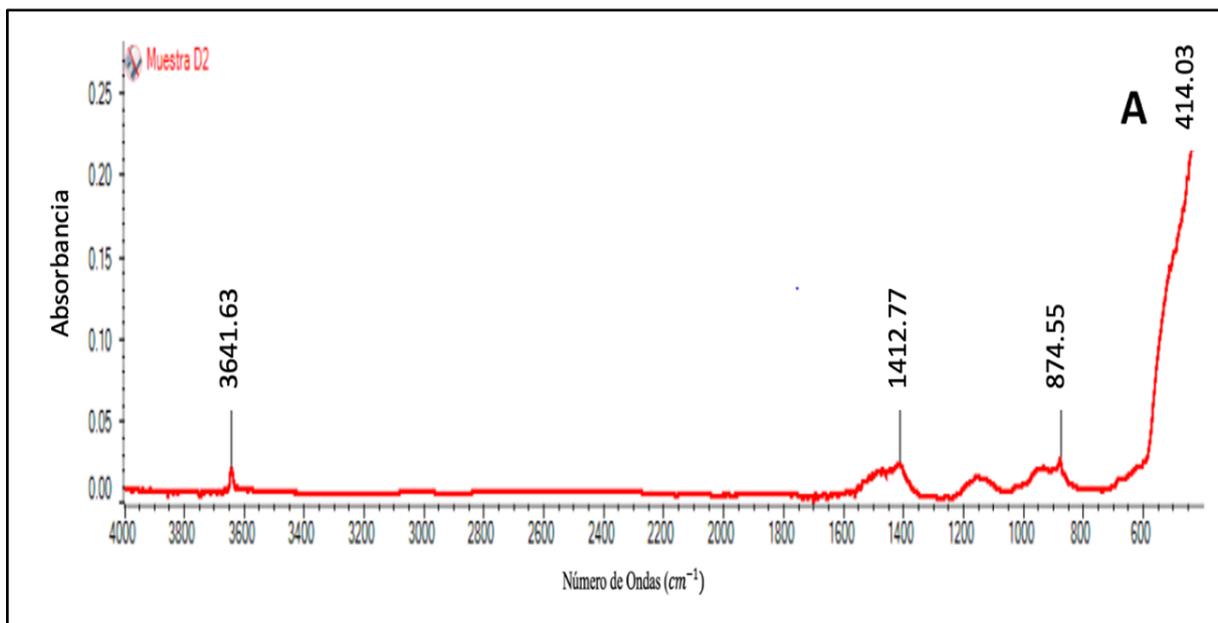


Figura 13. Espectro FTIR- Óxido de Zinc obtenido

Fuente: Autores

El espectro que se aprecia en la figura 13 es el perteneciente a la muestra D2 de óxido de zinc obtenido a nivel de laboratorio mediante calcinación, en el mismo se aprecia un pico A de frecuencia  $414.03 \text{ cm}^{-1}$ , misma que se encuentra dentro del rango de frecuencias propias del óxido de zinc. De acuerdo al autor (R. López et al., 2011), el pico de frecuencia correspondiente al compuesto Zn-O puede ir a partir de  $410 \text{ cm}^{-1}$ , por lo que el valor obtenido en la presente investigación está muy cercano al de los autores ya mencionados, demostrando así que el compuesto obtenido en el laboratorio es un óxido de Zinc. Así mismo, la molécula de óxido de zinc presenta una vibración de tensión simétrica, la cual consiste en que dos átomos aumentan o disminuyen simultáneamente en la misma dirección con respecto al átomo común a lo largo del mismo eje de enlace. Finalmente, para tener más certeza con respecto al óxido de zinc obtenido, al mismo se lo comparó con el espectro de óxido de zinc comercial (Figura 12), como se puede observar ambos espectros tienen picos

de frecuencia muy similares y cercanos el uno del otro, comprobando una vez más que la muestra obtenida por el método de calcinación si es un óxido de zinc.

## 5.2 Porcentaje de rendimiento de BHET obtenido

Según lo planteado en la metodología del punto 4.2.2 ,para el cálculo del rendimiento se aplicó la ecuación EC 5 la cual se basa en el peso inicial en gramos de PET dividido para el peso final del producto obtenido en la reacción de Glicólisis (BHET), y multiplicado por el cien por ciento. En la Tabla 36 se evidencia que se trabajó con diferentes dosificaciones tanto para el catalizador, PET y Etilenglicol en donde se muestran sus rendimientos.

Tabla 36: *Porcentaje de Rendimiento del BHET*

<b>Nombre Muestra</b>	<b>Catalizador ZnO (g)</b>	<b>PET (g)</b>	<b>EG (mL)</b>	<b>BHET (g)</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
G	0.03	2	8.1	1.525	76.25
H	0.15	10	40.5	6.878	68.78
I	0.3	20	81	13.767	68.84
J	0.45	30	121.5	13.76	45.87
K	0.6	40	162	14.56	36.40
L	0.75	50	202.5	17.856	35.71
M	1.5	100	405	35.67	35.67

Fuente: Autores; Al aumentar las dosificaciones catalizador, PET, EG se pudo observar que el rendimiento del BHET disminuyó considerablemente, por lo se trabajó específicamente con las muestras “G”, “H” e “I” que mostraron un mayor porcentaje con respecto a las otras.

En la Figura 14 se ratifica que las muestras “G”, “H” e “I” muestran un mayor rendimiento con respecto a las demás, para esto es recomendable no sobrepasar de los 20 g de PET para el procedimiento de degradación mediante Glicólisis. Consecuentemente se descartaron las muestras “J”, “K”, “L” y “M” ya que presentaron un rendimiento inferior.

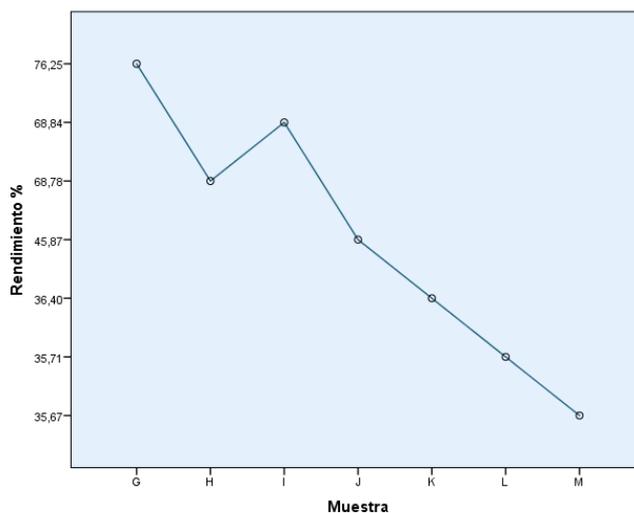


Figura 14. Rendimiento del BHET a diferentes dosificaciones

Fuente: Autores

### 5.2.1 Análisis FTIR BHET

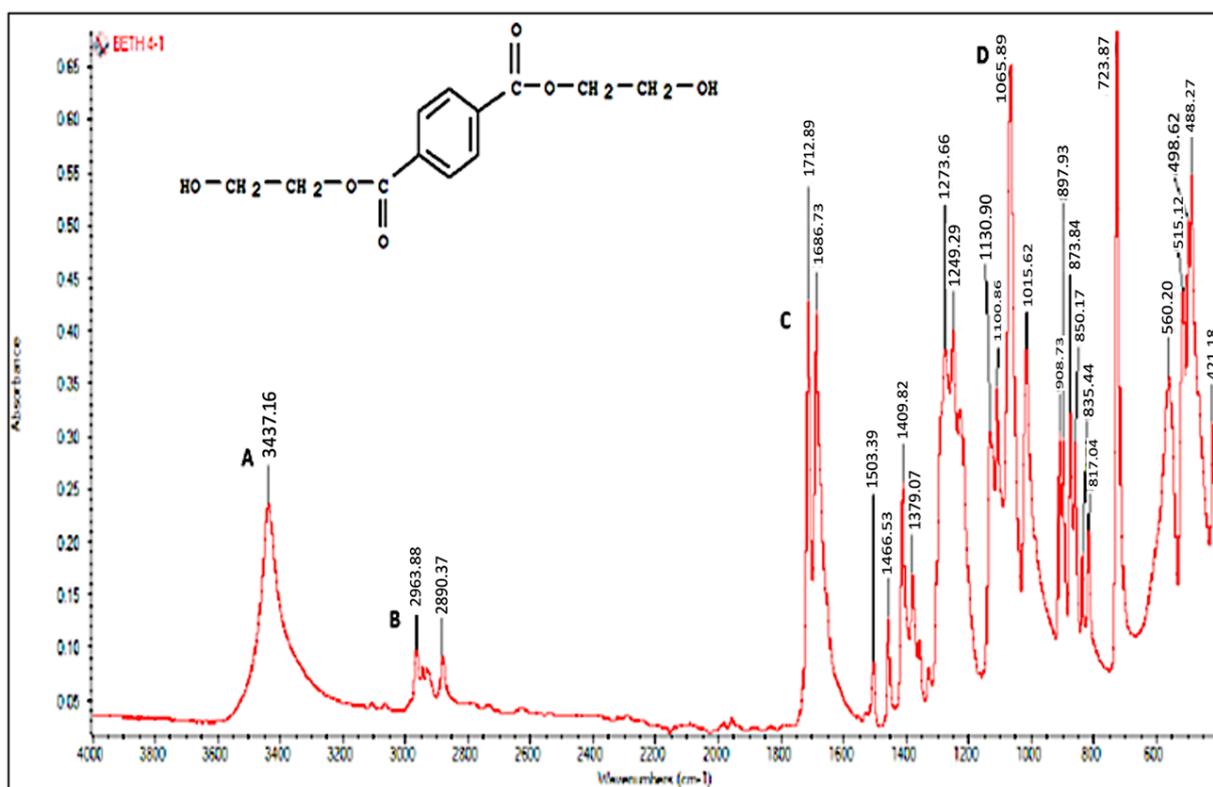


Figura 15. Espectro BHET obtenido mediante Glicólisis

Fuente: Autores

La Figura 15 pertenece al espectro del BHET obtenido mediante glicólisis, se ha podido comprobar que los picos obtenidos en el espectro se encuentran dentro de los rangos dados en el manual de FTIR. Para empezar, se puede observar una frecuencia de  $3437.16\text{ cm}^{-1}$ , la cual se encuentra dentro del rango de  $3600\text{-}3200\text{ cm}^{-1}$ , demostrando que pertenece al grupo hidroxilo -OH del BHET, el cual posee un tipo de vibración de tensión. Así mismo, se puede observar el grupo funcional éster, dentro del cual se tiene un carbonilo C=O de frecuencia  $1712.89\text{ cm}^{-1}$  y un enlace -CO de frecuencia  $1065.89\text{ cm}^{-1}$ , valores que se encuentran dentro de los rangos  $1750\text{-}1720\text{ cm}^{-1}$  y  $1300\text{ - }1050\text{ cm}^{-1}$  respectivamente, estos compuestos mencionados poseen una vibración de estiramiento asimétrico. Para finalizar, se tiene un pico de frecuencia de  $2963.83\text{ cm}^{-1}$ , determinando así que pertenece al grupo alcano y tiene un estiramiento asimétrico, puesto que el rango de este compuesto es de  $3000\text{-}2800\text{ cm}^{-1}$ . Una vez demostrado que en la gráfica espectral obtenida se encuentran todos los compuestos pertenecientes al BHET, se puede afirmar que el espectro obtenido es un compuesto BHET. En la Tabla 37 se detalla se detalla la absorbancia y frecuencia de cada grupo funcional encontrado en la *Figura 15. Espectro BHET obtenido mediante Glicólisis*

Tabla 37: Principales picos de frecuencias del Espectro FTIR del BHET

ÍTEM	ABSORBANCIA	FRECUENCIA $\text{cm}^{-1}$	Grupo Funcional	Nombre del grupo Funcional
A	0.24	3437.16	-OH	Alcohol
B	0.10	2963.83	-CH <sub>2</sub>	Alcano
C	0.43	1712.89	C=O	Carbonilo del Éster
D	0.64	1065.89	C-O	Éster

Fuente: Autores, los ítems A, B, C, D y E hacen referencia a las diferentes frecuencias y grupos funcionales encontrados en el espectro de la Figura 15

### 5.3 Obtención de almidón de plátano

#### 5.3.1 Porcentaje de rendimiento de almidón obtenido

Para obtener el rendimiento del almidón obtenido tanto de la cáscara como de la fruta en estado maduro e inmaduro se aplicó de igual manera la EC 5 la cual consistió en dividir el

peso final de almidón obtenido para el peso inicial del plátano multiplicando por el cien por ciento, para de esta manera obtener su rendimiento. A continuación, se muestran los rendimientos obtenidos tanto de la cáscara en estado maduro (Ver Tabla 38), y en estado inmaduro (Ver Tabla 39), de la misma forma para la pulpa del plátano en estado maduro (Ver Tabla 40) y en estado inmaduro (Ver Tabla 41).

Tabla 38: *Porcentaje de rendimiento de almidón obtenido a partir de cáscara de plátano (Estado Maduro)*

<b>Nombre muestra</b>	<b>Peso Total (g)</b>	<b>Almidón obtenido (g)</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
N1	263.89	122	46.23
N2	90.1	39.99	44.38
N3	117	47.75	40.81
N4	216	94.12	43.57
N5	137.1	63.11	46.03
<b>Promedio:</b>			<b>44.21</b>

Fuente: Autores

Tabla 39: *Porcentaje de rendimiento de almidón obtenido a partir de cáscara de plátano (Estado Inmaduro)*

<b>Nombre muestra</b>	<b>Peso Total (g)</b>	<b>Almidón obtenido (g)</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
M1	325	241.8	74.40
M2	460	298.645	64.92
M3	406	248.98	61.33
M4	371	256.9	69.25
M5	214	140.653	65.73
<b>Promedio:</b>			<b>67.12</b>

Fuente: Autores

Tabla 40: *Porcentaje de rendimiento de almidón obtenido a partir de pulpa de plátano (Estado Maduro)*

<b>Nombre muestra</b>	<b>Peso Total (g)</b>	<b>Almidón obtenido (g)</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
O1	751	441.8	58.83
O1	667	298.645	44.77
O3	645	298.644	46.30
O4	700	356.9	50.99
O5	681	340.653	50.02
<b>Promedio:</b>			<b>50.18</b>

Fuente: Autores

Tabla 41: *Porcentaje de rendimiento de almidón obtenido a partir de pulpa de plátano (Estado Inmaduro)*

<b>Nombre muestra</b>	<b>Peso Total (g)</b>	<b>Almidón obtenido (g)</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
P1	802	591.8	73.79
P2	1778	1034.645	58.19
P3	1205	899.54	74.65
P4	867	591.89	68.27
P5	556	360.653	64.87
<b>Promedio:</b>			<b>67.95</b>

Fuente: Autores

De esta manera se elaboró un cuadro comparativo (Ver Tabla 42) y de igual forma se representó gráficamente (Ver Figura 16) los rendimientos obtenidos en base a sus promedios en donde se observó que el almidón obtenido a partir de la pulpa de plátano en estado inmaduro presenta un mayor rendimiento, de igual manera el almidón obtenido a partir de la cáscara en estado inmaduro presenta un rendimiento bastante cercano, por ende, es favorable trabajar con plátanos en estado inmaduro ya que poseen altos contenidos de almidón.

Tabla 42: *Promedios de rendimientos de almidón de plátano obtenido en sus diferentes estados*

<b>Estado de Plátano</b>	<b>Almidón de cáscara de plátano (%)</b>	<b>Almidón de pulpa de plátano (%)</b>
Maduro	44.21	50.18
Inmaduro	67.12	67.95

Fuente: Autores

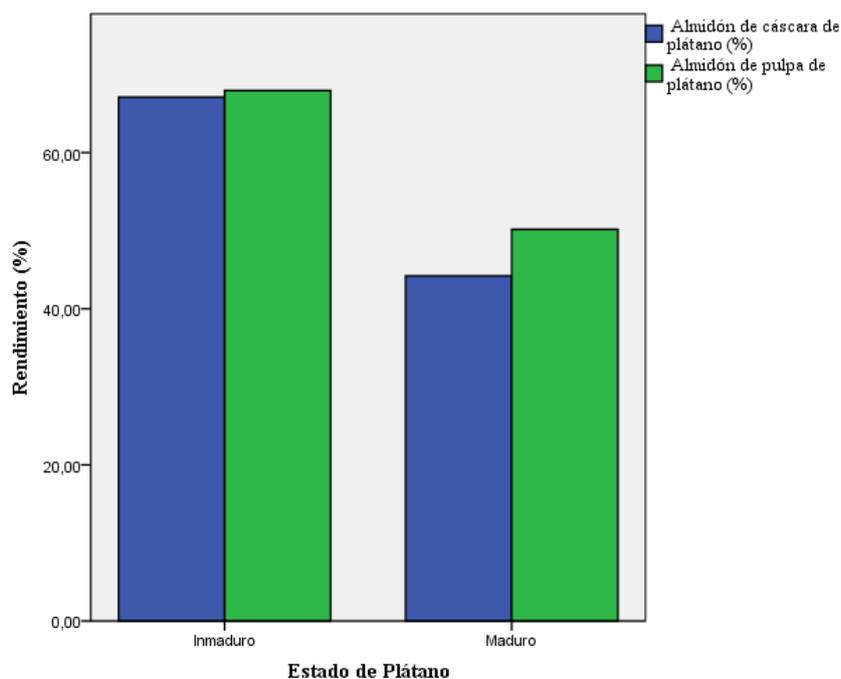


Figura 16. Porcentaje de rendimiento de almidón de plátano en sus diferentes estados

Fuente: Autores

### 5.3.2 Prueba cualitativa de Lugol

Para comprobar que las muestras obtenidas contienen almidón se colocó dos gotas de Lugol en la muestra de almidón, en donde se obtuvo una coloración azulada, se realizó el mismo proceso con una muestra de almidón comercial, para de esta manera comparar la presencia de almidón de plátano comparando sus tonalidades. Esta prueba se realizó tanto para el almidón extraído de la pulpa y para el almidón extraído de la cáscara de plátano.

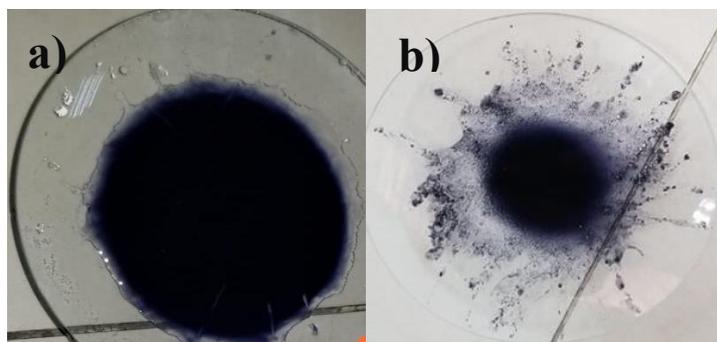


Imagen 30. Prueba de Lugol; (a) Prueba de Lugol a almidón estándar; (b): Prueba de Lugol a almidón de Plátano obtenido en laboratorio.

Fuente: Autores

### 5.3.3 Análisis FTIR – Almidón de plátano

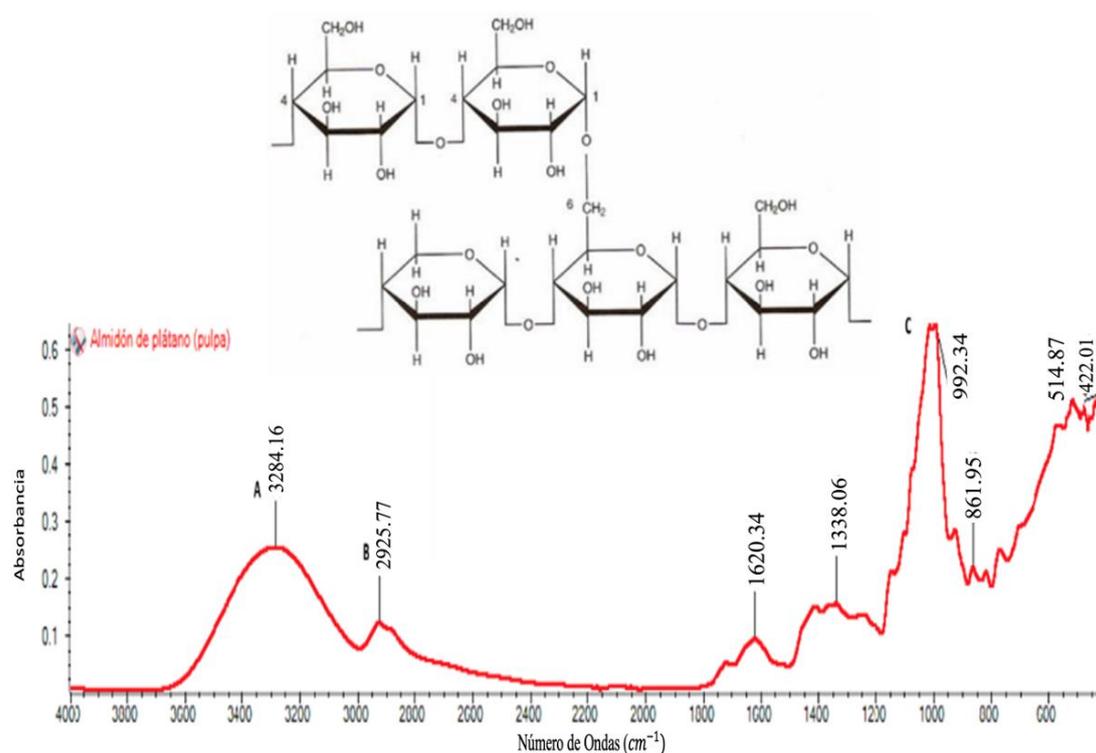


Figura 17. Espectro del almidón de pulpa de plátano

Fuente: Autores

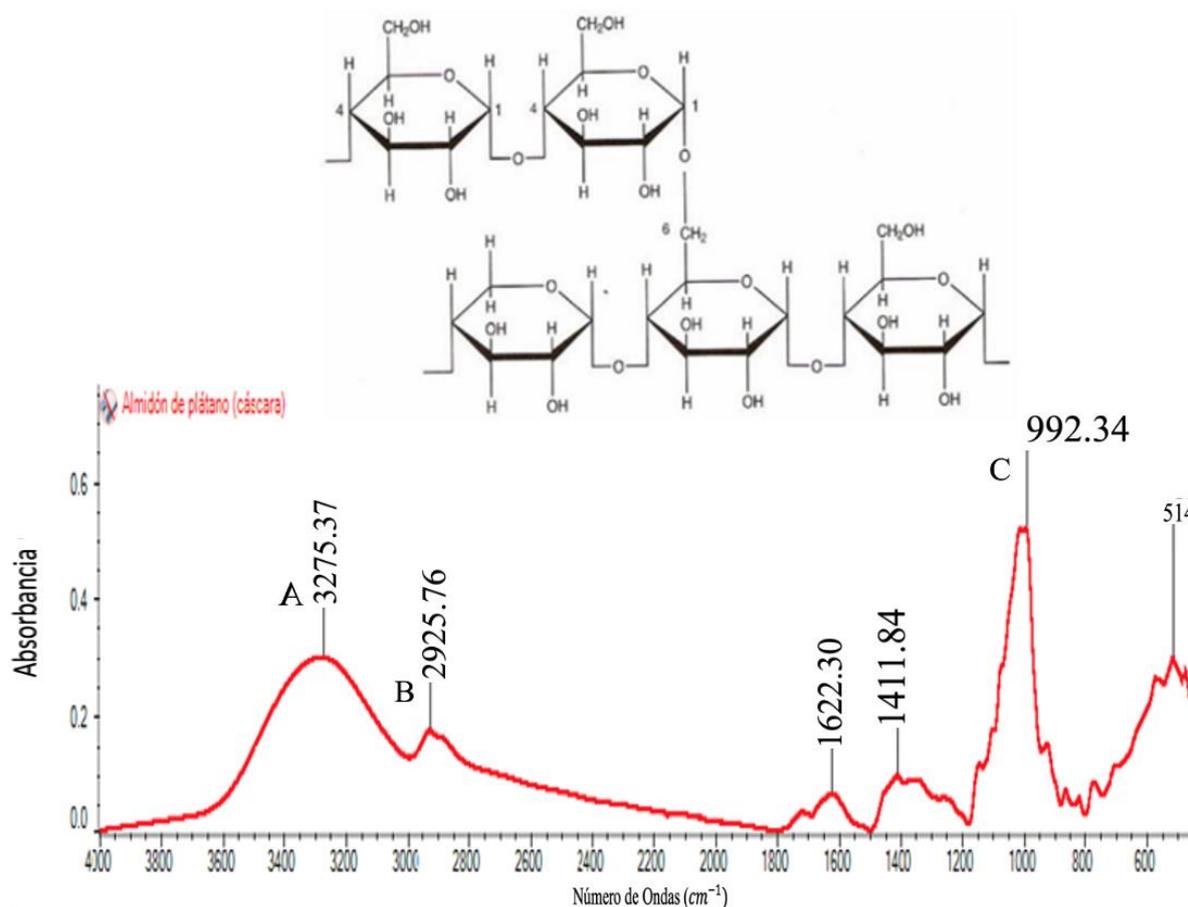
En la Figura 17 se muestra un espectro IR del almidón de pulpa de plátano, el mismo tiene un pico A que trata de un hidroxilo -OH del almidón debido a que su frecuencia de  $3284.16\text{ cm}^{-1}$  está dentro del rango perteneciente a este grupo que va de  $3600\text{ cm}^{-1}$  a  $3200\text{ cm}^{-1}$ . El pico B de frecuencia  $2925.77\text{ cm}^{-1}$  es un grupo -CH perteneciente a la cadena de la estructura cíclica puesto que el rango de este compuesto oscila entre  $3000\text{--}2800\text{ cm}^{-1}$ . Estos dos compuestos mencionados anteriormente poseen un tipo de vibración de tensión. Finalmente, el pico C de frecuencia  $992.34\text{ cm}^{-1}$  corresponde al grupo funcional del anillo cíclico, puesto que su enlace -CO tiene un rango de frecuencia de  $990\text{ cm}^{-1}$  a  $1300\text{ cm}^{-1}$ . Por lo mencionado anteriormente, se puede afirmar que el compuesto obtenido en el laboratorio es almidón de plátano.

En la Tabla 43 se detalla la absorbancia y frecuencia de cada grupo funcional encontrado en la *Figura 17*. Espectro del almidón de pulpa de plátano

*Tabla 43:* Principales picos de frecuencias del Espectro FTIR del almidón de pulpa de plátano

ÍTEM	ABSORBANCIA	FRECUENCIA $\text{cm}^{-1}$	Grupo Funcional	Nombre del grupo Funcional
A	0.26	3284.16	-OH	Alcohol
B	0.1	2925.77	-CH	Carbono del anillo cíclico
C	0.59	992.34	C-O	Del anillo cíclico

*Fuente:* Autores, los ítems A, B, y C hacen referencia a las diferentes frecuencias y grupos funcionales encontrados en el espectro de la *Figura 17*.



*Figura 18.* Espectro del almidón de cáscara de plátano

Fuente: Autores

En la figura 18 se muestra un espectro IR del almidón de cáscara de plátano, el mismo tiene un pico A correspondiente a un hidroxilo -OH del almidón debido a que su frecuencia de  $3275.37\text{ cm}^{-1}$  está dentro del rango perteneciente a este grupo que va de  $3600\text{ cm}^{-1}$  a  $3200\text{ cm}^{-1}$ . El pico B de frecuencia  $2925.76\text{ cm}^{-1}$  es un grupo -CH perteneciente a la cadena de la estructura cíclica puesto que el rango de este compuesto oscila entre  $3000\text{--}2800\text{ cm}^{-1}$ . Estos dos compuestos mencionados anteriormente poseen un tipo de vibración de tensión. Finalmente, el pico C de frecuencia  $992.34\text{ cm}^{-1}$  corresponde al grupo funcional del anillo cíclico, puesto que su enlace -CO tiene un rango de frecuencia de  $990\text{ cm}^{-1}$  a  $1300\text{ cm}^{-1}$ . Por lo mencionando anteriormente, se puede afirmar que el compuesto obtenido en el laboratorio es almidón de plátano.

En la Tabla 44 se detalla la absorbancia y frecuencia de cada grupo funcional encontrado en la *Figura 18*. Espectro del almidón de cáscara de plátano

*Tabla 44:* Principales picos de frecuencias del Espectro FTIR del almidón de cáscara de plátano

ÍTEM	ABSORBANCIA	FRECUENCIA $\text{cm}^{-1}$	Grupo Funcional	Nombre del grupo Funcional
A	0.3	3275.37	-OH	Alcohol
B	0.19	2925.76	-CH	Carbono del anillo cíclico
C	0.59	992.34	C-O	Del anillo cíclico

*Fuente:* Autores, los ítems A, B, y C hacen referencia a las diferentes frecuencias y grupos funcionales encontrados en el espectro de la figura 18.

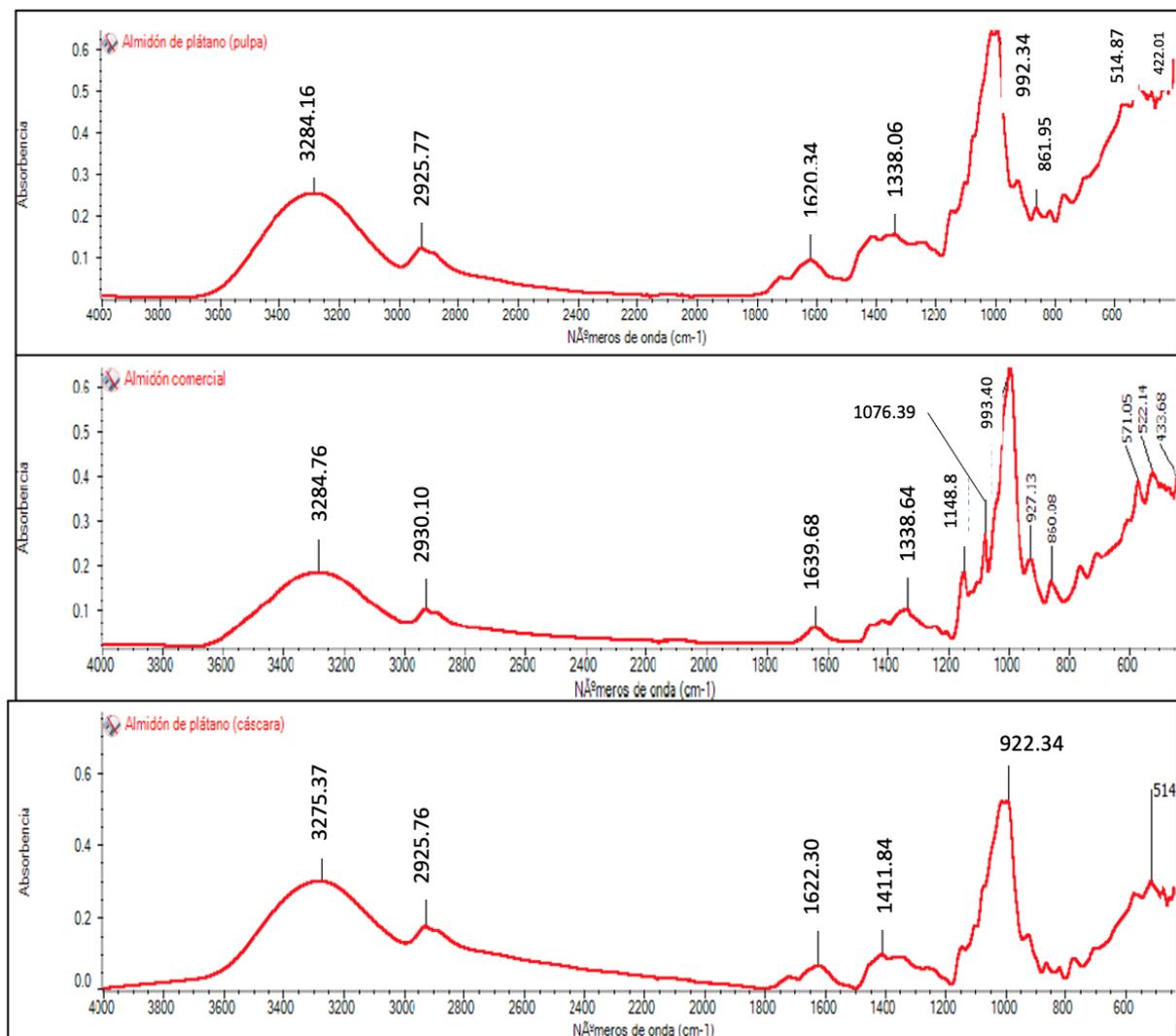


Figura 19. Espectro del almidón comercial comparado con almidón de cáscara y pulpa de plátano  
 Fuente: Autores, la figura 19 muestra los espectros de almidón de pulpa y almidón de cáscara de plátano obtenidos a nivel de laboratorio que, al compararlos con el espectro de almidón de plátano comercial, se puede ver que existe una similitud muy grande entre las mismas y que sus longitudes de onda son muy cercanas.

## 5.4 Biodegradación de pastillas B/A mediante volumetría

### 5.4.1 Cálculo de parámetros para acondicionamiento de Suelo

#### 5.4.1.1 Determinación de pH

Para la determinación de pH de la muestra de sustrato orgánico se ejecutó 3 pruebas obteniendo un promedio de 8,16; es decir un suelo básico o ligeramente alcalino como se

puede observar en la Tabla 45. Para obtener el valor de pH se utilizó un phmetro Mettler Toledo-S213 SevenCompact Duo.

#### ***5.4.1.2 Determinación de Humedad***

Para la determinación de humedad de la muestra de sustrato orgánico se ejecutó 3 pruebas igualmente obteniendo un promedio de humedad de 28,73% como se puede observar en la Tabla 45. Para obtener el % de humedad se utilizó el equipo analizador de humedad Mettler Toledo HE53, HE73.

#### ***5.4.1.3 Determinación de Conductividad***

De igual forma, para la determinación de conductividad de la muestra de sustrato orgánico se ejecutó 3 pruebas obteniendo un promedio de 35,39  $\mu\text{s}/\text{cm}$  como se puede observar en la Tabla 45. Para obtener el valor de conductividad se utilizó el equipo un conductímetro Mettler Toledo-S213 SevenCompact Duo.

#### ***5.4.1.4 Determinación del contenido de Carbono Orgánico***

Para el cálculo del contenido de Carbono orgánico que contiene la muestra de suelo se utilizó la ecuación EC 7, ejecutando 3 pruebas y obteniendo un promedio de 0,00805 g, esto expresado en porcentaje se obtuvo 1,05% de C.O como se puede visualizar en la Tabla 45.

#### ***5.4.1.5 Determinación del contenido de Materia Orgánica.***

Para el cálculo del contenido de materia orgánica que contiene la muestra de suelo se utilizó la ecuación EC 8, partiendo de los resultados de C.O; obteniendo un promedio de 1,40% de M.O como se puede visualizar en la Tabla 45.

Tabla 45: *Parámetros obtenidos para evaluar el acondicionamiento de suelo*

<b>Características</b>	<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>	<b>Prueba 3</b>	<b>Promedio</b>	<b>Unidad</b>
pH	8,16	8,22	8,11	8,16	
Humedad	36.6	26,8	22,8	28,73	%
Conductividad (μs/cm)	34,43	35,36	36,39	35,39	μs/cm
Carbono Orgánico	1,06	1,04	1,05	1,05	%
Materia Orgánica	1,41	1,386	1,40	1,40	%

Fuente: Autores

#### **5.4.1 Caracterización y descripción de la emisión de CO<sub>2</sub> y Biodegradación de pastillas (B/AP) y (B/AC) en sustrato orgánico.**

Teniendo un total de 30 pastillas, 15 pastillas para la relación (B/AP) y 15 pastillas para la relación (B/AC), es decir 3 pastillas para cada dosificación 90/10, 80/20, 70/30, 60/40 y 50/50; se realizó un dimensionamiento obteniendo un promedio de 2,82 g de peso inicial, 3,39 mm de espesor y 30,79 mm de diámetro para la relación (B/AP); de la misma forma se obtuvo un promedio de 2,85 g de peso inicial, 3,43 mm de espesor y 30,83 mm de diámetro para las pastillas de relación (B/AC).

Las pastillas (B/AP) y (B/AC) fueron cubiertas por sustrato orgánico; en la semana 1 se observó un hinchamiento de su superficie en cada una de las pastillas, debido a que absorbió humedad del suelo. Para las pastillas (B/AP) se registró un promedio en peso de 3,08 g, un espesor de 3,43mm y un diámetro de 31,29mm; y para las pastillas (B/AC) se registró un promedio en peso de 2,71 g, un espesor de 3,31mm y un diámetro de 30,99mm. En la semana 2 se observó una disminución en su tamaño; para las pastillas (B/AP) se obtuvo un promedio de 2,56 g de peso, 2,98 mm de espesor y 30,89 mm de diámetro y para las pastillas (B/AC) se obtuvo un promedio 2,18 g de peso, 2,76 mm de espesor y 30,53 mm de diámetro; además se visualizó un desarrollo de hongos cubriendo gran parte de las pastillas. En la semana 3 se observó menor presencia de hongos, se divisó además pequeños retoños de vegetación, algunas pastillas presentaron un gran debilitamiento. Para las pastillas (B/AP) se obtuvo un promedio en peso de 2,06 g, 2,46 mm de espesor y 29,12 de diámetro y para

las pastillas (B/AC) se obtuvo un promedio de 1,77 g de peso, 2,49 mm de espesor y 29,88mm de diámetro. En la semana 4 se observó una mínima presencia de hongos cubriendo el área de las pastillas, se observó además una fragmentación en casi la mayoría de las pastillas y una adhesión al suelo lo cual no permitió registrar sus dimensiones. En la semana 5 se observó gran pérdida de peso y fragmentación en todas las pastillas, se observó una degradación muy avanzada. En la semana 6 se visualizó una degradación casi total en la gran mayoría de pastillas. Finalmente, en la semana 7 se cumplió con el 100% de Biodegradación en cada una de las pastillas. El proceso de degradación de las pastillas B/AP se puede visualizar en la Imagen 31, de igual manera el proceso de degradación de las pastillas B/AC se puede observar en la Imagen 32.

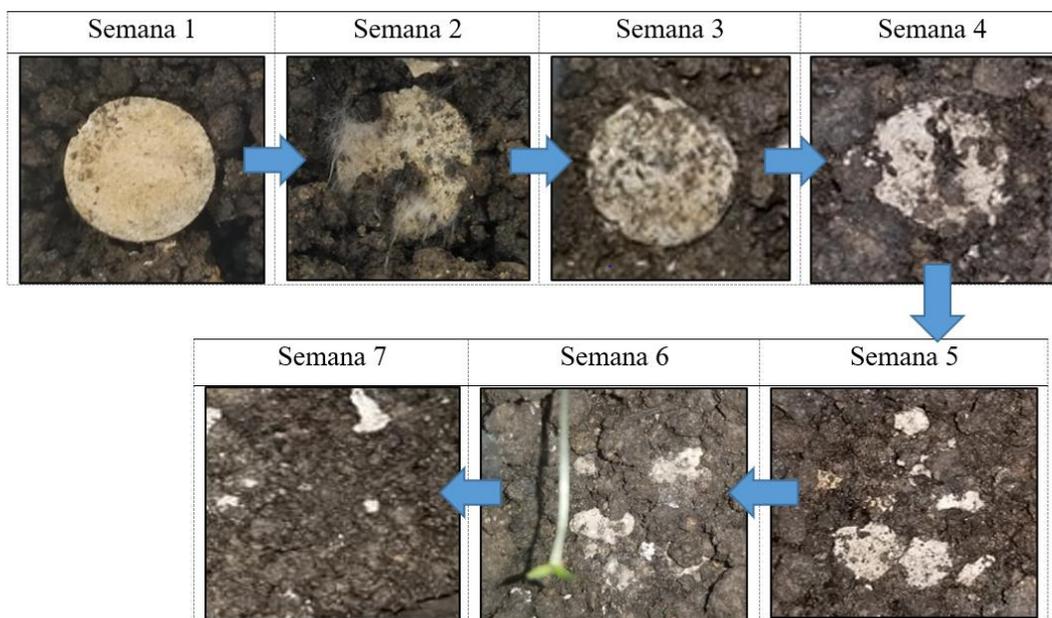


Imagen 31. Proceso de Biodegradación de pastillas BHET/Almidón de pulpa de plátano

Fuente: Autores

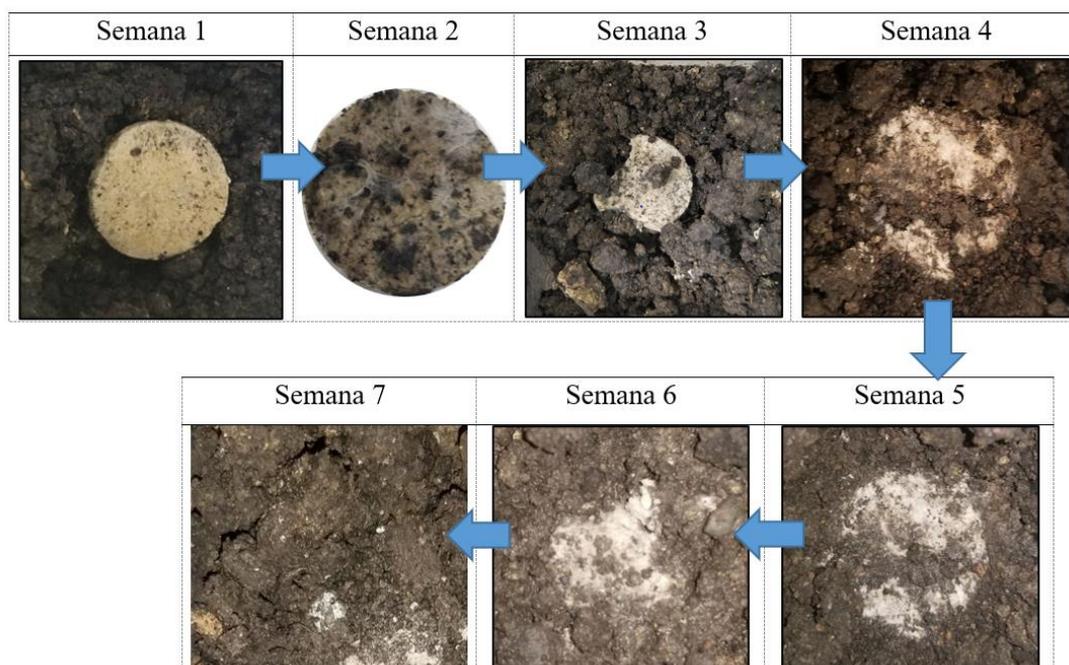


Imagen 32. Proceso de Biodegradación de pastillas BHET/Almidón de cáscara de plátano

Fuente: Autores

#### ***5.4.1.1 Evaluación y descripción de la biodegradación por titulación de CO<sub>2</sub> de pastillas (B/AP) Y (B/AC).***

Según la metodología propuesta en el punto 4.5.5 para valorar la biodegradación de las muestras de almidón plastificadas con BHET se registró el dióxido de carbono producido por la descomposición de las muestras debido a la presencia de microorganismos en el suelo. Para la determinación de % de CO<sub>2</sub> se calculó primeramente el CO<sub>2</sub> teórico para cada relación utilizando la ecuación EC 9 para esto se tomó en cuenta el contenido de Carbono orgánico total en g y la masa total en g de las pastillas para cada relación. El CO<sub>2</sub> teórico calculado para las pastillas (B/AP) es de 1,25 g y el CO<sub>2</sub> teórico para las pastillas (B/AC) es de 1,26 g como se puede ver en la Tabla 46.

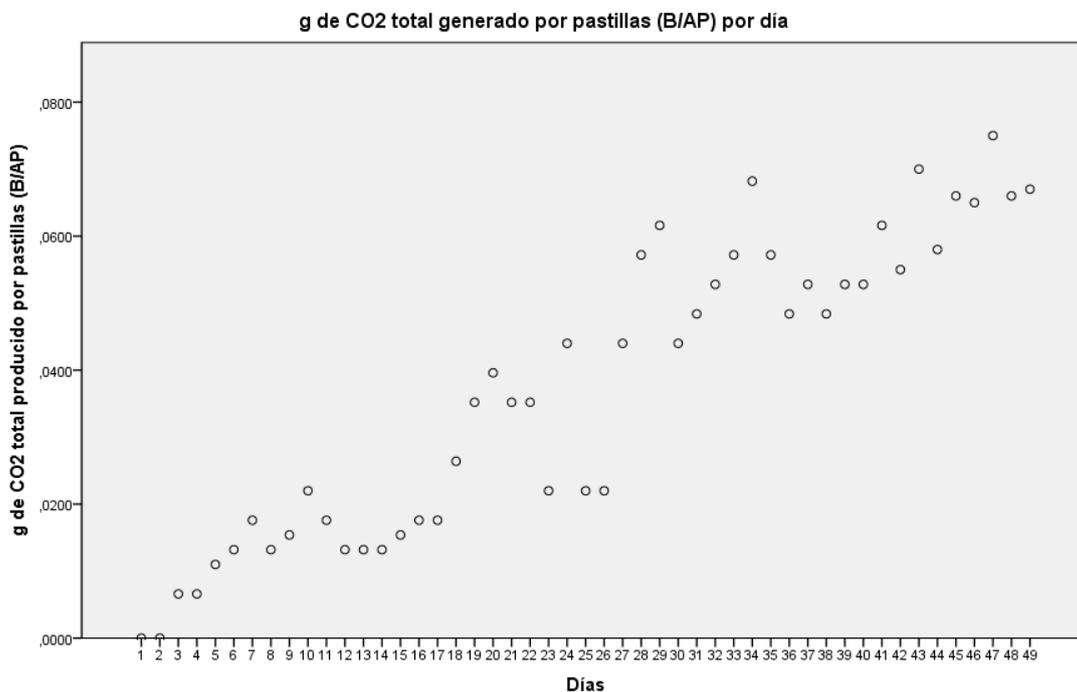
Tabla 46:  $CO_2$  teórico calculado a partir de diferentes parámetros para pastillas (B/AP) y (B/AC)

Relación	Parámetros		CO <sub>2</sub> teórico
	C org total	Masa total pastillas	
PASTILLAS (B/AP)	0,00805 g	42,3 g	1,25
PASTILLAS (B/AC)	0,00805 g	42,73 g	1,26

Fuente: Autores

#### 5.4.1.1.1 Análisis estadístico de la biodegradabilidad y emisión de CO<sub>2</sub>

Para el análisis estadístico se empleó los softwares IBM SPSS Statistics 23 y MiniTab, valorando el proceso de biodegradación para cada relación y dosificación de acuerdo al tiempo (días). De acuerdo a la EC 10 se construyen las gráficas de dispersión Figura 20 y Figura 21, se calculó los g de CO<sub>2</sub> total producido por día para cada relación. En este punto cabe recalcar una tendencia de crecimiento lineal con valores dispersos para ambos casos.

Figura 20. Dispersión de datos de g de CO<sub>2</sub> total producido diariamente por pastillas (B/AP)

Fuente: Autores

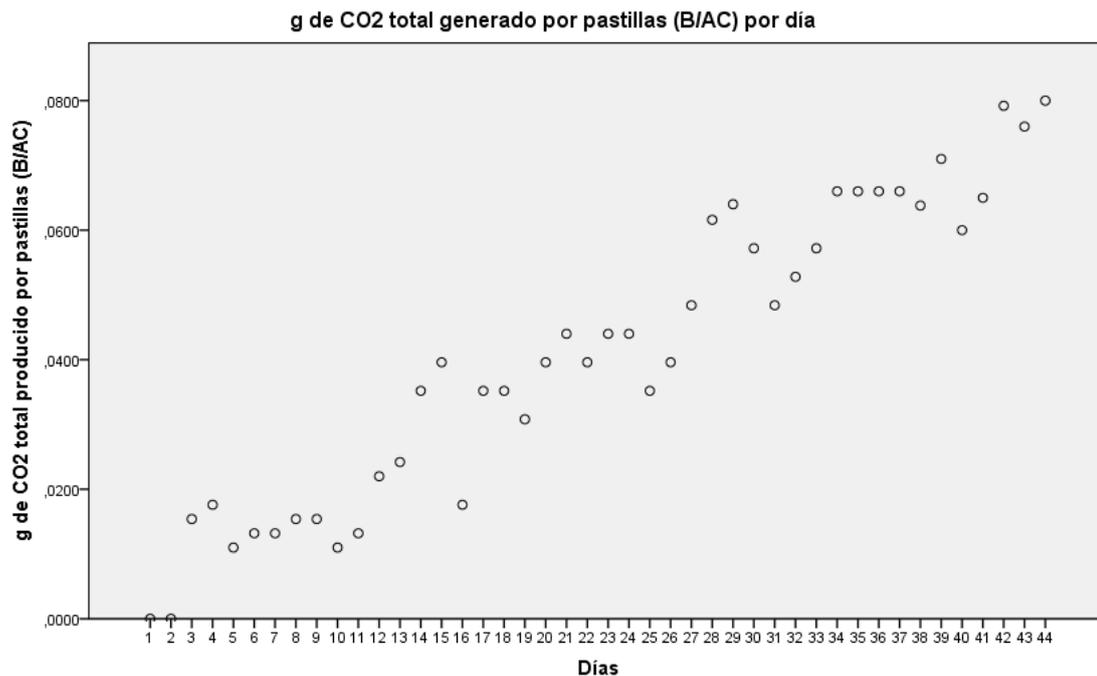


Figura 21. Dispersión de datos de g de CO2 total producido diariamente por pastillas (B/AC)

Fuente: Autores

Tabla 47: Estadísticos descriptivos obtenidos

Estadísticos Descriptivos							
	n	Mínimo	Máximo	Media	Desviación		
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estándar	Varianza	
				Std. Error	Estadístico	Estadístico	
g de CO2 total producido por pastillas (B/AP)	49	0,0000	0,0750	0,037233	0,0031384	0,0219690	0,000
g de CO2 total emitido por las pastillas (B/AC)	44	0,0000	0,0800	0,040905	0,0034291	0,0227459	0,001

Fuente: Autores

En la Figura 20 y Figura 21 se observa la existencia de una cierta tendencia lineal para ambas relaciones; en la Tabla 47 se observa que las pastillas (B/AC) poseen un error estándar

es de 0,0034291 y las pastillas (B/AP) de 0,0031384. Además, se observa que la Figura 20 presenta una mayor dispersión de datos a simple vista; debido a la dispersión de los datos de ambas figuras se recurrió a calcular el coeficiente de correlación de Pearson en donde se entrelazó los días con los g de CO<sub>2</sub> emitido por las pastillas (B/AP) y de igual manera los días con los g de CO<sub>2</sub> producido por pastillas (B/AC) obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 48: *Análisis de Correlación*

<b>Análisis de Correlaciones por PEARSON</b>				
		Días	g de CO2 total emito por las pastillas (B/AC)	g de CO2 total emito por las pastillas (B/AP)
Días	Correlación Pearson	1	<b>0,965**</b>	<b>0,939**</b>
	Sig. (2-colas)		0,000	0,000
	N	44	44	49
mg de CO2 total emito por las pastillas (B/AC)	Correlación Pearson	0,965**	1	
	Sig. (2-colas)	,000		
	N	44	44	
mg de CO2 total emito por las pastillas (B/AP)	Correlación Pearson	0,939**		1
	Sig. (2-colas)	,000		
	N	49		49

\*\* . Correlación es significativa en el nivel 0.01 (2-colas).

Fuente: Autores

En nuestro caso se obtuvo un valor de correlación de 0,939 entre la variable dependiente (g de CO<sub>2</sub> producido por día de pastillas (B/AP)) y la variable independiente (días), lo que nos expresa que existe una correlación positiva alta entre ambas variables, lo cual nos indica que mientras aumenten los días las pastillas emitirán mayor contenido de CO<sub>2</sub>. De igual manera existe una correlación positiva alta entre la variable dependiente (g de CO<sub>2</sub> producido por día de pastillas (B/AC)) y la variable independiente (días) dando como

resultado un coeficiente de correlación de 0,965; por lo tanto, la magnitud es importante y relevante.

Para probar que los datos siguen una distribución normal se utilizó el Test de Shapiro-Wilk para contrastar la normalidad de un conjunto de datos, para eso se fijó las siguientes hipótesis:

### Método

- *Hipótesis Nula (H<sub>0</sub>)*: Los datos de las variables siguen una distribución normal.

- *Hipótesis Alternativa (H<sub>1</sub>)*: Los datos de las variables no siguen una distribución normal.

Para este análisis se empleó un nivel de significancia ( $\alpha$ ) de 0,05 que indica un 5% de riesgo de lo que valores difieran del caso de estudio; debido a la índole de nuestros datos es aplicable el nivel de significancia mencionado, constatando que la diferencia es estadísticamente significativa.

✓ Si el valor p es < que 0,01, se rechaza H<sub>0</sub>

✓ Si el valor p es > que 0,01, se acepta H<sub>0</sub>

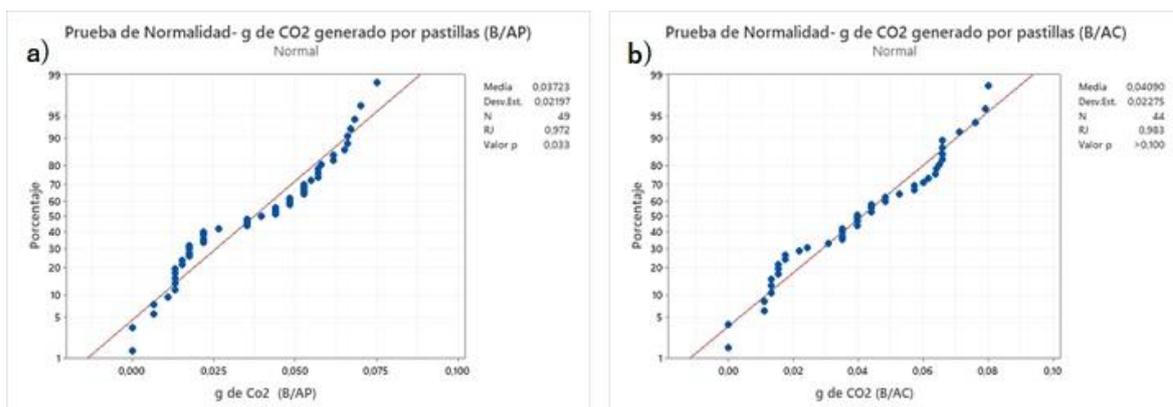


Figura 22. Prueba de Normalidad para los g de CO2 producidos por pastillas a) (B/AP) y b) (B/AC)

Fuente: Autores

Para la Figura 22a se obtuvo un valor de  $p= 0,033$  y para la Figura 22b el valor de  $p = a > 0,100$ ; por ende, se aceptó  $H_0$  concluyendo que los datos de las variables para ambas relaciones tienden a seguir distribución normal.

De la misma forma y de acuerdo a ecuación EC 11 se elaboró la Figura 23 que representa el % de Biodegradación acumulado por día para la relación de pastillas (B/AP) y de igual manera para la relación (B/AC), el cual se calculó a partir del  $CO_2$  generado y la cantidad teórica máxima de  $CO_2$  que pudo producirse.

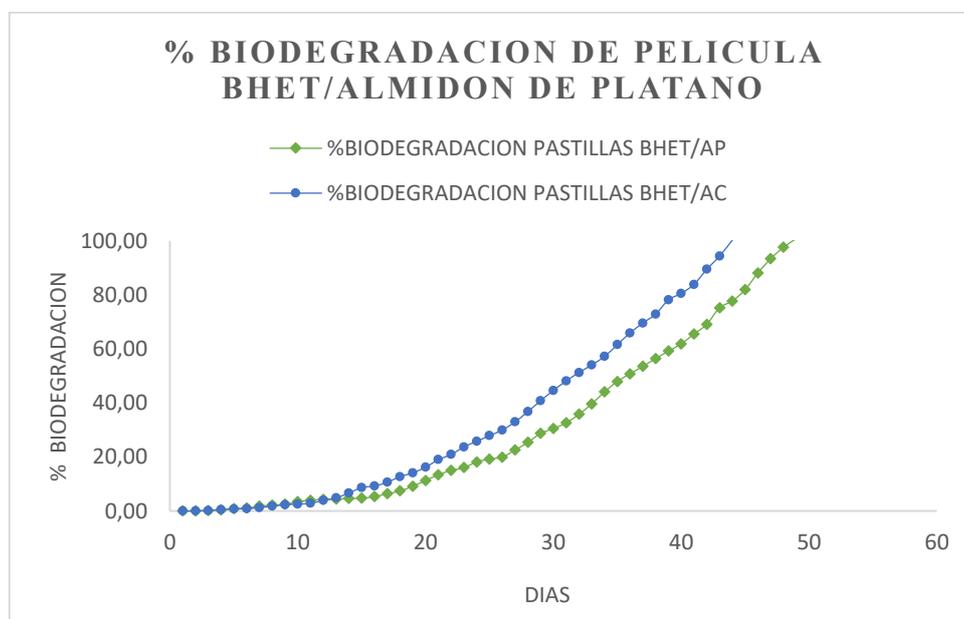


Figura 23. Comparación del % de Biodegradación producido por pastillas (B/AP) y (B/AC)

Fuente: Autores

Como se puede visualizar en la Figura 23 las 15 pastillas de relación (B/AP) en general cumplen con el 100% de Biodegradación a los 49 días, en cambio las 15 pastillas de relación (B/AC) cumplen su proceso total de biodegradación total a los 44 días. Esto se debe a que las pastillas (B/AC) poseen menos azúcares por lo que su degradación fue más acelerada.

Para corroborar estos resultados se calculó el tiempo que le toma a las muestras de pastillas en degradarse por completo en relación a su pérdida de peso para cada dosificación. Como se había señalado anteriormente en el inciso 5.4.1, los datos de los pesos para cada dosificación se registraron hasta el día 19 como se puede observar en la Figura 24, por ende, se realizó una simulación mediante regresión lineal para proyectar el tiempo en días que le tomó a cada pastilla en degradarse completamente, es decir llegar a un peso de cero gramos.

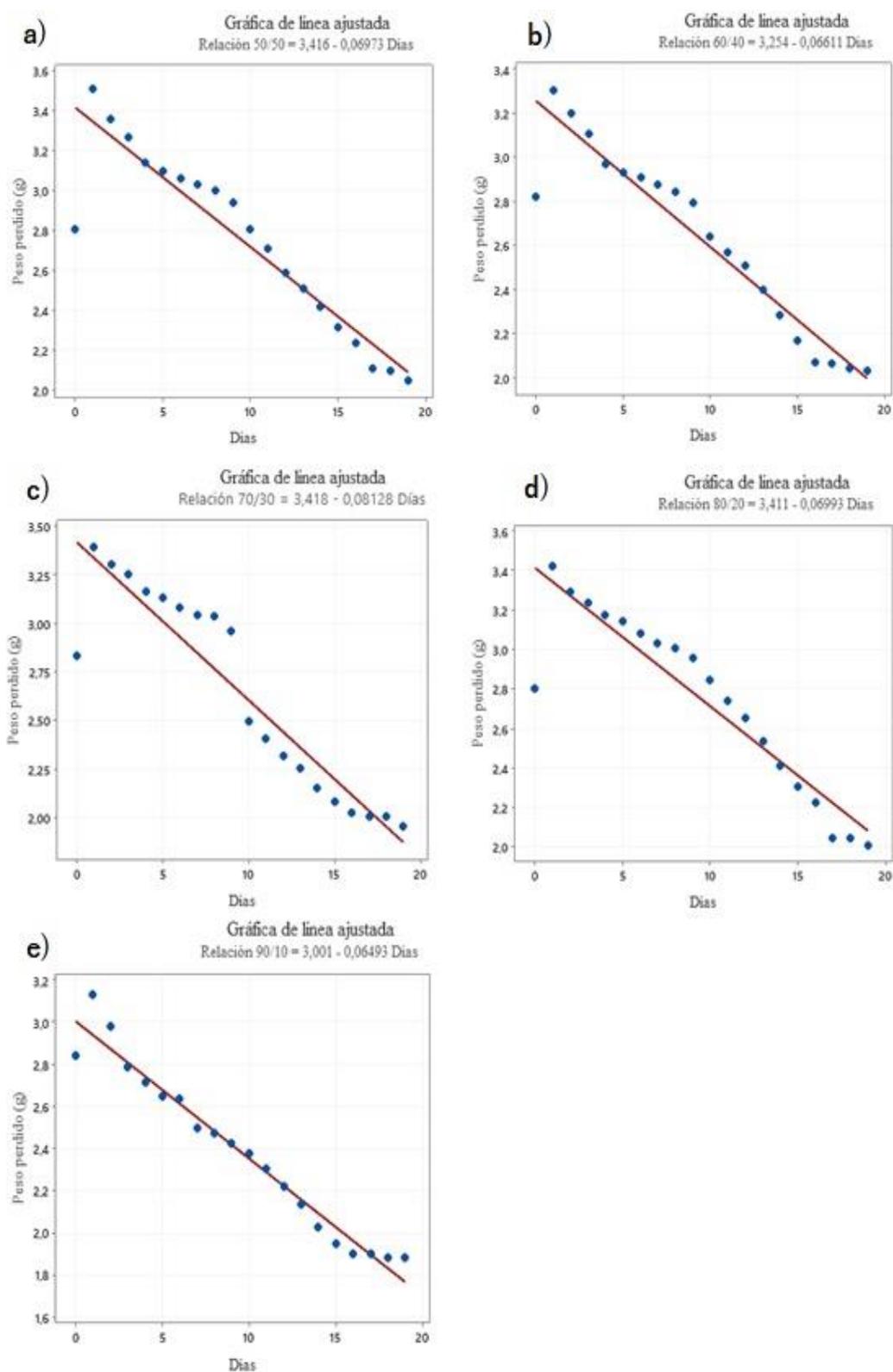


Figura 24. Gráfica de línea ajustada de pérdida de Peso por día de pastillas (B/AP): a) 50/50; b) 60/40; c) 70/30; d) 80/20; e) 90/10.

Fuente: Autores

## Resumen de los modelos

Tabla 49: Resumen del modelo obtenido mediante Regresión Lineal para pastillas de relación (B/AP)

Resumen del Modelo				
Relación Pastillas (B/AP)	Error estándar	R-cuadrado	R-cuadrado (ajustado)	Ecuación lineal de Regresión
50/50	0,007702	86,56%	85,81%	$y = 3,146 - 0,06973x$
60/40	0,007728	90,88%	90,38%	$y = 3,254 - 0,06611x$
70/30	0,008380	86,66%	85,92%	$y = 3,418 - 0,08128x$
80/20	0,007564	85,41%	84,60%	$y = 3,411 - 0,06993x$
90/10	0,006852	96,19%	95,98%	$y = 3,001 - 0,06493x$

Fuente: Autores

- **Error estándar:** Variabilidad de las medias muestrales, la cual se puede medir por su desviación estándar.
- **R-cuadrado:** Es el porcentaje de variación que indica cuan cerca están los datos a la línea de regresión ajustada. En general, cuando mayor es R-cuadrado mejor se ajusta nuestro modelo a los datos.
- **R-cuadrado ajustado:** Es el porcentaje de variación que sirve para ver el grado de efectividad que poseen la variable independiente para poder explicar la variable dependiente.

En la Tabla 49 se puede ver que el error estándar para cada relación no varía significativamente, teniendo valores bajos lo que indica que la estimación es más precisa de la media de la población. La relación 70/30 presenta un mayor error a comparación del resto de relaciones.

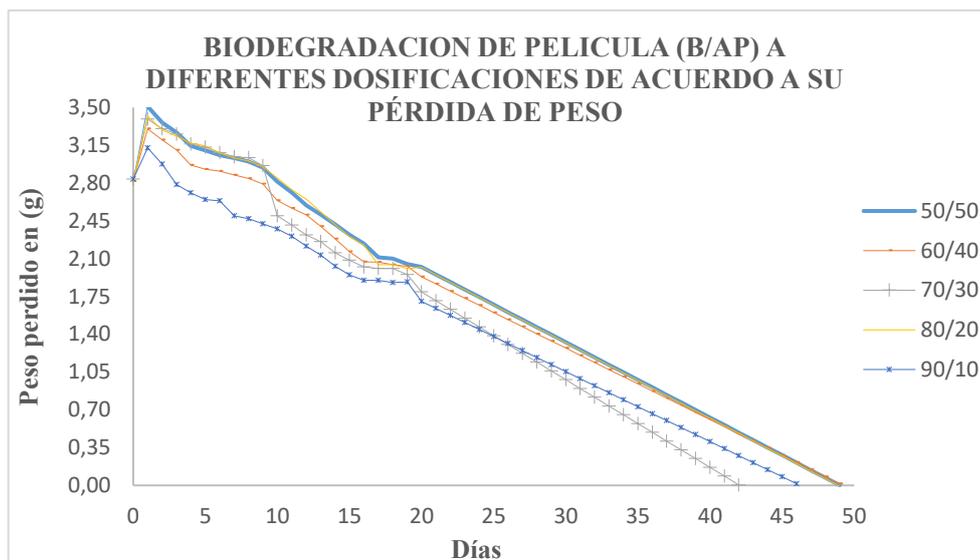


Figura 25. Evaluación del tiempo de Biodegradación de pastillas (B/AP) obtenido de acuerdo a la pérdida de peso con su respectiva dosificación.

Fuente: Autores

De acuerdo a las proyecciones mediante regresión lineal y aplicando las ecuaciones lineales de la Tabla 49 se puede observar en la figura 25 que las pastillas (B/AP) de relación 50/50, 60/40 y 80/20 se degradan en 49 días, las pastillas de relación 90/10 en un tiempo de 46 días y finalmente la que se degradó manera más acelerada fueron las pastillas de relación 70/30 con un tiempo de 42 días; teniendo total para todas las pastillas de 47 días. En la Tabla 50 se observa un resumen de lo anteriormente mencionado.

Tabla 50: Tiempo de degradación de las pastillas (B/AP) de acuerdo a su dosificación

<b>Dosificación (B/AP)</b>	<b>Tiempo de Degradación (días)</b>
50/50	49
60/40	49
70/30	42
80/20	49
90/10	46
<b>Promedio</b>	<b>47</b>

Fuente: Autores

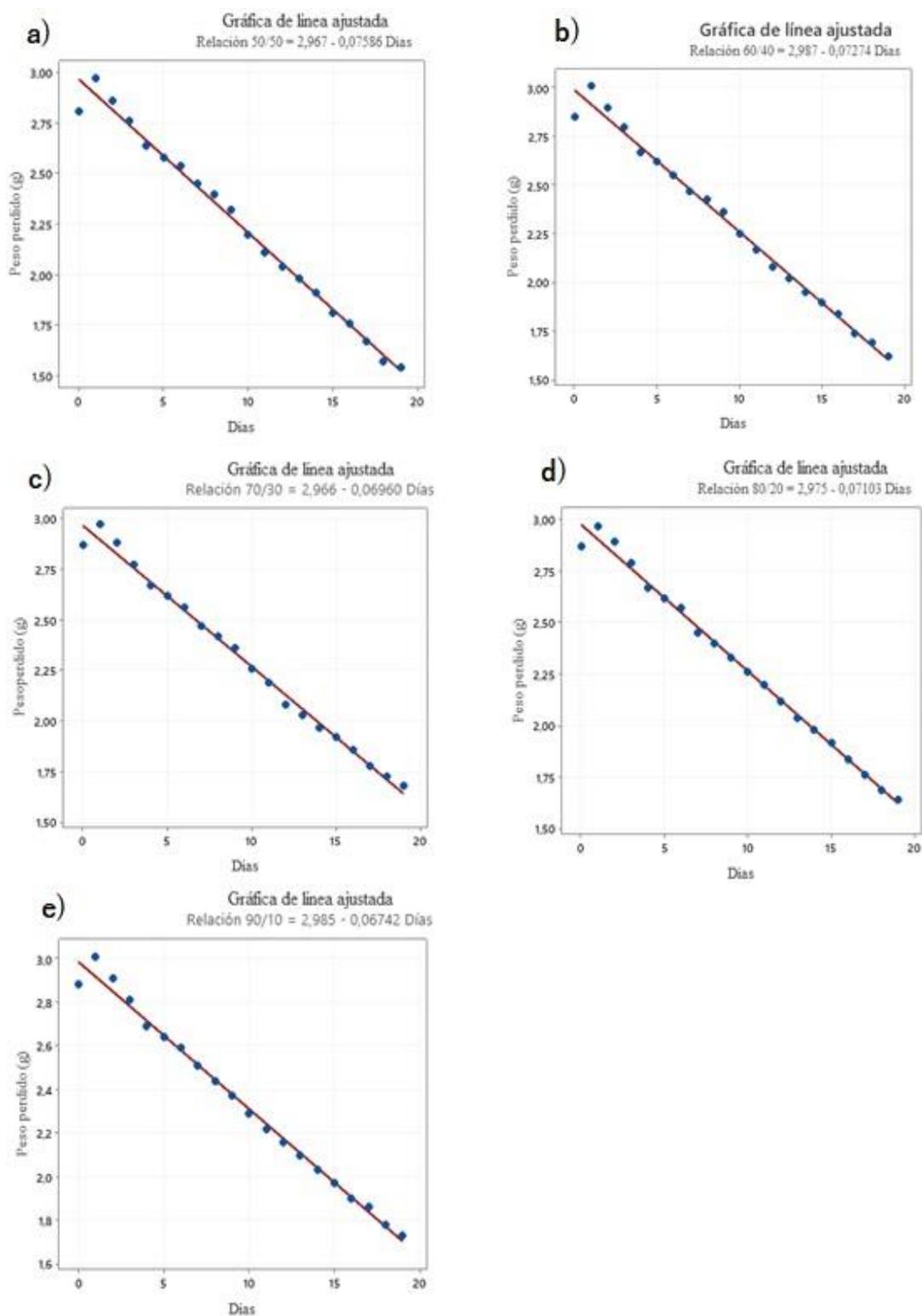


Figura 26. Gráfica de línea ajustada de pérdida de Peso por día de pastillas (B/AC): a) 50/50; b) 60/40; c) 70/30; d) 80/20; e) 90/10.

Fuente: Autores

## Resumen de los modelos

Tabla 51: Resumen del modelo obtenido mediante Regresión Lineal para pastillas de relación (B/AC)

Resumen del Modelo				
Relación	Error estándar	R-cuadrado	R-cuadrado (ajustado)	Ecuación lineal de Regresión
50/50	0,00473215	99%	98,9%	$y=2,967-0,07586x$
60/40	0,00457037	98,9%	98,9%	$y=2,987-0,07274x$
70/30	0,00369605	99,2%	99,2%	$y=2,966-0,06960x$
80/20	0,00347926	99,4%	99,3%	$y=2,975-0,07103x$
90/10	0,00390670	99,1%	99%	$y=2,985-0,06742x$

Fuente: Autores

En la Tabla 51 se puede ver que el error estándar para cada relación no varía significativamente, teniendo valores bajos lo que indica que la estimación es más precisa de la media de la población. La relación 50/50 presenta un mayor error en comparación al resto de relaciones.

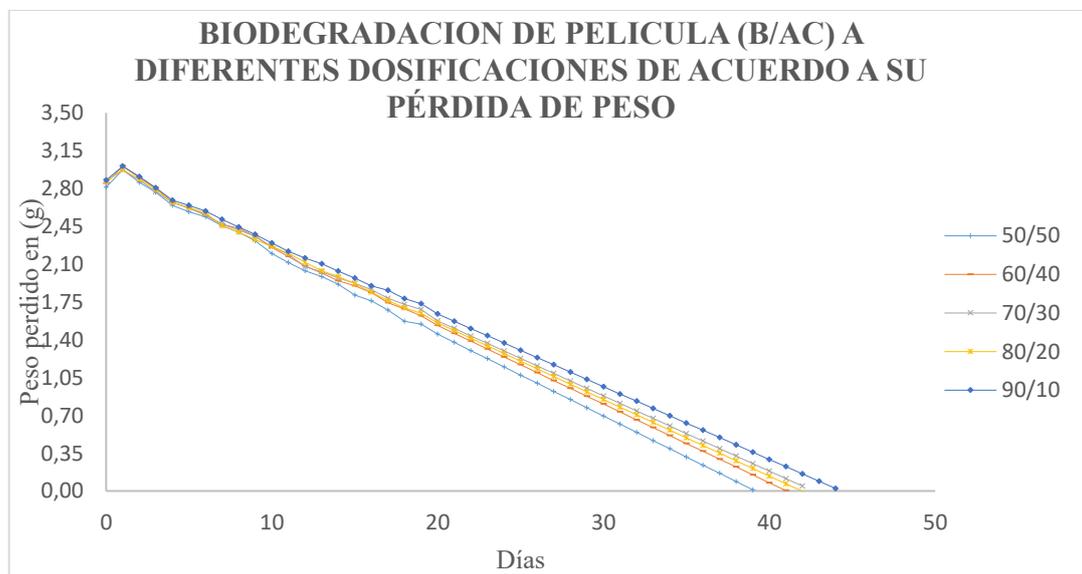


Figura 27. Evaluación del tiempo de Biodegradación de pastillas (B/AC) obtenido de acuerdo a la pérdida de peso con su respectiva dosificación.

Fuente: Autores

De acuerdo a las proyecciones mediante regresión lineal y aplicando las ecuaciones lineales de la Tabla 51 se puede observar que en la Figura 27 las pastillas (B/AC) de relación 90/10, se degradan en 44 días, las pastillas de relación 80/20 y 70/30 en un tiempo de 42 días y finalmente la que se degradó en menos tiempo fueron las pastillas de relación 50/50 con un tiempo de 39 días; teniendo total para todas las pastillas de 42 días. En la Tabla 52 se observa un resumen de lo anteriormente mencionado.

Tabla 52: *Tiempo de degradación de las pastillas (B/AC) de acuerdo a su dosificación*

<b>Dosificación (B/AC)</b>	<b>Tiempo de Degradación (días)</b>
50/50	39
60/40	41
70/30	42
80/20	42
90/10	44
<b>Promedio</b>	<b>42</b>

Fuente: Autores

A manera de comparación y resumen se puede observar en la Tabla 53 la técnica volumétrica y la proyección de regresión lineal obteniendo el tiempo en días que se degradó por completo cada relación.

Tabla 53: *Cuadro comparativo entre el tiempo de biodegradación obtenido por volumetría y por regresión lineal*

<b>Pastillas Relación</b>	<b>Tiempo (días) de Biodegradación por método Volumétrico</b>	<b>Tiempo (días) Biodegradación aplicando Regresión Lineal de acuerdo a su pérdida de peso</b>
B/AP	49	47
B/AC	44	42

Fuente: Autores

Adicional a todo lo mencionado anteriormente, en la Tabla 54 se demuestra la media en g de CO<sub>2</sub> de cada dosificación para pastillas de relación B/AP en los 49 días de degradación total, de igual forma en la Tabla 55 se observa la media en g de CO<sub>2</sub> de cada dosificación para pastillas de relación B/AC en los 44 días de degradación total.

*Tabla 54: Media g de CO<sub>2</sub> por dosificación de pastillas B/AP*

Dosificación	Media g de CO <sub>2</sub> por pastilla producido
50/50	0,00295
60/40	0,00295
70/30	0,00295
80/20	0,00295
90/10	0,00295

Fuente: Autores

*Tabla 55: Media g de CO<sub>2</sub> por dosificación de pastillas B/AC*

Dosificación	Media g de CO <sub>2</sub> por pastilla producido
50/50	0,00273
60/40	0,00274
70/30	0,00273
80/20	0,00274
90/10	0,00278

Fuente: Autores

## 6. CAPÍTULO: DISCUSIÓN

La degradación de películas elaboradas a base de almidón de plátano y BHET como plastificante es un tema que hoy en día no se ha trabajado a profundidad, por ende, existen muy pocas investigaciones relacionadas a este tema; por ello es muy necesario e importante abordar esta temática haciendo énfasis en la creación de productos a base de componentes orgánicos generando así productos biodegradables y amigables con el ambiente.

En lo que respecta a la obtención del óxido de Zinc, el espectro de la muestra D2 fue el usado para el presente proyecto de investigación, esta muestra se formó con una concentración de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  al 10%, %m/m de 5% de carbonato de calcio y finalmente obtuvo un rendimiento total del 66.03%, el espectro ya mencionado posee un pico de frecuencia muy próximo al propuesto por (R. López et al., 2011), este autor afirma que si un compuesto tiene un pico de frecuencia alrededor de  $410\text{ cm}^{-1}$ , este corresponde al modo de tensión del enlace Zn- O, razón por la cual se pudo comprobar que el compuesto final obtenido era un óxido de Zinc, también nos dice que la temperatura de calcinación para formar un óxido de Zinc no puede ser mayor a  $907^\circ\text{C}$ , porque con temperaturas mayores a esta no se podría formar dicho compuesto, confirmando así que la temperatura en la que se trabajó fue óptima ya que no provocaba la pérdida del mismo. En lo que respecta a las características físicas del óxido de zinc obtenido a nivel de laboratorio, este fue de un color blanco opaco, cumpliendo así las características físicas que debe tener un óxido de zinc mencionadas por (Salinas, 2017). A pesar que varias de las muestras de óxido de zinc obtenidas en el laboratorio poseían rendimientos mayores que el obtenido en la muestra D, estas no se validaron como idóneas puesto que al obtener su gráfica espectral y al compararlas con el espectro de óxido de zinc comercial, estas no poseían los picos de frecuencia que tenía el óxido de zinc comercial, varias veces esto se daba por la presencia en exceso del carbonato de calcio en el compuesto.

A partir de los resultados alcanzados para la obtención de BHET mediante glicólisis en relación 4:1 (EG:PET) , el porcentaje de rendimiento obtenido de 76,25% que se aproxima e incluso supera con lo mencionado por (C. Zamudio & Cuervo, 2013) y otros autores que indican un rendimiento de 67,56% , también señalan que esta relación produce un mayor rendimiento a comparación de las relaciones EG:PET (6:1, 7:1, 8:1), por último sugieren que el rendimiento del BHET no aumentará a medida que se incremente su relación EG:PET por lo que se optó solamente por trabajar con relación 4:1 (EG:PET).

Para los hallazgos obtenidos en el proceso de extracción de almidón de plátano existe relación con los resultados alcanzados por (V. Soto, 2010) que menciona que el plátano contiene un porcentaje de 68,13% de almidón en estado inmaduro obtenido tanto en cáscara como en la pulpa, de igual manera esto se asemeja a lo mencionado por (G. B. López & Montaña, 2014) que sostienen que el porcentaje de almidón de plátano es de 73,42% lo cual se asemeja con lo logrado en nuestra investigación.

Los resultados de emisión de CO<sub>2</sub> indican que las pastillas B/AP producen una media de 0,037 g por día a diferencia de las pastillas B/AC que producen 0,041 g por día, lo que se puede asumir que las pastillas B/AC se degradan más rápido. Para la Biodegradación de una película a base de polímero con un plastificante (Merchán et al., 2009) menciona que una de las macromoléculas más utilizadas para la producción de bioplásticos es el almidón donde además hace referencia a que la mezcla de un plastificante con un polímero natural son eficientes debido que presenta una estabilidad estructural excelente por lo cual nuestra investigación orientó en este tema. Todavía no han existido investigaciones sobre la biodegradación y huella de carbono de una película a base de BHET y almidón de plátano. Los resultados obtenidos en nuestro estudio basándonos en la metodología de volumetría de

(Pinchao-Pinchao et al., 2019) (cabe recalcar que este método utilizó otros polímeros y otros plastificantes por lo que los resultados no iban a aproximarse), tenemos que las pastillas BHET/AP con dosificaciones (50/50, 60/40, 70/30, 80/20 y 90/10) se degradan en 49 días, en cambio las pastillas BHET/AC se degradan en 42 días, esto se debe a que las pastillas BHET/AC en su cáscara presenta menor contenido de azúcares a diferencia de la pulpa que presenta un mayor contenido.

Mediante el análisis de correlación de Pearson tenemos como resultados que los g de CO<sub>2</sub> totales emitidos por pastillas (B/AC) poseen un coeficiente de correlación de 0,965 y los g de CO<sub>2</sub> totales emitidos por pastillas (B/AC) poseen un coeficiente de correlación de 0,939. Ambos coeficientes presentaron una correlación de tendencia alta o positiva por lo que se aproxima a la unidad, además se observó que los g de CO<sub>2</sub> totales emitidos por pastillas (B/AC) al tener un coeficiente menor de correlación presentó una mayor dispersión de datos no significativa.

Al realizar el método de regresión lineal para corroborar los resultados de biodegradación mencionados anteriormente se obtuvo que las pastillas BHET/AC completan su degradación en un total de 47 días lo cual difiere con 2 días de diferencia comparando con método de volumetría. De igual manera las pastillas de BHET/AP mediante regresión lineal cumplen con su proceso de degradación total en un promedio de 42 días, lo cual y de igual forma difiere con 2 días de diferencia a lo comparado con el método volumétrico (considerar error estándar de la proyección).

Evaluando de manera más específica nuestros hallazgos, es decir por relación, se tiene que las pastillas (B/AP) de relación 50/50, 60/40 y 80/20 se degradan en 49 días, las pastillas de relación 90/10 en un tiempo de 46 días y la dosificación 70/30 con un tiempo de 42 días, por otro lado las pastillas (B/AC) de relación 90/10, se degradan en 44 días, las pastillas de

relación 80/20 y 70/30 en un tiempo de 42 días y finalmente la que se degradó en menos tiempo fueron las pastillas de relación 50/50 con un tiempo de 39 días. Estas diferencias de pocos días en la degradación de las pastillas se asumen que es debido a que el almidón de pulpa de plátano ganaba de manera más rápida la humedad del ambiente en comparación con las pastillas de almidón de cáscara de plátano, a pesar que todas las pastillas aumentaron su peso, diámetro y espesor los primeros días, las pastillas de almidón de pulpa de plátano siempre tenían una diferencia considerable en los parámetros ya mencionados, siendo estos siempre más altos en comparación con los parámetros de las pastillas de almidón de cáscara de plátano, razón por la cual a las pastillas de almidón de pulpa de plátano les tomó más tiempo degradarse a pesar que las condiciones iniciales de temperatura, humedad, luz, cantidad de suelo colocado, etc fueron las mismas para todas. Basados en lo descrito por los autores (Vallejo, Salgado, & Roldán, 2005) podemos deducir que el mayor aumento de humedad antes mencionado en las pastillas formadas por almidón de pulpa de plátano, trae como consecuencia que se reduzca las actividades de los microorganismos presentes en el suelo, razón por la cual estas pastillas se demoraron mayor cantidad de días en biodegradarse. Según como lo explica el autor (Garrido, 2014), cuando se tiene una alta humedad en un compuesto, se complica el acceso de aire a los microorganismos descomponedores, esta aireación insuficiente tiene como consecuencia que se dé una sustitución de los microorganismos aeróbicos por anaeróbicos, logrando así que se demore más tiempo en realizarse la descomposición. Por todo lo mencionando anteriormente, asumimos que las pastillas formadas con almidón de pulpa de plátano tardaron unos días más en degradarse completamente porque al poseer mayor humedad se favoreció a que se tenga mayor presencia de microorganismos anaerobios, como ya se conoce los microorganismos anaerobios siempre tardan más en comparación con los organismos aerobios en degradar la materia, razón por la cual estas pastillas demoraron más días en degradarse completamente.

Finalmente, en lo que respecta a los parámetros de realización de las pastillas se asume que la pastilla BHET/almidón de cáscara de plátano se degradó en menos días en comparación con la demás pastilla formadas con almidón de cáscara de plátano porque esta tenía a nivel general un menor tiempo de prensado y menor temperatura usada para realizarla. Por otro lado, en lo que respecta a las pastillas formadas con BHET/almidón de pulpa de plátano, como ya se dijo anteriormente las pastillas de relación 70/30 es la que se degradó en menor cantidad de tiempo, las mismas en comparación con las demás pastillas formadas con almidón de pulpa de plátano, varían notablemente en el tiempo de presando, usando en las mismas un menor tiempo de prensado para realizarlas.

## 7. CAPÍTULO: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se obtuvo a nivel de laboratorio óxido de zinc por el método de calcinación, la mejor muestra obtenida fue la denominada muestra "D2" con un rendimiento del 66.03%. Se recomienda que, al obtener los espectros de las diferentes muestras trabajadas, a los mismos se los compare con un espectro de óxido de zinc comercial, para así poder conocer de mejor manera la calidad de cada óxido de zinc obtenido y poder reconocer de manera más certera en que parte del proceso se debe mejorar para cada vez conseguir muestras de mejor calidad y más cercanas o similares al óxido de zinc comercial.

Para la extracción de BHET a partir de glicólisis de PET se obtuvo un rendimiento óptimo de 76,25% de BHET recuperado, teniendo como valores iniciales de relación PET:EG de 2g de PET, 8,1 ml de EG y 0,03 g de catalizador. Se recomienda no superar cantidades mayores a 20g de PET, 81 mL de EG y 0,3 g de catalizador (rendimiento 68,84%) ya que su rendimiento desciende significativamente recuperando muy poca cantidad de BHET. En caso de trabajar con cantidades mayores se recomienda aumentar el tiempo de baño María y considerar la temperatura, ya que para un tiempo de 4 horas es necesario conservar un rango de 180°C a 210°C, si se tiene una temperatura inferior el tiempo será mucho mayor, por lo que el PET no se disuelve por completo. Un componente muy importante y determinante en este proceso fue agregar abundante agua destilada a 94°C en la etapa de filtración ya que de esta manera se eliminó impurezas y se disolvió el Etilenglicol sobrante por lo que se obtuvo un BHET con mayor pureza.

En el proceso de obtención de almidón del plátano, específicamente para el almidón extraído de la pulpa en estado inmaduro se obtuvo un rendimiento óptimo del 67,95% en cambio para el almidón extraído de la cáscara se obtuvo un rendimiento del 67,12% el cual también se lo considera óptimo. Por otro lado, el almidón extraído de la pulpa en estado

maduro tuvo un rendimiento del 50,18%, y el almidón extraído de la cáscara en estado maduro igualmente obtuvo un rendimiento de 44,21%. De esta forma se concluyó que el plátano en estado inmaduro produce un mayor rendimiento por ende se recupera mayor contenido de almidón. Un factor muy determinante fue trabajar con la especie de plátano Macho *Musa Paradisiaca*. Por último, se recomienda en la etapa de secado controlar las temperaturas, ya que puede existir calcinación de las muestras.

Se elaboraron en total 30 pastillas, 15 pastillas con relación (B/AP) y 15 pastillas con relación (B/AC) con diferentes dosificaciones experimentales (50/50, 60/40, 70/30, 80/20 y 90/10) donde se comparó y verificó que relación entrega mejores resultados, características y sobre todo una mayor degradación. Es importante recalcar que no se trabajó la relación Almidón/BHET (A/B) ya que el almidón posee una propiedad higroscópica y azúcares en su composición que impiden que las pastillas se formen al momento del prensado causando derretimiento y adhesión en el molde.

Referente a la etapa de emisión de CO<sub>2</sub> se tiene una media de 0,037 g de CO<sub>2</sub> producido por las pastillas (B/AP) y una media de 0,041 g de CO<sub>2</sub> producido por las pastillas (B/AC) por lo que se concluye que las pastillas (B/AC) se degradaron en menor tiempo.

Las pastillas de relación (B/AP) de dosificación 50/50, 80/20 y 90/10 presentan una media de 0,00245 g de CO<sub>2</sub> producido, las pastillas de dosificación 60/40 produjeron 0,00244 g y finalmente las pastillas de dosificación 70/30 generaron 0,0259 g de CO<sub>2</sub>.

Las pastillas de relación (B/AC) de dosificación 50/50, 70/30 presentan una media de 0,00278g de CO<sub>2</sub> producido, las pastillas de dosificación 60/40 y 80/20 produjeron 0,00274 g y finalmente las pastillas de dosificación 90/10 generaron 0,00273 g de CO<sub>2</sub>

La degradación de las pastillas se realizó en un medio de sustrato orgánico registrando diariamente datos de pérdida de peso para cada pastilla durante 3 semanas debido a partir de

ese tiempo las pastillas empezaron a adherirse y fragmentarse, además se realizó titulaciones cada día dejando airear las muestras por 30 minutos previos a la titulación registrando el CO<sub>2</sub> acumulado para cada relación durante un tiempo de 7 semanas.

En los procesos de biodegradación mediante volumetría se concluyó que las pastillas B/AC presentaron un menor tiempo de degradación cumpliendo 44 días para degradarse por completo. De igual manera mediante regresión lineal de acuerdo a la pérdida de peso las pastillas B/AC presentaron un menor tiempo de degradación.

De acuerdo a la pérdida de peso se concluye que las pastillas (B/AP) de dosificación (70/30) presentan un menor tiempo de degradación, de igual forma las pastillas (B/AC) de dosificación (50/50) fue la que se degradó en menos tiempo. Para formar las pastillas, es importante la cantidad de almidón y BHET que se use, ya que esto posee gran incidencia en la compactación y estabilidad de la película a través del tiempo, así mismo tiene influencia la temperatura, presión y tiempo de prensado usado. Se recomienda que a las pastillas BHET/almidón de cáscara de plátano de relación 50/50, 60/40, 80/20 y 90/10 se le disminuya levemente el tiempo de prensado y temperatura propuestos en el presente trabajo de investigación para así lograr una degradación en menor cantidad de tiempo, por otro lado; a las pastillas formadas con BHET/almidón de pulpa de fruta de relación 60/40, 70/30, 80/20 y 90/10 se recomienda que se disminuya levemente su tiempo de prensado para así poder obtener una degradación en menor cantidad de días que los obtenidos en la presente investigación, en lo que respecta a la presión usada, se recomienda mantenerla en 50 Kg/cm<sup>2</sup>, puesto que con esta presión en general las pastillas no se pegan al molde. Finalmente, también se recomienda realizar las pastillas en una máquina que sea más adecuada o exclusiva para la formación de las mismas, debido a que la máquina en la que se realizaron las pastillas era una prensa hidráulica, por lo tanto, la misma da mejores resultados cuando se trabaja con materiales mecánicos que con materiales orgánicos.

Se comprobó que el bioplástico formado si es biodegradable, puesto que a medida que el compuesto estaba en un medio de tierra compostada y microorganismos, la solución de hidróxido de potasio que recibió el dióxido de carbono producido, se cuantificó por técnicas volumétricas de titulación ácido-base. Lo que significa que el proceso enzimático por parte de los microorganismos que atacaron al bioplástico convirtiéndolo en CO<sub>2</sub> y agua fue también efectivo comprobando que el material obtenido si fue biodegradable.

## 8. CAPÍTULO: BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, A., Pucci, G., Morales, M. J., & Pucci, O. (2010). *Biodegradación de petróleo y sus derivados por la comunidad bacteriana en un suelo de la Patagonia Argentina*. 30(1), 29-36.
- Aguilera, S. (2000). *Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos*. (14), 77-85.
- Arguello, H. (s. f.). La descomposición de la materia orgánica y su relación con algunos factores climáticos y microclimáticos. *Agronomía Colombiana*, 8(2), 384--388.
- Ayala, C. (2017). TGT-584.pdf. Recuperado 15 de noviembre de 2020, de <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/1952/1/TGT-584.pdf>
- Ayala, M. (2016). Extracción de Almidón de la Cáscara de Musa Spp y Desarrollo de un Método para su Cuantificación. *UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ Colegio de Ciencias e Ingenierías*, 52.
- Badui, S. (2006). *Química de los Alimentos* (Cuarta). México D.F: Pearson.
- Bahamonde, H. (2014). *Variedades de plátanos en Ecuador*. Universidad Iberoamericana del Ecuador: Universidad Iberoamericana del Ecuador.
- Bertolotti, B., Chávez, J., Laos, R., Rospigliosi, C., & Nakamatsu, J. (2005). Poliésteres y Reciclaje Químico del Poli(tereftalato de etileno). *Revista de Química*, 19(1), 13-20.
- Bonifácio, C. M., de Nóbrega, M. T., & Silveira, H. (2011). *ANÁLISIS GRANULOMETRICO DE UN SISTEMA PEDOLOGICO EN EL MUNICIPIO DE TAMBOARA – PR, BRASIL: COMPARACIÓN DE DOS TÉCNICAS PARA LA DETERMINACIÓN*. 20.
- Calatrava, L. (2013). Química: Las pilas Zinc-Carbono o Leclanché. Recuperado 15 de noviembre de 2020, de Química website: <http://aprenderquimicaconlorena.blogspot.com/2013/04/las-pilas-zinc-carbono-o-leclanche.html>
- Cárdenas, A. M. M., & Gaibor, J. Q. (2019). ÉTICA AMBIENTAL ENFOCADO EN LA CONTAMINACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE DEBIDO AL MAL DESECHO DE LAS PILAS Y BATERÍAS. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*. Recuperado de <https://www.eumed.net/rev/caribe/2019/05/contaminacion-medio-ambiente.html>
- Carreira, D. (s. f.). *Carbono Orgánico (Método de Walkley & Black)*. Recuperado de [https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/proinsa/informes/\\_archivos/002010\\_Ronda%202010/000003\\_Ing.%20Agr.%20Daniel%20Carreira%20\(Carbono%20oxidable%20y%20Nitr%C3%B3geno\)/000008\\_Carbono%20oxidable%20-M%3%A9todo%20de%20Walkley&Black-%20%20y%20en%20Nitr%C3%B3geno%20Kjeldahl%20\(Ing.%20Agr.%20Daniel%20Carreira\)%20-%20Resumen.pdf](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/proinsa/informes/_archivos/002010_Ronda%202010/000003_Ing.%20Agr.%20Daniel%20Carreira%20(Carbono%20oxidable%20y%20Nitr%C3%B3geno)/000008_Carbono%20oxidable%20-M%3%A9todo%20de%20Walkley&Black-%20%20y%20en%20Nitr%C3%B3geno%20Kjeldahl%20(Ing.%20Agr.%20Daniel%20Carreira)%20-%20Resumen.pdf)

Casallas, L. (2010). *EVALUACIÓN DEL ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DEL BANANO COMÚN (Musa sapientum l) TRANSFORMADO POR ACCIÓN DE LA LEVADURA Candida guilliermondii* (Tesis de Grado). PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA, Bogotá.

Chamorro, R. J. (2015). *GESTIÓN DE PLÁSTICOS EN EL MEDIO MARINO*. 81.

Cobos, D., & Lucia, R. (2012). *Las botellas de plástico y su relación con la contaminación ambiental del Parque Lineal de Solanda*. Recuperado de <http://repositorio.ute.edu.ec/xmlui/handle/123456789/2984>

Cobos, R. (2016). *El polietilén tereftalato (PET) como envase de aguas minerales*. 31(2), 179-190. <https://doi.org/10.23853/bsehm.2017.0212>

Criollo, J., & Mejía, M. (2017). LA DISMINUCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL A TRAVÉS DEL ENCAPSULAMIENTO DE PILAS. PROYECTO CON ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS DE ECUADOR. *ROCA. Revista científico - educacional de la provincia Granma.*, 13(4), 301-311.

EL Universo. (2018, junio 10). Solo 5% de los hogares desechan pilas de forma adecuada en Ecuador. Recuperado 24 de marzo de 2020, de El Universo website: <https://www.eluniverso.com/vida/2018/06/10/nota/6801557/solo-5-hogares-desechan-pilas-forma-adecuada-ecuador>

Elgegren, M., Tiravanti, G., Ortiz, B., Otero, M., Wagner, F., Cerrón, D., & Nakamatsu, J. (2012). Reciclaje químico de desechos plásticos. *Rev. Soc. Quím. Perú v.78 n.2 Lima abr./jun. 2012*, (2). Recuperado de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2012000200005&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2012000200005&script=sci_arttext)

Espíndola, C., & Valderrama, J. O. (2012). Huella del Carbono. Parte 1: Conceptos, Métodos de Estimación y Complejidades Metodológicas. *Información tecnológica*, 23(1), 163-176. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642012000100017>

Espinosa, A. (2018, diciembre). *Estudio del proceso de Polimerización por microondas del Polietilentereftalato y del nanohíbrido PET/TiO<sub>2</sub>*. Recuperado de <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/596/1/Tesis%20DTP%20Ana%20Christy%20Espinosa%20L%20c3%b3pez%2024%20abril%202019.pdf>

Estrada, J. B., & Romero, A. M. E. (2009). *APLICACIÓN DE LEVADURA Candida spp. COMO UNA ALTERNATIVA VIABLE PARA LA RETARDACIÓN EN LA PUDRICIÓN DEL BANANO*. PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA, Bogotá.

Fornillo, B., & Gamba, M. (2019). Industria, ciencia y política en el Triángulo del Litio. *Cienc. docencia tecnol. no.58 Concepción del Uruguay*. Recuperado de [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1851-17162019000100001&lang=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-17162019000100001&lang=es)

Freitas, D., Ketzer, M., & Lima Antonio. (2016). Parameter Optimization of a Lead-Acid Battery Model. *EngOpt 2016 - 5 Th International Conference on Engineering Optimization*, 19-23.

García Galvis, J., & Ballesteros González, M. I. (2005). QUALITY PARAMETERS EVALUATION FOR ORGANIC CARBON DETERMINING IN SOILS. *Revista Colombiana de Química*, 34(2), 201-209.

García, J., & Ballesteros, M. I. (2005). EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD PARA LA DETERMINACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS. *Revista Colombiana de Química*, 34(2), 9.

García Mata, R. (2017). EL MERCADO DEL PLÁTANO (*Musa paradisiaca*) EN MÉXICO. 1 *Economía. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México (rory@colpos.mx)*. 2 *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Km. 13.5 Carretera los Reyes-Texcoco. 56250. Coatlinchán, Texcoco, Estado de México.*, 410.

Garrido, G. E. (2014). EFECTO DE LA HUMEDAD EN LA BIODEGRADACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS, MEDIANTE TRATAMIENTO MECÁNICO BIOLÓGICO. *Universidad del Vío-Bío . Red de bibliotecas -Chile*, 65.

GCABA, G. de la C. A. de B. A. (2009). *ESTUDIO PARA LA IDENTIFICACION Y ANALISIS DE PILAS Y BATERIAS*. 27.

Gomero, L., & Velásquez, H. (1999, noviembre). *Manejo Ecológico de Suelos Conceptos, Experiencias y Técnicas*. Editorial Gráfica Sttefany S.R.Ltda. Recuperado de <https://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/ais-2015/manejo-ecol-suelo-raaa.pdf>

Gómez, R., & Murillo, R. (2006). Espectroscopía Infraroja. *Universidad Nacional Autónoma*.

Hachi, J. G., & Rodríguez, J. D. (2010). *Estudio de factibilidad para reciclar envases plásticos de polietileno tereftalato (PET), en la ciudad de Guayaquil* (B.S. thesis). Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, Guayaquil-Ecuador.

Hamel, J. (2011). CELDAS, PILAS Y BATERÍAS DE IONLITIO UNA ALTERNATIVA PARA...???. *Universidad del Valle - Cochabamba*, 47.

Hernández, I., Martínez, M., Contreras, R., & Pérez, R. (2017). Extracción de almidón por el método seco en plátano macho, cuadrado y castilla. *Revista de Simulación y Laboratorio*, 4(13), 1-7.

Herrera, D. F. C. (2017). *Musa paradisiaca, Musa cavendishii L, Musa cavandanaish*. 90.

Hoon Kim, M., Jae Kim, Y., Yeul Kim, J., Ki Lee, Y., Ascencio, J. A., & Wan Park, J. (2007). Electrochemical characteristics of Si/Mo multilayer anode for Li ion batteries. *ADivision of Materials Science and Engineering, Hanyang University, 17 Haengdang-Dong, Seongdong-Gu, Seoul 133-791, Korea. BDivision of Semiconductor and Electronics Engineer, Uiduk University, 50 Yukum-Li Kangdong-Myun, Kyoungju-Si, Koungsangbuk-Do, 780-713 Korea. CPrograma de Investigacion y Desarrollo de Ductos, Instituto Mexicano Del Petroleo., REVISTA MEXICANA DE FISICA S53 (1), 17-20.*

INEC. (2016). *Módulo de Información Ambiental en Hogares 2016*. Recuperado de [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas\\_Ambientales/Hogares/Hogares\\_2016/Documento%20tecnico.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Hogares/Hogares_2016/Documento%20tecnico.pdf)

Jeaniscar Diaz-Salaverría, Orta, R., Casal-Ramos, J., & Delvasto, P. (2012). *DECONSTRUCCIÓN MANUAL DE PILAS ALCALINAS GASTADAS Y RECUPERACIÓN DEL ZINC QUE CONTIENEN EMPLEANDO ÁCIDO ACÉTICO*. <https://doi.org/10.13140/2.1.2817.8245>

Kiehne, H. A. (2003). *Battery Technology Handbook* (Second). New York: Marcel Dekker, INC.

López, G. B., & Montaña, F. J. G. (2014). *Propiedades funcionales del plátano (Musa sp)*. 5.

López, R., Díaz, T., García, G., Rosendo, E., Galeazzi, R., & Juárez, H. (2011). Caracterización estructural y óptica de compósitos ZnO-SiOx obtenidos por la técnica Cat-CVD. *Superficies y vacío*, 24, 76-80.

López-Fonseca, R., Duque-Ingunza, I., de Rivas, B., Arnaiz, S., & Gutiérrez-Ortiz, J. I. (2010). Chemical recycling of post-consumer PET wastes by glycolysis in the presence of metal salts. *Polymer Degradation and Stability*, 95(6), 1022-1028. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2010.03.007>

MAE. (2015, junio 29). Súmate a la campaña Ponte pilas recoPila. Recuperado 25 de marzo de 2020, de Ministerio del Ambiente website: <https://www.ambiente.gob.ec/sumate-a-la-campana-ponte-pilas-recopila/>

Martha de Souza, C. C. B., Corrêa de Oliveira, D., & Tenório, J. A. S. (2001). Characterization of used alkaline batteries powder and analysis of zinc recovery by acid leaching. *Journal of Power Sources*, 103(1), 120-126. [https://doi.org/10.1016/S0378-7753\(01\)00850-3](https://doi.org/10.1016/S0378-7753(01)00850-3)

Martínez, O., Lapo, B., Pérez, J., Zambrano, C., & Maza, F. (2015). Mecanismo de gelatinización del almidón nativo de banano exportable del Ecuador. *Revista colombiana de Química*, 44, 16-21.

Mazzeo, M., Alzate, A., & Marín, M. (2008). Obtención de almidón de Residuos poscosecha del plátano Dominic Hartón (Musa AAB SIMONDS). *Ingeniería en alimentos - Universidad de Caldas*, 3, 57-69.

Medina, D. (2008). *Recuperación de Litio a partir de pilas de desecho por métodos hidrometalúrgicos* (Tesis de Grado). Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas, México D.F.

Meneses, J., Corrales, C. M., & Valencia, M. (2007). SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE UN POLÍMERO BIODEGRADABLE A PARTIR DEL ALMIDÓN DE YUCA. *Revista EIA*, (8), 57-67.

Merchán, J. P., Ballesteros, D., Jiménez, I. C., Medina, J. A., & Álvarez, O. (2009). *ESTUDIO DE LA BIODEGRADACIÓN AEROBIA DE ALMIDÓN TERMOPLÁSTICO (TPS)*. 8.

Mondragón, P. (2017). *ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO PARA TODOS*. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C. presentado en Jalisco, México. Jalisco, México.

Nadal-Medina, R., Manzo-Sánchez, G., Orozco-Romero, J., Orozco-Santos, M., & Guzmán-González, S. (2009). Diversidad genética de bananos y plátanos (*Musa* spp.) determinada mediante marcadores RAPD. *Revista fitotecnia mexicana*, 32(1), 01-07.

Ozgit, D., Hiralal, P., & Amaratunga, G. A. J. (2014). Improving Performance and Cyclability of Zinc–Silver Oxide Batteries by Using Graphene as a Two Dimensional Conductive Additive. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 6(23), 20752-20757. <https://doi.org/10.1021/am504932j>

Padilla, A. (2014). *Diseño del proceso para la obtención de resina poliéster insaturada mediante el reciclaje químico de desechos de polietilentereftalato (PET)*. Recuperado de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/7493>

Padrón, F. (2013). *MANUAL DE BATERÍAS Y ACUMULADORES “Baterías, estado del arte y vigilancia tecnológica*. Universidad Pontificia Bolivariana. Recuperado de [https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2018-05-24\\_12-50-46144398.pdf](https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2018-05-24_12-50-46144398.pdf)

Paredes, M. (2013). *Extracción del Manganeso y Zinc de las pilas alcalinas con sales iónicas*. Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.

Pérez, P., Ouro, G., Merino, A., & Macías, F. (1998). DESCOMPOSICIÓN DE MATERIA ORGÁNICA, BIOMASA MICROBIANA Y EMISIÓN DE CO<sub>2</sub> EN UN SUELO FORESTAL BAJO DIFERENTES MANEJOS SELVÍCOLAS. *Universidad de Santiago de Compostela*, 5, 83-93.

Pinchao-Pinchao, Y. A., Osorio-Mora, O., Checa-Coral, O., & Tobar, E. (2019). Estudio sobre la Velocidad y Tiempo de Biodegradación Bajo Condiciones Controladas de Fibras Naturales de Fique (*Furcraea andina*) y Algodón (*Gossypium barbadense*). *Información tecnológica*, 30(4), 59-68. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000400059>

Quiñonez, H. (2013). *EXTRACCION Y CARACTERIZACION DEL ALMIDON DE PLATANO DE SEDA (Musa acuminata) Y PLATANO DE ENANO (Musa cavendishii)* (Tesis de Grado). UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS, Puno, Perú.

Quishpe, J., & Ortiz, J. (2018). Ética en la producción de botellas plásticas y su contaminación al medio ambiente. *Caribeña de Ciencias Sociales*, (septiembre), 1-6.

Quispe, J., Malpartida, R., & Yataco, J. S. (2017). *Utilización de botellas de plástico para obtener finos hilos en la elaboración textil*. Recuperado de [https://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:PM4hXaD3MIJ:scholar.google.com/+UTILIZACI%C3%93N+DE+BOTELLAS+DE+PL%C3%81STICO+PARA+OBTEN+ER+FINOS+HILOS+EN+LA+ELABORACI%C3%93N+TEXTIL&hl=en&as\\_sdt=0,5](https://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:PM4hXaD3MIJ:scholar.google.com/+UTILIZACI%C3%93N+DE+BOTELLAS+DE+PL%C3%81STICO+PARA+OBTEN+ER+FINOS+HILOS+EN+LA+ELABORACI%C3%93N+TEXTIL&hl=en&as_sdt=0,5)

Rojo, E., Montoto, T., & Área de Medio Marino de Ecologistas en Acción. (2017). *Basuras marinas, plásticos y microplásticos: Orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global*. Creative Commons. Recuperado de <https://spip.ecologistasenaccion.org/IMG/pdf/informe-basuras-marinas.pdf>

Sabzi, M., & Mersagh Dezfuli, S. (2018). A study on the effect of compositing silver oxide nanoparticles by carbon on the electrochemical behavior and electronic properties of zinc-

- silver oxide batteries . *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 15(6), 1446-1458. <https://doi.org/10.1111/ijac.13047>
- Salinas, R. (2017). *Detección de Escherichia coli sobre óxido de zinc (ZnO), basado en el principio de Transistores de Película Delgada*. 65.
- Sánchez, M. G., Rosales, A., & Maldonado, H. (2011). Estudio de catalizadores en la degradación de PET reciclado. *Ciencia UANL*, XIV(1), 39-45.
- Schebor, C. (2000). *Estudios sobre la transición vítrea y la estabilidad de biomateriales de baja humedad* (Tesis de Grado). Universidad de Buenos Aires.
- Schneider, H., & Samaniego, J. (2009). *La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios*. 46.
- Segura, D., Noguez, R., & Espín, G. (2007). *Contaminación ambiental y bacterias productoras de plásticos biodegradables*. 361-372.
- Segura, D., Noguez, R., & Espín, G. (s. f.). *Contaminación ambiental y bacterias productoras de plásticos biodegradables*. 13.
- Serrano, J. (2015). *ESPECTROSCOPIA INFRARROJA I-Fundamentos*. (Posgrado en INGENIERÍA DEL AGUA Y DEL TERRENO).
- Smith, D. F., & Gucinski, J. A. (1999). *Synthetic silver oxide and mercury-free zinc electrodes for silver-zinc reserve batteries*. 6.
- Soto, M. (2002). Bananos cultivo y comercialización. *Litografía e Imprenta LIL. San José, Costa Rica*, 2.
- Soto, V. (2010). CUANTIFICACION DE ALMIDON TOTAL Y DE ALMIDON RESISTENTE EN HARINA DE PLATANO VERDE (MUSA CAVENDISHII) Y BANANA VERDE (MUSA PARADISIACA). *Revista Bolivariana de Química Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Bioquímica y Farmacia, Cochabamba – Bolivia*.
- Strunz, M. (2009). *Pilas: Mitos y Realidades* (Tesis de Grado). Instituto Tecnológico de Buenos Aires, Buenos Aires.
- Tenesaca, F., & Palma, H. (2019). *ESTUDIO DE LA DEGRABILIDAD DEL PET (POLIETILEN TEREFALATO) DOSIFICADO CON LA CELULOSA DE LACÁSCARA DE CACAO*. Universidad Politécnica Salesiana-Sede Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- The Guardian. (2016). Carbon emissions per person, by country. Recuperado 21 de septiembre de 2020, de <https://www.theguardian.com/environment/datablog/2009/sep/02/carbon-emissions-per-person-capita>
- Theophanides, T. (2012). *Introduction to Infrared Spectroscopy*. <https://doi.org/10.5772/49106>
- Toledo, I. (2013). *Reciclamiento del PET* (Thesis). Recuperado de <http://repositorio.digital.tuxtla.tecnm.mx/xmlui/handle/123456789/921>

United Nations Environment Programme. (2018). *Single-use plastics, a roadmap for sustainability*.

Uribe-Grajales, L. M., Vásquez-Arroyave, F. A., Thomas, J. E., Calderón-Gutiérrez, J. A., Uribe-Grajales, L. M., Vásquez-Arroyave, F. A., ... Calderón-Gutiérrez, J. A. (2018). Evaluation of the effect of the synthesis method on the performance of manganese spinel as cathode material in lithium-ion batteries. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (87), 41-49. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.n87a06>

Valderrama, J. O., Espíndola, C., & Quezada, R. (2011). Huella de Carbono, un Concepto que no puede estar Ausente en Cursos de Ingeniería y Ciencias. *Formación universitaria*, 4(3), 3-12. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062011000300002>

Valencia, M. J. (2018). *Agricultura Urbana como medida de mitigación de la Huella de Carbono en el Distrito Metropolitano de Quito*. 137.

Valero-Valdivieso, M. F., Ortegón, Y., & Uscategui, Y. (2013). *BIOPOLÍMEROS: AVANCES Y PERSPECTIVAS BIOPOLYMERS: PROGRESS AND PROSPECTS*. 10.

Vallejo, V., Salgado, L., & Roldán, F. (2005). Evaluación de la bioestimulación en la biodegradación de TPHs en suelos contaminados con petróleo. *Revista Colombiana de Biotecnología*, VII(2), 67-78.

Vega, J. (2014). *Almidón*. Presentado en Nuevo Chimbote, Perú. Nuevo Chimbote, Perú. Recuperado de <https://es.slideshare.net/vegabner/almidn-35325388>

Vichique, S. (2010). *Reciclaje de Envases de Plástico PET, un indicador del desarrollo sustentable: Caso Municipio de Atizapán de Zaragoza, Estado de México (2007-2008)* (Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Comercio y Administración Unidad Santo Tomás). Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Comercio y Administración Unidad Santo Tomás, México D.F. Recuperado de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/10371/Vichique%20Tecalco%20Sergio.pdf?sequence=1>

Vidotti, M., Torres, R., & Córdoba de Torres, S. (2010). Eletrodos modificados por hidróxido de níquel: Um estudo de revisão sobre suas propriedades estruturais e eletroquímicas visando suas aplicações em eletrocatalise, eletrocromismo e baterias secundárias. Recuperado 19 de marzo de 2020, de [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422010001000030&lang=es](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422010001000030&lang=es)

Villafañe, I. (2018). *Análisis mecánico del material polimérico PET proveniente de botellas de plástico* (Thesis, Universidad de Valladolid). Universidad de Valladolid. Recuperado de <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/30144>

Xi, G., Lu, M., & Sun, C. (2005). Study on depolymerization of waste polyethylene terephthalate into monomer of bis(2-hydroxyethyl terephthalate). *Polymer Degradation and Stability*, 87(1), 117-120. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2004.07.017>

Zambrano, E. (2013). *Análisis del impacto económico ambiental en las industrias plásticas del Ecuador: Diseño de una planta procesadora de residuos plásticos PET que impulse el*

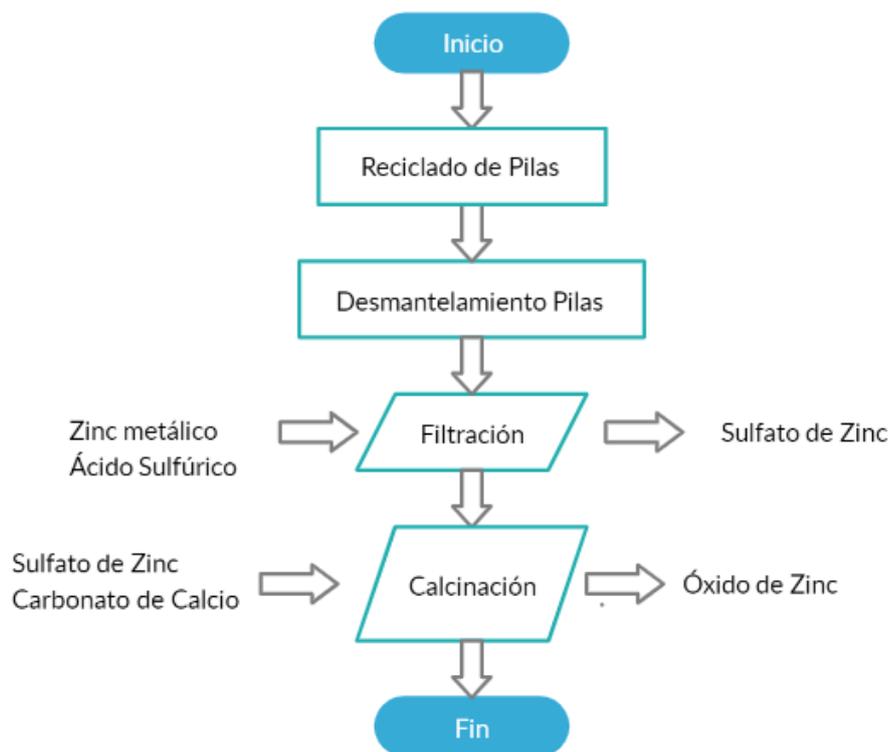
*consumo local*. Repositorio de la Universidad Politécnica Salesiana. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5321/1/UPS-GT000454.pdf>

Zamudio, C., & Cuervo, L. (2013). *Obtención de bis-hidroxi Etilen tereftalato (BHET) por el método de glicólisis a partir del PET Post-consumo grado botella* (Tesis de Grado). Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas, México D.F.

Zamudio, K. I., & Cuervo, L. Á. (2013). *Obtención del bis-hidroxi etilen tereftalato (BHET) por el método de glicólisis a partir del PET pos-consumo grado botella*.

## ANEXOS

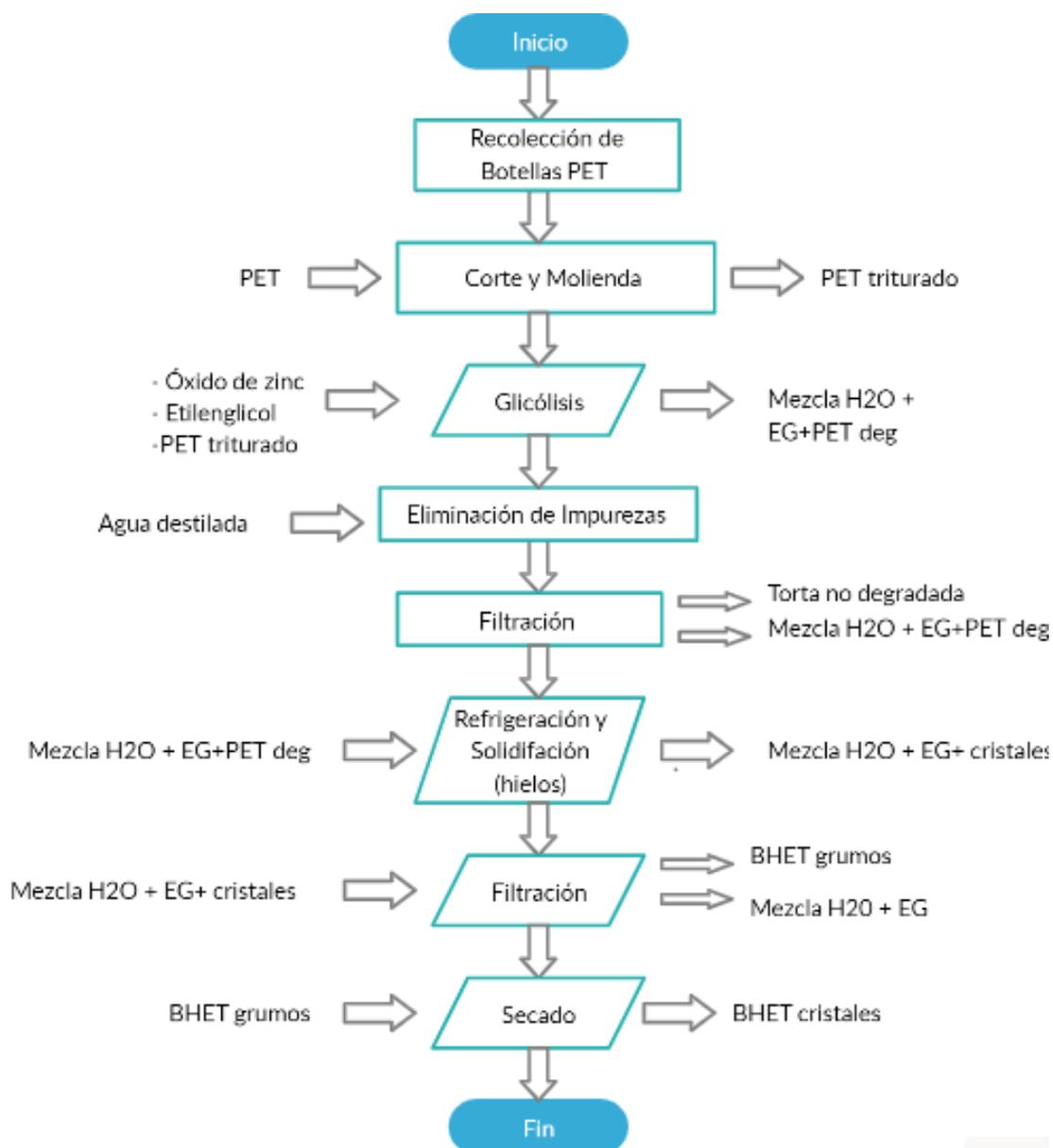
**Anexo1.** Diagrama de Flujo de procesos de Obtención de óxido de Zinc como catalizador



*Figura 28.* Diagrama del proceso de obtención de Óxido de Zinc

Fuente: Autores

**Anexo2.** Diagrama de Flujo de procesos de Obtención de BHET mediante glicólisis de PET



*Figura 29.* Diagrama del proceso de degradación del PET

Fuente: Autores

**Anexo3.** Diagrama de Flujo de procesos de Extracción de almidón de plátano mediante método seco

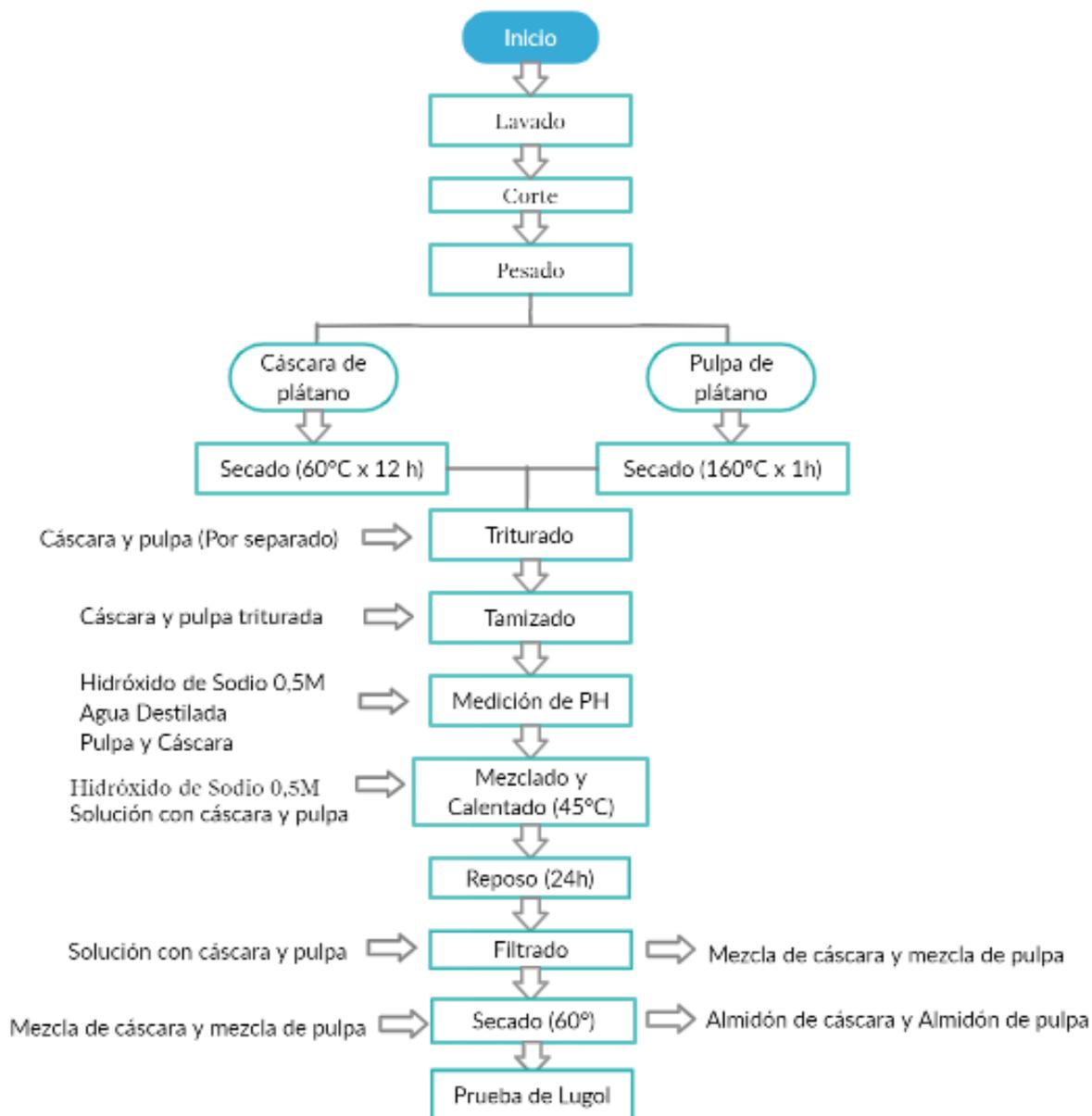


Figura 30. Diagrama de flujo de la extracción de almidón de plátano

Fuente: Autores

#### Anexo4. Rendimientos obtenidos para el óxido de Zinc en la primera prueba

Tabla 56: Rendimiento de Óxido de Zinc primera prueba

Muestra de Sulfato de Zinc usada	Peso Sulfato de Zinc ( $ZnSO_4$ ) colocado (g)	Gramos de Carbonato de Calcio	Carbonato de Zinc (g)	Óxido de Zinc (g)	RENDIMIENTO %	Nombre de la Muestra obtenida
A	0.38	11.11gr	1.3989	1.1120	79.49	M1
B	0.64	11.11 gr	1.2895	1.2173	94.40	M2
C	0.60	11.11gr	1.9783	1.8873	95.40	M3
D	0.37	11.11 gr	1.4580	1.3964	95.77	M4

Fuente: Autores; las letras "A", "B", "C" y "D" corresponden al nombre asignado a las muestras de sulfato de Zinc obtenidas en el apartado 5.1.1, las características de cada muestra se encuentran en la Tabla 34.

#### Anexo5. Gráficas FTIR para la obtención de Zinc a diferentes composiciones (Muestras descartadas)

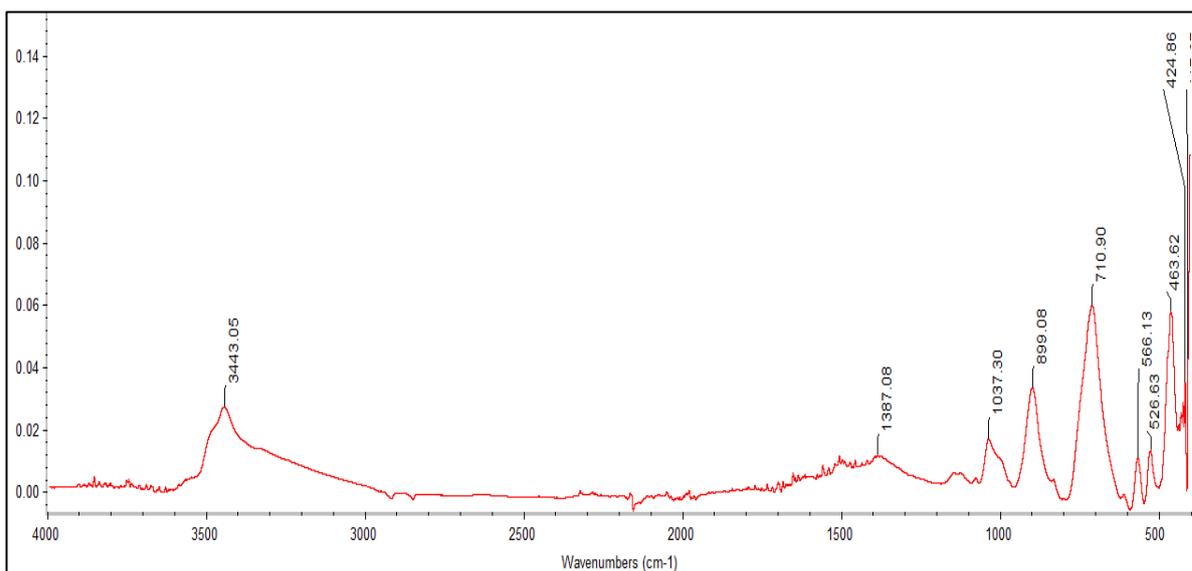


Figura 31. Espectro obtenido de un Óxido de Zinc comercial

Fuente: Autores, se obtuvo un espectro de óxido de zinc comercial para comparar a todas las muestras de óxido de zinc obtenidas a nivel de laboratorio.

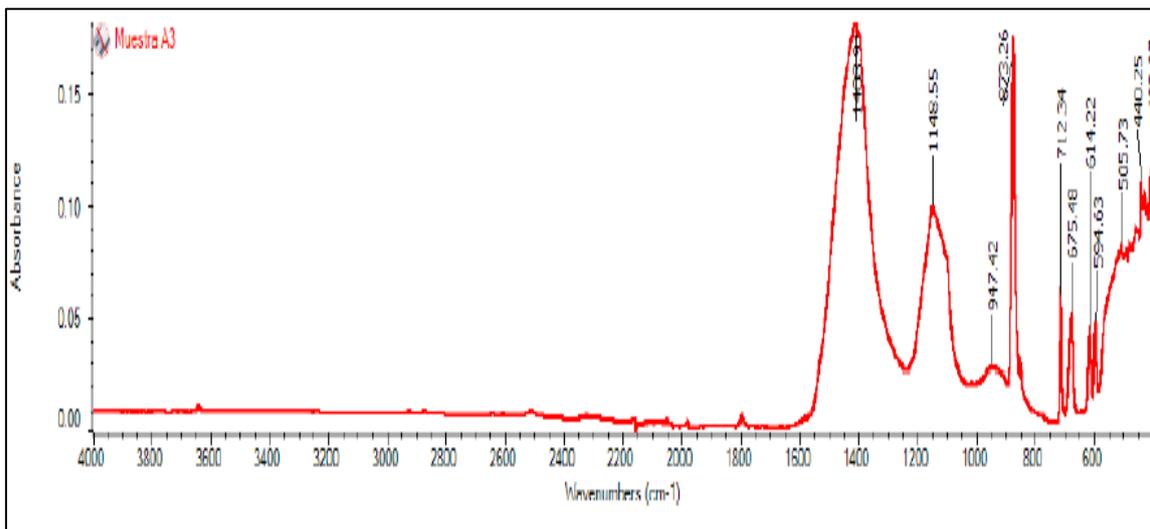


Figura 32. Espectro de la muestra A3 realizada para obtener óxido de zinc a nivel de laboratorio

Fuente: Autores, al comparar el presente espectro con el espectro del óxido de zinc comercial se descartó a la presente muestra ya que no se obtuvo todos los picos de frecuencia necesarios, cabe recalcar que esta fue la muestra que tuvo mayor rendimiento.

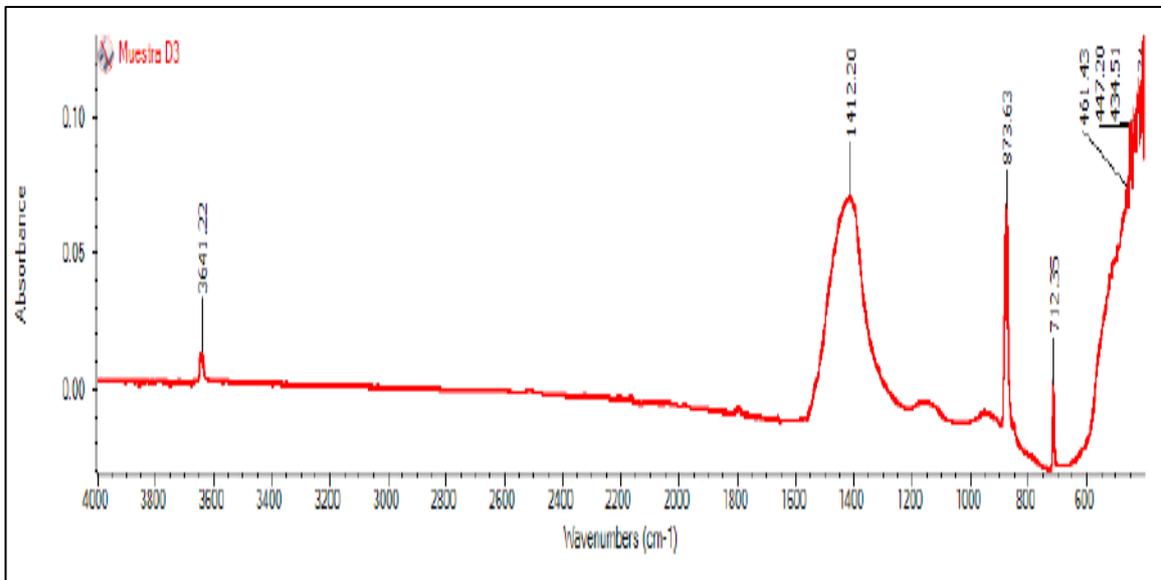


Figura 33. Espectro de la muestra D3 realizada para obtener óxido de zinc a nivel de laboratorio

Fuente: Autores, al comparar el presente espectro con el espectro del óxido de zinc comercial se descartó a la presente muestra ya que no se obtuvo todos los picos de frecuencia necesarios o no estaban formados correctamente, cabe recalcar que esta fue la muestra que tuvo el segundo mejor rendimiento.

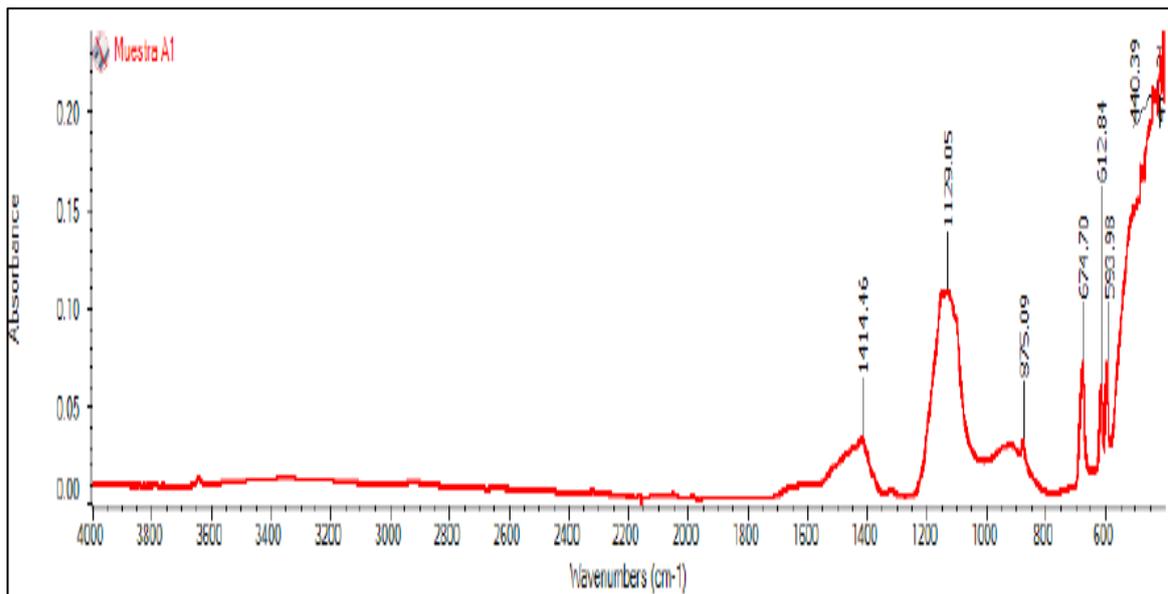


Figura 34. Espectro de la muestra A1 realizada para obtener óxido de zinc a nivel de laboratorio

*Fuente: Autores*, al comparar el presente espectro con el espectro del óxido de zinc comercial se descartó a la presente muestra ya que no se formaron todos los picos de frecuencia necesarios, cabe recalcar que esta fue la muestra que tuvo el tercer mejor rendimiento.

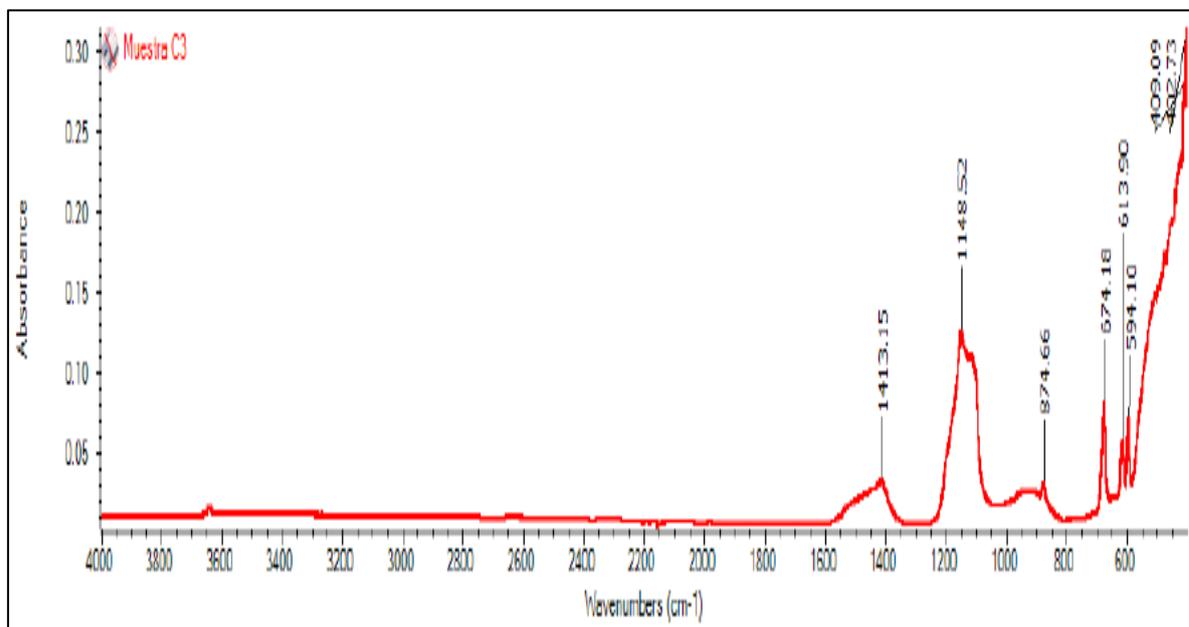


Figura 35. Espectro de la muestra C3 realizada para obtener óxido de zinc a nivel de laboratorio

*Fuente: Autores*, al comparar el presente espectro con el espectro del óxido de zinc comercial se descartó a la presente muestra ya que no se formaron todos los picos de frecuencia necesarios, además algunos picos de frecuencia no están formados correctamente. Finalmente, esta fue la muestra que tuvo el quinto mejor rendimiento.

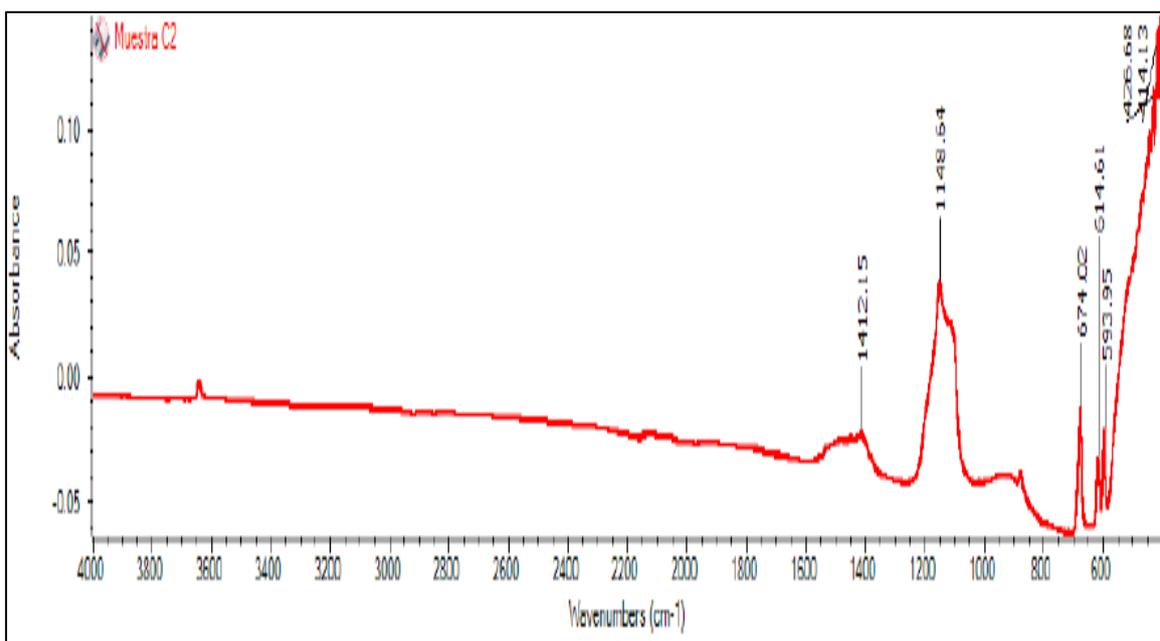


Figura 36. Espectro de la muestra C2 realizada para obtener óxido de zinc a nivel de laboratorio

*Fuente: Autores*, al comparar el presente espectro con el espectro del óxido de zinc comercial se descartó a la presente muestra ya que no se formaron todos los picos de frecuencia necesarios, cabe recalcar que esta fue la muestra que tuvo el sexto mejor rendimiento.

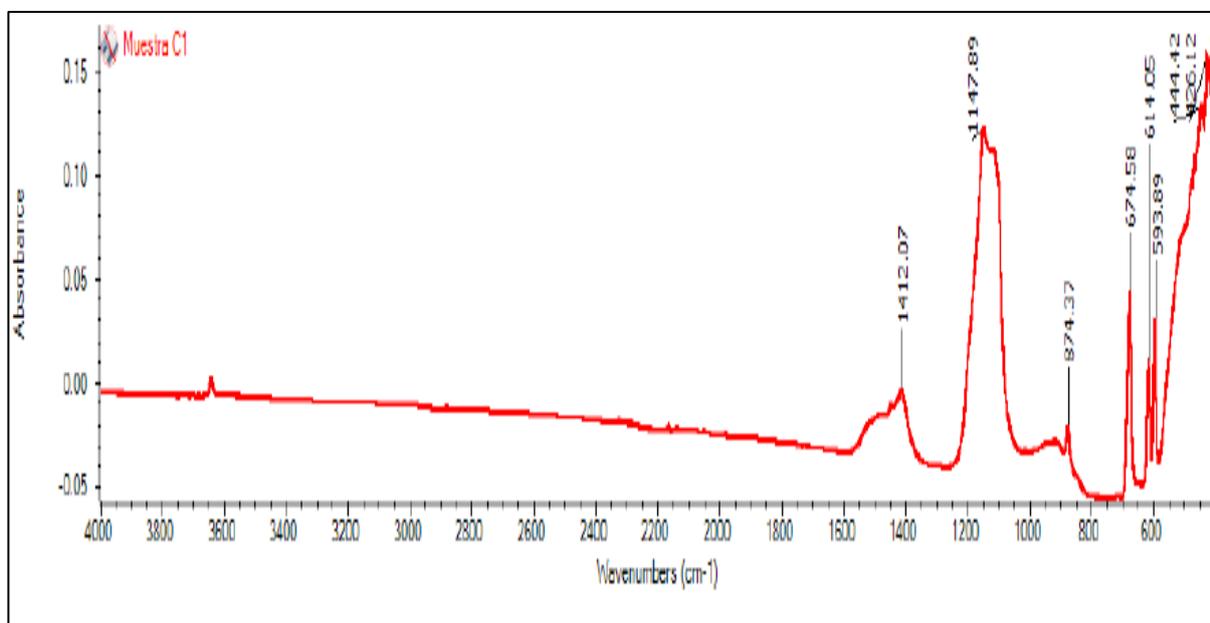


Figura 37. Espectro de la muestra C1 realizada para obtener óxido de zinc a nivel de laboratorio

*Fuente: Autores*, al comparar el presente espectro con el espectro del óxido de zinc comercial se descartó a la presente muestra ya que varios picos de frecuencia no están formados correctamente. Finalmente, esta fue la muestra que tuvo el séptimo mejor rendimiento.

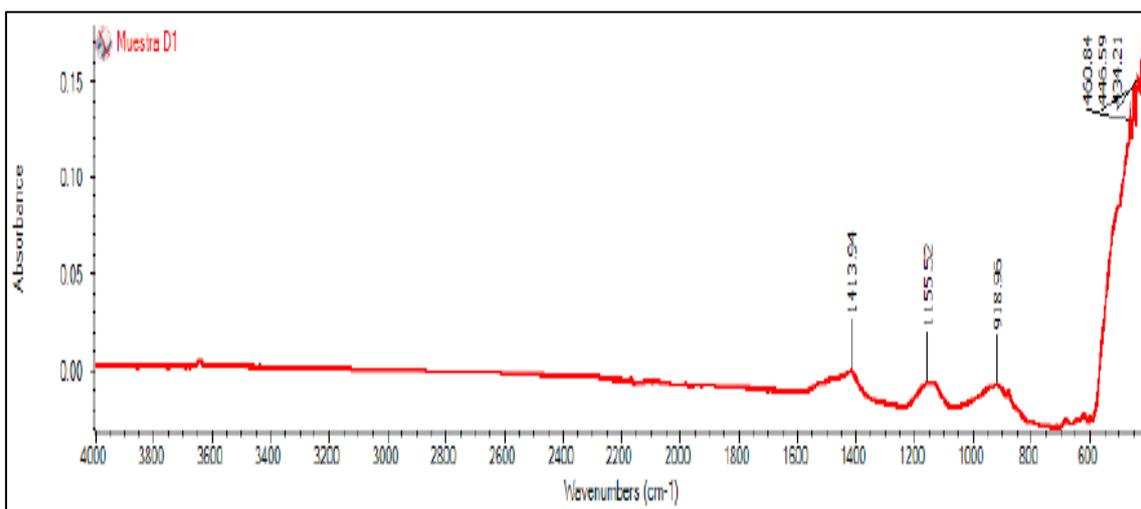


Figura 38. Espectro de la muestra D1 realizada para obtener óxido de zinc a nivel de laboratorio

Fuente: Autores, al comparar el presente espectro con el espectro del óxido de zinc comercial se descartó a la presente muestra ya que no se formaron los picos de necesario. Finalmente, esta fue la muestra que tuvo el octavo mejor rendimiento

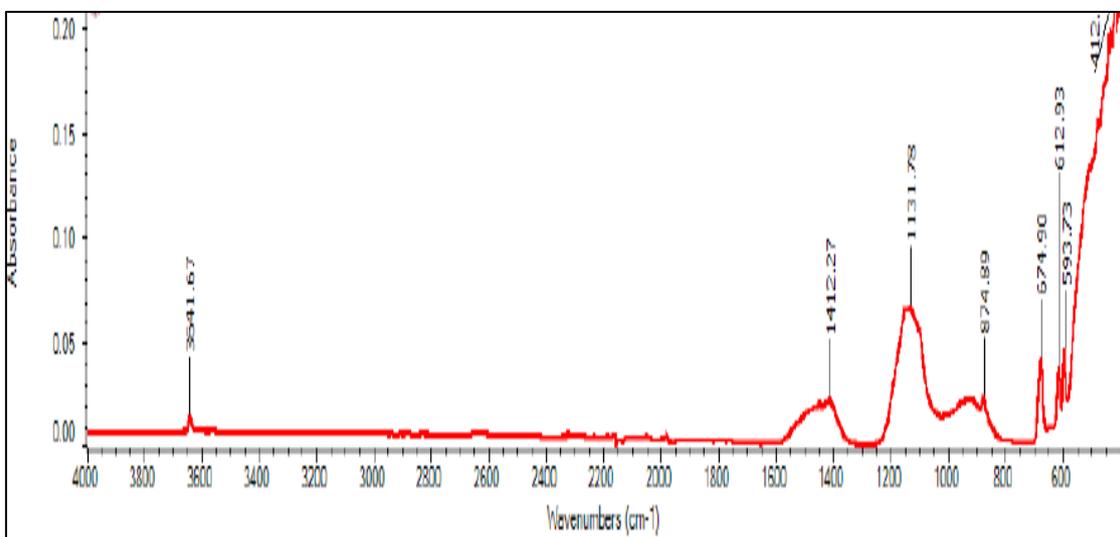


Figura 39. Espectro de la muestra C3 realizada para obtener óxido de zinc a nivel de laboratorio

Fuente: Autores, al comparar el presente espectro con el espectro del óxido de zinc comercial se descartó a la presente muestra ya que no se formaron todos los picos de frecuencia necesarios, además algunos picos de frecuencia no están formados correctamente. Finalmente, esta fue la muestra que tuvo el octavo mejor rendimiento.

**Anexo6.** Registro de dimensiones y parámetros de prensado de cada pastilla.

Tabla 57: Datos iniciales de pastillas BHET/almidón de pulpa de plátano

PASTILLAS BHET/Almidón de PULPA de plátano							
Nº Muestra	Relación BHET/AP	Peso pastilla (gr)	Espesor (mm)	Diámetro (mm)	Temperatura (°C)	Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tiempo prensado (seg)
AP1	90/10	2,91	3,35	30,24	69	100	45
AP2	90/10	2,82	3,79	30,71	90	50	60
AP3	90/10	2,78	3,45	31,4	105	50	30
AP4	80/20	2,8	3,49	30,44	70	50	60
AP5	80/20	2,85	3,62	30,26	90	50	60
AP6	80/20	2,75	3,56	30,49	105	50	30
AP7	70/30	2,75	3,51	30,36	80	50	50
AP8	70/30	2,89	3,45	31,13	90	50	60
AP9	70/30	2,87	3,58	31,25	100	50	30
AP10	60/40	2,78	3,39	30,57	70	50	60
AP11	60/40	2,83	3,3	31,89	60	50	45
AP12	60/40	2,85	3,12	30,31	90	50	40
AP13	50/50	2,8	2,3	30,55	71	50	55
AP14	50/50	2,86	3,36	30,69	80	50	30
AP15	50/50	2,76	3,58	31,5	90	50	30
<b>TOTAL PESO</b>		42,3					
<b>PROMEDIO</b>		2,82	3,39	30,79	84,00	53,33	45,67

Fuente: Autores. Aquí se presentan las características que poseía cada pastilla al momento de ser colocada en el suelo para su posterior biodegradación, así mismo se puede observar los parámetros de prensado con los que fue obtenida cada pastilla.



Imagen 33. Medición del diámetro de la pastilla obtenida con ayuda de un calibrador

Fuente: Autores

Tabla 58: Datos iniciales de pastillas BHET/almidón de cáscara de plátano

PASTILLAS BHET/Almidón de CÁSCARA de plátano							
Nº Muestra	Relación BHET/AC	Peso (gr)	Esesor (mm)	Diámetro (mm)	Temperatura(°C)	Presión(Kg/cm2)	Tiempo prensado (seg)
AC1	90/10	2,95	3,4	30,3	69	100	45
AC2	90/10	2,85	3,83	30,76	90	50	60
AC3	90/10	2,83	3,5	31,43	105	50	30
AC4	80/20	2,83	3,53	30,47	70	50	60
AC5	80/20	2,9	3,7	30,3	90	50	60
AC6	80/20	2,78	3,61	30,55	105	50	30
AC7	70/30	2,79	3,55	30,42	80	50	50
AC8	70/30	2,91	3,47	31,2	90	50	60
AC9	70/30	2,9	3,56	31,29	100	50	30
AC10	60/40	2,82	3,43	30,6	70	50	60
AC11	60/40	2,83	3,3	31,89	60	50	45
AC12	60/40	2,9	3,2	30,37	90	50	40
AC13	50/50	2,75	2,37	30,6	71	50	55
AC14	50/50	2,89	3,39	30,72	80	50	30
AC15	50/50	2,8	3,6	31,54	90	50	30
<b>TOTAL PESO</b>		42,73					
<b>PROMEDIO</b>		2,85	3,43	30,83	84,00	53,33	45,67

Fuente: Autores, aquí se presentan las características que poseía cada pastilla al momento de ser colocada en el suelo para su posterior biodegradación, así mismo se puede observar los parámetros de prensado con los que fue obtenida cada pastilla.



Imagen 34. Medición del espesor de la pastilla obtenido con ayuda de un calibrador

Fuente: Autores



Imagen 35. Pesaje de pastillas en balanza analítica

Fuente: Autores

**Anexo7:** Datos de dimensiones promedio registrados hasta el día 19 de degradación.

Tabla 59: Datos de dimensiones de pastillas B/AP registrados durante 19 días

<b>DATOS PROMEDIOS BHET/ALMIDON PULPA</b>			
<b>DIAS</b>	<b>PESO (gr)</b>	<b>ESPESOR (mm)</b>	<b>DIAMETRO(mm)</b>
0	2.82	3.39	30.79
1	3.35	3.65	31.12
2	3.23	3.55	31.24
3	3.13	3.44	31.34
4	3.03	3.39	31.44
5	2.99	3.36	31.39
6	2.95	3.33	31.35
7	2.90	3.29	31.18
8	2.87	3.26	31.15
9	2.81	3.21	31.24
10	2.63	3.07	30.94
11	2.55	2.99	30.83
12	2.46	2.83	30.80
13	2.37	2.81	30.69
14	2.26	2.72	30.59
15	2.17	2.63	30.48
16	2.09	2.52	30.16
17	2.03	2.47	30.08
18	2.02	2.41	27.65
19	1.99	2.43	27.26

Fuente: Autores

Tabla 60: Datos de dimensiones de pastillas B/AC registrados durante 19 días

<b>DATOS PROMEDIOS BHET/ALMIDON CASCARA</b>			
<b>DIAS</b>	<b>PESO (gr)</b>	<b>ESPESOR (mm)</b>	<b>DIAMETRO(mm)</b>
0	2.85	3.43	30.83
1	2.99	3.55	30.96
2	2.89	3.47	30.99
3	2.79	3.38	31.02
4	2.67	3.28	31.06
5	2.62	3.23	31.02
6	2.56	3.17	30.98
7	2.47	3.08	30.90
8	2.42	3.03	30.84
9	2.35	2.97	30.72
10	2.25	2.82	30.62
11	2.18	2.74	30.55
12	2.09	2.66	30.44
13	2.03	2.60	30.33
14	1.97	2.52	30.24
15	1.91	2.44	30.16
16	1.84	2.37	30.09
17	1.76	2.31	30.01
18	1.69	2.26	29.97
19	1.64	2.17	29.18

Fuente: Autores

**Anexo8. Cálculos de % de CO<sub>2</sub> Y % de Biodegradación producido por pastillas (B/AP) y (B/AC). Tabla 61: Resultados de g de CO<sub>2</sub>, % de CO<sub>2</sub> y % de Biodegradación de pastillas (B/AP) obtenidos por volumetría**

DATOS DE BIODEGRADACION CON MUESTRAS DE BHET/ ALMIDON DE PLATANO DE PULPA										
Observaciones	DÍAS	TITULACIÓN		PH	gr de CO <sub>2</sub> muestra	gr de CO <sub>2</sub> blanco	% CO <sub>2</sub> producido	CO <sub>2</sub> teorico (gr con muestra pastilla BHET /PULPA)	%Biodegradacion PASTILLAS BHET/AP	% BIODEGRADACION ACUMULADO BHET/AP
		Blanco (ml)	Muestra (ml)							
Pesaje muestras	1	0	0		0	0	0			
Pesaje muestras	2	0	0		0	0	0			
1ra titulación	3	0.1	0.15	8	0.0066	0.0044	0.66	1.25	0.18	0.18
2da titulación	4	0.1	0.15	8	0.0066	0.0044	0.66	1.25	0.18	0.35
3ra titulación	5	0.1	0.25	8	0.011	0.0044	1.1	1.25	0.53	0.88
4ta titulación	6	0.25	0.3	8	0.0132	0.011	1.32	1.25	0.18	1.06
5ta titulación	7	0.2	0.4	8.3	0.0176	0.0088	1.76	1.25	0.70	1.76
6ta titulación	8	0.2	0.3	8.1	0.0132	0.0088	1.32	1.25	0.35	2.11
7ma titulación	9	0.25	0.35	8.2	0.0154	0.011	1.54	1.25	0.35	2.47
8va titulación	10	0.24	0.5	7.8	0.0220	0.01056	2.2	1.25	0.92	3.38
9na titulación	11	0.25	0.4	7.7	0.0176	0.011	1.76	1.25	0.53	3.91
10ma titulación	12	0.2	0.3	7.3	0.0132	0.0088	1.32	1.25	0.35	4.26
11ma titulación	13	0.26	0.3	7.6	0.0132	0.01144	1.32	1.25	0.14	4.41
12ma titulación	14	0.25	0.3	7.2	0.0132	0.011	1.32	1.25	0.18	4.58
13ra titulación	15	0.3	0.35	7.2	0.0154	0.0132	1.54	1.25	0.18	4.76
14ta titulación	16	0.25	0.4	7.1	0.0176	0.011	1.76	1.25	0.53	5.29
15ta titulación	17	0.1	0.4	7.2	0.0176	0.0044	1.76	1.25	1.06	6.34
17ta titulación	18	0.3	0.6	7.3	0.0264	0.0132	2.64	1.25	1.06	7.40
18ta titulación	19	0.3	0.8	7.4	0.0352	0.0132	3.52	1.25	1.76	9.16
19ta titulación	20	0.3	0.9	7.1	0.0396	0.0132	3.96	1.25	2.11	11.28
20ta titulación	21	0.2	0.8	7	0.0352	0.0088	3.52	1.25	2.11	13.39
21ta titulación	22	0.35	0.8	7	0.0352	0.0154	3.52	1.25	1.59	14.98
22ta titulación	23	0.2	0.5	7.2	0.022	0.0088	2.2	1.25	1.06	16.03
23ta titulación	24	0.4	1	7.1	0.044	0.0176	4.4	1.25	2.11	18.15
24ta titulación	25	0.2	0.5	7.5	0.022	0.0088	2.2	1.25	1.06	19.21
25ta titulación	26	0.3	0.5	7.3	0.022	0.0132	2.2	1.25	0.70	19.91
26ta titulación	27	0.25	1	7.2	0.044	0.011	4.4	1.25	2.64	22.55
27ma titulación	28	0.5	1.3	7.2	0.0572	0.022	5.72	1.25	2.82	25.37
28va titulación	29	0.45	1.4	7.2	0.0616	0.0198	6.16	1.25	3.35	28.72
29na titulación	30	0.5	1	7.1	0.044	0.022	4.4	1.25	1.76	30.48
30ma titulación	31	0.5	1.1	7.2	0.0484	0.022	4.84	1.25	2.11	32.60
31ra titulación	32	0.3	1.2	7.2	0.0528	0.0132	5.28	1.25	3.17	35.77
32da titulación	33	0.2	1.3	7.2	0.0572	0.0088	5.72	1.25	3.88	39.65
33ra titulación	34	0.3	1.55	7.3	0.0682	0.0132	6.82	1.25	4.41	44.05
34ta titulación	35	0.2	1.3	7.2	0.0572	0.0088	5.72	1.25	3.88	47.93
35ta titulación	36	0.3	1.1	7.2	0.0484	0.0132	4.84	1.25	2.82	50.75
36ta titulación	37	0.4	1.2	7	0.0528	0.0176	5.28	1.25	2.82	53.57
37ma titulación	38	0.3	1.1	7.1	0.0484	0.0132	4.84	1.25	2.82	56.39
38va titulación	39	0.4	1.2	7.2	0.0528	0.0176	5.28	1.25	2.82	59.20
39na titulación	40	0.45	1.2	7	0.0528	0.0198	5.28	1.25	2.64	61.85
40ma titulación	41	0.35	1.4	7.1	0.0616	0.0154	6.16	1.25	3.70	65.55
41ra titulación	42	0.25	1.25	7.1	0.055	0.011	5.5	1.25	3.52	69.07
42da titulación	43	0.45	2.2	7.1	0.0968	0.0198	9.68	1.25	6.17	75.24
43ra titulación	44	0.5	1.2	7.2	0.0528	0.022	5.28	1.25	2.47	77.71
44ta titulación	45	0.3	1.5	7.2	0.066	0.0132	6.6	1.25	4.23	81.93
45ta titulación	46	0.35	2.1	7.3	0.0924	0.0154	9.24	1.25	6.17	88.10
46ta titulación	47	0.3	1.8	7.3	0.0792	0.0132	7.92	1.25	5.29	93.39
47ma titulación	48	0.3	1.5	7.2	0.066	0.0132	6.6	1.25	4.23	97.62
48va titulación	49	0.3	1.2	7.3	0.0528	0.0132	5.28	1.25	3.17	100.79
									100.79	

Fuente: Autores

Tabla 62: Resultados de g de CO<sub>2</sub>, % de CO<sub>2</sub> y % de Biodegradación de pastillas (B/AP) obtenidos por volumetría

DATOS DE BIODEGRADACION CON MUESTRAS DE BHET/ ALMIDON DE PLATANO DE CASCARA										
Observaciones	DÍAS	TITULACIÓN		PH	gr de CO <sub>2</sub> muestra	gr de CO <sub>2</sub> blanco	% CO <sub>2</sub> producido	CO <sub>2</sub> teorico (gr con muestra pastilla BHET /CASCARA)	%Biodegradación PASTILLAS BHET/AC	% BIODEGRADACION ACUMULADO BHET/AC
		Blanco (ml)	Muestra (ml)							
Pesaje mues	1									
Pesaje mues	2									
1ra titulación	3	0.3	0.35	8.16	0.0154	0.0132	<b>1.54</b>	1.26	<b>0.17</b>	<b>0.17</b>
2da titulación	4	0.3	0.4	8.16	0.0176	0.0132	<b>1.76</b>	1.26	<b>0.35</b>	<b>0.52</b>
3ra titulación	5	0.2	0.25	8.3	0.011	0.0088	<b>1.1</b>	1.26	<b>0.17</b>	<b>0.70</b>
4ta titulación	6	0.25	0.3	8.3	0.0132	0.011	<b>1.32</b>	1.26	<b>0.17</b>	<b>0.87</b>
5ta titulación	7	0.2	0.3	8.3	0.0132	0.0088	<b>1.32</b>	1.26	<b>0.35</b>	<b>1.22</b>
6ta titulación	8	0.2	0.35	8	0.0154	0.0088	<b>1.54</b>	1.26	<b>0.52</b>	<b>1.74</b>
7ma titulación	9	0.2	0.35	8.1	0.0154	0.0088	<b>1.54</b>	1.26	<b>0.52</b>	<b>2.27</b>
8va titulación	10	0.18	0.25	7	0.011	0.00792	<b>1.1</b>	1.26	<b>0.24</b>	<b>2.51</b>
9na titulación	11	0.2	0.3	7.3	0.0132	0.0088	<b>1.32</b>	1.26	<b>0.35</b>	<b>2.86</b>
10ma titulación	12	0.2	0.5	7.3	0.022	0.0088	<b>2.2</b>	1.26	<b>1.05</b>	<b>3.91</b>
11ma titulación	13	0.28	0.55	7	0.0242	0.01232	<b>2.42</b>	1.26	<b>0.94</b>	<b>4.85</b>
12ma titulación	14	0.3	0.8	7.1	0.0352	0.0132	<b>3.52</b>	1.26	<b>1.74</b>	<b>6.59</b>
13ra titulación	15	0.3	0.9	7.3	0.0396	0.0132	<b>3.96</b>	1.26	<b>2.09</b>	<b>8.69</b>
14ta titulación	16	0.25	0.4	7	0.0176	0.011	<b>1.76</b>	1.26	<b>0.52</b>	<b>9.21</b>
15ta titulación	17	0.4	0.8	7.2	0.0352	0.0176	<b>3.52</b>	1.26	<b>1.40</b>	<b>10.61</b>
17ta titulación	18	0.2	0.8	7.3	0.0352	0.0088	<b>3.52</b>	1.26	<b>2.09</b>	<b>12.70</b>
18ta titulación	19	0.3	0.7	7.3	0.0308	0.0132	<b>3.08</b>	1.26	<b>1.40</b>	<b>14.09</b>
19ta titulación	20	0.3	0.9	7.1	0.0396	0.0132	<b>3.96</b>	1.26	<b>2.09</b>	<b>16.19</b>
20ta titulación	21	0.2	1	7.3	0.044	0.0088	<b>4.4</b>	1.26	<b>2.79</b>	<b>18.98</b>
21ta titulación	22	0.35	0.9	7.1	0.0396	0.0154	<b>3.96</b>	1.26	<b>1.92</b>	<b>20.90</b>
22ta titulación	23	0.2	1	7.2	0.044	0.0088	<b>4.4</b>	1.26	<b>2.79</b>	<b>23.69</b>
23ta titulación	24	0.4	1	7.1	0.044	0.0176	<b>4.4</b>	1.26	<b>2.09</b>	<b>25.78</b>
24ta titulación	25	0.2	0.8	7.1	0.0352	0.0088	<b>3.52</b>	1.26	<b>2.09</b>	<b>27.87</b>
25ta titulación	26	0.3	0.9	7.1	0.0396	0.0132	<b>3.96</b>	1.26	<b>2.09</b>	<b>29.97</b>
26ta titulación	27	0.25	1.1	7.2	0.0484	0.011	<b>4.84</b>	1.26	<b>2.97</b>	<b>32.93</b>
27ma titulación	28	0.3	1.4	7.2	0.0616	0.0132	<b>6.16</b>	1.26	<b>3.84</b>	<b>36.77</b>
28va titulación	29	0.45	1.6	7.2	0.0704	0.0198	<b>7.04</b>	1.26	<b>4.01</b>	<b>40.78</b>
29na titulación	30	0.2	1.3	7.1	0.0572	0.0088	<b>5.72</b>	1.26	<b>3.84</b>	<b>44.62</b>
30ma titulación	31	0.1	1.1	7.2	0.0484	0.0044	<b>4.84</b>	1.26	<b>3.49</b>	<b>48.11</b>
31ra titulación	32	0.3	1.2	7.1	0.0528	0.0132	<b>5.28</b>	1.26	<b>3.14</b>	<b>51.25</b>
32da titulación	33	0.5	1.3	7.1	0.0572	0.022	<b>5.72</b>	1.26	<b>2.79</b>	<b>54.04</b>
33ra titulación	34	0.6	1.5	7	0.066	0.0264	<b>6.6</b>	1.26	<b>3.14</b>	<b>57.18</b>
34ta titulación	35	0.25	1.5	7.1	0.066	0.011	<b>6.6</b>	1.26	<b>4.36</b>	<b>61.54</b>
35ta titulación	36	0.25	1.5	7.1	0.066	0.011	<b>6.6</b>	1.26	<b>4.36</b>	<b>65.90</b>
36ta titulación	37	0.45	1.5	7	0.066	0.0198	<b>6.6</b>	1.26	<b>3.66</b>	<b>69.56</b>
37ma titulación	38	0.5	1.45	7.1	0.0638	0.022	<b>6.38</b>	1.26	<b>3.31</b>	<b>72.88</b>
38va titulación	39	0.4	1.9	7.1	0.0836	0.0176	<b>8.36</b>	1.26	<b>5.23</b>	<b>78.11</b>
39na titulación	40	0.4	1.1	7	0.0484	0.0176	<b>4.84</b>	1.26	<b>2.44</b>	<b>80.55</b>
40ma titulación	41	0.3	1.25	7	0.055	0.0132	<b>5.5</b>	1.26	<b>3.31</b>	<b>83.87</b>
41ra titulación	42	0.2	1.8	7.1	0.0792	0.0088	<b>7.92</b>	1.26	<b>5.58</b>	<b>89.45</b>
42da titulación	43	0.6	2	7.1	0.088	0.0264	<b>8.8</b>	1.26	<b>4.88</b>	<b>94.33</b>
48va titulación	44	0.2	1.9	7.1	0.0836	0.0088	<b>8.36</b>	1.26	<b>5.93</b>	<b>100.26</b>
									<b>100.26</b>	

Fuente: Autores

**Anexo9.** Datos de peso perdido aplicando Regresión Lineal para pastillas (B/AP) y (B/AC) con su respectiva dosificación.

*Tabla 63:* Proyección mediante regresión línea de acuerdo al peso perdido de pastillas (B/AP)

PASTILLAS B/AP					
PESO EN (g) PERDIDO de PASTILLAS DEACUERDO A RELACION					
DIAS	50/50	60/40	70/30	80/20	90/10
0	2.81	2.82	2.84	2.80	2.84
1	3.51	3.30	3.39	3.42	3.13
2	3.36	3.20	3.30	3.29	2.98
3	3.27	3.11	3.25	3.23	2.79
4	3.14	2.97	3.16	3.17	2.71
5	3.10	2.93	3.13	3.14	2.65
6	3.06	2.91	3.08	3.08	2.64
7	3.03	2.88	3.04	3.03	2.50
8	3.00	2.84	3.04	3.01	2.47
9	2.94	2.79	2.96	2.95	2.42
10	2.81	2.64	2.50	2.85	2.38
11	2.71	2.57	2.41	2.74	2.31
12	2.59	2.51	2.32	2.65	2.22
13	2.51	2.40	2.26	2.53	2.13
14	2.42	2.28	2.15	2.41	2.03
15	2.32	2.17	2.09	2.30	1.95
16	2.24	2.07	2.02	2.23	1.90
17	2.11	2.07	2.01	2.04	1.90
18	2.10	2.04	2.01	2.04	1.88
19	2.05	2.03	1.95	2.01	1.88
20	2.02	1.93	1.79	2.02	1.70
21	1.95	1.87	1.71	1.95	1.64
22	1.88	1.80	1.63	1.88	1.57
23	1.81	1.73	1.55	1.81	1.51
24	1.74	1.67	1.47	1.74	1.44
25	1.67	1.60	1.39	1.67	1.38
26	1.60	1.54	1.30	1.60	1.31
27	1.54	1.47	1.22	1.53	1.25
28	1.47	1.40	1.14	1.46	1.18
29	1.40	1.34	1.06	1.39	1.12
30	1.33	1.27	0.98	1.32	1.05
31	1.26	1.21	0.90	1.25	0.99
32	1.19	1.14	0.82	1.18	0.92
33	1.12	1.07	0.74	1.11	0.86
34	1.05	1.01	0.65	1.04	0.79
35	0.98	0.94	0.57	0.97	0.73
36	0.91	0.87	0.49	0.90	0.66
37	0.84	0.81	0.41	0.83	0.60
38	0.77	0.74	0.33	0.76	0.53
39	0.70	0.68	0.25	0.69	0.47
40	0.63	0.61	0.17	0.62	0.41
41	0.56	0.54	0.09	0.55	0.34
42	0.49	0.48	0.00	0.48	0.28
43	0.42	0.41		0.41	0.21
44	0.35	0.35		0.34	0.15
45	0.28	0.28		0.27	0.08
46	0.21	0.21		0.20	0.02
47	0.14	0.15		0.13	
48	0.07	0.08		0.06	
49	0.00	0.02			

Fuente: Autores

Tabla 64: Proyección mediante regresión línea de acuerdo al peso perdido de pastillas (B/AC)

PASTILLAS B/AC					
PESO EN (g) de PASTILLAS DE ACUERDO A RELACION					
DIAS	50/50	60/40	70/30	80/20	90/10
0	2.81	2.85	2.87	2.87	2.88
1	2.97	3.01	2.97	2.97	3.01
2	2.86	2.90	2.88	2.89	2.91
3	2.76	2.80	2.77	2.79	2.81
4	2.64	2.67	2.67	2.67	2.69
5	2.58	2.62	2.62	2.62	2.64
6	2.54	2.55	2.56	2.57	2.59
7	2.45	2.47	2.47	2.45	2.51
8	2.40	2.43	2.42	2.40	2.44
9	2.32	2.36	2.36	2.33	2.37
10	2.20	2.25	2.26	2.26	2.29
11	2.11	2.17	2.19	2.20	2.22
12	2.04	2.08	2.08	2.12	2.16
13	1.98	2.02	2.03	2.04	2.10
14	1.91	1.95	1.97	1.98	2.03
15	1.81	1.90	1.92	1.92	1.97
16	1.76	1.84	1.86	1.84	1.90
17	1.67	1.74	1.78	1.76	1.86
18	1.57	1.69	1.73	1.69	1.78
19	1.54	1.62	1.68	1.64	1.73
20	1.45	1.53	1.57	1.56	1.64
21	1.38	1.46	1.50	1.49	1.57
22	1.30	1.39	1.44	1.41	1.50
23	1.22	1.31	1.37	1.34	1.44
24	1.15	1.24	1.30	1.27	1.37
25	1.07	1.17	1.23	1.20	1.30
26	1.00	1.10	1.16	1.13	1.23
27	0.92	1.02	1.09	1.06	1.17
28	0.85	0.95	1.02	0.99	1.10
29	0.77	0.88	0.95	0.92	1.03
30	0.69	0.80	0.88	0.85	0.97
31	0.62	0.73	0.81	0.78	0.90
32	0.54	0.66	0.74	0.71	0.83
33	0.47	0.59	0.67	0.63	0.76
34	0.39	0.51	0.60	0.56	0.70
35	0.31	0.44	0.53	0.49	0.63
36	0.24	0.37	0.46	0.42	0.56
37	0.16	0.29	0.39	0.35	0.49
38	0.09	0.22	0.32	0.28	0.43
39	0.01	0.15	0.25	0.21	0.36
40		0.08	0.18	0.14	0.29
41		0.00	0.11	0.07	0.23
42			0.05	0.00	0.16
43					0.09
44					0.02

Fuente: Autores