



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**CARACTERIZACIÓN DEL PLÁSTICO DESTINADO A
RECICLAJE DISPUESTO EN EL VERTEDERO DE BASURA DE
LA CIUDAD DE RIOBAMBA**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORA: MARIAN MORENO PERLAZA

DIRECTOR: Ing. PAÚL GUSTAVO PALMAY PAREDES MSc.

Riobamba – Ecuador

2022

©2022, Marian Moreno Perlaza

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, MARIAN MORENO PERLAZA, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 25 de marzo de 2022


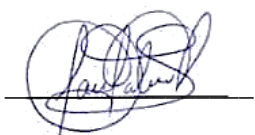
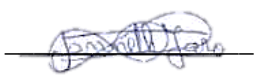


Marian Moreno Perlaza

080436055-0

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGERIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo: Proyecto Técnico, **CARACTERIZACIÓN DEL PLÁSTICO DESTINADO A RECICLAJE DISPUESTO EN EL VERTEDERO DE BASURA DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA**, realizado por la señorita: **MARIAN MORENO PERLAZA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. María Soledad Núñez Moreno, MSc PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-03-25
Ing. Pául Gustavo Palmay Paredes, MsC. DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN		2022-03-25
Dra. Lourdes Janneth Jara Samaniego, PhD MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2022-03-25

DEDICATORIA

Dentro del recorrido de mi corta vida, me he encontrado con seres que sin duda han sido mis ángeles y guías, a mi mamá y a mi mamita Estela, con todo mi corazón les dedico este trabajo pues han sido pilares, mi polo a tierra y mi ejemplo a seguir, todo lo que he logrado no sería posible sin ellas, por su amor, por sus enseñanzas, por su paciencia y siempre estar a mi lado, este título y todo lo maravilloso que decreto vendrá, es para ustedes.

Marian

AGRADECIMIENTO

Con profundo sentir, agradezco al Ingeniero Paúl Palmay Paredes y a la Dra. Janneth Jara, quienes se convirtieron en un amigo más, que confiaron y transmitieron sus conocimientos conmigo, a mi papá y hermanos cuyas palabras de motivación y de orgullo hacia mí nunca faltó, mis amigos y familiares que siempre estuvieron para prestarme una mano y un consejo, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y a los docentes de la Facultad de Ciencias que creyeron en mí, y más que enseñarme a ser una profesional, me enseñaron a ser buena persona; a ustedes y a los que estuvieron como una estrella brillando de lejos, para alumbrar y alegrar mi camino, yo Marian, les agradezco eternamente.

Marian

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I	
1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Objetivos.....	3
1.2.1. <i>Objetivo general</i>	3
1.2.2. <i>Objetivos específicos</i>	3
CAPÍTULO II	
2. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	5
2.1. Antecedentes.....	5
2.2. Marco teórico.....	6
2.2.1. <i>Residuos Sólidos</i>	6
2.2.1.1. <i>Definición</i>	6
2.2.1.2. <i>Clasificación de los residuos</i>	6
2.2.1.3. <i>Composición de los residuos sólidos</i>	7
2.2.1.4. <i>Propiedades de los residuos sólidos</i>	9
2.2.2. <i>Plásticos</i>	9
2.2.2.1. <i>Definición</i>	9
2.2.2.2. <i>Propiedades</i>	10
2.2.2.3. <i>Clasificación</i>	10
2.2.2.4. <i>Tipos de plásticos</i>	11
2.2.2.5. <i>Aplicación de los tipos de plásticos</i>	16
2.2.3. <i>Reciclaje</i>	17
2.2.3.1. <i>Reciclaje de plástico</i>	17
2.2.3.2. <i>Tipos de reciclaje</i>	18

2.2.3.3.	<i>Reciclaje de plásticos en Riobamba</i>	18
2.2.3.4.	<i>Necesidad de la separación de los plásticos</i>	22
2.2.3.5.	<i>Generación de residuos sólidos en Riobamba</i>	22
2.2.4.	<i>Simbología</i>	22
2.2.5.	<i>Técnicas de separación de plásticos</i>	23
2.2.5.1.	<i>Separación manual</i>	24
2.2.5.2.	<i>Separación por diferencia de densidades</i>	25
2.2.5.3.	<i>Espectrofotometría de infrarrojo</i>	27
2.2.5.4.	<i>Separación de densidades magnéticas</i>	34
2.2.5.4.	<i>Flotación</i>	35
2.2.5.5.	<i>Clasificación por aire</i>	36
2.2.5.6.	<i>Clasificación óptica</i>	37
2.2.5.7.	<i>Separaciones electrostáticas</i>	38
2.2.6.	<i>Aditivos de los plásticos</i>	39
2.2.6.1.	<i>Plastificantes</i>	40
2.2.6.2.	<i>Estabilizantes</i>	40
2.2.6.3.	<i>Antioxidantes</i>	41
2.2.6.4.	<i>Estabilizantes ultravioleta</i>	41
2.2.6.5.	<i>Estabilizantes térmicos</i>	42
2.2.6.6.	<i>Lubricantes</i>	42
2.2.6.7.	<i>Cargas</i>	42
2.2.6.8.	<i>Retardantes de llama</i>	43
2.2.6.9.	<i>Agentes espumantes</i>	43
2.2.6.10.	<i>Modificadores de impacto</i>	43
2.2.6.11.	<i>Pigmentos y colorantes</i>	44

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	45
3.1.	Diseño de la investigación	45
3.2.	Localización del estudio	46
3.3.	Población de estudio	46
3.4.	Tamaño de la muestra	47
3.5.	Método de muestreo	47
3.6.	Muestreo	47
3.7.	Lavado de las muestras	47
3.8.	Secado	47
3.9.	Pesaje	47

3.10.	Obtención de las muestras representativas	48
3.11.	Pruebas de caracterización	48
3.11.1.	<i>Separación manual</i>	48
3.11.2.	<i>Método de separación de densidades</i>	48
3.11.2.1.	<i>Materiales</i>	48
3.11.2.2.	<i>Reactivos</i>	49
3.11.2.3.	<i>Procedimiento</i>	49
3.11.3.	<i>Método de reacción a la llama</i>	49
3.11.4.	<i>Prueba con el espectrofotómetro de infrarrojo</i>	50
3.11.4.1.	<i>Materiales</i>	50
3.11.4.2.	<i>Reactivos</i>	50
3.11.4.3.	<i>Equipos</i>	50
3.11.4.4.	<i>Procedimiento</i>	50
3.12.	Cuantificación	51

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS	52
4.1.	Visita al vertedero de basura de Riobamba	52
4.2.	Separación manual de los plásticos	53
4.3.	Prueba de separación de densidades	55
4.3.1.	<i>Envases</i>	55
4.3.2.	<i>Etiquetas</i>	56
4.3.3.	<i>Tapas</i>	56
4.3.4.	<i>De los anillos</i>	57
4.4.	De las pruebas de espectrofotometría	58
4.4.1.	<i>Muestra representativa de Polipropileno</i>	58
4.4.2.	<i>Muestra representativa de Poliestireno</i>	60
4.4.3.	<i>Muestra representativa de Polietileno de baja densidad</i>	62
4.4.4.	<i>Muestra representativa de Polietileno de alta densidad</i>	64
4.4.5.	<i>Muestra representativa de Polietilen tereftalato</i>	65
4.4.6.	<i>Muestra representativa de Polietileno de alta densidad</i>	67
4.4.7.	<i>Muestra representativa de Policarbonato</i>	68
4.5.	Cuantificación de los plásticos	69
4.6.	Cálculo de los la cantidad de basura generada	70
4.7.	Cálculo de la cantidad de la generación diaria de cada tipo de plástico	70
4.7.1.	<i>Cálculo de la generación diaria de Polietileno de tereftalato</i>	70
4.7.2.	<i>Cálculo de la generación diaria de Polietileno de alta densidad</i>	71

4.7.3.	<i>Cálculo de la generación diaria de Polietileno de baja densidad</i>	71
4.7.4.	<i>Cálculo de la generación diaria de Polipropileno</i>	71
4.7.5.	<i>Cálculo de la generación diaria de Poliestireno</i>	71
4.7.6.	<i>Cálculo de la generación diaria de Otros</i>	71

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Tipos de residuos y sus fuentes.....	7
Tabla 2-1: Composición de los residuos sólidos en Ecuador.....	8
Tabla 3-2: Comparación de las propiedades de los tipos de plásticos	10
Tabla 4-2: Clasificación de los plásticos según la NTE INEN 2634:2012	11
Tabla 5-2: Aplicación de los plásticos por el tipo de resina	16
Tabla 6-2: Clasificación y cuantificación del plástico reciclado en la recicladora Virgen de Guadalupe	19
Tabla 7-2: Recicladoras de plástico en Riobamba.....	20
Tabla 8-2: Densidades de los plásticos.....	27
Tabla 9-2: Bandas de absorción de la molécula de Polietilen tereftalato	28
Tabla 10-2: Bandas de absorción de la molécula de Polietileno de alta densidad	29
Tabla 11-2: Bandas de absorción de la molécula de Polietileno de baja densidad.....	30
Tabla 12-2: Bandas de absorción de la molécula de Poliestireno	31
Tabla 13-2: Bandas de absorción de la molécula de Polipropileno	32
Tabla 14-2: Aditivos de plásticos	39
Tabla 15-2: Plastificantes usados con mayor frecuencia	40
Tabla 16-4: Tipos de residuos del vertedero de basura de la ciudad de Riobamba.....	52
Tabla 17-4: Porcentaje de plástico con y sin codificación.....	53
Tabla 18-4: Peso de los tipos de plásticos con codificación.....	53
Tabla 19-4: Tipos de residuos muestreados	54
Tabla 20-4: Cantidad de envases sin codificación.....	55
Tabla 21-4: Cantidad de etiquetas sin codificación	56
Tabla 22-4: Resultados de las pruebas de densidad para etiquetas	56
Tabla 23-4: Cantidad de tapas sin codificación.....	57
Tabla 24-4: Cantidad de anillos sin codificación.....	57
Tabla 25-4: Identificación de picos del espectro de la muestra de Polipropileno	58
Tabla 26-4: Identificación de picos del espectro de Poliestireno	60
Tabla 27-4: Identificación de picos del espectro de la muestra de Polietileno de baja densidad.....	62
Tabla 28-4: Identificación de picos del espectro de la muestra de Polietileno de alta densidad	64
Tabla 29-4: Identificación de picos del espectro de Polietilen tereftalato.....	66
Tabla 30-4: Identificación de picos del espectro de la muestra de Polietileno de alta densidad	67
Tabla 31-4: Identificación de picos del espectro de la muestra de Policarbonato	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: Fórmula química del Polietilen tereftalato.....	12
Figura 2-2: Fórmula química del Polietileno de alta densidad	13
Figura 3-2: Fórmula química del Policloruro de vinilo	13
Figura 4-2: Fórmula química del Polietileno de baja densidad	14
Figura 5-2: Fórmula química del Polipropileno	15
Figura 6-2: Fórmula química del Poliestireno.....	15
Figura 7-2: Símbolos de identificación de los plásticos	23
Figura 8-2: Técnicas de separación de plásticos	24
Figura 9-2: Separación manual de plástico	25
Figura 10-2: Técnica de separación por densidades.	26
Figura 11-2: Funcionamiento de un espectrofotómetro de infrarrojo.....	28
Figura 12-2: Espectro de la molécula de Polietilen tereftalato	29
Figura 13-2: Espectro de la molécula de Polietileno de alta densidad.....	30
Figura 14-2: Espectro de la molécula de Polietileno de baja densidad.....	31
Figura 15-2: Espectro de la molécula de Poliestireno	32
Figura 16-2: Espectro de la molécula de Polipropileno.....	33
Figura 17-2: Espectro de la molécula de Policloruro de vinilo	33
Figura 18-2: Espectro de Otros plásticos.	34
Figura 19-2: Sistema de separación por densidad magnética para Polipropileno y Polietileno. 35	
Figura 20-2: Separación de acrilonitrilo-butadieno-estireno y poliestireno de alto impacto.	36
Figura 21-2: Clasificadora de aire en zigzag.	36
Figura 22-2: Sistema de Separación por Color Mistilínea 5000 LB/HR	37
Figura 23-2: Proceso de separación triboeléctrica.....	38
Figura 24-2: Estabilización de un polímero con di-ter-butil-p-cresol.....	41
Figura 25-2: Modo de actuación de los estabilizadores de UV	42
Figura 26-2: Modo de acción de los modificadores de impacto.	44
Figura 27-3: Ubicación del vertedero de basura de la ciudad de Riobamba.....	46

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-4: Procedimiento utilizado	45
Gráfico 2-4: Porcentaje de tipos de plástico con codificación	54
Gráfico 3-4: Porcentaje de tipos de plástico sin codificación	55
Gráfico 4-4: Espectro de la muestra de Polipropileno	58
Gráfico 5-4: Espectro de la muestra de Poliestireno.....	60
Gráfico 6-4: Espectro de la muestra de Polietileno de baja densidad	62
Gráfico 7-4: Espectro de la muestra de Polietileno de alta densidad	64
Gráfico 8-4: Espectro de la muestra sin identificación 9	65
Gráfico 9-4: Espectro de la muestra de Polietileno de alta densidad	67
Gráfico 10-4: Espectro de la muestra de Policarbonato.....	68
Gráfico 11-4: Porcentaje de los tipos de plásticos en Riobamba	70

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: REGISTRO FOTOGRÁFICO

ANEXO B: ESPECTROS OBTENIDOS DE LAS MUESTRAS

ANEXO C: TABLA DE PESOS DE LOS PLÁSTICOS

ANEXO D: PROCEDIMIENTO PARA IDENTIFICACIÓN DE PLÁSTICOS

ANEXO E: CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE NORMATIVA

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

cm	centímetro
FTIR	Espectroscopía de infrarrojo por la transformada de Fourier
HDPE	Polietileno de alta densidad
INEN NTE	Norma Técnica Ecuatoriana INEN
kg	kilogramos
LDPE	Polietileno de baja densidad
mL	mililitros
NSE	Niveles Socio Económicos
PE	Polietileno
PET	Polietilen tereftalato
PP	Polipropileno
PPC	Producción per cápita
phr	partes por 100 de resina
PS	Poliestireno
PVC	Policloruro de vinilo
RSU	Residuos sólidos urbanos
SPI	Sociedad Internacional del Plástico
Ton	Toneladas

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo caracterizar los residuos plásticos que llegan al vertedero de Porlón de la ciudad de Riobamba, para su posterior reciclaje con base en la Norma Técnica Ecuatoriana 2634:2012; para esto se realizó una visita al vertedero en el que se identificó el tipo de residuo que se receipta. El muestreo fue realizado durante diez días en tres meses consecutivos; las muestras se lavaron a presión con una solución de sosa caustica, se secaron y pesaron, finalmente se obtuvo una muestra representativa de cada unidad de estudio. Las pruebas de caracterización empleadas fueron: separación manual, considerando la codificación para cada tipo de plástico establecida por la norma; separación por densidades, en la que se empleó como soluciones agua destilada, alcohol industrial, acetona y ácido sulfúrico; y espectrofotometría de infrarrojo FTIR. A partir de los ensayos se determinó que Riobamba tiene los siguientes porcentajes de tipos de plásticos: el 23,78% de Polietilen tereftalato (PET), el 21,6% de Polietileno de alta densidad (HDPE), el 14,18% de Polietileno de baja densidad (LDPE), el 19,11% de Polipropileno (PP), el 14,16% de Poliestireno (PS) y el 8,13% es de la categoría que corresponde a Otros. Con esta investigación se concluyó que el 38% de los plásticos que se generan en Riobamba son recuperados desde el vertedero y que diariamente se generan 3.542,95 kg/día de PET, 3.218,16 kg/día HDPE, 2.112,66 kg/día de LDPE, 2.847,17 kg/día de PP, 1.960,69 kg/día de PS, y 1.211,28 kg/día de Otros.. Se recomienda emplear otras técnicas de identificación de polímeros.

Palabras clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <BIOTECNOLOGÍA>, <RIOBAMBA>, <RESIDUOS SÓLIDOS>, <PLÁSTICOS>, <VERTEDERO>, <DESECHOS PLÁSTICOS>, <CONTAMINACIÓN POR PLÁSTICOS>.



0601-DBRA-UTP-2022

SUMMARY

The aim of the research was to characterize the plastic waste placed at the Porlón landfill in Riobamba city for its recycling phase, based on 2634:2012 Ecuadorian Technical Standard. It was necessary to carry out field trips to the landfill in order to identify the type of waste received. The sampling process was carried out during ten days in three consecutive months; the samples were pressure washed with a caustic soda solution, dried and weighed; finally, a representative sample was obtained from each study unit. The characterization tests used were: manual separation, considering the coding for each type of plastic established by the standard; density separation, in which distilled water, industrial alcohol, acetone and sulfuric acid were used as solutions; and FTIR infrared spectrophotometry. The tests determined that Riobamba has the following percentages of plastic types: Polyethylene terephthalate (PET) 23.78%, high-density polyethylene (HDPE) 21.6%, low-density polyethylene (LDPE) 14.18%, polypropylene (PP) 19.11%, polystyrene (PS) 14.16%, and other type of plastic 8.13%. It was concluded that 38% of the plastic generated in Riobamba is collected from the landfill. In addition, the city generates the following daily percentages: 3,542.95 kg/day of PET, 3,218.16 kg/day of HDPE, 2,112.66 kg/day of LDPE, 2,847.17 kg/day of PP, 1,960.69 kg/day of PS, and 1,211.28 kg/day regarding other types of plastic. It is recommended to apply different polymer identification techniques.

Keywords: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <BIOTECHNOLOGY>, <RIOBAMBA>, <SOLID WASTE>, <PLASTICS>, <LANDFILL>, <PLASTIC WASTE>, <PLASTIC POLLUTION>.



Lic. Paul Rolando Armas Pesantez Mgs.

060328987-7

INTRODUCCIÓN

El plástico es uno de los materiales más versátiles y valiosos tanto para la industria como para nuestra vida diaria. Son múltiples las actividades en las que se lo usa, algunas de ellas son: vehículos, envases, construcciones de edificios, equipo médico, productos electrónicos, prendas de vestir, etc., debido a su facilidad de producción, peso y diversidad. Sin embargo, estas mismas cualidades lo han llevado a ser una de las mayores fuentes de contaminación. Debido a que la mayoría de plástico producido no es biodegradable, al llegar a los rellenos sanitarios son acumulados, o se distribuyen en otros hábitats que conforman el planeta, a los que han llegado debido a su mal manejo y disposición.

La ciudad cuenta con diferentes alternativas para el correcto aprovechamiento de los residuos, sin embargo, se ha convertido en un tema de investigación debido a que no se cuenta con una caracterización práctica que permita identificar los tipos de residuos plásticos, lo cual limita la posibilidad de darles un aprovechamiento óptimo (Aguirre et al., 2020, p.13).

Por tal razón, el presente estudio pretende caracterizar los tipos de plásticos destinados a reciclaje en la ciudad de Riobamba, mediante las técnicas de separación por flotación, separación por solubilidad, reacción a la llama y fotometría de infrarrojo, obteniendo índices precisos de cantidad de residuos generados y reciclables en el cantón Riobamba, lo cual finalmente permitirá crear un punto de partida para la creación de normativas que regulen el consumo de ciertos tipos de plásticos que tienen un mayor impacto ambiental.

Los resultados obtenidos en esta investigación servirán de base para futuras investigaciones tendientes a mejorar el sistema integral de manejo de residuos sólidos de Riobamba dando pautas para que las recicladoras trabajen con un enfoque mucho más objetivo puedan elaborar nuevos productos, con el tipo de plástico que se requiera, así como para la actualización de datos del Plan de Desarrollo y Ordenamiento territorial del cantón Riobamba.

En el primer capítulo se describe el diagnóstico del problema junto con los objetivos que se han planteado para dar solución a la problemática; en el segundo capítulo se realiza una revisión bibliográfica de los residuos sólidos, su composición en Ecuador, los plásticos, sus propiedades y los métodos para identificar el tipo de resina; en el cuarto capítulo se encuentra la metodología planteada para el desarrollo de este proyecto, con la ubicación de la zona de estudio y descripción de cada paso y técnica que se empleó para el estudio de las muestras; un cuarto capítulo presenta el procesamiento de los datos obtenidos y los resultados de los análisis realizados; finalmente el quinto capítulo indica las conclusiones y recomendaciones a las que llegó una vez finalizada la investigación.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

La acumulación de residuos plásticos es un problema que afecta tanto a Riobamba como a las demás ciudades del Ecuador. Este problema se refuerza debido a que la población no tiene una cultura ambiental adecuada, los bajos porcentajes de reciclaje y el limitado interés social en estos temas.

En Riobamba, en el año 2020, el 65% de los desechos son materia orgánica y el 35% es materia inorgánica. De este 35%, alrededor del 11% corresponde a plástico y solo el 8% a cartón y papel. La ciudad cuenta con diferentes alternativas para su recolección selectiva, sin embargo, se ha convertido en un tema de investigación debido a que no se cuenta con una caracterización que permita identificar los tipos de residuos plásticos, lo cual limita la posibilidad de darles un aprovechamiento óptimo (Aguirre, Yuquilema y Salazar, 2020, p.13).

El primer paso para un eficiente reciclado de los materiales plásticos es la separación de los diferentes tipos y su identificación; esto, que parece simple, es uno de los principales problemas que existen, y de su solución depende lograr una producción de materiales reciclados que mantengan características como contaminación mínima y una homogenización en su composición para su posterior utilización.

La caracterización de los residuos plásticos en función de la codificación establecida por la Sociedad Industrial del Plástico (SPI, por sus siglas en inglés), son: polietileno de tereftalato, polietileno de alta densidad, polivinilo de cloruro, polietileno de baja densidad, polipropileno, poliestireno y otros. Establecer el tipo de plásticos es primordial para su reciclado, ya que cuando se encuentran mezclados el proceso de reciclaje no es viable, debido a su característica no miscible y a las diferentes condiciones de procesamiento. La mezcla de un mismo plástico puede poseer diferencias significativas, debido a su color, peso molecular y aditivos, que pueden afectar las características del nuevo producto.

Es importante mencionar que, el no desarrollar correctamente el proceso de clasificación, trae consigo problemas económicos, ya que el precio que los fabricantes de polímeros están dispuestos a pagar por los plásticos recolectados depende del precio de mercado relativo de la resina virgen frente a la resina reciclada y de la calidad del producto clasificado. Los plásticos mezclados generalmente tienen un valor más bajo y producen productos con propiedades pobres y variables, mientras que, si están correctamente separados, se pueden usar en aplicaciones de mayor valor.

La solución a esta problemática resulta un punto de partida para al menos dos situaciones:

1) Conocer los tipos de plásticos que se generan e iniciar con un proceso de reciclaje a partir de

estos datos;

2) Generar normativas para regular ciertos plásticos que son los principales contaminantes. Este proyecto es importante debido a que en la ciudad de Riobamba no se cuenta con estadísticas de los siete plásticos identificados por la SPI, ni de sus cantidades exactas. En la actualidad, los estudios y datos estadísticos que se han obtenido, se centran únicamente en las cantidades de materia orgánica e inorgánica que se produce dentro de la ciudad, desglosando los porcentajes de plástico, papel, cartón y otros desechos.

En este sentido, es imprescindible conocer los datos reales de polietileno de tereftalato, polietileno de alta densidad, polivinilo de cloruro, polietileno de baja densidad, polipropileno, poliestireno y otros, puesto que permitirá aplicar los métodos correctos para la ejecución de acciones necesarias para reinsertar los materiales reciclados a la cadena de producción.

Por tal razón, este estudio pretende caracterizar los tipos de plásticos destinados a reciclaje dispuestos en el vertedero de basura en la ciudad de Riobamba, mediante las técnicas de separación por flotación, reacción a la llama y fotometría de infrarrojo, con base a la Norma Técnica Ecuatoriana 2634:2012 en la que se indica el sistema de codificación de los plásticos de acuerdo al tipo de resina, obteniendo índices precisos de cantidad de residuos generados y reaprovechables en el cantón Riobamba, lo cual finalmente permitirá crear un punto de partida para la creación de normativas que regulen el consumo de ciertos tipos de plásticos que tienen un mayor impacto ambiental.

Los resultados obtenidos en esta investigación servirán de base para futuras investigaciones tendientes a mejorar el sistema integral de manejo de residuos sólidos de Riobamba, así como para la actualización de datos del Plan de Desarrollo y Ordenamiento territorial del cantón Riobamba. De esta manera, las empresas recicladoras tendrían un enfoque mucho más objetivo para elaborar nuevos productos, con el tipo de plástico que este requiera.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Caracterizar los residuos plásticos que llegan al vertedero de basura de la ciudad de Riobamba para su posterior reciclaje de acuerdo a la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2634:2012.

1.2.2. Objetivos específicos

- Realizar un muestreo durante un período de 3 meses de los residuos plásticos que llegan al vertedero de basura de la ciudad de Riobamba.
- Determinar a través de las pruebas de flotación, de llama y espectrofotometría de infrarrojo

los tipos de plásticos presentes en la muestra.

- Cuantificar la cantidad de plásticos que llegan al botadero de basura en función a la norma INEN 2634:2012.
- Desarrollar un procedimiento para la caracterización de plásticos de acuerdo a su clasificación.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Antecedentes

La industria del plástico ha crecido considerablemente desde la invención de nuevas rutas para su producción, es así que, este material ocupa alrededor del 4% de la producción anual de petróleo.

Se estima que, aproximadamente el 50% del plástico producido, es de un solo uso, como, embalajes, películas agrícolas y artículos de consumo desechables, entre el 20 y 25% para artículos de largo plazo, como la construcción, vehículos, etc. (Hopewell, Dvorak y Kosior, 2009, p.2). Los tipos de plásticos son clasificados con base a su composición química: Polietilentereftalato (PET), Polietileno de alta densidad (HDPE), Polietileno de baja densidad (LDPE), Policloruro de vinilo (PCV), Polipropileno (PP), Poliestireno (PS), Otros (Serranti y Bonifazi, 2019, p.5). ríos y vertientes de la ciudad de Riobamba, dentro de estos, el Río Chambo, el Río Guano, el Río Chibunga (Aguirre, Yuquilema y Salazar, 2020, p.13).; sin dejar a un lado la destrucción paisajística a causa de la acumulación de los residuos urbanos.

En el año 2019 realizó un estudio de caracterización de residuos sólidos urbanos de la ciudad de Riobamba (RSU), para ello se determinó la producción per cápita (PPC), se seleccionaron las muestras dentro de la ciudad de diferentes Niveles Socio Económicos (NSE) y, diariamente por ocho días consecutivos se pesaron los residuos sólidos recolectados y esa cantidad se la dividió para el número de habitantes de las muestras. Se definieron 4 sectores residenciales y 1 comercial, puesto que el sector con más movimiento y actividad económica se desarrolla en el centro de la ciudad. Se trabajó en total con 70 muestras, que es el número base que viene de la ecuación para muestreo de la Asociación de Municipalidades del Ecuador. La técnica de muestro utilizada fue del cuarteo para determinar la composición física de los residuos generados.

Para eso se realizó la clasificación de los desechos en los siguientes grupos: orgánico, plástico, papel y cartón, textil, vidrio, metal y otros que incluye toallas sanitarias, pañales, todo tipo de recipientes desechables, cartón reciclado (cubetas de huevos) y otros componentes no identificados en ninguno de los demás grupos, finalmente los resultados obtenidos fueron que los residuos sólidos urbanos de Riobamba están compuestos porcentualmente por: materia orgánica un 62,00%, plásticos un 10,15%, papel y cartón un 5,97%, metales un 0,81%, vidrio un 6,79%, textiles un 2,05% y otros un 12,24% (Morales León, 2019, pp. 52-54).

Hasta la actualidad, no se registran datos de la existencia de un proyecto de cuantificación de los tipos de plásticos dentro de la ciudad. Sin embargo, existen de empresas recicladoras dentro

de la ciudad que se encargan de la comercialización de los residuos sólidos con alto potencial para ser reciclados.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Residuos Sólidos

2.2.1.1. Definición

El término residuo sólido ha sido definido desde el año 1980, como desechos procedentes de actividades humanas y de animales desechados como inútiles o indeseados (Tchobanoglous, Theissen y Eliassen, 2013, p.6).

Según la Norma Técnica Ecuatoriana INEN NTE 2841, un residuo se define como:

“Cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido o semisólido, resultante del consumo o uso de un bien tanto en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios, que no tiene valor para quien lo genera, pero que es susceptible de aprovechamiento y transformación en un nuevo bien con un valor económico agregado” (INEN, 2014, p.3).

Según el Texto Único de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, define a un residuo sólido como:

“Cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido, que no presenta características de peligrosidad en base al código C.R.E.T.I.B., resultantes del consumo o uso de un bien tanto en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios, que no tiene valor para quien lo genera, pero que es susceptible de aprovechamiento y transformación en un nuevo bien con un valor económico agregado” (Ministerio del Ambiente, 2003, p.161).

2.2.1.2. Clasificación de los residuos

Existen diversos parámetros para clasificar los residuos sólidos, algunos de ellos son según (Mejía y Patarón, 2015, p.29):

- Por su naturaleza física: seca o mojada.
- Por su composición química: orgánica e inorgánica.
- Por los riesgos potenciales: peligrosos y no peligrosos.

- Por su origen de generación: domiciliarios, de actividades de construcción, industriales, agrícolas, limpieza de espacios públicos, de centros de salud, comerciales.

Según (Gómez Delgado, 1995, p.3)., los residuos sólidos se clasifican de la siguiente forma:

- Urbanos: son aquellos materiales que resultan de un proceso de fabricación, utilización, consumo o limpieza, cuando su productor lo destina al abandono.
- Agrarios: son aquellos generados en el entorno natural, compuesto fundamentalmente por las plantas, o parte de ellas, a las que es necesario separar para obtener el fruto o el producto agrícola elaborado, así como por los animales en explotación.
- Clínicos: son todos aquellos residuos generados en los centros hospitalarios, cualquiera que sea su naturaleza.
- Radiactivos: todo aquel material que está contaminado por radionucleidos en concentraciones superiores a las permitidas por las disposiciones vigentes, para el cual no está destinado ningún uso.
- Industriales: todos aquellos derivados de un proceso de fabricación, transformación, utilización, consumo o, limpieza, cuyo productor lo destina al abandono, o del cual el poseedor tenga necesidad de desprenderse, por no ser material directo de sus procesos productivos.

Las ventajas de clasificar los residuos son: reducción de costos del tratamiento, oportunidad de reutilizar, reciclar, disminución de los residuos desde su fuente, aumento del valor agregado y algo indispensable, el cumplimiento a la normativa.

2.2.1.3. Composición de los residuos sólidos

Los residuos sólidos están compuestos por varios elementos, divididos en dos grandes grupos: orgánicos e inorgánicos. Los inorgánicos generalmente están compuestos por: papel, plástico, cartón, metal, vidrios, entre otros.

En la (Tabla 1-2) se indica el tipo de residuos y su fuente.

Tabla 1-2: Tipos de residuos y sus fuentes.

Tipo	Fuentes
Orgánico	Restos de jardinería y poda, restos de alimentos, residuos de madera.
Papel y cartón	Periódicos, revistas, libros, cuadernos.
Plástico	Botellas de gaseosas, de shampoo, yogurt, baldes de pintura, tubos, etiquetas, juguetes, tapas.

Vidrio	Botellas ámbar, bebidas alcohólicas, cristalería, ventanas, botellas transparentes.
Metal	Papel aluminio, materiales de hierro y acero, bicicletas, latas.
Otros	Cuero, caucho, residuos electrónicos, cenizas, materiales de construcción.

Fuente: (Revelo, 2019).

Realizado por: (Moreno, M, 2021).

La composición de los residuos sólidos depende de varios factores: desarrollo económico, normas culturales, ubicación geográfica, fuentes de energía, disponibilidad de recursos, y las condiciones meteorológicas (Revelo, 2019, pp.21-22). La última actualización de la composición de los residuos en Ecuador se la realizó en el 2015 por el Ministerio del Ambiente. En la (Tabla 2-1) se pueden observar los porcentajes de los residuos generados en función de su naturaleza.

Tabla 2-1: Composición de los residuos sólidos en Ecuador

Material	Producción (Ton/día)	Porcentaje (%)
Materia orgánica	83471	62
Papel y cartón	11369	8
Plástico	11850,5	9
Vidrio	2569,3	2
Metal	-	-
Chatarra	4661,8	3
Residuos sólidos no recuperados	21604,9	16
Total	135527,1	100

Fuente: (Revelo, 2019).

Realizado por: (Moreno, M, 2021).

Conocer estos datos de fuente fidedigna, ayuda a tener una herramienta para poder desarrollar planes de gestión integral de residuos, como: estrategias de recolección de residuos sólidos con un enfoque de aprovechamiento, adquisición de tecnología, maquinaria e infraestructura, ordenanzas municipales, estrategias de reducción de impactos ambientales negativos y la construcción de sitios adecuados de disposición final (Revelo, 2019, pp.22-23).

2.2.1.4. *Propiedades de los residuos sólidos*

➤ *Propiedades físicas*

Las propiedades físicas de los residuos son: densidad de la partícula, tamaño, contenido de la mezcla, humedad, compresibilidad y permeabilidad (Aguilar, 2016, p.17).

De todas las propiedades, una de las más importantes es la densidad, puesto que indica la cantidad de materia que está contenida en cierto volumen. Por otro lado, se conoce que el volumen, compresibilidad, permeabilidad y la humedad, son componentes que sirven para realizar un manejo de los residuos sólidos, por lo que deben ser calculados, ya que pueden tener afectaciones por las condiciones climáticas de la zona de estudio (Simon-Vermt, 2010, p.19).

Las propiedades físicas permiten determinar los equipos que se usarán, sistemas, programas y planes de manejo de residuo sólido, sobre todo cuando lo que se requiere es implementar y recuperar energía (Arellano Díaz, 2003, p.46).

➤ *Propiedades químicas*

Las propiedades químicas que más se observan en los residuos sólidos son: cenizas totales, porcentaje de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, poder calorífico, pH y relación carbono nitrógeno (Arellano Díaz, 2003, p.46).

➤ *Propiedades biológicas*

Estas propiedades ayudan a determinar agentes patógenos y la población microbiana presente en los residuos sólidos con el objetivo de proporcionar un buen tratamiento y disposición final, tanto a los residuos como a los lixiviados (Simon-Vermt, 2010, p.21).

2.2.2. ***Plásticos***

2.2.2.1. *Definición*

De acuerdo con Millet un plástico es un material sintético o semi sintético, que principalmente se deriva del petróleo. Este término se refiere a la capacidad de maleabilidad que posee durante su proceso de fabricación, por lo que sus propiedades finales le permiten que se lo utilice en numerosas aplicaciones. Al finalizar su vida útil, se lo puede reciclar en nuevos productos o materia prima, o ser utilizado como sustituto de combustibles fósiles (Millet et al., 2019, pp.1-2).

2.2.2.2. *Propiedades*

- La característica más común es su plasticidad, puesto que son relativamente fáciles de fabricar y de dar forma.
- Baja densidad.
- Baja conductividad eléctrica.
- Baja conductividad térmica.
- Relativa resistencia mecánica, es decir, soporta estiramientos.

2.2.2.3. *Clasificación*

Los plásticos se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- **Termoplásticos:** son materiales que al ser fundidos se ablandan y se endurecen cuando se enfrían, tienen cambios reversibles. Es decir, pueden ser recalentados reformados y endurecidos repetidas veces (Millet et al., 2019, p.6). Esta misma cualidad, les brinda la capacidad de ser reciclados. Los que principalmente se pueden encontrar son: polietileno, polipropileno, poliestireno, cloruro de vinilo, acrílico, policarbonato, nylon, polietileno de tereftalato, poliéster, etc. (Madrigal, 2011, p.16).
- **Termoestables:** son materiales sintéticos, que al ser sometidos a calentamiento crean una red tridimensional, lo que provoca que este material no pueda ser re fundido o reformado (Tippur, 2021, p.6). Dentro de estos los principales que se pueden encontrar son: x poliuretano, silicones, resinas fenólicas, resina epoxi, poliéster no saturado, resina de melanina etc. (Madrigal, 2011, p.47).

Tabla 3-2: Comparación de las propiedades de los tipos de plásticos

Propiedad	Termoplásticos	Termoestables
Flotabilidad	Baja	Alta
Materia prima	Totalmente polimerizado y suministrado como pellets sólidos.	No totalmente polimerizado, a menudo suministrado como líquido resinoso o semisólido
Enlaces	Enlaces de hidrógeno o Van der Waals	Entrelazados.
Procesamiento	Toma forma cuando está caliente y una vez endurecido la mantiene.	Toma forma estando frío o caliente y se deben calentar para mantenerla.
Equipo de procesamiento	Moldeo por inyección o extrusión.	Equipo de procesamiento modificado cuando se introduce

		calor después de que se toma la forma.
Tiempo de procesamiento	Corto, el endurecimiento se da durante el enfriamiento.	Largo, toma su forma mientras es sometido al calor, mientras los enlaces se desarrollan.
Reciclado	Reciclado térmico es posible	No es posible el reciclado térmico.
Estabilidad dimensional	Moderada	Alta

Fuente: (Tippur, 2021).

Realizado por: (Moreno, M, 2021).

2.2.2.4. Tipos de plásticos

En Ecuador, la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2634:2012 realiza una clasificación de los tipos de plásticos en base a la resina utilizada para su elaboración.

Tabla 4-2: Clasificación de los plásticos según la NTE INEN 2634:2012

Número	Abreviatura	Nombre completo
1	PET	Polietilentereftalato
2	PE-AD (en inglés HDPE)	Polietileno de alta densidad
3	PVC	Policloruro de vinilo
4	PE-BD (en inglés LDPE)	Polietileno de baja densidad
5	PP	Polipropileno
6	PS	Poliestireno
7	Otros	Incluye otras resinas como: Poliuretano (PU), Acrilonitrilo – butadienestireno (ABS), Policarbonato (PC), biopolímeros.

Fuente: (INEN, 2012).

Elaborado por: (Moreno, M, 2021).

Este código debe estar dentro de un triángulo, que está integrado por tres flechas (indicando el símbolo de reciclaje) con un número específico dentro de este que indica el tipo de plástico al que corresponde. En casi todos los productos este código debe estar en la parte inferior del envase (INEN 2634, 2012, p.9).

➤ *Polietileno de tereftalato*

Es un plástico resistente y moldeable utilizado en la producción de botellas de bebidas, fibras y filamentos. Sólo una pequeña parte del PET se recicla para su aplicación original, y la mayoría (50-77%) se convierte en fibras utilizadas para la producción de materiales mixtos como alfombras (Rahimi y García, 2017, p.3).

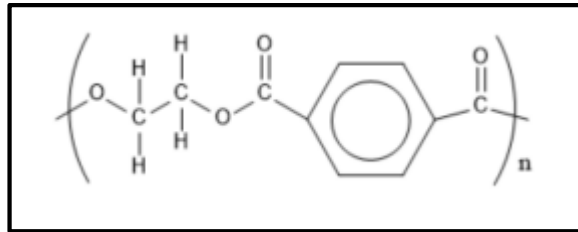


Figura 1-2: Fórmula química del Polietileno tereftalato

Fuente: (Velandia, 2017).

Es usado en la elaboración de materiales geosintéticos, para esto es llevado a fundición, filtrado y luego extruido, hasta obtener fibras de poliéster con un aspecto liso, buena resistencia a todo tipo de tensión y baja capacidad de absorción de agua, con este nuevo material se fabrican geotextiles de tipo no tejido y geomallas de refuerzo. Por otro lado, cuando el PET se recicla en forma de fibras, es usado como material para mejorar concreto, asfalto (Jaramillo et al., 2014, p.4). Se caracteriza por tener una gran tenacidad, resistencia a la fatiga y desgarramiento, además se comporta excelente cuando está en presencia de la humedad, ácidos, grasas, aceites y disolventes (Acevedo y Posada, 2018, p.3). Debido a estas propiedades es utilizado con mucha frecuencia en un sinnúmero de industrias, como la fabricación de cintas hasta para envases de bebidas.

Es usado principalmente para envases de bebidas, agua mineral, productos de belleza, aceites, mayonesas, salsas, películas transparentes, fibras textiles laminados de productos alimenticios, envases al vacío, residuos de radiografías, cintas de vídeo y audios.

➤ *Polietileno de alta densidad*

El polietileno de alta densidad es un polímero mucho más rígido y resistente que el Polietileno de tereftalato (PET) (Velandia, 2017, p.6). EL HDPE es un polímero lineal del etileno, que se produce a temperaturas y presiones muy similares a las de fabricación del LLDPE. Sin embargo, su característica es que son flexibles y tiene una transparencia más pobre. Debido a su apariencia claramente turbia, generalmente se le añaden cantidades bajas de pigmentos blancos para proporcionarle una película blanca opaca (Goswami y Mangaraj, 2011, pp.38-39).

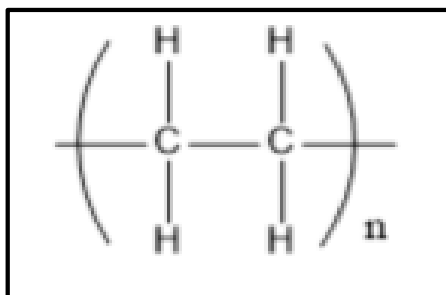


Figura 2-2: Fórmula química del Polietileno de alta densidad

Fuente: (Velandia, 2017).

Este polímero se fabrica a presiones y temperaturas bajas usando catalizadores de Ziegler- Natta y metaloceno u óxido de cromo activado. Presenta una temperatura de fusión más alta y tiene una mayor rigidez y resistencia que el LDPE gracias a su estructura lineal con mayor cristalinidad y densidad (Toledo Martínez, 2019, p.16).

Según Goswami y Mangaraj (2011) sus principales características son:

- Buena resistencia térmica y química.
- Alta resistencia al impacto.
- Es sólido, incoloro, translúcido, casi opaco.
- Se lo puede procesar por inyección y extrusión.
- Es flexible, aún a bajas temperaturas.
- Tiene facilidad para imprimir, pintar o pegar sobre él.
- Es muy ligero.
- Es mucho mejor para el reciclaje mecánico y térmico (Goswami y Mangaraj, 2011, pp.38-39).

➤ *Policloruro de vinilo*

Es un polímero que en su estructura alterna un cloruro cada dos átomos de carbono. Fue uno de los primeros plásticos descubiertos y también uno de los más empleados. Está formado principalmente por sal común (57%) y gas o petróleo (43%) (Toledo Martínez, 2019, p.18).

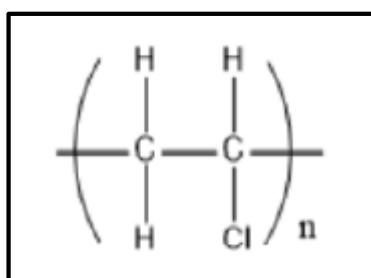


Figura 3-2: Fórmula química del Policloruro de vinilo

Fuente: (Velandia, 2017).

El PVC se forma mediante la polimerización por adición de cloruro de vinilo, con plastificantes y otros aditivos, para formar una película flexible. Generalmente, estas películas son bastantes flexibles y suaves, fáciles de termosellar y tienen una excelente adherencia, tenacidad, resistencia a productos químicos y elasticidad (Goswami y Mangaraj, 2011, p.39).

Este material tiene un amplio uso en la industria automotriz, en carcasas y materiales para electrodomésticos, dispositivos eléctricos, entre otros. Su amplio uso se debe a que presenta propiedades químicas, mecánicas, ópticas y térmicas excepcionales, que están levemente relacionadas con su estructura (Suárez, 2019, p.40).

➤ *Polietileno de baja densidad*

Es un polímero altamente ramificado de baja densidad y cristalinidad. Es fabricado a partir de etileno gaseoso a presiones y temperaturas muy altas, en presencia de iniciadores de peróxido (Toledo Martínez, 2019, p.16).

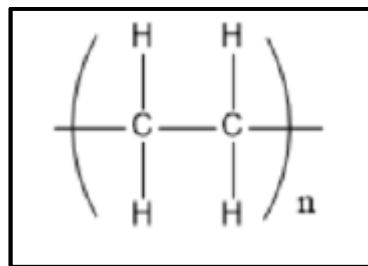


Figura 4-2: Fórmula química del Polietileno de baja densidad

Fuente: (Velandia, 2017).

Las propiedades que se pueden mencionar sobre este tipo plástico son su tenacidad, ductilidad, resistencia química y baja permeabilidad al vapor de agua. Por otro lado, se reporta que este ha sido modificado con anhídrido maleico, sin embargo, esto ha repercutido en problemas durante la funcionalización por radicales libres y/o homopolimerización (Ararat y Murillo, 2016, p.2).

➤ *Polipropileno*

Es un termoplástico, de los más utilizados desde su fabricación en 1950. Es el resultado de la polimerización del propileno y se lo puede encontrar en diferentes grados de densidad (Toledo Martínez, 2019, p.16).

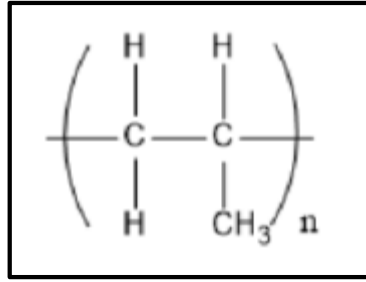


Figura 5-2: Fórmula química del Polipropileno

Fuente: (Velandia, 2017).

Se emplea usualmente en empaques de comida, materiales para laboratorio y componentes especializados (Velandia, 2017, p.7). La resina que generalmente se usa en los envases son las isostáticas, posee una de las densidades más bajas de los productos plásticos, es más duro y transparente que el polietileno. Posee alta resistencia a los productos químicos y es eficaz en bloquear el vapor de agua, tiene un alto punto de fusión lo cual lo hace adecuado para aplicaciones donde se requiere alta resistencia térmica (Goswami y Mangaraj, 2011, p.39).

➤ *Poliestireno*

“Es una resina poliolefina resultado de la polimerización del estireno” (Toledo Martínez, 2019, p.15). Es el plástico más utilizado, con él se fabrica una gran variedad de productos de uso diario como botellas o envoltorios para alimentos, pero que también puede formar parte de fibras sintéticas o ser modificado y adquirir propiedades elásticas (Toledo Martínez, 2019, p.15).

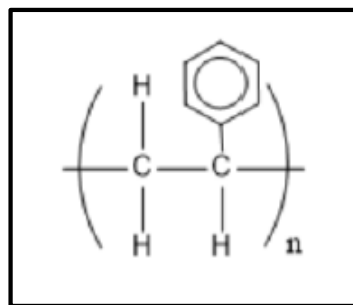


Figura 6-2: Fórmula química del Poliestireno

Fuente: (Velandia, 2017).

➤ *Otros*

Esta categoría incluye otros tipos de polímeros, con origen biológico (biopolímeros) o aquellos que son una mezcla de varios plásticos (copolímeros). Sus propiedades suelen ser muy diversas y van a depender de los monómeros por los que están formados y sus características.

Se incluyen mezclas de varios tipos de plásticos empleados en artículos electrónicos, electrodomésticos, piezas industriales, artículos médicos, garrafas de fuentes de agua o colchones. Se pueden transformar tras su reciclaje en fibras de nailon, discos compactos o piezas de coches. Sin embargo, al no conocer con certeza los tipos de resinas que contienen, su índice de reciclabilidad alcanza el nivel 4, es decir, prácticamente imposible. Puede contener compuestos tóxicos como el antimonio, el bromo y el bisfenol A y ostenta la cifra más alta de residuos plásticos en el planeta con un 24%. Los ejemplos más conocidos de estos son: Policarbonato (PC), Poliamida (PA), ABS, SAN, EVA, Poliuretano (PU), Acrílico (PMMMA) entre otros.

2.2.2.5. Aplicación de los tipos de plásticos

Tabla 5-2: Aplicación de los plásticos por el tipo de resina

Resina	Aplicación	Aplicación de reciclaje	Porcentaje de reciclaje
PET	Botellas para cola, agua, aceite comestible, aderezo para ensalada, enjuague bucal, champú.	Fibra (ropa, alfombra), película (globos, embalaje, láminas térmicas, adhesivo), botellas (pop, agua), envases de cosméticos y alimentos.	19.5
HDPE	Botellas de yogur, jugo, leche, productos de limpieza, tarros de helado, tarros de champú.	Contenedores no alimentarios (detergente para ropa, champú, acondicionador y botellas de aceite para motores) madera de plástico, tubería, cubos, cajas, macetas, películas, contenedores de reciclaje y baldosas	10.3
PVC	Películas estirables, fundas para galletas, tarros de enjuague bucal, champú, artículos de aseo, blíster.	Embalajes, aglutinantes de hojas sueltas, revestimientos, canaletas, solapas de barro, películas, baldosas y tapetes, conos de tráfico, equipo eléctrico, mangueras de jardín y zócalos domésticos móviles	<1
LDPE	Fundas de empaque, Bolsas de basura, envases para laboratorio.	Sobres de envío, bolsas de basura, baldosas de piso, madera de plástico, película de envoltura de alimentos, bolsas de compras, contenedores de compost, bolsas de limpieza en seco y contenedores de basura.	5.3
PP	Bolsas para frituras, popotes, equipo para jardinería, cajas	Cajas de baterías de automóviles, luces de señalización, escobas, embudos de	<1

	para alimentos, cintas para empaquetar, envases para uso veterinario y farmacéutico.	aceite, cepillos, raspadores de hielo, botellas de condimento, contenedores de margarina, contenedores de yogur, portabicicletas y rastrillos.	
PS	Cajas para discos compactos, cubiertos de plástico, imitaciones de vidrio, juguetes, envases de cosméticos.	Termómetros, placas de interruptor de luz, aislamiento térmico, cartones de huevo, rejillas de ventilación, reglas, marcos de placas de matrícula, embalaje de espuma, contenedores de comida para llevar y cubiertos desechables.	<1
OTROS	Partes de autos, hieleras, equipos electrónicos, piezas para empaques.	Policarbonato (botellas de plástico recargables, biberones, bolsas de metal para alimentos, electrónica de consumo, lentes); nylons (ropa, alfombras, engranajes); resinas biodegradables (envases para alimentos y bebidas); plásticos mixtos y mezclas (carcasa electrónica, madera de plástico), etc.	<1

Fuente: (Merrington, 2017).

Realizado por: (Moreno, M, 2021).

2.2.3. *Reciclaje*

El reciclaje es un proceso en el que se tratan los residuos, ya sean domésticos o industriales, con lo que se introduce nuevamente los materiales a un ciclo de producción de un producto o de sus derivados. Propiamente, reciclar es un proceso fisicoquímico o mecánico que se basa en someter un producto utilizado desechado, a un ciclo de tratamiento parcial o total con el objetivo de obtener un nuevo producto o materia prima (Chacón et al., 2017, p.3).

2.2.3.1. *Reciclaje de plástico*

Se basa en la recuperación de materiales plásticos ya utilizados, por ejemplo, botellas y fundas, con el objetivo de reducir su alto impacto ambiental y minimizar el consumo de energía y materia prima para la generación de nuevos productos plásticos. En la actualidad estos proyectos se los realizan con el objetivo de conservar el medio ambiente, disminuir el agotamiento de los recursos naturales, fomentar el uso de energías alternativas y motivar a la conciencia (Rubiano et al., 2013, p.4).

2.2.3.2. Tipos de reciclaje

➤ *Reciclaje químico*

Mediante este tipo de reciclaje se busca la degradación de las moléculas a sus monómeros, esta técnica descompone el plástico a combustible o nuevo plástico (re polimerización) con la aplicación de calor, presión oxígeno, catalizadores y/o disolventes. Incluye diferentes métodos como pirolisis, hidrogenación, gasificación, craqueo o metanólisis.

➤ *Reciclaje mecánico*

Se usa esta técnica para separar los materiales mediante el uso de maquinaria, como mesas de cribado o trómeles. Consiste básicamente en recolectar de forma selectiva el plástico, lavarlo, molerlo, secado, aglutinarlo y extrusarlo para ser usado como nueva materia prima.

➤ *Reciclaje energético*

Consiste en convertir el plástico que no sirven en combustible, fuente de calor o electricidad, debido a que la capacidad calorífica de los plásticos es comparable a las del combustible.

2.2.3.3. Reciclaje de plásticos en Riobamba

En la ciudad de Riobamba el plástico es recolectado por 7 empresas recicladoras, alrededor de 5 son micro recicladoras: Mega Metal, Porlón, 4R, El Progreso, SN, y 2 macro recicladoras: Riobamba y Virgen de Guadalupe, las mismas que se encargan de recibir los residuos sólidos recolectados por los pequeños recicladores asociados en toda la ciudad, las macro recicladoras son punto de convergencia de las micro recicladoras, por lo tanto, reciben el peso total de los diversos residuos sólidos, a la par dan un tratamiento a los mismos, para convertirlos en materia prima y enviar a distintas fábricas donde son convertidos en un nuevo producto para su uso.

Existe un gran número de personas no asociadas a estas empresas, las cuales recorren las calles de la ciudad y retiran los plásticos de los contenedores de basura; los residuos urbanos de un solo uso que llegan al relleno sanitario de Porlón son separados de la basura orgánica por los minadores los cuales finalmente entregan el plástico a las empresas recicladoras de la ciudad. La macro recicladora Riobamba recibe mensualmente de 17 a 18 toneladas de Polietilen tereftalato, mientras que la Virgen de Guadalupe si realiza la separación.

Tabla 6-2: Clasificación y cuantificación del plástico reciclado en la recicladora Virgen de Guadalupe

Tipo de plástico	Cantidad (toneladas por mes)
Polietileno	0,5-1
Polipropileno	3-4
Polietileno de alta densidad	3-4
Polietilentereftalato	2-3

Fuente: (Recicladora Virgen De Guadalupe, 2020).

Realizado por: (Garzón Mishell, 2019).

Otra investigación realizada por Rosales (2021) indica las cantidades de plástico que se reciclan en Riobamba (Tabla 7-2).

Tabla 7-2: Recicladoras de plástico en Riobamba

Nombre	Tipo de plástico	Frecuencia de recepción	Cantidad (kg)	Precio de compra (\$)	Precio de venta (\$)
21 deAbril	Envase de botellas plásticas (PET)	Diaria	80	0,2	0,3
	PP		100	0,3 a 0,4 (según la calidad)	0,50 a 0,60 (según la calidad)
	PE de alta densidad		25	0,2	0,3
	Film o de fundas		50	0,2	0,3
	Soplado			0,2	0,3
Chimborazo	Envase de botellas plásticas (PET)	Diaria	300	0,5 a 0,60	0,7
	Plástico duro (tinas, gavetas)		200	0,15	0,20 a 0,22
	Plástico suave		150	0,15	0,20 a 0,22
	Plástico soplado		200	0,15	0,20 a 0,22
4 R	Envase de botellas plásticas (PET)	Diaria	30	0,55	0,68
	Plástico duro (tinas, gavetas)		30	0,15	0,25
	Plástico suave		20	0,10	0,15
	Plástico soplado		20	0,15	
Mega metal	Envase de botellas plásticas (PET)	Diaria	300	0,15	0,50
	Plástico duro (tinas, gavetas)		200	0,15	0,28

	Plástico suave		150	0,15	0,30
	PE de alta densidad		500	0,50	0,55
Virgen de Guadalupe	Envase de botellas plásticas (PET)	Diaria	500	0,55	0,58
	Plástico duro (tinas, gavetas)		200	0,25	0,30
	Plástico suave		200	0,12	0,20
Riobamba	Envase de botellas plásticas (PET)	Diaria	325	0,55	680 x Ton
	Plástico duro (tinas, gavetas)		1200	0,15	
	Fundas transparentes		1000	0,10	

Realizado por: (Moreno, M, 2021).

Fuente: (Rosales, 2021, pp.41-42).

2.2.3.4. Necesidad de la separación de los plásticos

Como se mencionó, generalmente los termoplásticos son los más reciclables, por sus propiedades, sin embargo, cuando las resinas se encuentran mezcladas, el proceso no es viable, dado que no son miscibles y que cada uno tiene diferentes condiciones de tratamiento. Por otro lado, el precio que alcanza el plástico reciclado en el mercado suele elevarse según su grado de pureza, pero este proceso es mucho más costoso.

Otro aspecto importante a considerar, es la presencia de contaminantes debido al uso de aditivos, otro tipo de material que pueda estar integrado, diferencias de color, peso molecular que pueden afectar las características finales de los productos.

2.2.3.5. Generación de residuos sólidos en Riobamba

De acuerdo el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Riobamba, en la ciudad existen diversas fuentes de generación de desechos como son: domiciliarios que corresponde el 62,15% de materia orgánica, plásticos con el 10,82%, cartón y papel con el 6,94%, metales 0,87%, vidrio 5,19%, textiles 2,20% y otros con el 11,83%; desechos de los mercados, camal, etc. En la ciudad se generan 168 toneladas diarias de desechos sólidos, generando así una producción per cápita domiciliaria de 0.60 kg/hab/día.

2.2.4. Simbología

Los materiales plásticos tienen una variedad de productos, debido a su materia prima como sus procesos de fabricación y usos. Por esta razón, muchas veces existen problemas para identificar los plásticos muy similares, pero estructuralmente diferentes. Para facilitar la identificación de cada polímero, y para ayudar a su clasificación y crear e implementar sistemas de reciclado se introdujeron sistemas para la codificación de los plásticos (Paneque et al., 2008, p.6).

Generalmente, en todos los plásticos se puede encontrar un triángulo rodeado por unas flechas con un número dentro. Esta simbología fue desarrollada en 1988 por la Sociedad Industrial del Plástico (SPI por sus siglas en inglés), este número identifica el tipo de resina que contiene.

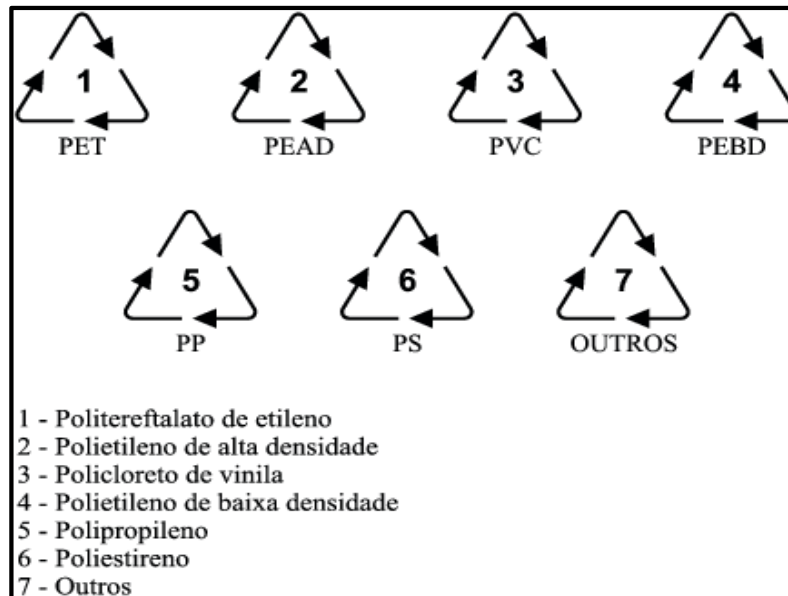


Figura 7-2: Símbolos de identificación de los plásticos

Fuente: (Sociedad Industrial del Plástico, 1988).

Para su identificación, los productos plásticos deben tener un símbolo compuesto de tres flechas que forman un triángulo con un número en el centro y las letras en la base. Este triángulo representa el símbolo universal del reciclaje, se incorporó para distinguir el código numérico de otras marcas en el envase. Con respecto al séptimo símbolo, este está reservado para materiales o mezclas y multicapas (Paneque et al., 2008, p.7).

En el año 2000, se aprobó la Norma Internacional ISO 11469:2000 que indica la identificación genérica y marcado de plástico. El objetivo de ésta es identificar productos que han sido fabricados a partir de un solo polímero o copolímeros (que resultan de mezclas de polímeros) y además, indica la composición de aditivos especiales como: cargas, materiales de refuerzo, plastificantes, retardantes de llama. Para esta norma los productos deben ser marcados en la superficie con la abreviatura o símbolo correspondiente entre los signos de puntuación “>” y “<” (Paneque et al., 2008, p.7).

En Ecuador, la identificación de los tipos de plásticos está regulado por la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2634:2012 (Tabla 4-2); en esta normativa se indica que el rotulado debe estar en el producto o componente o en el empaque. Con respecto a las etiquetas, se debe evitar el uso de materiales incompatibles, como adhesivos, con el empaque o envase (INEN, 2012, p.5).

2.2.5. Técnicas de separación de plásticos

Las técnicas de clasificación de plásticos están basadas en las diferencias que presentan las propiedades físicas o características superficiales que poseen los plásticos objeto de separación

(Lara Álvarez, 2009, p.10). En su mayoría las técnicas utilizadas actualmente, son las de separación por diferencia de densidades, por flotación y triboelectrificación, mismas que fueron desarrolladas en principio para la separación de minerales. El aumento de la demanda del uso del plástico de alta pureza ha llevado a que estos sean modificados y en otros casos mejorados significativamente. Un ejemplo de esto, son los clasificadores automáticos para plásticos que son basados en métodos espectroscópicos y técnicas de identificación afines. Separar los residuos plásticos tiene como objetivo principal eliminar los contaminantes no deseados como metales, vidrios, etc., para obtener polímeros de alta pureza (Serranti y Bonifazi, 2019, p.7).

Como reporta Wang se han desarrollado numerosos métodos para la separación de plásticos, como separación manual, separación triboelectrostática, separación por gravedad, flotación selectiva y disolución selectiva (Wang et al., 2015, p.2).

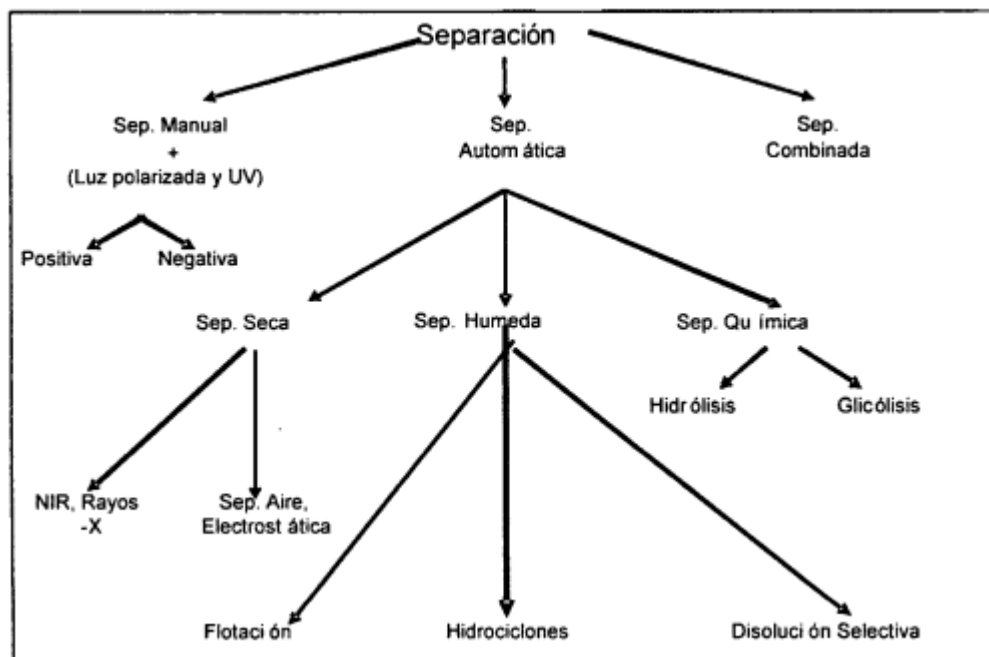


Figura 8-2: Técnicas de separación de plásticos

Fuente: (Lara Álvarez, 2009).

2.2.5.1. Separación manual

En su mayoría los plásticos son separados a mano, considerando que es el primer paso para el proceso de reciclaje. Se puede definir a esta técnica como un proceso simple puesto que requiere poca tecnología, consiste en la separación de los plásticos basándose en un código de identificación, es un método ineficiente y de ardua labor (Lara Álvarez, 2009, p.11).

Según Ruj (2015) esta técnica de clasificación manual del material implica la identificación por forma, color, apariencia, marca registrada del plástico que lo distingue para su identificación visual por parte de los operadores (Ruj et al., 2015, p.3).



Figura 9-2: Separación manual de plástico

Fuente: (Diario Sevilla, 2018).

Wang y Sutar (2015) coinciden en que esta técnica requiere mucha mano de obra, baja eficiencia y malas condiciones laborales. Además, que no es una técnica económicamente rentable. Para diferenciar los tipos de plásticos se emplean los códigos establecidos por la SPI para las resinas más comunes.

2.2.5.2. Separación por diferencia de densidades

Este método de separación es simple para materiales de diferentes densidades. La separación se basa en el hecho de que cuando se introducen materiales en un tanque que contiene un fluido de una densidad específica, flotarán materiales más livianos y los más pesados se hundirán (Serranti y Bonifazi, 2019, p.9). Para que esta prueba funcione, las densidades de los materiales deben ser diferentes entre sí.

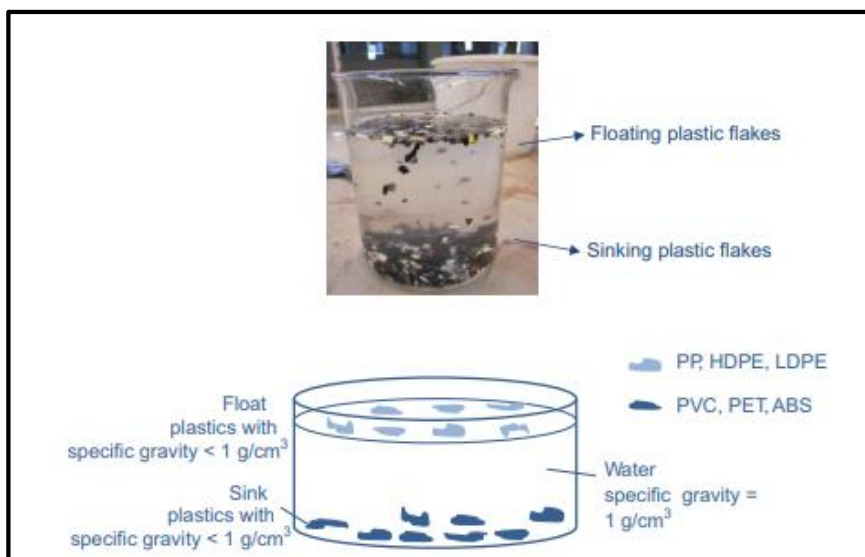


Figura 10-2: Técnica de separación por densidades.

Fuente: (Serranti y Bonifazi, 2019).

Este método se puede utilizar para separar plásticos de materiales más pesados, o polímeros caracterizados por diferentes densidades (es decir, PET de PP / PE o ABS de PS), mientras que no se puede utilizar para la separación de polímeros caracterizados con valores de densidad cercanos, como por ejemplo poliolefinas (PP, LDPE, HDPE) (Serranti y Bonifazi, 2019; Sutar y Salunkhe, 2015, p.10).

Sin embargo, mediante una modificación cuidadosa de la densidad del medio, es posible la separación de los materiales plásticos, utilizando soluciones salinas o suspensiones de partículas finas, proporcionando así la densidad con una diferencia razonable (Lara Álvarez, 2009, p.15). Los plásticos han sido separados con agua, soluciones saturadas de agua con cloruro de sodio, cloruro de calcio y etanol (Meneses Quelal, Velázquez-Martí y Ferrer Gisbert, 2021, p.2).

La presencia de contaminantes, burbujas de aire en la superficie del polímero, alteración del polímero, rellenos y aditivos pueden afectar la eficiencia de la separación (Dodbiba y Fujita, 2004). En esta investigación, se indica que los resultados de la prueba de densidades/ flotación de plásticos para el mismo grupo de plásticos son limitados, debido a sus pequeñas diferencias en flotabilidad, mientras que la flotación de plásticos de diferentes grupos se logró con una recuperación generalmente superior al 99% y una pureza superior (Dodbiba y Fujita, 2004, p.8). Además, sus resultados indican que utilizando esta técnica los productos separados pueden alcanzar una pureza superior al 98%.

➤ *Densidades de los plásticos comunes*

Tabla 8-2: Densidades de los plásticos

Polímero	Densidad (g/cm ³)
Polipropileno (PP)	0,85 a 0,92
Poliétileno de alta densidad (HDPE)	0,94 a 0,98
Poliétileno de baja densidad (LDPE)	0,89 a 0,93
Poliétileno de tereftalato (PET)	1,33 a 1,39
Policloruro de vinilo (PVC)	1,19 a 1,250
Poliestireno (PS)	1,04 a 1,10
Policarbonato	1,2
Poliacrilonitrilo	1,33 a 1,39
Polimetacrilato de metilo	1,19 a 1,20
Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS)	1,07

Fuente: (Meneses Quelal, Velázquez-Martí y Ferrer Gisbert, 2021, p.34; Beltrán y Marcilla, 2012, p.23; Lara Álvarez, 2009, p.45).

Elaborado por: (Moreno, M, 2021).

➤ *Medios de separación*

Las soluciones más comunes como medio de separación son: agua, alcohol, soluciones salinas, suspensiones de partículas de calcita, cloruro de sodio, cloruro de zinc, ácido sulfúrico, acetona, etc. (Lara Álvarez, 2009; Sutar y Salunkhe, 2015, p.16).

2.2.5.3. Espectrofotometría de infrarrojo

La técnica de espectroscopía por transformada de Fourier (FTIR) es utilizada para obtener un espectro de la absorción de luz infrarroja de un sólido, líquido o gas (Mousa Alhajji y Snyder, 2016, p.2). Una parte del haz de luz es absorbida por la muestra, mientras que parte de ella pasa (se transmite), el resultado final es un espectro que muestra la adsorción y transmisión, que crea una huella molecular propia de la muestra (Ashraf, 2014, p.2).

Los espectros se registran entre 4000-400 cm⁻¹, en este rango se presentan las diferencias de energía para las transiciones entre el estado fundamental y el primer estado de excitación de las moléculas (Sindhu, Binod y Pandey, 2015, p.14). Dado que las bandas vibracionales son características para muchos grupos funcionales, se emplean los espectros como conjunto para identificar a las moléculas (Velandia, 2017, p.11).

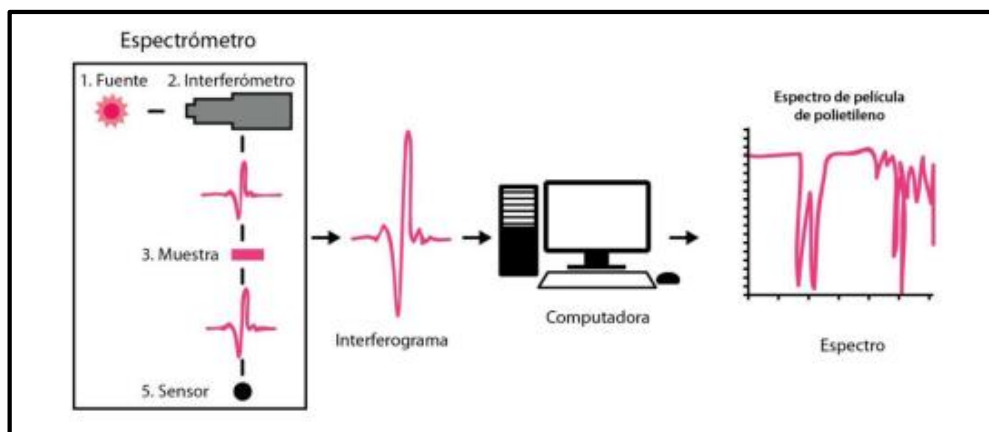


Figura 11-2: Funcionamiento de un espectrofotómetro de infrarrojo.

Fuente: (Velandia, 2017).

El tamaño que tienen los picos del espectro indica la cantidad de material presente, por lo tanto, este método se usa para identificar materiales desconocidos, determinando su calidad o consistencia de una muestra y la cantidad de componentes en una muestra (Ashraf, 2014).

Muchos polímeros se pueden separar mediante esta técnica, puesto que se caracteriza por tener una firma espectral diferente en dicho rango de longitud de onda, algunos ejemplos de estos son: PP, PS, PVC, PE, PET, etc.), además indica la razón por la que esta técnica es ampliamente utilizada (Serranti y Bonifazi, 2019, pp.9-10):

- a. Alta velocidad de detección / identificación.
- b. Detección múltiple (es decir, verificación múltiple de la misma muestra).
- c. Sin interferencia de color.

Como se mencionó anteriormente, un espectro es específico para cada molécula analizada, por esta razón a continuación se indican los espectros de los polímeros más comúnmente utilizados.

➤ *Espectro del polietileno de tereftalato (PET)*

La Tabla 9-2 indica los picos característicos del PET y la Figura 12-2 indica el espectro de la molécula de PET.

Tabla 9-2: Bandas de absorción de la molécula de Polietilen tereftalato

Número de onda (cm ⁻¹)	Grupo funcional
3432	Grupo hidroxilo OH.
3054	Estiramientos simétricos de los enlaces C-H
2969 y 2908	Estiramientos simétricos de los enlaces C-H
2350	Deformación simétrica axial de CO ₂ .
1730	Estiramiento de C = O del grupo ácido carboxílico

1577 y 1504	Vibraciones del anillo aromático con estiramiento de C=C.
1453, 1410 y 1342	Estiramiento de la deformación del grupo C-O del grupo O-H y modos vibratorios de flexión y meneo del segmento de etilenglicol.
1240 y 1124	Grupo tereftalato ((OCC ₆ H ₄ -COO))
1096 y 1050	Grupo metileno y vibraciones del enlace éster C-O
972, 872 y 848	Anillos aromáticos
1960 y 795	Anillos aromáticos 1,2,4,5; Tetra reemplazado
712	Interacción de grupos éster polares y anillos de benceno

Fuente: (Vermelha y Janeiro, 2017).

Elaborado por: (Moreno, M, 2021).

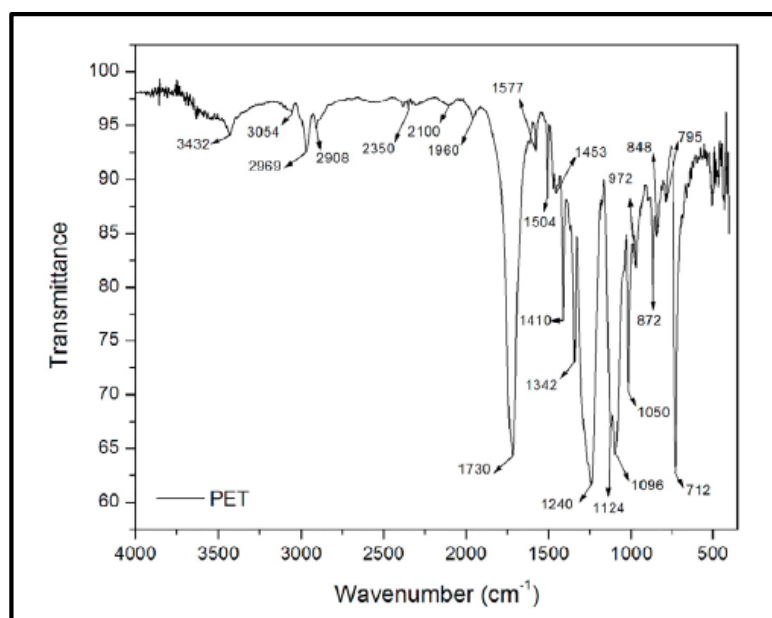


Figura 12-2: Espectro de la molécula de Polietileno tereftalato

Fuente: (Vermelha y Janeiro, 2017).

➤ *Espectro del Polietileno de alta densidad (HDPE)*

La Tabla 10-2 indica los picos característicos del HDPE y la Figura 13-2 indica el espectro de la molécula de HDPE.

Tabla 10-2: Bandas de absorción de la molécula de Polietileno de alta densidad

Número de onda (cm ⁻¹)	Grupo funcional
2915	Estiramientos simétricos de los enlaces C-H
2845	Estiramientos simétricos de los enlaces C-H
1472	Flexión de los enlaces CH ₂
1462	Flexión de los enlaces CH ₂
730	Balanceo de los enlaces CH ₂

717	Balanceo de los enlaces CH ₂
-----	---

Fuente: (Vermelha y Janeiro, 2017).

Elaborado por: (Moreno, M, 2021).

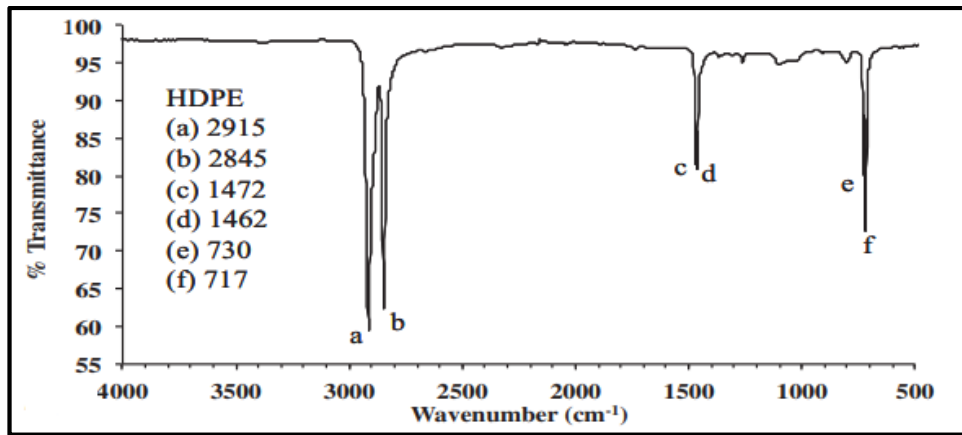


Figura 13-2: Espectro de la molécula de Polietileno de alta densidad

Fuente: (Vermelha y Janeiro, 2017).

➤ *Espectro del polietileno de baja densidad (LDPE)*

La Tabla 11-2 indica los picos característicos del LDPE y la Figura 14-2 indica el espectro de la molécula de LDPE.

Tabla 11-2: Bandas de absorción de la molécula de Polietileno de baja densidad

Número de onda (cm ⁻¹)	Grupo funcional
2915	Estiramientos simétricos de los enlaces C-H
2845	Estiramientos simétricos de los enlaces C-H
1467	Flexión de los enlaces CH ₂
1462	Flexión de los enlaces CH ₂
1377	Flexión de los enlaces CH ₃
730	Balanceo de los enlaces CH ₂
717	Balanceo de los enlaces CH ₂

Fuente: (Vermelha y Janeiro, 2017).

Elaborado por: (Moreno, M, 2021).

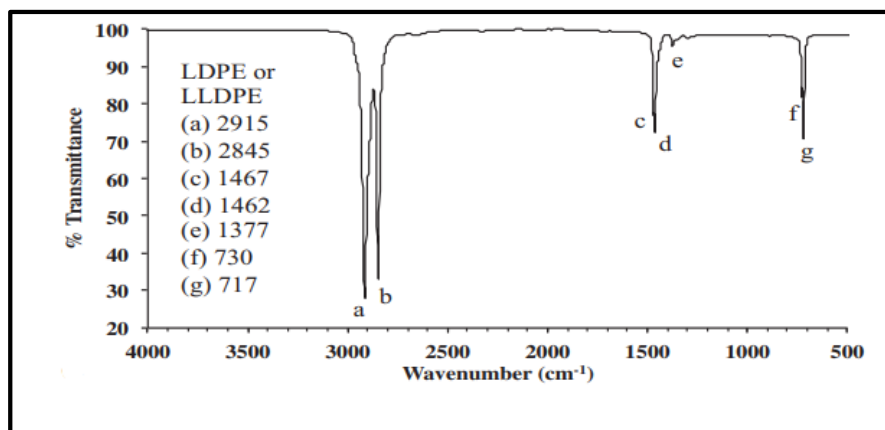


Figura 14-2: Espectro de la molécula de Polietileno de baja densidad

Fuente: (Vermelha y Janeiro, 2017).

➤ *Espectro del poliestireno (PS)*

La Tabla 12-2 indica los picos característicos del LDPE y la Figura 15-2 indica el espectro de la molécula de PS.

Tabla 12-2: Bandas de absorción de la molécula de Poliestireno

Número de onda (cm ⁻¹)	Grupo funcional
3024	Estiramiento de los enlaces del anillo aromático
2847	Estiramiento de los enlaces C-H
1601	Estiramiento de anillo aromático
1492	Estiramiento de anillo aromático
1451	Flexión de los enlaces CH ₂
1027	Flexión de los enlaces CH del anillo aromático
694	Flexión fuera del plano de los enlaces CH del anillo aromático
537	Anillo aromático fuera del plano

Fuente: (Vermelha y Janeiro, 2017).

Elaborado por: (Moreno, M, 2021).

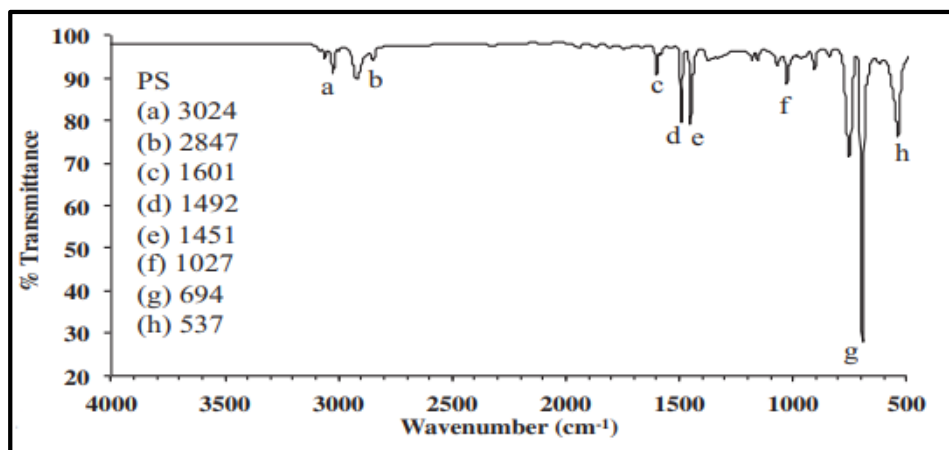


Figura 15-2: Espectro de la molécula de Poliestireno

Fuente: (Vermelha y Janeiro, 2017).

➤ *Espectro del polipropileno (PP)*

La Tabla 13-2 indica los picos característicos del PP y la Figura 16-2 indica el espectro de la molécula de PP.

Tabla 13-2: Bandas de absorción de la molécula de Polipropileno

Número de onda (cm ⁻¹)	Grupo funcional
2950	Estiramiento de los enlaces C-H
2915	Estiramiento de los enlaces C-H
2838	Estiramiento de los enlaces C-H
1455	Flexión de los enlaces CH ₂
1377	Flexión de los enlaces CH ₃
1166	Flexión de los enlaces C-H, balanceo de CH ₃ y estiramiento de C-C
997	Balanceo de CH ₃ , flexión de CH ₃ , flexión de C-H
972	Balanceo de CH ₃ , estiramiento de C-C,
840	Balanceo de los enlaces CH ₂ , estiramiento de C-CH ₃
808	Flexión de los enlaces CH ₂ , estiramiento de C-C, estiramiento de C-CH ₃

Fuente: (Vermelha y Janeiro, 2017).

Elaborado por: (Moreno, M, 2021).

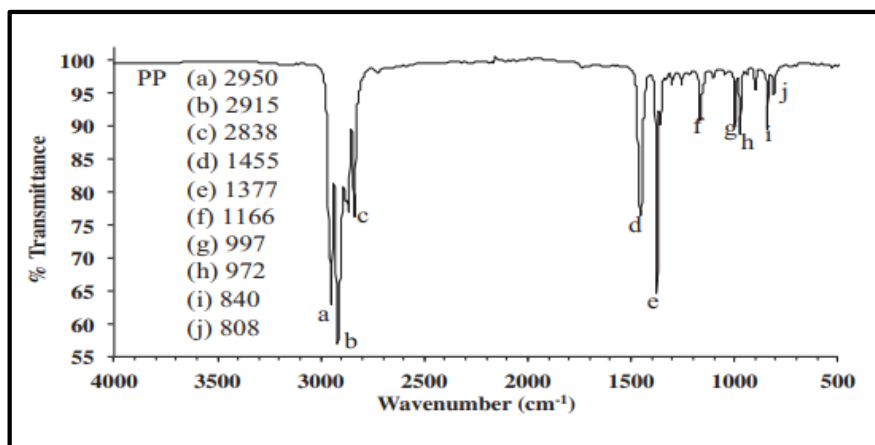


Figura 16-2: Espectro de la molécula de Polipropileno

Fuente: (Vermelha y Janeiro, 2017).

➤ *Espectro del policloruro de vinilo (PVC)*

La Tabla 15-2 indica los picos característicos del PVC y la Figura 17-2 indica el espectro de la molécula de PVC.

Tabla 15-2: Bandas de absorción de la molécula de Policloruro de vinilo

Número de onda (cm ⁻¹)	Grupo funcional
1427	Flexión de los enlaces CH ₂
1331	Flexión de los enlaces C-H
1255	Estiramiento de los enlaces C-H
1099	Estiramiento de los enlaces C-C
966	Balanceo de los enlaces CH ₂
616	Estiramiento de los enlaces C-Cl

Fuente: (Vermelha y Janeiro, 2017).

Elaborado por: (Moreno, M, 2021).

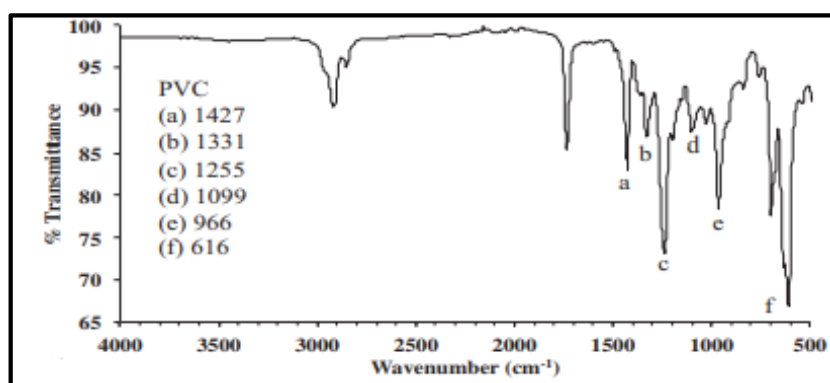


Figura 17-2: Espectro de la molécula de Policloruro de vinilo

Fuente: (Vermelha y Janeiro, 2017).

➤ *Otros*

La clasificación otros, pueden estar compuesta por diferentes plásticos, a continuación se recopiló espectros de los mismos (Figura 18-2).

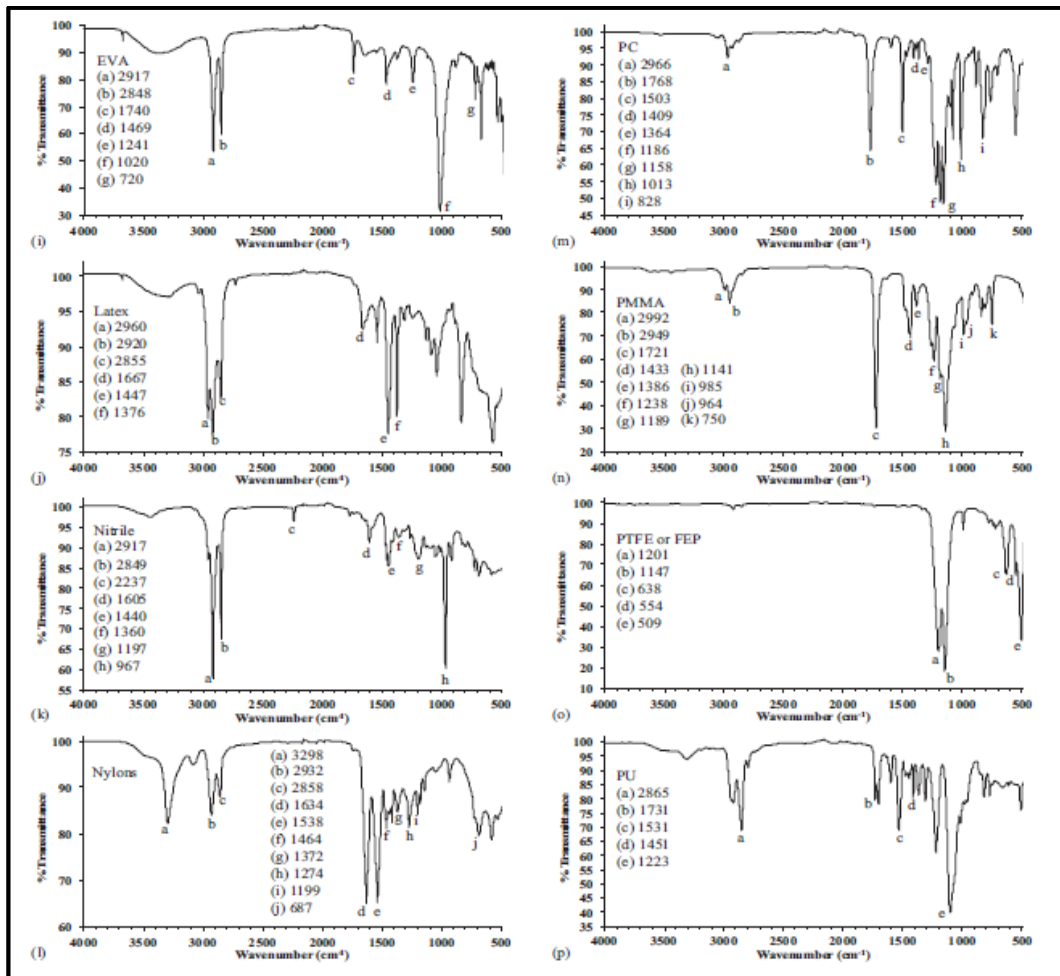


Figura 18-2: Espectro de Otros plásticos.

Fuente: (Vermelha y Janeiro, 2017).

2.2.5.4. Separación de densidades magnéticas

Esta técnica está basada en la densidad de los materiales en la que se usa un flujo magnético, mismo que está formado por dos partes, por un lado, un líquido (agua) y partículas magnéticas (partículas de óxido de hierro) que están suspendidas en el líquido. Para esto se usa un campo magnético, que es tan fuerte que ve en dirección vertical, por consecuencia la densidad efectiva del líquido va en la misma dirección. Como resultado se tiene que, las partículas de plástico flotarán en el líquido a un nivel en el que la densidad efectiva es igual a su propia densidad, para

ser más específicos, las partículas se encuentran a diferentes alturas (debido a la diferencia de sus densidades), por lo que finalmente es posible separarlas (Sutar y Salunkhe, 2015, p.3).

Sin embargo, es primordial conocer los siguientes pasos:

1. Se debe humedecer las muestras para que la superficie sea hidrofílica.
2. Cargar, separar y retirar las partículas separadas con el objetivo de evitar turbulencias en la corriente de flujo, antes durante y después de la separación.

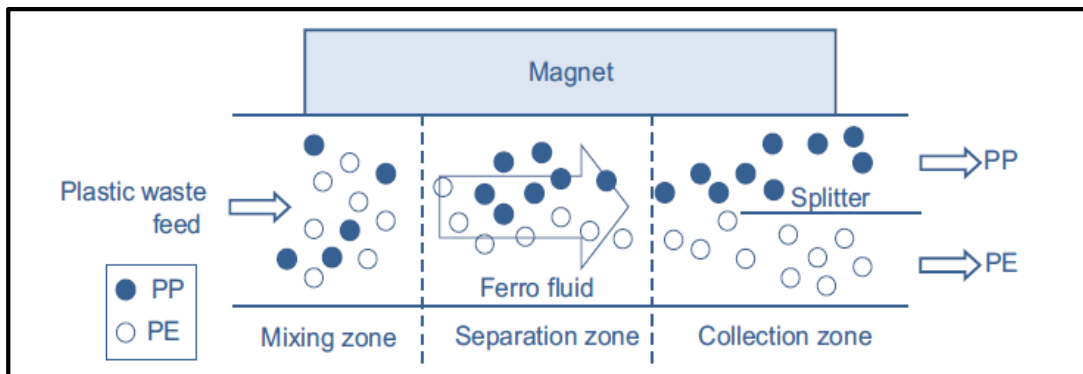


Figura 19-2: Sistema de separación por densidad magnética para Polipropileno y Polietileno.

Fuente: (Sutar y Salunkhe, 2015).

2.2.5.4. Flotación

Estos procesos se basan en las propiedades de humectabilidad que tienen los polímeros (Wang et al., 2015, p.7).

Esta técnica funciona con el principio de un hundimiento y flotación, es decir, la densidad de los materiales en comparación a la del medio en donde se colocan son diferentes. Funciona de forma diferente a la técnica de separación por densidades puesto que, en ésta, el medio que generalmente es agua se le coloca un “portador” de burbujas de aire, cuya función es hacer flotar las partículas hidrofóbicas que luego se adhieren a las burbujas, mientras que las hidrofílicas se hunden.

Para mejorar este proceso, con respecto a la superficie de los plásticos se pueden agregar colectores o acondicionadores y modificar las condiciones operativas de la celda de flotación, es decir, caudal de aire, agitación; con respecto al medio éste generalmente suele ser salino (Sutar y Salunkhe, 2015, p.3).

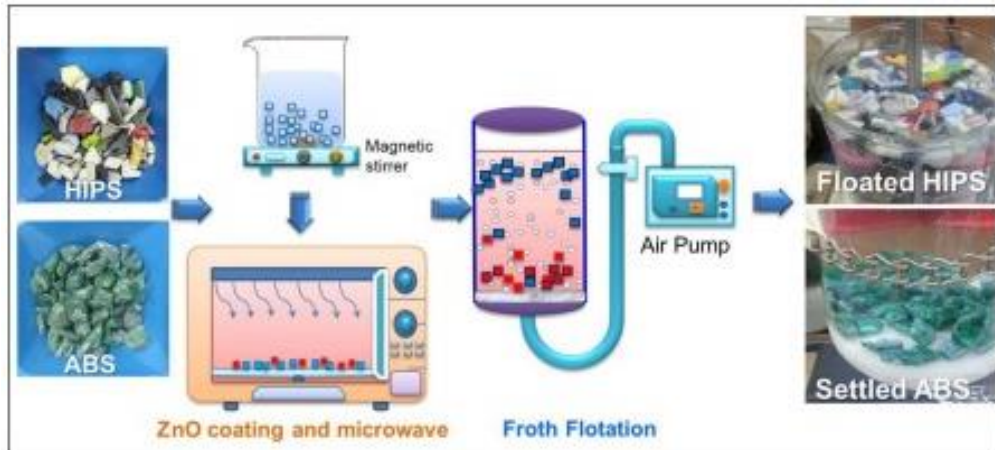


Figura 20-2: Separación de acrilonitrilo-butadieno-estireno y poliestireno de alto impacto.

Fuente: (Thanh Truc y Lee, 2017).

2.2.5.5. Clasificación por aire

Es posible clasificar los materiales por combinación de forma de densidad utilizando corrientes de aire. Se usa para separar, por ejemplo películas plásticas y residuos de papel. Se utiliza aire a baja velocidad para separar materiales más ligeros (por ejemplo: aluminio y plásticos) de materiales más pesados (vidrio). Esto se puede lograr mediante envases de polietileno de alta densidad y latas de aluminio (Sutar y Salunkhe, 2015, p.3).



Figura 21-2: Clasificadora de aire en zigzag.

Fuente: (Recycling Machinery).

De acuerdo con Sutar y Salunkhe (2015) este proceso se lo puede lograr a través de:

- Soplado de las muestras más ligeras mediante una cuchilla de aire hacia otro transportador en una polea que está conectada a la cola del transportador (los materiales más pesados caen sobre la polea de cola); o,
- Se usa una succión sobre una corriente de contenedores que está mezclada en un transportador para eliminar la muestra más liviana (mientras que la más pesada permanecerá en el transportador), luego de retirar los más pesados, los artículos más ligeros se dirigirán a otro transportador de clasificación. Los sistemas de vacío son populares para transportar materiales, como películas de plástico, contenedores de PET y HDPE y latas de aluminio, desde estaciones de clasificación hasta una jaula o búnker remotos (Sutar y Salunkhe, 2015, p.3).

2.2.5.6. Clasificación óptica

La clasificación óptica en proceso automático se la usa para separar hojuelas de polímero reciclado y contaminante en base al color o transparencia. Esta técnica permite a los clasificadores obtener material reciclado homogéneo de un solo color, pureza y consistencia como la resma virgen, sin embargo, esto no da una identificación química del polímero (Lara Álvarez, 2009, p.19).

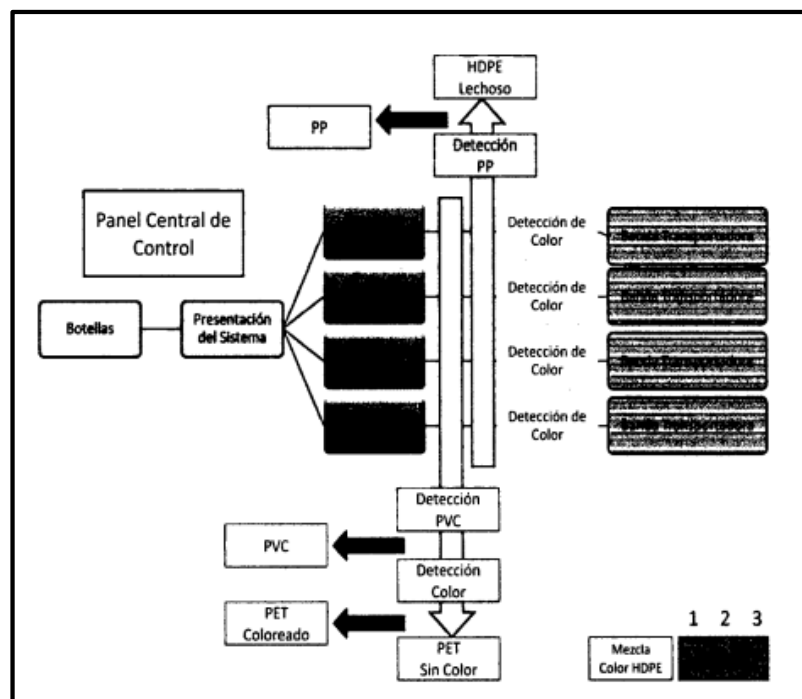


Figura 22-2: Sistema de Separación por Color Mistilínea 5000 LB/HR

Fuente: (Lara Álvarez, 2009).

2.2.5.7. Separaciones electrostáticas

En esta técnica se utilizan las caras electrostáticas que tienen los diferentes plásticos para lograr una separación. Existen una variedad de equipos para este ensayo (Safavi et al., 2010, p.1). La forma más común es mediante triboeléctrica, que consiste en hacer que las partículas choquen entre sí, esto provoca que algunos materiales adquieran caras positivas y otras negativas. Luego, estos son clasificados dejándolos caer libremente a través de un campo eléctrico (Sutar y Salunkhe, 2015, p.3).

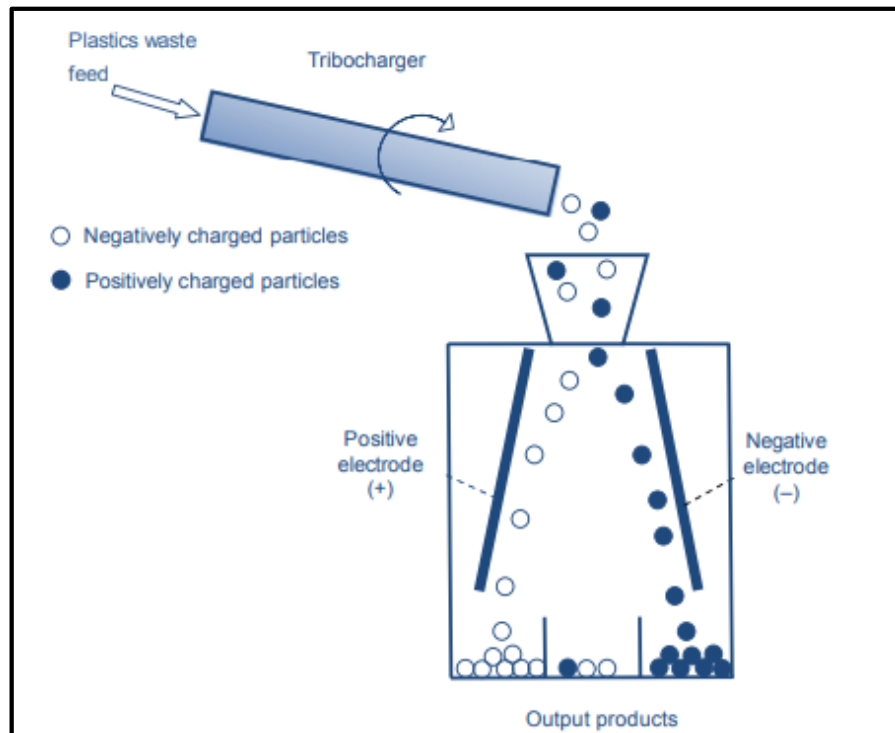


Figura 23-2: Proceso de separación triboeléctrica.

Fuente: (Lara Álvarez, 2009).

La clasificación se logra, gracias a que existen dos electrodos paralelos cargados opuestamente y separados de acuerdo a la carga triboeléctrica que poseen. Se han reportado problemas con respecto a esta técnica y es la dificultad para controlar la fuerza gravitacional que actúa durante la caída de las partículas. De modo que, si las partículas son demasiado pequeñas o con poca carga, requerirá de una mayor área de separación entre los electrodos (Lara Álvarez, 2009, p.23).

La técnica puede tener éxito teniendo en cuenta la carga de los polímeros, la secuencia de la carga triboeléctrica de los polímeros:

(+) ABS-PP-PC-PET-PS-PE-PVC-PTFE (-)

Por lo tanto, si dos plásticos siguiendo la secuencia anterior se frota entre sí, el plástico que se encuentra más al extremo positivo se carga positivamente y el que esté más cerca del extremo negativo se carga más negativamente (Dodbiba et al., 2002, p.3).

Por ejemplo, si el PVC se frota contra el PET, el PVC se carga negativamente y el PET positivamente. Por el contrario, cuando el PET se frota contra el PP, el PET se carga positivamente y el PP negativamente (Dodbiba et al., 2002, p.4).

Además, se produce una transferencia de carga de electrones desde la superficie con una función de trabajo menor a una superficie con una función de trabajo mayor, por lo tanto, la función de trabajo del material de contacto es un factor clave en la triboelectrificación (Greason, 1975, p.10).

Es importante mencionar que, para la separación de una mezcla binaria mediante esta técnica es recomendable utilizar, como material de contacto, un material con el valor de la función de trabajo entre los valores de las funciones de trabajo de los dos materiales de la mezcla a separar (Dodbiba et al., 2002, p.4).

2.2.6. Aditivos de los plásticos

La obtención de productos plásticos verdaderamente útiles se puede lograr mediante el uso de aditivos. Los aditivos son materiales que van dispersos físicamente en una matriz de polímeros sin afectar su estructura química, por lo que se excluyen de esta categoría, catalizadores, reticulantes, entre otros.

Pese a que su uso no altera la estructura química de los polímeros, si puede condicionar sus propiedades, por ejemplo, con el caucho según los aditivos se puede obtener neumáticos, suelas de zapatillas, colchones, bandas elásticas, gomas de borrar, etc. Otro caso, el PVC se puede obtener tubos rígidos, botellas, recubrimientos de cables, ropa, balones, muñecas. Es decir, se pueden fabricar un sinnúmero de productos todos ellos con propiedades y aspectos muy diversos (Beltrán y Marcilla, 2012, p.64).

Tabla 14-2: Aditivos de plásticos

Función	Tipo de aditivo
Aditivos que facilitan el procesado	Estabilizantes
	Lubricantes
Aditivos que modifican las propiedades mecánicas	Plastificantes
	Cargas reforzantes
	Modificadores de impacto
Aditivos que disminuyen costos de formulaciones	Cargas
	Diluyentes y extendedores
Modificadores de propiedades superficiales	Agentes antiestáticos
	Aditivos antideslizamiento
	Aditivos antidesgaste

Modificadores de propiedades ópticas

Aditivos contra el envejecimiento

Otros

Promotores de adhesión
Pigmentos y colorantes
Agentes de nucleación
Estabilizantes contra luz UV
Fungicidas
Agentes espumantes
Retardantes de llama

Fuente: (Beltrán y Marcilla, 2012).

Para expresar la cantidad de aditivos utilizados se expresa en peso: 100 gramos de polímero a partes por 100 de resina (phr, por sus siglas en inglés) (Beltrán y Marcilla, 2012, p.66).

2.2.6.1. *Plastificantes*

“Un plastificante es una sustancia que se incorpora a un material plástico o elastómero para aumentar su flexibilidad y facilitar su transformación. Un plastificante puede reducir la viscosidad del fundido, rebajar la temperatura de transición vítrea o disminuir el módulo elástico del fundido” (Beltrán y Marcilla, 2012, p.66).

Tabla 15-2: Plastificantes usados con mayor frecuencia

Familia	Plastificante
Ftalato	DINP
	Diiso-nonil ftalato
Fosato	TFF
	Trifenil fosfato
Adipato	DOA
	Diiso-octil adipato
Epoxi	Epoxiestearato de octilo

Fuente: (Arellano Díaz, 2003).

Elaborado por: (Moreno, M, 2021).

2.2.6.2. *Estabilizantes*

Un estabilizador cumple la función de retardante en el proceso de degradación del plástico, debido a diversos factores externos (calor, atmósfera, radiaciones, etc.), que producen el deterioro de la estructura de los polímeros. Un estabilizador debe tener la propiedad de controlar los procesos que tienen lugar durante la descomposición de los polímeros, pero, estos deben cumplir ciertas

características, como ser compatibles con el polímero, ser efectivo a bajas concentraciones, no alterar la estructura del polímero, bajos costos, estar exentos de color, olor y toxicidad. Su concentración suele ser de 1 a 6 phr (Beltrán y Marcilla, 2012, p.70).

2.2.6.3. Antioxidantes

Los antioxidantes detienen las reacciones de degradación uniéndose a los radicales libres o con los peróxidos formados, dando lugar a especies no reactivas. La mayoría de los estabilizantes primarios son fenoles estéricamente impedidos o aminas aromáticas.

Un ejemplo de esto es el polipropileno, que tiene átomos de carbonos terciarios, mismos que cuando son expuestos a la intemperie, empieza a producir una serie de reacciones de oxidación que forman radicales libres, los cuales en presencia de oxígeno forman peróxidos, lo que finalmente provoca la ruptura de la cadena y por lo tanto la degradación del material (Arellano Díaz, 2003, p.70).

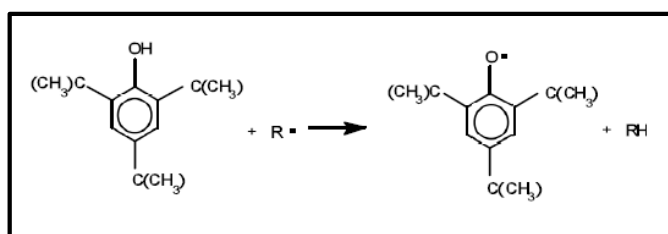


Figura 24-2: Estabilización de un polímero con di-ter-butil-p-cresol.

Fuente: (Arellano Díaz, 2003).

2.2.6.4. Estabilizantes ultravioleta

Estos son usados generalmente junto con los antioxidantes. Cuando la energía de radiación UV que alcanza la tierra es muy elevada, puede provocar la rotura de los enlaces covalentes de los polímeros, y por lo tanto disminución de las propiedades junto con el amarilleo de su superficie. Los estabilizadores ultravioletas con mayor uso son las 4-alcóxibenzofenonas, benzotriazoles, acrilonitrilos sustituidos, entre otros (Arellano Díaz, 2003, p.71).

En la Figura 25-2, se puede observar cuál es el modo de acción de estos compuestos, en esta reacción se indica la absorción de energía del salicilato de fenilo para formar una hidroxibenzofenona, y posterior a esto la emisión de energía del quelato para formar una quinona.

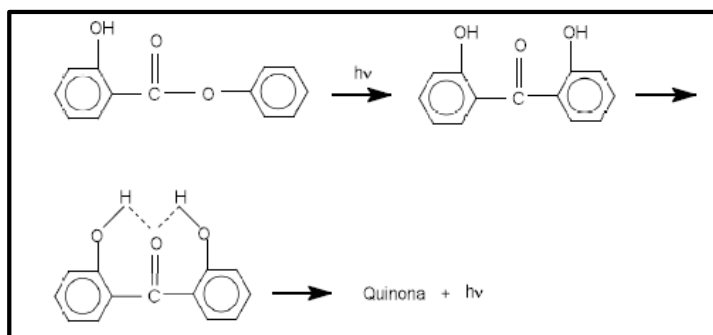


Figura 25-2: Modo de actuación de los estabilizadores de UV

Fuente: (Arellano Díaz, 2003).

2.2.6.5. Estabilizantes térmicos

Suelen utilizarse con polímeros halogenados, como derivados del cloruro de vinilo y de vinilideno, que son muy importantes a nivel comercial, aunque presentan problemas relacionados a su estabilidad térmica durante su fabricación. Muchos de los problemas que suelen presentar algunos polímeros halogenados es que su temperatura de descomposición suele ser menores a las de su temperatura de procesado, de modo que el empleo de este tipo de aditivos es imprescindible. Los de uso más frecuente son los carboxilatos metálicos (R2M) constituyen el grupo más numeroso y homogéneo, y además cubren el mayor número de aplicaciones (Arellano Díaz, 2003, p.72).

2.2.6.6. Lubricantes

Los lubricantes son utilizados para disminuir las fuerzas de fricción y reducir el desgaste de dos cuerpos que rozan entre sí. Dentro de la fabricación de los plásticos, es muy frecuente que sufran problemas de desgaste debido a la fricción excesiva, por ejemplo, entre el polímero fundido y las superficies metálicas de los equipos de transformación, que dificulta el flujo del fundido, dando lugar a efectos no deseados como baja producción o mala calidad superficial del producto fabricado, o durante las operaciones de acabado, como: impresión, envasado y embalaje. Para todos estos problemas, se usan los lubricantes de uso interno (lubrican la capa sólida) y externos (lubrican la capa límite) (Arellano Díaz, 2003, p.73).

2.2.6.7. Cargas

Las cargas se definen como materiales sólidos que se agregan durante la fabricación de plásticos y adhesivos, con objeto de reducir costes. Se utilizan sustancias inorgánicas minerales más sencillas como carbonato de calcio, sulfatos de metales alcalinotérreos, silicatos, sílices y otros

óxidos, hasta negro de humo, microesferas de vidrio o cerámica, entre otras. Entre las cargas orgánicas se encuentran la celulosa, almidón, cáscara de almendra, etc. Las concentraciones de varían de entre 5 y 50 phr (Arellano Díaz, 2003, p.75).

2.2.6.8. Retardantes de llama

El objetivo del uso de estos aditivos es reducir la tendencia a la ignición, actúan de diferentes formas, algunos recubren el área expuesta, por lo que reduce la permeación de oxígeno y de esta forma, la velocidad de las reacciones oxidativas, otros conducen a la formación de altas cantidades de gases incombustibles que disminuirán el suministro de oxígeno por lo que reducirán la velocidad de combustión, y existen otros que disminuyen la temperatura del material, provocando la autoextinción. Los más ocupados son bromuros y cloruros orgánicos, se usan acompañados de óxido de antimonio, compuestos de fósforo y boro (Arellano Díaz, 2003, p.77).

2.2.6.9. Agentes espumantes

Su uso consiste en producir estructuras celulares que contienen gas, que varían las propiedades físicas del producto resultante, propiedades intermedias entre las del sólido y del gas. Son, por ejemplo, pentano, heptano, cloruro de metileno, etc. Los agentes espumantes químicos son sustancias químicas, compatibles o finamente dispersas en el polímero, que se descomponen a la velocidad requerida en un intervalo estrecho de temperatura. Los más importantes comercialmente son azodicarbonamidas, benceno-sulfonil hidracina, azobisbutironitrilo, etc. (Arellano Díaz, 2003, pp.77-78).

2.2.6.10. Modificadores de impacto

Son usados para mejorar la resistencia al impacto, sobre todo cuando se está a bajas temperaturas. Esto se logra mediante el uso de un termoplástico rígido y un elastómero, de forma que el plástico que se obtiene cuenta con un amplio espectro de propiedades equilibradas (Arellano Díaz, 2003, p.78).

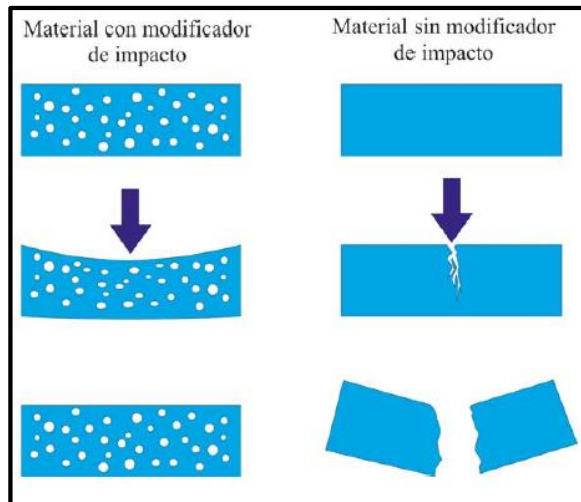


Figura 26-2: Modo de acción de los modificadores de impacto.

Fuente: (Arellano Díaz, 2003).

2.2.6.11. Pigmentos y colorantes

Los pigmentos, son sustancias inorgánicas sólidas inmiscibles y los colorantes son sustancias orgánicas miscibles o relativamente compatibles con el polímero. Las concentraciones empleadas son muy bajas de 0,1 a 0,5 phr. El tamaño de la partícula de los pigmentos debe ser muy fino para que se logre una mayor dispersión posible, generalmente se usa óxido de titanio para el blanco, negro de humo para el negro, diferentes óxidos de hierro para ocres o marrones, cromatos como el de plomo (amarillo) o zinc (verde), entre muchos otros, sin embargo para lograr el color deseado se suele hacer una mezcla de los pigmentos.

Por otro lado, los colorantes proporcionan colores más brillantes, dan acabados translúcidos, se degradan con mayor facilidad y pueden presentar problemas de exudación. Los más usados son ftalocianina (tonos azules), la rodamina (rojos), quinacridona (violeta y magenta), y muchos otros (Arellano Díaz, 2003, p.79).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Diseño de la investigación

La metodología empleada en el presente proyecto está basada en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN NTE 2634:2012 DISPOSICIÓN DE DESECHOS PLÁSTICOS POST-CONSUMO, en la que se establecen los requisitos y pasos para el manejo de los desechos plásticos post-consumo. La Figura 27-3 indica el procedimiento realizado.

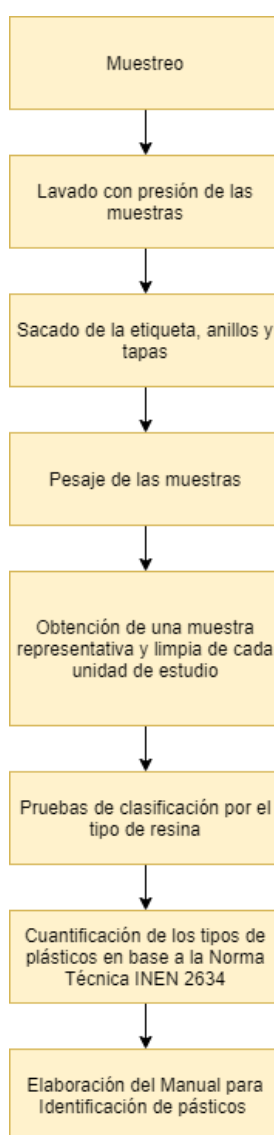


Gráfico 1-4: Procedimiento utilizado

Realizado por: (Moreno, M, 2021).

3.2. Localización del estudio

El relleno sanitario de Porlón se encuentra ubicado en la parroquia Cubijíes, cerca de la comunidad San Gerónimo de Porlón a 6 km de la cabecera cantonal, provincia de Chimborazo, en coordenadas geográficas $1^{\circ} 38' 33''$ de latitud sur y $78^{\circ} 38' 49''$ de longitud oeste en la provincia de Chimborazo, el terreno cuenta con un total de 10 hectáreas de las cuales 4 son utilizadas. Su ubicación estratégica representa una ventaja para la población debido a que se encuentra en una zona lejana de viviendas lo que evita que sea una fuente de dispersión de enfermedades, además es una fuente de generación de empleo para los ciudadanos del área circundante.

El suelo es árido con cubrimiento de pastos cuyo 30% se encuentra erosionado, por esta razón la permeabilidad en esas zonas es media. Además, tiene influencia directa sobre fuentes hídricas del cantón como son el río Chambo, mismo que se junta con el río Guano.

En la actualidad el relleno sanitario de Porlón recibe 168 toneladas diarias de residuos y se espera que sus condiciones mejoren para lograr la implementación de una estación de transferencia.



Figura 27-3: Ubicación del vertedero de basura de la ciudad de Riobamba

Fuente: (Google Earth, 2021).

3.3. Población de estudio

La población de estudio fueron los plásticos destinados a reciclaje que llegan al vertedero de basura de la ciudad de Riobamba. Puesto que en el vertedero de basura los minadores separan los plásticos dependiendo si este es soplado, duro o blando, se recolectó una muestra diaria de cada categoría. Cada producto plástico se consideró como una unidad de muestra o estudio.

3.4. Tamaño de la muestra

Se recolectaron 0,5 kg/diarios de plástico duro, 0,5 kg/día de plástico blando y 0,5 kg/día de plástico soplado, durante 10 días de cada mes. El muestreo se lo realizó durante los 10 primeros días del mes de marzo, los 10 días intermedios del mes de junio y los 10 últimos días del mes de julio del año 2021. Al final se contó con una muestra total de 45 kg de plásticos.

3.5. Método de muestreo

El método de muestreo que se empleó fue el no probabilístico, puesto que la definición del número de muestras y su frecuencia no se realizó en base a alguna normativa o técnica estandarizada, sino considerando la experiencia del director del proyecto.

3.6. Muestreo

Las muestras fueron recolectadas del vertedero de basura de la ciudad de Riobamba, 3 categorías fueron muestreadas, plástico duro, plástico blando y PET.

3.7. Lavado de las muestras

El lavado de las muestras se lo realizó a presión en el “Lavador Industrial” del laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ciencias, para optimizar el proceso y asegurar una limpieza profunda se le agregó sosa caustica, que funcionó con excelencia.

3.8. Secado

Para realizar la caracterización fue importante que las muestras estén completamente secas, puesto que la presencia de líquidos o residuos puede influir en los resultados de las pruebas a realizar, por lo que se dejaron secar todas las muestras durante 7 días en la intemperie.

3.9. Pesaje

Durante este paso, se pesó cada componente de los productos debido a que estos suelen poseer diferentes tipos de polímeros, es decir, las etiquetas, tapas, anillos y envases generalmente no son del mismo tipo de resina por su aplicación; por lo tanto, para el pesaje fueron separados y pesados.

3.10. Obtención de las muestras representativas

Para la obtención de las muestras representativas de cada plástico se cortaron láminas de 1x1 cm de cada objeto a identificar, tanto de los envases, tapas, anillos, etiquetas.

3.11. Pruebas de caracterización

Las muestras analizadas tenían las siguientes características:

- Sólidas y compactas.
- Tamaño representativo.
- Sin residuos de otras sustancias.

3.11.1. Separación manual

Para el primer filtro en la identificación de los tipos de plásticos se hizo uso de la codificación establecida por la SPI, de forma manual, mientras que para aquellos que no contaban con la misma se les aplicaron los métodos de caracterización para confirmar su polímero. Es importante recalcar que la cantidad de residuos que no contienen el código de identificación son mínimos, por lo tanto, estos fueron sometidos a los métodos de caracterización.

3.11.2. Método de separación de densidades

Para esta prueba se utilizaron las muestras que no tenían el código de identificación. Como se mencionó anteriormente se separaron los componentes de cada residuo plástico, en este sentido la prueba de densidad de las etiquetas se lo hizo separándolas en considerando la marca del producto; con respecto a los anillos y tapas fueron separados considerando su color; para los envases las pruebas fueron realizadas a todas las muestras que no tenían la codificación. Las siguientes pruebas se realizaron tomando en cuenta los mismos aspectos mencionados en este punto.

3.11.2.1. Materiales

- Varilla de agitación
- Vasos de precipitación
- Gradilla
- Lámpara de alcohol

- Espátula
- Tapones
- Caja de fósforos

3.11.2.2. Reactivos

- Alcohol industrial
- Agua destilada
- Acetona
- Ácido Sulfúrico

3.11.2.3. Procedimiento

- Limpiar completamente los tubos de ensayo y la varilla de agitación.
- Ingresar 2 mL de agua destilada en el vaso de precipitación, conjuntamente con el plástico
- Con la ayuda de la varilla de agitación, sumergir completamente la muestra para evitar la formación de burbujas de aire.
- Registrar el fenómeno presentado. ¿Flota o no Flota?
- Para la el test de Beilstein, colocar un poco de alcohol industrial en la lámpara de alcohol, verificar que este bien cerrada y encender la llama.
- Calentar el plástico en la lámpara de alcohol hasta derretir una ínfima muestra de plástico.
- Una vez adherido el cable caliente sobre el plástico, llevar nuevamente todo el sistema a la llama para verificar algún cambio de color.
- Evidenciar y registrar el fenómeno presenciado.

3.11.3. Método de reacción a la llama

Esta prueba se la realiza conjuntamente con la de separación por densidades. En este método se trabajó con las muestras de la misma manera que en el ensayo anterior, para ello, se hizo uso de un Mechero de Bunsen y se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

- Cantidad y color del humo
- Color de la llama
- Olor de la llama

3.11.4. Prueba con el espectrofotómetro de infrarrojo

La prueba con el espectrofotómetro se lo realizó, de misma forma, con las muestras obtenidas de cada producto plástico, de todos los componentes, con el objetivo de identificar los aditivos presentes.

3.11.4.1. Materiales

- Espátula
- Algodón
- Brocha

3.11.4.2. Reactivos

- Muestra de plástico
- Alcohol

3.11.4.3. Equipos

- Espectrofotómetro infrarrojo JASCO FT/IR 4100

3.11.4.4. Procedimiento

- Prender el equipo en el “switch Power”
- Iniciar el barrido, para lo cual se debe ejecutar el software “Spectra Manager”
- Limpiar con un poco de algodón, una brocha y alcohol el área de muestra.
- Realizar el background si se evidencia una ausencia de alguna sustancia en el área de muestra, posteriormente se cierra la tapa del equipo y presionar el botón “Start”
- Ejecutar un barrido espectral, para lo cual se coloca la muestra sobre el cristal del área de muestra, se quita el seguro y se tira hacia adelante el tornillo de ajuste, se debe verificar que el tornillo este cerrado completamente y se cierra la tapa. Se hace click en “Start”.
- Corregir las escalas de dióxido de carbono.
- Identificar aquellos los picos más relevantes. Señalar líneas auxiliares.
- Proceder a guardar el espectro obtenido como un archivo del programa empleado, así como en Microsoft Word.
- En caso de ser necesario se repite el procedimiento.

- Cerrar todos los programas; se debe desconectar y apagar el ordenador de ambos switch.

3.12. Cuantificación

La cuantificación de los tipos de plásticos se lo realizó mediante la estadística descriptiva, con las medidas de tendencia central, como porcentaje, debido a que, en primer lugar, las cantidades de plástico se las presentó en porcentajes en base a la masa total y en los resultados finales se cuantificará cada tipo de plástico en función al porcentaje de plástico que produce Riobamba según datos bibliográficos. Los datos fueron tabulados y analizados mediante el software Microsoft Excel.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Visita al vertedero de basura de Riobamba

Durante la visita técnica que se dio al vertedero de Riobamba, se constató que se generan y almacenan todo tipo de basura, a la cual no se le da tratamiento, sino separación por parte de los minadores y posteriormente es acumulada en la celda emergente.

En el vertedero se recuperan 11 Ton/diarias de plástico que son separados por los minadores y luego vendidas a las recicladoras de la ciudad, mismos que lo revenden a otras ciudades del país puesto que no se cuenta con la maquinaria necesaria para su procesamiento.

La Tabla 16-4 resume una clasificación de los residuos que receipta el vertedero de Riobamba.

Tabla 16-4: Tipos de residuos del vertedero de basura de la ciudad de Riobamba

Común	Todo lo que viene de los contenedores y basura mezclada
Podas	Césped, champa, ramas, hierbas, etc.
Orgánico	Provenientes de mercados, basura de cocina, restaurantes, etc.
Escombros	Ladrillos, bloques, cerámica, madera.
Madera	Tablas, aserrín, MDF, etc.
Restos camal	Huesos, vísceras, etc.
Tierra	Tierra, arena, arcilla.
Vidrio	Parabrisas, botellas, etc.
Fibra	Guardachoques, mascarillas, etc.
Chatarra	Metal, latas, etc.
Cartón	Cartones, papel blanco.
Plástico	Botellas plásticas, plástico duro, fundas plásticas.

Fuente: (Personal del vertedero de basura de Riobamba, 2021).

Elaborado por: (Moreno, M, 2021).

Con respecto a la categoría de plásticos, los minadores cuentan con una clasificación interna:

- Plástico duro: son aquellos plásticos cuya resistencia es alta en la intemperie.

- Plástico blando: tiene un alto potencial de compactación, corresponde a films, botellas de refrescos.
- PET: botellas de refrescos, generalmente transparentes.

4.2. Separación manual de los plásticos

Al finalizar el muestreo del plástico se obtuvieron 45 kg de muestra, se logró recolectar 15 kg de plástico duro, 15 kg de plástico blando y 15 kg de PET. Como se mencionó anteriormente, la separación de estos se hizo con base la Norma INEN 2634, por lo que se separaron manualmente los plásticos que contenían la codificación. Los resultados están en la (Tabla 17-4).

Tabla 17-4: Porcentaje de plástico con y sin codificación.

Estado	Cantidad (kg)	Porcentaje
Codificado	26,77	59,48%
Sin codificación	18,23	40,51%

Elaborado por: (Moreno, M, 2021).

Dentro del 59% de plástico codificado se encontraron los resultados expuestos en la (Tabla 18-4) y Gráfico 2-4.

Tabla 18-4: Peso de los tipos de plásticos con codificación.

Polímero	Cantidad (kg)
PET	7,3
HDPE	6,07
LDPE	4,1
PP	5,1
PS	2,1
Otros	2,1

Elaborado por: (Moreno, M, 2021).

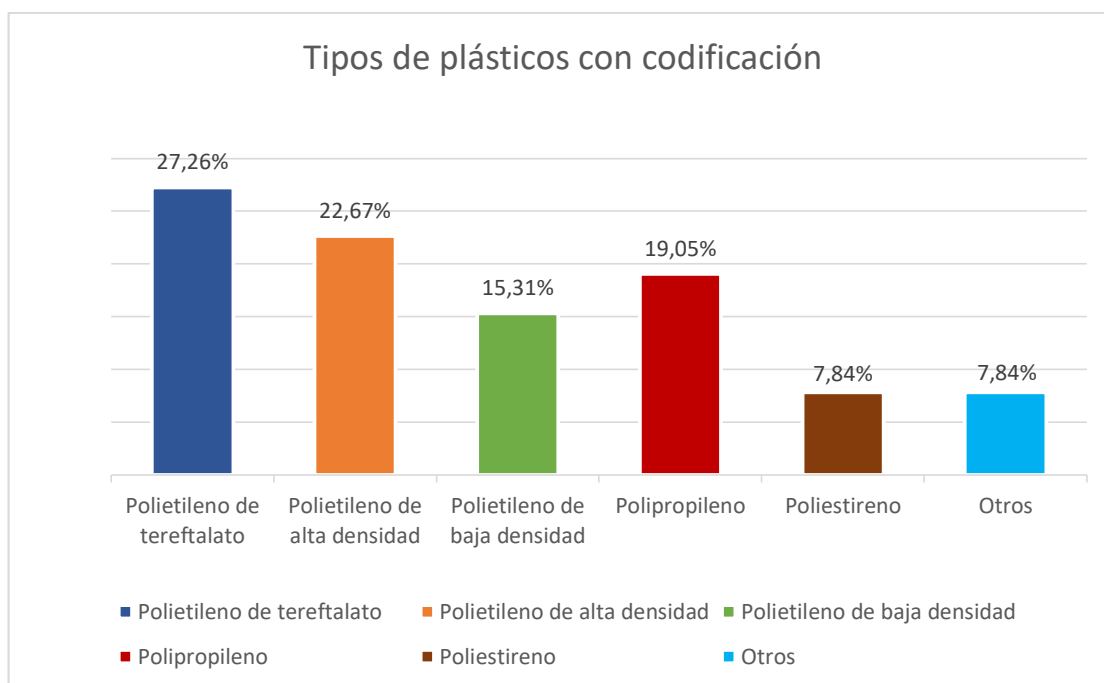


Gráfico 2-4: Porcentaje de tipos de plástico con codificación

Elaborado por: (Moreno, M, 2021).

La mayoría de los residuos sólidos muestreados fueron de origen domiciliarios, debido a que existen un amplio campo de aplicación, tanto en el embalaje como el envasado. En la Tabla 19-4 se muestran algunos ejemplos de los residuos sólidos que se encontraron al finalizar el muestreo, cuya codificación estaba en el envase del producto.

Tabla 19-4: Tipos de residuos muestreados

Polímero	Uso
PET	Botellas de bebidas, envases de jabón líquido, aceites, radiografías etc.
HDPE	Envases de champú, envases de yogurt, baldes de pintura, etc.
LDPE	Films que sirven de embalaje.
PP	Film para alimentos, tapas y envases de comida (táperes), envases uso en microondas.
PS	Platos, cubiertos descartables, envases pequeños de yogurt.
OTROS	Sachet de diferentes productos de limpieza.

Elaborado por: (Moreno, M, 2021).

Los residuos sólidos sin codificación que se encontraron fueron: film de embalaje, juguetes, envases de insumos de limpieza (champú), envases de alimentos (vinagre y postres), utensilios

de cocina, envases de productos nutricionales, artículos y envases de belleza (labiales, cremas, bloqueadores, etc.), artículos para autos.

4.3. Prueba de separación de densidades

4.3.1. Envases

Los envases sin codificación pesaron 14 kilogramos de los residuos muestreados. Los resultados de estas pruebas se observan en la Tabla 20-4.

Tabla 20-4: Cantidad de envases sin codificación

Polímero	Cantidad (kg)
PET	3,4
HDPE	2,26
LDPE	2,17
PP	0,91
PS	3,70
Otros	1,56

Elaborado por: (Moreno, M, 2021).

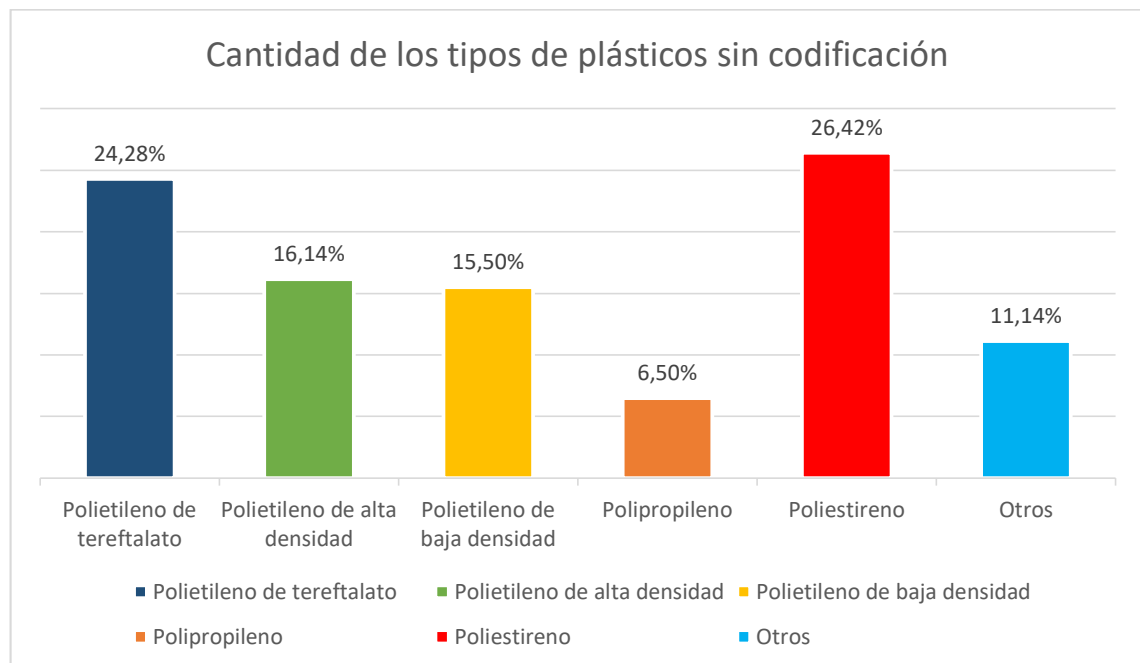


Gráfico 3-4: Porcentaje de tipos de plástico sin codificación

Elaborado por: (Moreno, M, 2021).

4.3.2. Etiquetas

Del total de residuos sólidos muestreados, 0,95 kilogramos fueron etiquetas de los productos desechados. Las etiquetas que se encontraron fueron en su mayoría de bebidas gaseosas, bebidas lácteas, etiquetas de productos de limpieza, de uso personal, etc.

Tabla 21-4: Cantidad de etiquetas sin codificación

Compañía	Cantidad (kg)	Porcentaje en la muestra total de residuos (%)
Gatorade	0,12	0,26
Pepsi	0,15	0,33
Frutaris	0,11	0,24
Agua	0,18	0,4
Coca Cola	0,26	0,57
Yogurt	0,13	0,29

Elaborado por: (Moreno, M, 2021).

Una vez realizados los ensayos para caracterizar las muestras de las etiquetas, se obtuvieron los resultados de la Tabla 22-4. Las etiquetas corresponden al 2,11% de los plásticos muestreados.

Tabla 22-4: Resultados de las pruebas de densidad para etiquetas

Compañía	Polímero
Gatorade	Poliestireno
Pepsi	Polietileno de alta densidad
Frutaris	Polietileno de baja densidad
Agua	Polietileno de alta densidad
Coca Cola	Polipropileno
Yogurt	Polipropileno

Elaborado por: (Moreno, M, 2021).

4.3.3. Tapas

La cantidad de tapas recolectadas en total fue de 2,22 kg y el análisis del tipo de plástico de se realizó con base a la separación de éstas por su color (Tabla 23-4).

Tabla 23-4: Cantidad de tapas sin codificación

Color	Cantidad (kg)	Porcentaje en la muestra total de residuos (%)
Negra	0,14	0,31
Azul	0,56	1,24
Transparente	0,49	1,08
Blanca	0,29	0,64
Naranja	0,15	0,33
Roja	0,59	1,31

Elaborado por: (Moreno, M, 2021).

Una vez realizado los ensayos para caracterizar las muestras de las tapas, se obtuvo que el material al que corresponde es polipropileno. Las tapas corresponden al 4,93% de los plásticos muestreados.

4.3.4. De los anillos

La cantidad de anillos recolectados en total fue 1,06 kg y su caracterización se realizó con base al color (Tabla 24-4).

Tabla 24-4: Cantidad de anillos sin codificación

Color	Cantidad (kg)	Porcentaje en la muestra total de residuos (%)
Naranja	0,11	0,24
Verde	0,08	0,17
Amarillo	0,06	0,13
Negro	0,12	0,26
Azul	0,15	0,33
Rojo	0,25	0,55
Transparente	0,19	0,42
Celestes	0,1	0,22

Elaborado por: (Moreno, M, 2021).

Una vez realizado los ensayos para caracterizar las muestras de los anillos, se concluyó que corresponden a Polietileno de alta densidad. Los anillos representan el 2,35% de los plásticos muestreados.

4.4. De las pruebas de espectrofotetría

Las pruebas de espectrofotetría se realizaron a las muestras cuya resina era muy compleja de identificar. Los espectros presentados a continuación fueron los más representativos de las muestras analizadas.

4.4.1. Muestra representativa de Polipropileno

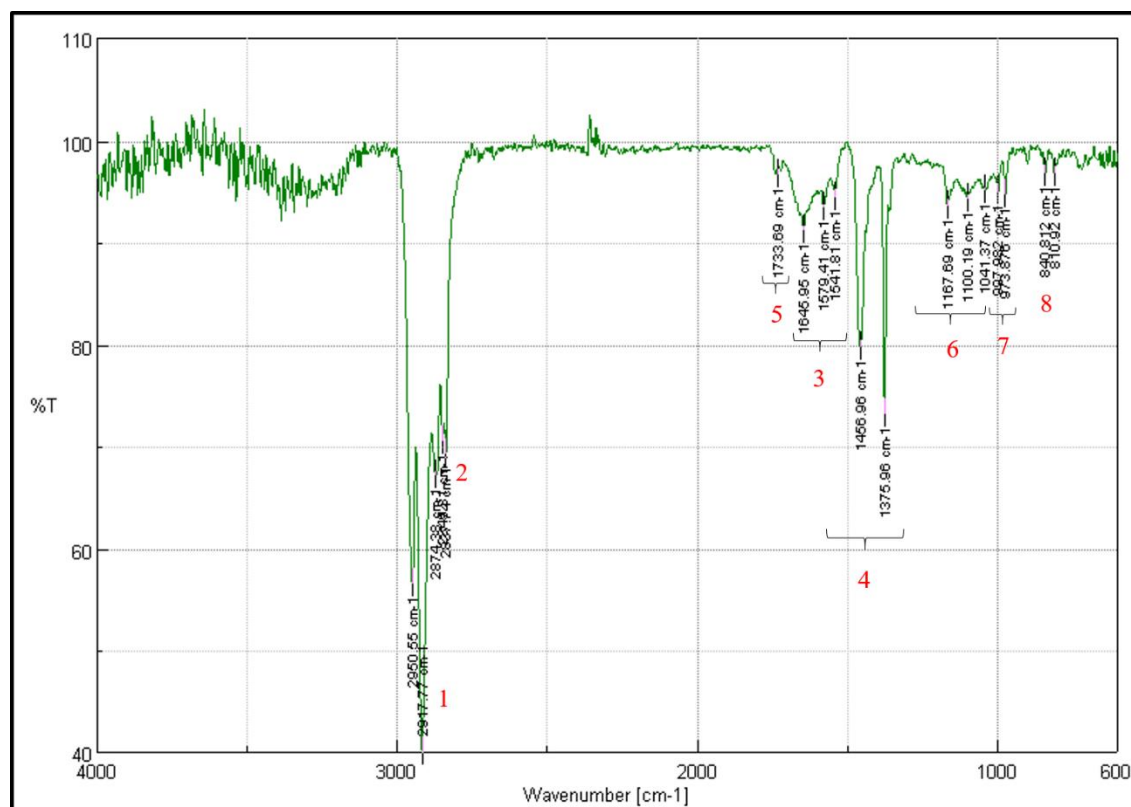


Gráfico 4-4: Espectro de la muestra de Polipropileno

Realizado por: (Moreno, M, 2021).

Tabla 25-4: Identificación de picos del espectro de la muestra de Polipropileno

Zona	Fragmentos	Espectro	
		Número de onda (cm^{-1})	Transmitancia %
1	Grupo (C-H)	2950.55	56.658
		2917.77	40.1289

2	Grupo -CH ₂ -	2837.74	69.2882
3	Grupo Metilo -CH ₃ -	1579.41	93.4698
		1645.95	91.2697
		1541.81	94.4639
4	Grupo C-C	1375.96	73.2318
		1456.96	79.7512
5	Grupo C=O	1733.69	96.6988
6	Grupo Metilo -CH ₃ -	1167.69	93.6858
		1100.19	94.3157
		1041.37	95.2061
7	Grupo C-O-C	997.982	94.9911
		973.876	94.7663

Realizado por: (Moreno, M, 2021).

Análisis: En el espectro del Gráfico 4-4 se pudo observar picos muy representativos en la **Zona 1** a una longitud de onda de $2917.77 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$ que corresponde a los movimientos de tensión de los enlaces (C-H), en la **Zona 4** hay movimientos de tensión C-C entre una longitud de $1375.96 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$ y $1456.96 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$, en la **Zona 6** se observó la presencia de un movimiento de flexión del grupo metilo -CH₃- entre $1041.37 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$ y $1167.69 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$, señales que corresponden al espectro del **Polipropileno**. Las **Zonas 2 y 3** representan movimientos vibracionales propios del Polipropileno.

Sin embargo, en el espectro se observaron otras zonas que no corresponden a dicho compuesto, tanto las **Zonas 5 y 7** tiene picos a $1733.69 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$ y $997.982 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$, correspondieron a C=O y C-O-C, respectivamente, estos movimientos indican la presencia de anhídrido maleico como agente modificador de injerto del polipropileno (Gonzalez-Canche et al., 2018, p.3).

Según Robles y otros en su estudio reportan que, en las bandas de $1760 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$ y $1860 \text{ (cm}^{-1}\text{)}$ se observan picos asociados a estiramiento asimétrico y simétrico, respectivamente, del carbonilo, movimientos que indican la presencia del anhídrido maleico. Este aditivo utilizado ampliamente en el área de proceso de polímeros brinda grandes beneficios (Robles Olivares et al., 2008, p.6).

4.4.2. Muestra representativa de Poliestireno

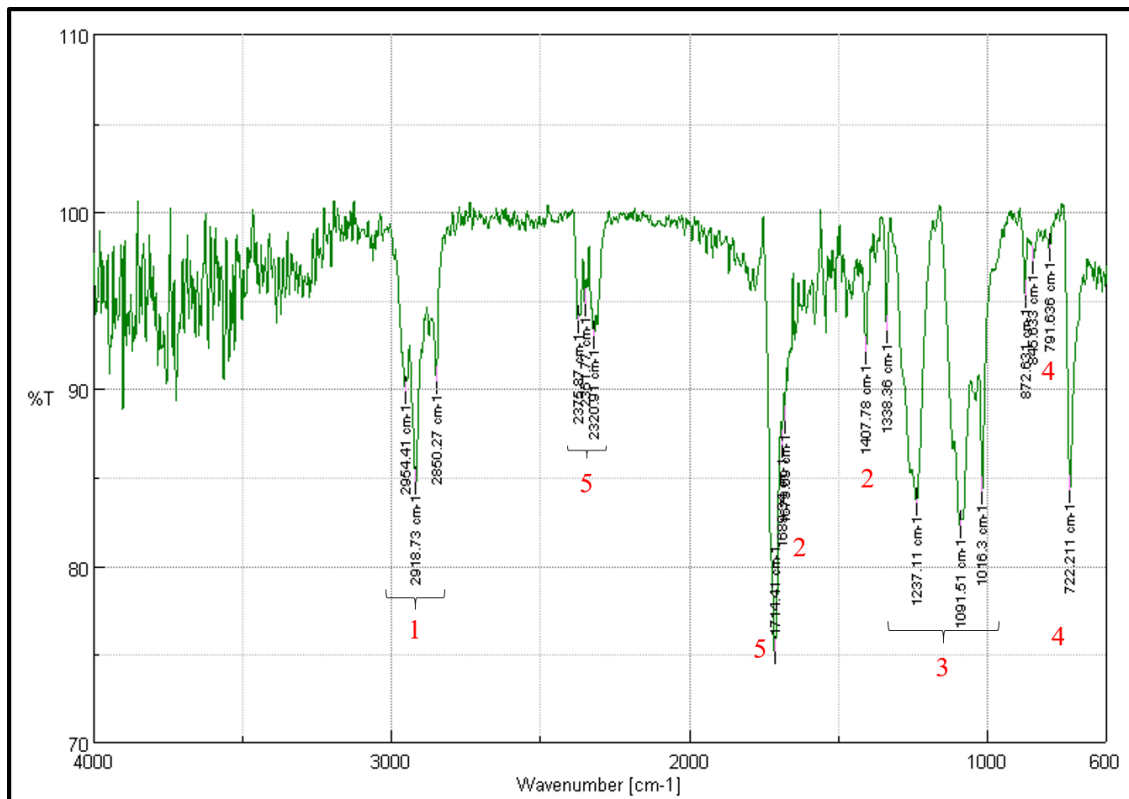


Gráfico 5-4: Espectro de la muestra de Poliestireno

Realizado por: (Moreno, M, 2021).

Tabla 26-4: Identificación de picos del espectro de Poliestireno

Zona	Fragmentos	Espectro	
		Número de onda (cm^{-1})	Transmitancia %
1	Grupo (C-H)	2954.41	89.8655
		2918.73	84.7822
		2850.27	90.4092
2	Anillo aromático C=C	1689.34	86.8229
		1679.69	88.2261
		1407.78	92.1456
3	Grupo (C-H)	1237.11	83.5463
		1091.51	82.3119
		1016.3	84.2342
4	Grupo (C-H)	791.636	97.9446
		722.211	84.2979
5	Grupo Nitrilo C≡N	2375.87	93.8635
		2351.77	94.8604

		2320.91	92.9908
		872.631	95.298
		845.633	97.2581

Realizado por: (Moreno, M, 2021).

Análisis: En el espectro del Gráfico 5-4, se pudo observar bandas muy marcadas, en la **Zona 1** de 2850.27 a 2954.41 cm^{-1} se observaron movimientos debido a la absorción de vibración por estiramiento C-H aromático, además representan la presencia de impurezas dentro de la muestra, en la **Zona 2** de 1407.78 a 1689.34 cm^{-1} también se encontró movimientos debido a la absorción de vibración por estiramiento C=C aromático, los cuales evidencian la existencia de un anillo de benceno, los picos de la **Zona 3** de 1016.3 a 1237.11 corresponden a la vibración de deformación aromática C-H, en la **Zona 4** los picos de 722.211 a 791.636 cm^{-1} corresponden a la absorción de vibración por flexión fuera del plano de los enlaces de C-H, mismos que indican que solo hay un sustituyente en el anillo de benceno. Los grupos funcionales encontrados demuestran que este espectro corresponde al **Poliestireno**, lo que también lo confirma la literatura revisada (Ashraf, 2014; Fang, Xuan y Li, 2010, p.16).

En el espectro se pudo observar picos no propios del compuesto, mismos que corresponden a sustituyentes adicionales, con el objetivo de mejorar las propiedades se les añade aditivos, estabilizantes, colorantes etc., esto se debe a que en el mercado existen plásticos comerciales que se presentan tanto como homopolímeros y copolímeros; en este sentido el espectro sugiere la presencia de compuestos nitrogenados en la **Zona 5**, se puede inferir que estos movimientos pertenecen a la categoría de acrilonitrilos, puesto que son las sustancias más comúnmente utilizadas en la elaboración de plásticos como estabilizadores de radiación UV, según Beltrán y Marcilla (Beltrán y Marcilla, 2012, p.71). Este enunciado se lo confirma considerando el espectro de una muestra de acrilonitrilo en el que tiene picos muy marcados en las zonas de 2375.87 y 1679.69 cm^{-1} , cuyos valores son muy semejantes a los obtenidos en el espectro del Poliestireno analizado (Chakraborty et al., 2007, p.3).

4.4.3. Muestra representativa de Polietileno de baja densidad

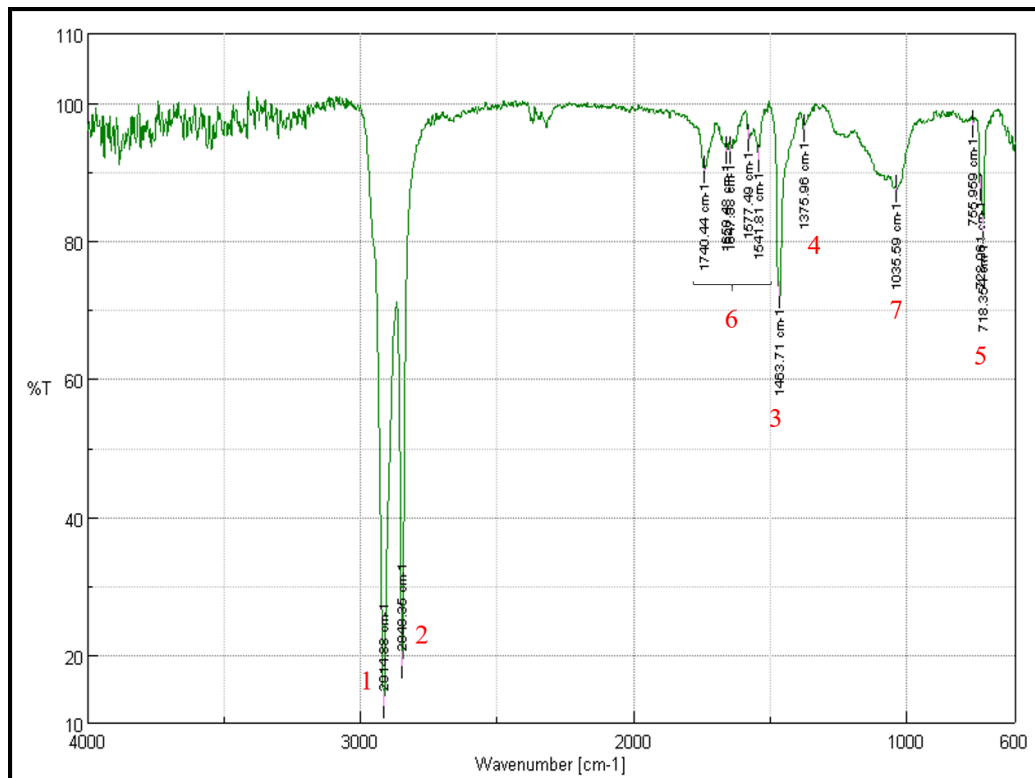


Gráfico 6-4: Espectro de la muestra de Polietileno de baja densidad

Realizado por: (Moreno, M, 2021).

Tabla 27-4: Identificación de picos del espectro de la muestra de Polietileno de baja densidad

Zona	Fragmentos	Espectro	
		Número de onda (cm^{-1})	Transmitancia %
1	Estiramientos simétricos de los enlaces C-H	2914.88	12.6456
2	Estiramientos simétricos de los enlaces C-H	2848.35	18.3977
3	Flexión de los enlaces CH ₂	1463.71	71.9786
4	Enlaces CH ₃	1375.96	96.153
5	Balaneo de los enlaces CH ₂	728.961	87.6219
6	Balaneo de los enlaces CH ₂	718.354	81.4118
7	Sustituyentes adicionales	1740.44	90.2078
		1658.48	93.1023
		1647.88	93.0911
		1577.49	94.8177
		1541.81	91.884
8	Sustituyentes adicionales	1035.59	87.4951

Realizado por: (Moreno, M, 2021).

Análisis: En el espectro del Gráfico 6-4, se observó en primer lugar la **Zona 1 y 2** a 2914.88 cm^{-1} y 2848.35 cm^{-1} , respectivamente, que corresponden a los movimientos de tensión de los enlaces (C-H), en la **Zona 3** se observaron movimientos de estiramiento del enlace CH_3 a 1463.71 cm^{-1} que corresponden a las vibraciones de los enlaces del grupo CH_2 , en la **Zona 4** se observaron movimientos en 1375.96 cm^{-1} que pertenecen a los enlaces del CH_3 , en la **Zona 5 y 6** se encontró movimientos de balanceo a las longitudes de 728.961 cm^{-1} y 718.354 cm^{-1} que corresponden a los enlaces de CH_2 . Por los picos representativos que se encontraron se deduce que el compuesto analizado corresponde a un **Polietileno**, sin embargo, se debe responder si es Polietileno de alta densidad o de baja densidad.

Según Jung reportó que la única diferencia de los espectros de LDPE Y HDPE corresponde al pico de 1377 cm^{-1} que representa a los movimientos de flexión por parte de un grupo CH_3 , mismo que está ausente en el espectro del HDPE (Jung et al., 2018, p.2). Por su parte explicó que los polímeros de LDPE se diferencian por el grado de ramificación con HDPE, siendo una cadena de Polietileno lineal con ramificación mínima, y el LDPE tiene ramificaciones de polietileno largas que representan una parte significativa de la longitud total de la cadena (Williams y Wilcock, 1997, p.76).

Con base a lo antes expuesto, se deduce que el compuesto al que corresponde el espectro es **Polietileno de baja densidad**.

Con respecto a las **Zonas 7 y 8**, según Maléchaux en 2021 en su investigación Estudio del efecto de los aditivos en plásticos por espectroscopia de infrarrojo, reportan que el aditivo PS802 tiene bandas a (1714 cm^{-1} , 1263 cm^{-1} y 1188 cm^{-1}), valores que se aproximan mucho a los picos de estas zonas (Maléchaux et al., 2021, p.12).

4.4.4. Muestra representativa de Polietileno de alta densidad

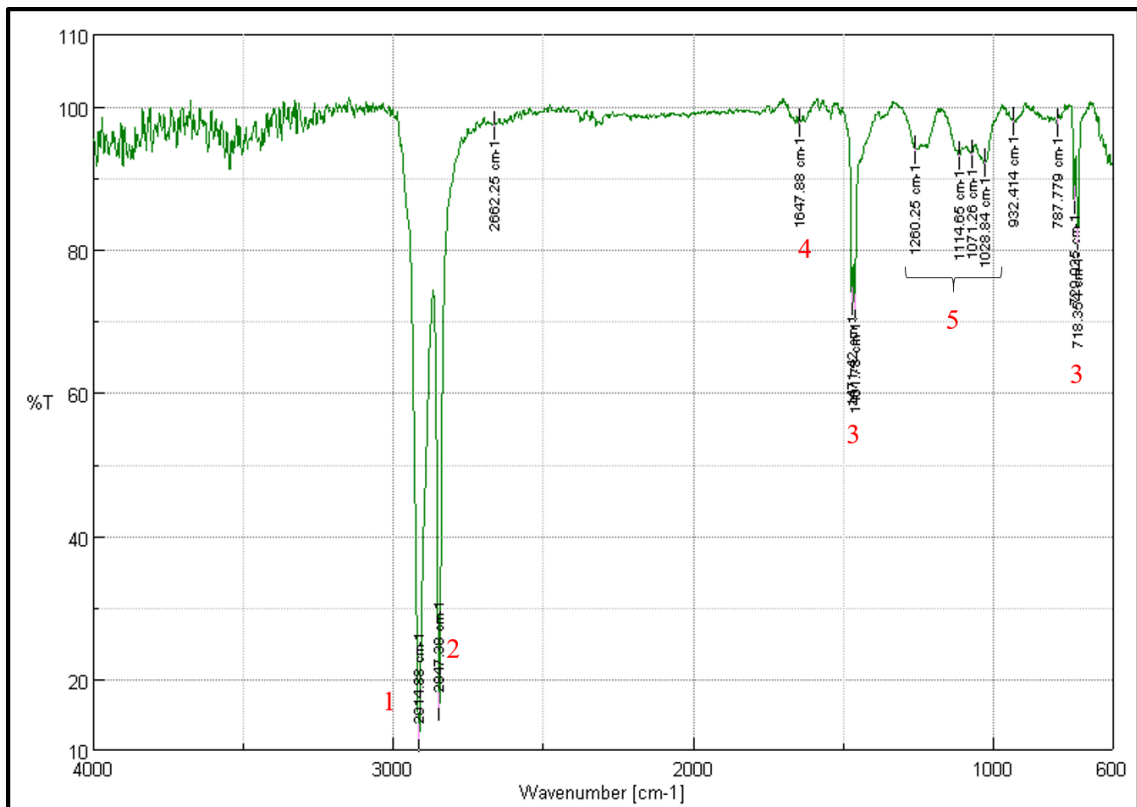


Gráfico 7-4: Espectro de la muestra de Polietileno de alta densidad

Realizado por: (Moreno, M, 2021).

Tabla 28-4: Identificación de picos del espectro de la muestra de Polietileno de alta densidad

Zona	Fragmentos	Espectro	
		Número de onda (cm^{-1})	Transmitancia %
1	Estiramientos simétricos de los enlaces C-H	2914.88	11.6521
2	Estiramientos simétricos de los enlaces C-H	2847.38	15.9954
3	Balanceo de los enlaces CH_2	729.925	86.9192
		718.354	80.8859
4	Flexión de los enlaces CH_2	1647.88	97.6242
5	Estiramiento de los enlaces de C-O	1260.25	93.9107
		1114.65	93.051
		1071.26	93.2451
		1028.84	92.0985

Realizado por: (Moreno, M, 2021).

Análisis: En el espectro del Gráfico 7-4, se identificaron diferentes bandas de vibración molecular, la **Zona 1** se encontró a la longitud de 2914.88 cm^{-1} debido a los movimientos de los enlaces del (C-H), la **Zona 2** presentaron movimientos en 2847.38 cm^{-1} debido a los enlaces del (C-H), la **Zona 3** se encuentra a la longitud de 729.925 cm^{-1} y 718.354 cm^{-1} por los enlaces de $-\text{CH}_2-$, picos característicos del **Polietileno de alta densidad**.

Reporta Jiang (2019) que el HDPE es de fácil degradación y eventualmente ocurre el fenómeno del envejecimiento bajo la exposición de radiación ultravioleta (UV), alta temperatura y contacto con oxígeno, lo que provoca la disminución de su vida útil, así como algunas condiciones ambientales serias que causan problemas para el reciclado de estos plásticos (Jiang et al., 2019, p.2). Por lo tanto, durante el proceso de fabricación del Polietileno de alta densidad se le añaden aditivos como antioxidantes fenólicos y fosfolípidos. Partiendo de esta premisa y considerando que, el fenol contiene un grupo funcional alcohol cuyos movimientos vibracionales se encuentran de 1320 a 1000 cm^{-1} , se puede inferir que la presencia de los picos de la **Zonas 5**, de 1260.25 cm^{-1} a 1028.84 cm^{-1} , corresponde a este compuesto (antioxidante fenólico).

4.4.5. Muestra representativa de Polietilen tereftalato

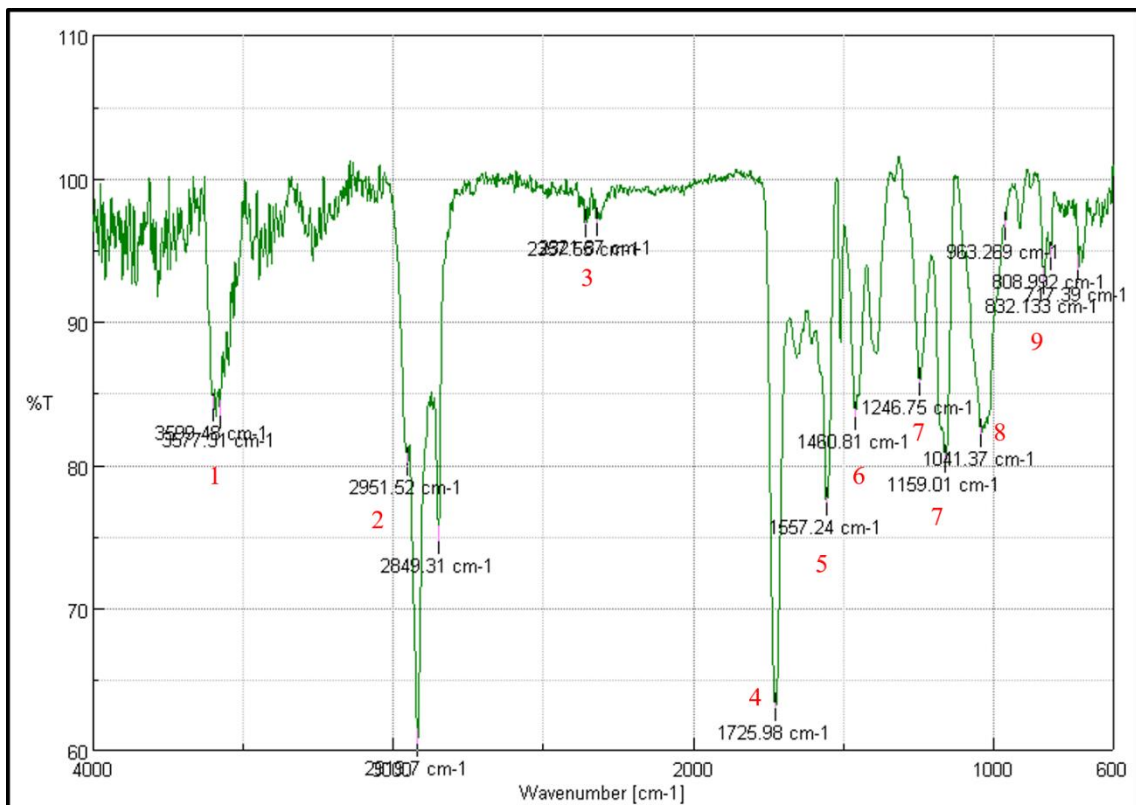


Gráfico 8-4: Espectro de la muestra sin identificación 9

Realizado por: (Moreno, M, 2021).

Tabla 29-4: Identificación de picos del espectro de Polietilen tereftalato

Zona	Fragmentos	Espectro	
		Número de onda (cm^{-1})	Transmitancia %
1	Grupo Hidroxilo (OH)	3599.48	83.9096
		3577.31	83.485
2	Estiramiento simétrico C-H	2951.52	80.1405
		2919.7	60.519
		2849.31	74.6209
3	Deformación simétrica axial de CO ₂ .	2357.55	96.8724
		2321.87	96.8811
4	Estiramiento de C = O del grupo ácido carboxílico	1725.98	63.0436
5	Vibraciones del anillo aromático con estiramiento de C=C.	1557.24	77.3905
6	Estiramiento de la deformación del grupo C-O del grupo O-H y modos vibratorios de flexión y meneo del segmento de etilenglicol.	1460.81	83.3582
7	Grupo tereftalato ((OCC ₆ H ₄ -COO))	1246.75	85.7116
		1159.01	80.368
8	Grupo metileno y vibraciones del enlace éster C-O	1041.37	82.1181
9	Anillos aromáticos	963.269	96.6292
		832.133	92.8733
		808.992	94.5666
10	Interacción de grupos éster polares y anillos de benceno	717.39	93.5881

Realizado por: (Moreno, M, 2021).

Análisis: En el espectro del Gráfico 8-4, se pudo observar diferentes picos, la **Zona 1** se tuvo picos a 3577.31 cm^{-1} movimiento que pertenece al grupo hidroxilo, en la **Zona 2** se observaron estiramientos simétricos de los enlaces C-H, en la **Zona 3** se encontraron movimientos simétricos axiales por la deformación de CO₂, en la **Zona 4** a 1725.98 cm^{-1} se encontraron movimientos de estiramiento de C=O del grupo ácido carboxílico, en la **Zona 5** 1557.24 cm^{-1} se observan vibraciones del anillo aromático con estiramiento de C=C, en la **Zona 6** a 1460.81 cm^{-1} se observó estiramiento de la deformación del grupo C-O del grupo O-H y modos vibratorios de flexión y meneo del segmento de etilenglicol, la **Zona 7** es muy interesante de analizar, puesto que a 1246.75 y 1159.01 cm^{-1} se observó los movimientos vibratorios del Grupo tereftalato (OCC₆H₄-COO) (Silva et al., 2019, p.4)., pico que da una idea de qué compuesto se trata, en la **Zona 8** se observaron vibraciones del grupo metileno y vibraciones del enlace éster C-O, en la **Zona 9**

se pudieron observar movimientos de los enlaces del anillo aromático y finalmente en la **Zona 10** existen movimientos por la interacción de grupos éster polares y anillos de benceno; todos estos picos según Dos Santos Pereira en el 2017 corresponden al compuesto de **Polietileno de tereftalato** (Dos Santos Pereira et al., 2017, p.3).

En otros estudios del Polietileno de tereftalato se han reportado que este compuesto presenta los mismos picos a las longitudes de onda descritas en el párrafo anterior (Miyake, 1959; Liang y Krimm, 1959, p.11).

4.4.6. Muestra representativa de Polietileno de alta densidad

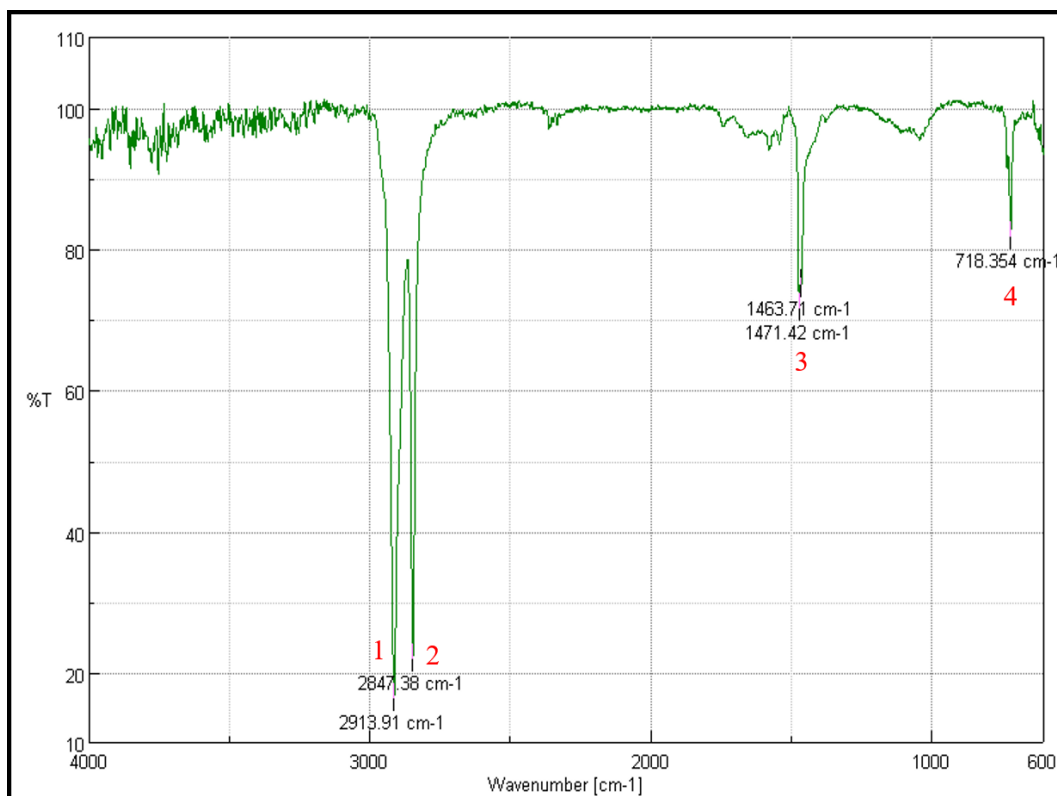


Gráfico 9-4: Espectro de la muestra de Polietileno de alta densidad

Realizado por: (Moreno, M, 2021).

Tabla 30-4: Identificación de picos del espectro de la muestra de Polietileno de alta densidad

Zona	Fragmentos	Espectro	
		Número de onda (cm^{-1})	Transmitancia %
1	Grupo (C-H)	2913.91	16.4337
2	Grupo (C-H)	2847.38	21.911
3	Grupo -CH ₂ -	1471.42	71.7239

		1463.71	74.9973
4	Grupo -CH ₂ -	718.354	81.7798

Realizado por: (Moreno, M, 2021).

Análisis: En el espectro del Gráfico 9-4, se identificaron 5 zonas, la **Zona 1** se encuentra a la longitud de 2913.91 cm^{-1} debido a los movimientos de los enlaces del (C-H), la **Zona 2** presentó movimientos en 2913.91 cm^{-1} debido a los enlaces del (C-H), la **Zona 3 y 4** se encontraron a la longitud de 1463.71 cm^{-1} y 718.354 cm^{-1} por los enlaces de -CH₂-, picos característicos del **Polietileno**.

En base a los análisis realizados con anterioridad, en el que se mencionó que la diferencia de los espectros del HDPE y del LDPE, es el pico de 1377 cm^{-1} , por lo tanto, el espectro en cuestión corresponde al **Polietileno de alta densidad**.

Es importante mencionar que, no todos los plásticos contienen aditivos, por ejemplo, un producto plástico que está diseñado para estar en el interior sin directo con el sol, no suele necesitar un aditivo para plástico resistente a los rayos ultravioleta o filtro UV, en este sentido según el espectro, que en comparación a otros analizados está “limpio”, esta muestra de Polietileno no contiene aditivos.

4.4.7. Muestra representativa de Policarbonato

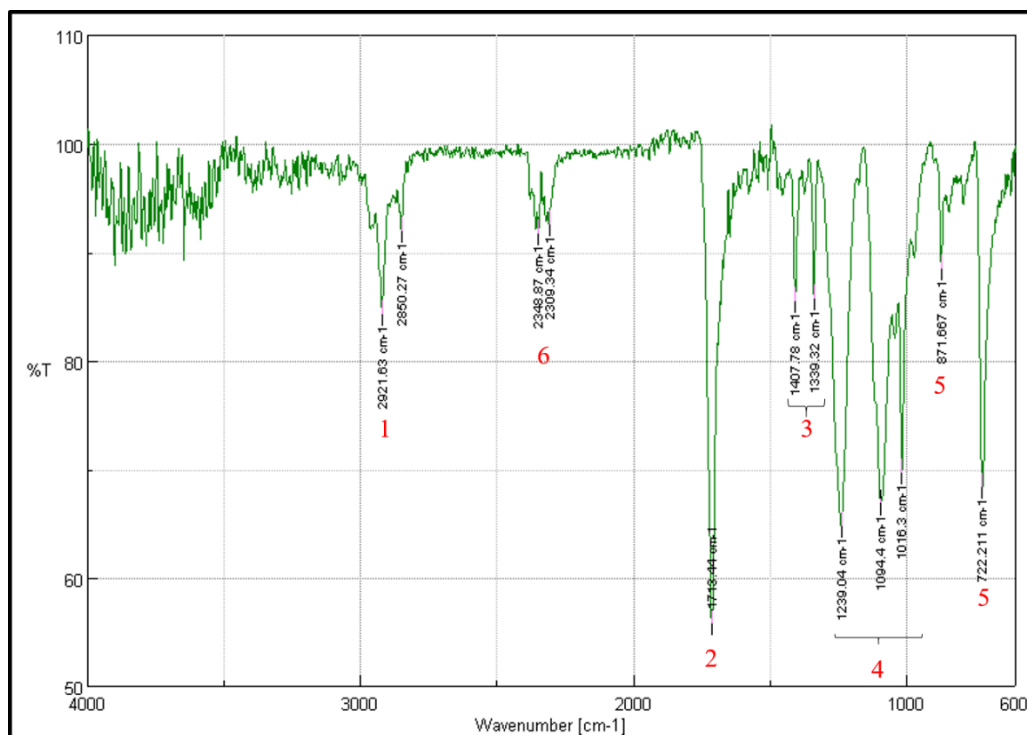


Gráfico 10-4: Espectro de la muestra de Policarbonato

Realizado por: (Moreno, M, 2021).

Tabla 31-4: Identificación de picos del espectro de la muestra de Policarbonato

Zona	Fragmentos	Espectro	
		Número de onda (cm^{-1})	Transmitancia %
1	Tensión del grupo (C-H)	2921.63	84.4039
		2850.27	91.9836
2	Estiramiento del C=O	1713.44	55.8547
3	flexión de la vibración de alquenos	1407.78	85.6001
		1339.32	85.7597
4	Deformaciones asimétricas del grupo carbonato O–C–O	1239.04	64.8434
		1094.4	66.8915
		1016.3	69.8147
5	Vibraciones de flexión fuera del plano de anillos aromáticos	871.667	88.59
		722.211	68.4515
6	Tensión del C≡N	2348.87	91.795
		2309.34	92.6038

Realizado por: (Moreno, M, 2021).

Análisis: Según el espectro del Gráfico 10-4, en la **Zona 1** del espectro de 2921.63 a 2850.27 cm^{-1} se hallaron movimientos de tensión en los enlaces de los alcanos (C-H), en la **Zona 2** a 1713.44 cm^{-1} existió un estiramiento del enlace C=O, en la **Zona 3** se observó la flexión que tiene al vibrar los enlaces de los alquenos, en la **Zona 4** se observaron deformaciones asimétricas del grupo carbonato O–C–O (Shekhawat, 2011, p.7), en la **Zona 5** a una longitud de 871.667 cm^{-1} se observaron vibraciones de flexión fuera del plano de anillos aromáticos, según estos picos y los reportados por Parshin (2003) y Erukhimovich (2004) indican que este espectro corresponde a **Policarbonato** (Parshin et al., 2013; Erukhimovich y de la Cruz, 2004, p.7).

Por otro lado, es importante analizar que, en la **Zona 6** a 2348.87 y 2309.24 cm^{-1} se encontraron picos relacionados a un nitrilo (Ashraf, 2014, p.8), por lo que se infiere que la presencia de este pico debe a que el plástico poseía un aditivo nitrogenado, para ser más específico, un acrilonitrilo. Para apoyar lo antes expuesto, una investigación realizada por Haghghi y Sullivan en el 2015 indican que la característica del poliacrilonitrilo es el enlace C≡N que se ve aproximadamente a 2350 cm^{-1} (Haghghi-Yazdi y Lee-Sullivan, 2015, p.2).

4.5. Cuantificación de los plásticos

Una vez realizados todos los análisis propuestos, se realizó una compilación de los resultados para cuantificar las cantidades de los plásticos según el tipo de resina propuesta por la NTE INEN 2634:212. Para lo cual se obtuvieron los siguientes resultados, observar el Gráfico 11-4.

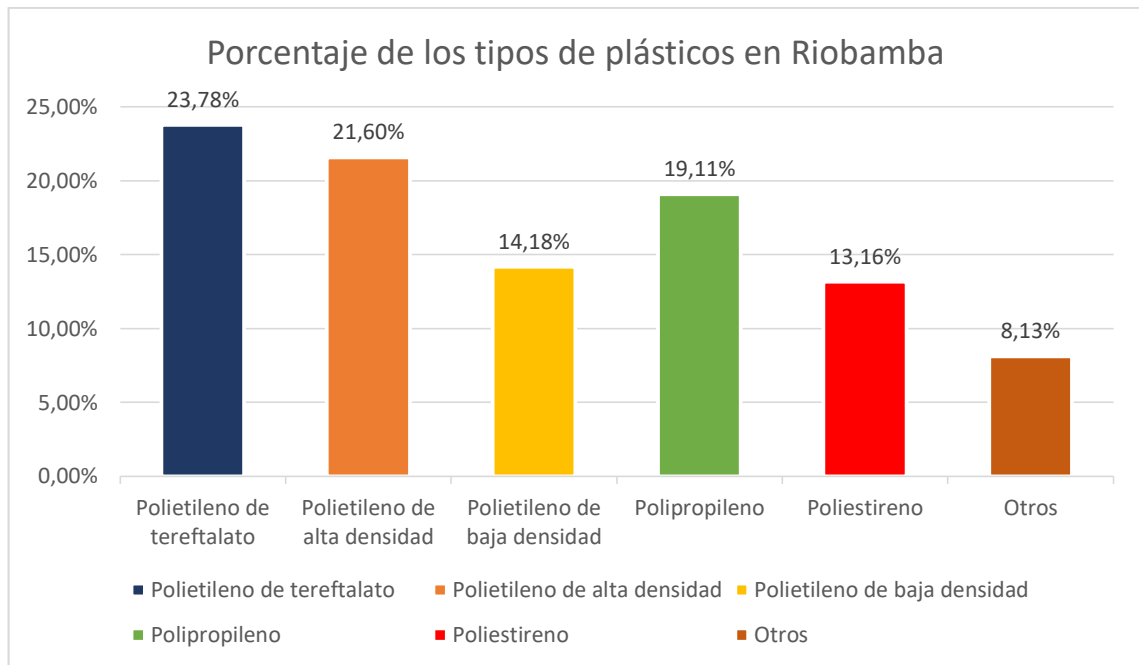


Gráfico 11-4: Porcentaje de los tipos de plásticos en Riobamba

Elaborado por: (Moreno, M, 2021).

4.6. Cálculo de los la cantidad de basura generada

Número de habitantes de la ciudad de Riobamba: 264.048

Producción per cápita de Riobamba: 0,60 kg/día hab (Municipio de Riobamba, 2022).

$$\text{Cantidad de basura diaria} = \left(0,60 \frac{\text{kg}}{\text{hab día}}\right) \times 264.048 \text{ hab}$$

$$\text{Cantidad de basura diaria} = 158.428,8 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

4.7. Cálculo de la cantidad de la generación diaria de cada tipo de plástico

$$\text{Cantidad de plástico generado} = \left(158.428,8 \frac{\text{kg}}{\text{día}}\right) \times 0,11$$

$$\text{Cantidad de plástico generado} = 17427,16 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

4.7.1. Cálculo de la generación diaria de Polietileno de tereftalato

$$\text{Cantidad de generación de PET} = 17427,16 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times 0,2378$$

$$\text{Cantidad de generación de PET} = 4.144,17 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

4.7.2. Cálculo de la generación diaria de Polietileno de alta densidad

$$\text{Cantidad de generación de HDPE} = 17427,16 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times 0,216$$

$$\text{Cantidad de generación de HDPE} = 3.764,26 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

4.7.3. Cálculo de la generación diaria de Polietileno de baja densidad

$$\text{Cantidad de generación de LDPE} = 17427,16 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times 0,1418$$

$$\text{Cantidad de generación de LDPE} = 2.471,17 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

4.7.4. Cálculo de la generación diaria de Polipropileno

$$\text{Cantidad de generación de PP} = 17427,16 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times 0,1911$$

$$\text{Cantidad de generación de PP} = 3.330,33 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

4.7.5. Cálculo de la generación diaria de Poliestireno

$$\text{Cantidad de generación de PS} = 17427,16 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times 0,1316$$

$$\text{Cantidad de generación de PS} = 2.293,41 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

4.7.6. Cálculo de la generación diaria de Otros

$$\text{Cantidad de generación de Otros} = 17427,16 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times 0,0813$$

$$\text{Cantidad de generación de Otros} = 1.416,82 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

CONCLUSIONES

- En el cantón de Riobamba se generan 168 toneladas de desechos sólidos, de los cuales en el vertedero de basura son separados y recuperados 11 Ton/diarias netamente de plástico para su posterior reciclaje, esta cantidad representa el 38 % de los plásticos que se generan en Riobamba, mientras que el resto son separados desde los ecotachos en la ciudad y vendidos a las recicladoras.
- La ciudad de Riobamba cuenta con una generación diaria de basura de 158.428,8 kg diarios, de las cuales el 11% es plástico, tiene los siguientes porcentajes de tipos de plásticos: el 23,78% de Polietileno de tereftalato, el 21,6% de Polietileno de alta densidad, el 14,18% de Polietileno de baja densidad, el 19,11% de Polipropileno, el 14,16% de Poliestireno y el 8,13% es de la categoría que corresponde a Otros.
- Al ser el PET el tipo de plástico que más se consume y genera se podría apostar por el reciclaje del mismo, en usos como: fibra, fibra de relleno textil, correas, y botellas y envases para usos no alimentarios como detergentes y productos fitosanitarios.
- En la categoría Otros de la clasificación de los plásticos, se encontraron diferentes polímeros como: poliuretano, acrilonitrilo-butadiestireno (ABS), policarbonato. En general, se trata de artículos que incluyen varios tipos de plástico
- La generación de plástico diaria de Polietileno de tereftalato es de 4.144,17 kg/día, de Polietileno de alta densidad es de 3.764,26 kg/día, de Polietileno de baja densidad es de 2.471,17 kg/día, de Polipropileno es de 3.330,33 kg/día, de Poliestireno es de 2.293.41 kg/día, y de Otros es de 1.416,82 kg/día. Esto nos indica que existe una alta generación de plásticos en Riobamba lo cual debería servir a las autoridades del cantón para mejorar el transporte y recolección de los residuos, es decir, proponer días de recolección únicamente para plástico en la ciudad.
- Los plásticos que mayor tienen predominancia dentro de los residuos sólidos que se generan en la ciudad de Riobamba son botellas para cola, agua, aceite comestible, champú, botellas yogur, jugo, leche, productos de limpieza, botellas de alcohol antiséptico.
- La ausencia de residuos de residuos de Policloruro de vinilo en las muestras recolectadas se debe a varias razones, como primer punto: es que los recicladoras de la ciudad de Riobamba no suelen reciclar este tipo de residuos debido a sus características, como segundo punto: es que los productos de este tipo no llegan al botadero de basura de la ciudad de Riobamba, estos son separados antes de su destino final por su amplio uso en la industria de la construcción, además son diseñados para que su tiempo de vida útil hasta de 70 años como en el caso de las tuberías, como tercer punto: es que su proceso de reciclaje no es muy óptimo, y en caso de realizarlo debe ser con los equipos específicos, debido a durante el proceso de reciclaje mecánico cuando se empieza a degradar, se generan gases tóxicos y muy fuertes, como el ácido clorhídrico, y como cuarto punto: el PVC contiene cloro en su estructura química, lo cual lo vuelve difícil de

coprocesar (junto con otro tipo de polímeros), por lo que impide su reciclaje a grandes escalas.

➤ En su mayoría, los plásticos contienen aditivos que sirven para dotarles de propiedades como resistencia, durabilidad, procesabilidad, adaptabilidad a factores externos o en su estructura y características físicas, generalmente los plásticos comerciales contienen aditivos, sin embargo, se debe tener muy en cuenta este aspecto cuando se inicie con el proceso de reciclaje, debido a que la presencia de éstos pueden alterar las reacciones degradativas del polímero en cuestión y generar otros compuestos que influyan en el proceso de reciclaje. Es importante mencionar que, aún dentro de los procesos de reciclaje se suelen ocupar aditivos para los nuevos productos, como aditivos para prevenir la degradación termomecánica, mejorar las propiedades de los productos secundarios y aumentar la compatibilidad entre las resinas.

RECOMENDACIONES

- Las soluciones usadas para la prueba de densidad deben tener una pureza alta puesto que puede influir en los resultados del ensayo.
- Para realizar las pruebas, las muestras deben estar completamente libre de residuos de alimentos, tierra etc.
- Para la prueba de llama se debe contar con personal de apoyo puesto que este ensayo podría ser muy subjetivo, en relación al color u olor que desprende la llama al quemar el plástico.
- Es imprescindible separar todas las partes de los plásticos puesto que no siempre son fabricados con el mismo tipo de polímero.
- El Municipio debería mejorar la gestión integrada del manejo de residuos sólidos puesto que según los valores obtenidos se esta investigación, se perdería una cantidad considerable de dinero lo que permitiría adquirir maquinaria para la recolección de residuos, facilitando el trabajo y mejorando la calidad de vida de los minadores.

BIBLIOGRAFÍA

ACEVEDO, A. & POSADA, J. "Polietileno tereftalato como reemplazo parcial del agregado fino en mezclas de concreto". *Ingenierías Universidad de Medellín*, 2017, (Colombia) vol. 18, no. 34, pp. 45-56.

AGUILAR, C. Propuesta de un Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos para la cabecera cantonal de Piñas, provincia de El Oro [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Técnica Particular de Loja, Área Biológica y Biomédica, Loja, Ecuador. 2016. pp.17-25.

AGUIRRE, J.F.L., YUQUILEMA, J.C.P. & SALAZAR, J.L.L. "Análisis de la contaminación ambiental por plásticos en la ciudad de Riobamba". *Polo del Conocimiento* [En línea], 2020, vol. 5, no. 12, (Ecuador) pp. 725-742. [Consulta: 13 enero 2022] Disponible en: DOI 10.23857/pc.v5i12.2139.

ARARAT, C.A. & MURILLO, E.A. "Polietileno de baja densidad funcionalizado con un poliéster polioli altamente ramificado maleinizado". *Ingeniería y Ciencia* [En línea], 2016, (Colombia) vol. 12, no. 23, pp. 127-144. [Consulta: 10 enero 2022] ISSN 17949165. Disponible en: DOI 10.17230/ingciencia.12.23.7.

ARELLANO DÍAZ, J., *Ingeniería ambiental* [En línea]. México, 2003. [Consulta: 7 enero 2022]. Disponible en: <https://www.auditorlider.com/wp-content/uploads/2019/07/Ingenieria-Ambiental-Arellano.pdf>.

ASHRAF, A. AI, 2014. "Spectroscopic Analysis of Polymers (Polystyrene, LDPE) by Using Fourier Transform Infrared & UV-Vis. Spectrometer". *Polymer* [En línea], 2017, (México) vol. 31, no. 4, pp. 4. [Consulta: 5 enero 2022]. ISSN 00323861. Disponible en: DOI 10.1016/0032-3861(90)90302-f.

BELTRÁN, M. y MARCILLA, A., 2012. *Tecnología de polímeros* [En línea]. Colombia, 2012. [Consulta: 24 enero 2022]. Disponible en: <https://imagessl.casadellibro.com/capitulos/9788497172325.pdf>

CHACON, M., PACHECO, A., CENDEJAS, M. & ORTEGA, F. "Tendencia del crecimiento en la cultura del reciclaje". *Ciencias Ambientales y Recursos Naturales* [En línea], 2017, (Colombia) vol. 3, no. 10, pp. 48-56. [Consulta: 28 diciembre 2022]. ISSN 04326861. Disponible en: http://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales

CHAKRABORTY, S., BANDYOPADHYAY, S., AMETA, R., MUKHOPADHYAY, R. & DEURI, A.S. "Application of FTIR in characterization of acrylonitrile-butadiene rubber (nitrile rubber)". *Polymer Testing* [En línea], 2007, (India) vol. 26, no. 1, pp. 38-41. [Consulta: 13 diciembre 2022]. ISSN 01429418. Disponible en: DOI 10.1016/j.polymeresting.2006.08.004.

DODBIBA, G. & FUJITA, T. "Progress in separating plastic materials for recycling". *Physical Separation in Science and Engineering* [En línea], 2004, (Japon) vol. 13, no. 3-4, pp. 165-182. [Consulta: 13 diciembre 2022]. ISSN 14786478. Disponible en: DOI 10.1080/14786470412331326350.

DODBIBA, G., SHIBAYAMA, A., MIYAZAKI, T. & FUJITA, T. "*Electrostatic separation of the shredded plastic mixtures using a tribo-cyclone*". *Magnetic and Electrical Separation* [En línea], 2002, (Japon) Vol. 11, No. 1-2, pp. 63-92. [Consulta: 25 diciembre 2022]. ISBN 0731363029000. Disponible en: <https://www.hindawi.com/journals/psse/2002/096372/>

DOS SANTOS PEREIRA, A.P., DA SILVA, M.H.P., LIMA, É.P., DOS SANTOS PAULA, A. & TOMMASINI, F.J. "Processing and characterization of PET composites reinforced with geopolymer concrete waste". *Materials Research* [En línea], 2017, (Brasil) vol. 20, pp. 411-420. [Consulta: 14 diciembre 2021]. ISSN 15161439. Disponible en: DOI 10.1590/1980-5373-MR-2017-0734.

ERUKHIMOVICH, I. y DE LA CRUZ, M.O. "Phase equilibria and charge fractionation in polydisperse polyelectrolyte solutions". *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics* [en línea], 2007, (Estados Unidos) Vol. 47(6), pp. 734-742. [Consulta: 9 diciembre 2021]. ISSN 17162439. DOI 10.1002/polb. Disponible en: <http://arxiv.org/abs/cond-mat/0406218> <http://dx.doi.org/10.1002/polb>.

FANG, J., XUAN, Y. & LI, Q. "Preparation of polystyrene spheres in different particle sizes and assembly of the PS colloidal crystals". *Science China Technological Sciences* [en línea], 2010, (China) vol. 53, no. 11, pp. 3088-3093. [Consulta: 19 diciembre 2021]. ISSN 16747321. Disponible en: DOI 10.1007/s11431-010-4110-5.

PANEQUE, A., PACHECO, B., BASTANTE, M., FERREIRA, B. & CAPUZ, S. "Residuos de envase de material plástico. Análisis de su generación y de la viabilidad de su reciclado". Análisis. *REDISA* [en línea], 2008, (España) vol. 43, pp. 23-24. [Consulta: 18 diciembre 2021].

Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/312605743_RESIDUOS_DE_ENVASE_DE_MATERIAL_PLASTICO_ANALISIS_DE_SU_GENERACION_Y_DE_LA_VIABILIDAD_DE_SU_RECICLADO

GÓMEZ DELGADO, M. "El estudio de los residuos: definiciones, tipologías, gestión y tratamiento". *Serie geográfica* [en línea], 1995, (Colombia) no. 5, pp. 21-42. [Consulta:17 diciembre 2021]. ISSN 1136-5277. Disponible en: <https://ebuah.uah.es/dspace/handle/10017/1037>

GONZALEZ-CANCHE, N.G., FLORES-JOHNSON, E.A., CORTES, P. & CARRILLO, J.G. "Evaluation of surface treatments on 5052-H32 aluminum alloy for enhancing the interfacial adhesion of thermoplastic-based fiber metal laminates". *International Journal of Adhesion and Adhesives* [en línea], 2018, (México) vol. 82, no. April, pp. 90-99. [Consulta:17 diciembre 2021]. ISSN 01437496. Disponible en: DOI 10.1016/j.ijadhadh.2018.01.003.

GOSWAMI, T.K. & MANGARAJ, S. "Advances in polymeric materials for modified atmosphere packaging (MAP)". *Multifunctional and Nanoreinforced Polymers for Food Packaging* [en línea], 2011, (India) vol. 14, pp. 163-242. [Consulta:15 diciembre 2021]. Disponible en: DOI 10.1533/9780857092786.1.163.

GREASON, W.D. & INCULET, I.I. "Insulator Work Function Determination From Contact Charging With Metals". *Department of Physics* [en línea], 2004, (Estados Unidos) vol. 134, pp. 428-435. [Consulta:15 diciembre 2021]. ISSN 00975638. Disponible en: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:620653/FULLTEXT02.pdf>

HAGHIGHI-YAZDI, M. & LEE-SULLIVAN, P. "FTIR analysis of a polycarbonate blend after hygrothermal aging". *Journal of Applied Polymer Science* [en línea], 2015, (Canadá) vol. 132, no. 3, pp. 2-7. [Consulta:12 diciembre 2021]. ISSN 10974628. Disponible en: DOI 10.1002/app.41316.

HOPEWELL, J., DVORAK, R. & KOSIOR, E. "Plastics recycling: Challenges and opportunities". *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* [en línea], 2019, (Australia) vol. 364, no. 1526, pp. 2115-2126. [Consulta:12 diciembre 2021]. ISSN 14712970. Disponible en: DOI 10.1098/rstb.2008.0311.

INEN 2634-2012. *Disposición De Desechos Plásticos Post-Consumo. Requisitos-2634.*

INEN 2841. *Estandarización de Colores para Recipientes de Depósito y Almacenamiento Temporal de Residuos Sólidos. Requisitos.*

JARAMILLO, E.B., MUÑOZ, L., OSSA, A. & ROMO, M.P. "Comportamiento mecánico del polietileno tereftalato (PET) y sus aplicaciones geotécnicas". *Revista Facultad de Ingeniería* [en línea], 2014, (Colombia) no. 70, pp. 207-219. [Consulta:10 diciembre 2021]. ISSN 01206230. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43030033019>

JIANG, T., QI, Y., WU, Y. & ZHANG, J. "Application of antioxidant and ultraviolet absorber into HDPE: Enhanced resistance to UV irradiation". *E-Polymers*[en línea], 2019, (Canadá) vol. 19, no. 1, pp. 499-510. [Consulta: 9 noviembre 2021]. ISSN 16187229. Disponible en: DOI 10.1515/epoly-2019-0053.

JUNG, M.R., HORGEN, F.D., ORSKI, S. V., RODRIGUEZ C., V., BEERS, K.L., BALAZS, G.H., JONES, T.T., WORK, T.M., BRIGNAC, K.C., ROYER, S.J., HYRENBACH, K.D., JENSEN, B.A. & LYNCH, J.M. "Validation of ATR FT-IR to identify polymers of plastic marine debris, including those ingested by marine organisms". *Marine Pollution Bulletin* [en línea], 2018, (Estados Unidos) vol. 127, no. December 2017, pp. 704-716. [Consulta: 8 noviembre 2021]. ISSN 18793363. Disponible en: DOI 10.1016/j.marpolbul.2017.12.061.

LARA ÁLVAREZ, L. Métodos para la separación del PVC contaminante en el reciclado del PET [en línea] (Trabajo de titulación). (Doctoral) Universidad de Caldas, Colombia. 2009. pp. 53. [Consulta: 7 noviembre 2021]. Disponible en: [https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/402/1/Lidia Alvarez.pdf%0Ahttps://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1025/402](https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/402/1/Lidia%20Lara%20Alvarez.pdf%0Ahttps://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1025/402).

LIANG, C.Y. & KRIMM, S. "Infrared spectra of high polymers. Part IX. Polyethylene terephthalate". *Journal of Molecular Spectroscopy* [en línea], 2013, (Estados Unidos) vol. 3, no. 1-6, pp. 554-574. [Consulta: 9 noviembre 2021]. ISSN 1096083X. Disponible en: DOI 10.1016/0022-2852(59)90048-7.

MADRIGAL, J., Manual de plásticos para diseñadores. 2011.

MALÉCHAUX, A., COLOMBANI, J., AMAT, S., MARQUE, S.R.A. & DUPUY, N. "Influence of Gamma Irradiation on Electric Cables Models : Study of Additive Effects by Mid-Infrared Spectroscopy". *Polymers 2021* [En línea]. 2021, (Francia) vol. 13, pp. 14-51. [Consulta: 6 noviembre 2021]. ISSN 20466835. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/polym13091451>

MEJÍA, M. & PATARÓN, A. Propuesta de un plan integral para el manejo de los residuos sólidos del cantón Tisaleo [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2015. pp. 45-65. [Consulta: 7 noviembre 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3748>

MENESES QUELAL, W.O., VELÁZQUEZ-MARTÍ, B. & FERRER GISBERT, A. "Separation of virgin plastic polymers and post-consumer mixed plastic waste by sinking-flotation technique". *Environmental Science and Pollution Research* [En línea], 2021, (España) vol. 124, pp. 23-45. [Consulta: 30 noviembre 2021]. ISSN 16147499. Disponible en: DOI 10.1007/s11356-021-15611-w.

MERRINGTON, A. *Recycling of Plastics*. Estados Unidos: Scholarly Publishing, 2017. [Consulta: 1 diciembre 2021]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-323-39040-8/00009-2>.

MILLET, H., VANGHELUWE, P., BLOCK, C., SEVENSTER, A., GARCIA, L. y& ANTONOPOULOS, R. "The Nature of Plastics and Their Societal Usage". *Issues in Environmental Science and Technology* [En línea], 2019, (Canadá) vol. 2019-Janua, no. 47, pp. 1-20. [Consulta: 16 noviembre 2021]. ISSN 14651874. Disponible en: DOI 10.1039/9781788013314-00001.

TULSMA. Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente.

MIYAKE, A. "The infrared spectrum of polyethylene terephthalate. I The effect of crystallization". *Journal of Polymer Science* [En línea], 2006, (Japon) vol. 38, no. 134, pp. 479-495. [Consulta: 3 enero 2022]. ISSN 00223832. Disponible en: DOI 10.1002/pol.1959.1203813419.

MORALES, M. Diseño del sistema de tratamiento y eliminación de rsu para el cantón Riobamba-Ecuador [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2019. pp. 1-45. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/def5/7d1f16f271995bfb5fdc085165b76d5a3677.pdf>.

MOUSA ALHAJJI, E. & SNYDER, P. "Fourier Transform Infrared Spectroscopy: Low Density Polyethylene, High Density Polyethylene, Polypropylene and Polystyrene". *Journal of Polymer Science* [en línea], 2019, (Estados Unidos) vol.14, pp. 13. [Consulta: 3 enero 2022]. ISSN 13223832. Disponible en:

https://emanalhajji.weebly.com/uploads/2/6/2/0/26200212/fourier_transform_infrared_spectroscopy.pdf.

PARSHIN, A.M., GUNYAKOV, V.A., ZYRYANOV, V.Y. & SHABANOV, V.F. "Domain structures in nematic liquid crystals on a polycarbonate surface". *International journal of molecular sciences* [en línea], 2013, (Siberia) vol. 14, no. 8, pp. 16303-16320. [Consulta: 3 enero 2022]. ISSN 14220067. Disponible en: DOI 10.3390/ijms140816303.

RAHIMI, A.R. & GARCÍA, J.M. "Chemical recycling of waste plastics for new materials production". *Nature Reviews Chemistry* [en línea], 2017, (Estados Unidos) vol. 1, pp. 1-11. [Consulta: 3 enero 2022]. ISSN 23973358. Disponible en: DOI 10.1038/s41570-017-0046.

REVELO, J. Propuesta de un plan de manejo integral de residuos sólidos para la población del cantón Piñas, Provincia de El Oro [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Cuenca, Ecuador. 2019.

ROBLES OLIVARES, J.L., VÁZQUEZ RODRÍGUEZ, S., LEAL ZABALETA, A.R. & SÁNCHEZ VALDÉZ, S. "Modificación de polipropileno injertado con anhídrido maleico utilizando una amina alifática en estado fundido". *Ingenierías* [en línea], 2008, (México) vol. XIX, no. 40, pp. 47-53. [Consulta: 4 enero 2022]. ISSN 14220067. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/10394/>

ROSALES, M. Diseño de una planta de pelletización para polietileno tereftalato (pet) reciclado. [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2021.

RUBIANO, J., MARCO, P., OSVALDO, B., WILMAN, O., FRANZ, Q., MIGUEL, D. & LUIS, G. "Manejo de los materiales plásticos reciclados y mejoramiento de sus propiedades". *Revista Facultad de Ingeniería* [en línea], no. 67, pp. 43-51. ISSN 01206230. [Consulta: 4 enero 2022]. Disponible en: <https://revistas.uan.edu.co/index.php/ingean/article/view/219>

RUJ, B., PANDEY, V., JASH, P. & SRIVASTAVA, V.K. "Sorting of plastic waste for effective recycling". *Int. Journal of Applied Sciences and Engineering Research* [en línea], 2015, (India) vol. 4, no. 4, pp. 564-571. [Consulta: 10 enero 2022]. ISSN 15520669. Disponible en: DOI 10.6088/ijaser.04058.

SAFAVI, S.M., MASOUMI, H., MIRIAN, S.S. & TABRIZCHI, M. "Sorting of polypropylene

resins by color in MSW using visible reflectance spectroscopy". *Waste Management* [en línea], 2010, (India) vol. 30, no. 11, pp. 2216-2222. [Consulta: 10 enero 2022]. ISSN 0956053X. DOI 10.1016/j.wasman.2010.06.023. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2010.06.023>.

SERRANTI, S. & BONIFAZI, G. *Techniques for separation of plastic wastes* [en línea]. Estados Unidos: Scholarly, 2019. [Consulta: 11 enero 2022]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-102676-2.00002-5>.

SHEKHAWAT, N. "Refractive index engineering in polycarbonate implanted by 100 keV N⁺ ions". *Optical Engineering* [en línea], 2011, (India) vol. 50, no. 4, pp. 044601. [Consulta: 15 enero 2022]. ISSN 0091-3286. Disponible en: DOI 10.1117/1.3562325.

SILVA, E., FEDEL, M., DEFLORIAN, F., COTTING, F. & LINS, V. "Properties of post-consumer polyethylene terephthalate coating mechanically deposited on mild steels". *Coatings* [en línea], 2019, (Italia) vol. 9, no. 1. [Consulta: 16 enero 2022]. ISSN 20796412. Disponible en: DOI 10.3390/coatings9010028.

SIMON-VERMT, B. Modelo para el manejo de los residuos sólidos generados por recinto Chiriboga y sus alrededores [en línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador. Disponible en: <http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=JpAzAQAAMAAJ&oi=fnd&pg=PA6&dq=Universidad+internacional+sek&ots=b1fiWfTN1M&sig=1ApNXkS4mmpAW0EIYaNRSz6ixso>.

SINDHU, R., BINOD, P. & PANDEY, A. *Microbial Poly-3-Hydroxybutyrate and Related Copolymers* [en línea]. Estados Unidos: Scholarly Publishing, 2015. [Consulta: 4 enero 2022]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-63453-5.00019-7>.

SUÁREZ, D. Caracterización térmica del Poli Vinil Cloruro (PVC) reciclado, a utilizarse en la fabricación de tapones para válvulas de neumáticos automotrices [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Internacional SEK, Ecuador. 2019. pp. 19. [Consulta: 3 enero 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/3118>

SUTAR, A. & SALUNKHE, H. "Waste Plastic Separation – A Comparative Feasible Study". *International Journal of Innovative Research and Creative Technology* [En línea], 2015, (India) vol. 1, no. 3, pp. 6-9. [Consulta: 2 febrero 2022]. ISSN 2454-5988. Disponible en: <https://www.ijirct.org/viewPaper.php?paperId=IJIRCT1201065>

TCHOBANOGLIOUS, G., THEISSEN, H. & ELIASSEN, R. "Desechos Sólidos". *Journal of Chemical Information and Modeling* [En línea], 2013, (Venezuela) vol. 53, no. 9, pp. 1689-1699. [Consulta: 5 febrero 2022]. ISSN 1098-6596. Disponible en: https://www.academia.edu/31682388/DESECHOS_S%C3%93LIDOS_PRINCIPIOS_DE_INGENIER%C3%8DA_Y_ADMINISTRACI%C3%93N

THANH TRUC, N.T. & LEE, B.K. "Combining ZnO/microwave treatment for changing wettability of WEEE styrene plastics (ABS and HIPS) and their selective separation by froth flotation". *Applied Surface Science* [en línea], 2017, (China) vol. 420, pp. 746-752. [Consulta: 14 febrero 2022]. ISSN 01694332. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.04.075>.

TIPPUR, H. "Introduction to Plastics Engineering". *Journal of Engineering Materials and Technology* [en línea], 2021, (Italia) vol. 143, no. 3, pp. 1-16. [Consulta: 15 febrero 2022]. ISSN 0094-4289. Disponible en: DOI 10.1115/1.4051082.

TOLEDO MARTÍNEZ, Á. Revisión bibliográfica de los métodos de análisis de micro (nano) plásticos en el medioambiente y en la biota [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Nacional de Educación A Distancia Máster, Colombia. 2019. pp. 33.

VELANDIA, J. "Identificación de polímeros por espectroscopia infrarroja". *Revista Ontare* [En línea], 2017, (Colombia) vol. 5, pp. 115-140. [Consulta: 16 febrero 2022]. ISSN 1264-5279. Disponible en: <https://journal.universidadean.edu.co/index.php/Revistao/article/download/2005/1776/>.

VERMELHA, P. & JANEIRO, R. "Processing and Characterization of PET Composites Reinforced With Geopolymer Concrete Waste". *Materials Research* [En línea], 2017, (Brasil) vol. 20, pp. 411-420. [Consulta: 18 febrero 2022]. ISSN 0064-5279. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2017-0734>

WANG, C., WANG, H., FU, J. & LIU, Y. "Flotation separation of waste plastics for recycling- A review". *Waste Management* [en línea], 2015, (China) vol. 41, pp. 28-38. [Consulta: 5 enero 2022]. ISSN 18792456. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.03.027>.

WILLIAMS, K.P.J. & WILCOCK, I.C. "Raman spectroscopy of polymers". *Polymers and Polymer Composites* [en línea], 2014, (Estados Unidos) vol. 5, no. 6, pp. 443-449. [Consulta: 5 enero 2022]. ISSN 09673911. Disponible en: DOI 10.1016/b978-044410031-3/50005-0.

ANEXOS

ANEXO A: REGISTRO FOTOGRÁFICO



Visita técnica del vertedero de basura de Riobamba



Visita técnica del vertedero de basura de Riobamba

TIPOS DE RESIDUOS	
COMÚN	TODO LO QUE VIENE DE LOS CONTENEDORES Y BASURA MEZCLADA
PODAS	CESPED, CHAMPA, RAMAS, HIERBAS, ETC
ORGÁNICO	PROVENIENTE DE MERCADOS, BASURA DE COCINA, RESTAURANT, ETC
ESCOMBROS	LADRILLOS, BLOQUES, CERÁMICA, MADERA, CUANDO VIENE TODO MEZCLADO
MADERA	TABLAS, ASERRÍN, MDF, ETC
RESTOS CAMAL	HUESOS, VICERAS, CACHOS, TODO LO QUE VENGA DEL CAMAL, DECOMISOS O PRISORITICOS
TIERRA	TIERRA, ARENA, ARCILLA, NO ESCOMBROS, NI CHAMPAS O ESQUEJES
VIDRIO	PARABRISAS, BOTELLAS, ETC
FIBRA	GUARDACHOQUES, MASCAMILLAS, ETC
CHATARRA	METAL, LATAS, CUALQUIER COSA DE METAL
CARTÓN	CARTONES, PAPEL BLANCO
PLÁSTICO	BOTELLAS PLÁSTICAS, PLÁSTICO DURO, TODO TIPO DE PLÁSTICO Y FUNDAS PLÁSTICAS

Tipos de residuos que se generan en Riobamba



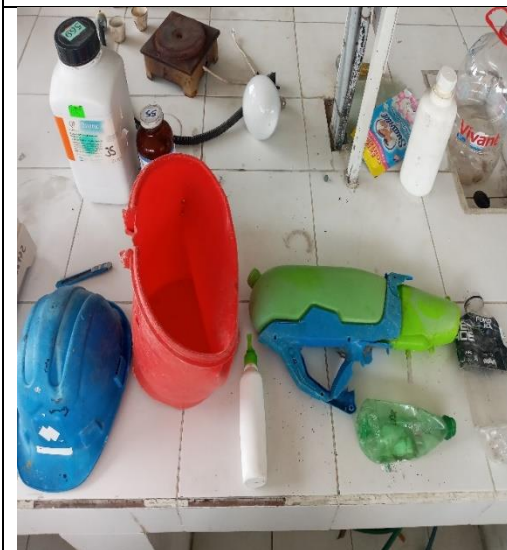
Plástico muestreado



Plástico muestreado



Lavado a presión de las muestras



Uso de plásticos



Pesaje de los plásticos



Pesaje de los plásticos



Pesaje de los plásticos



Obtención de la muestra representativa



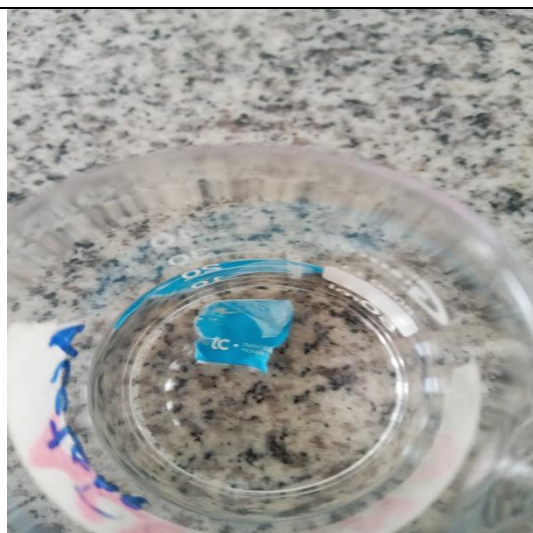
Obtención de la muestra representativa



Muestras a analizar



Reactivos utilizados



Análisis de las muestras

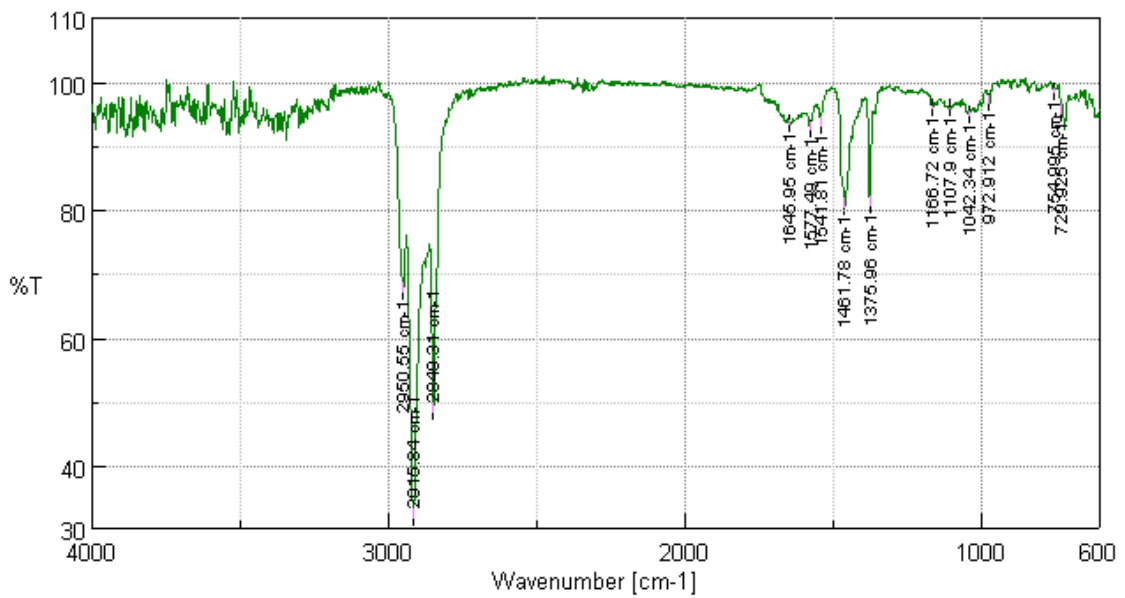
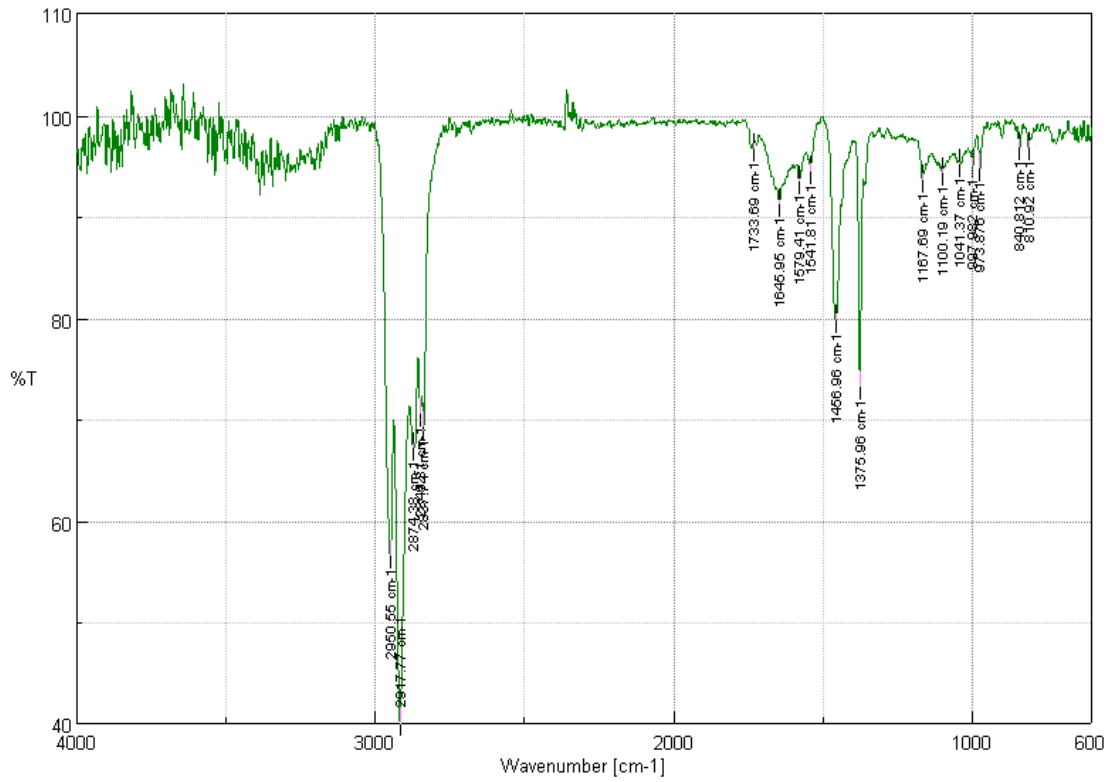


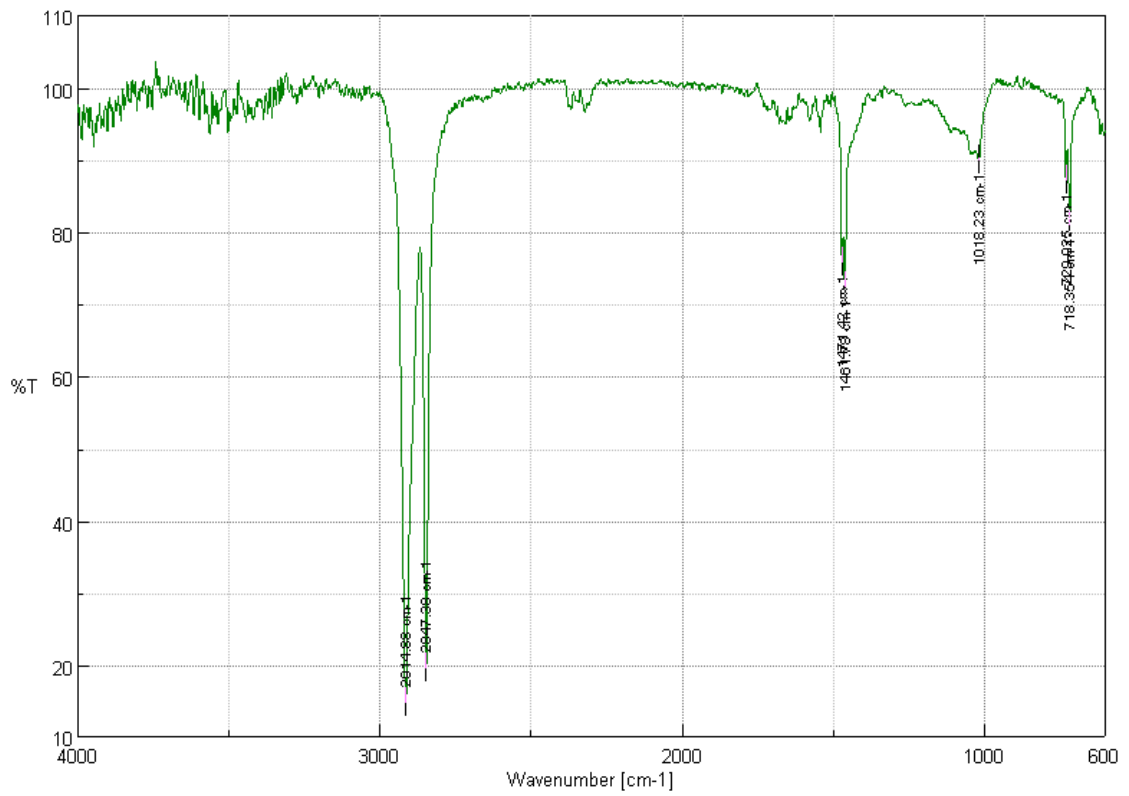
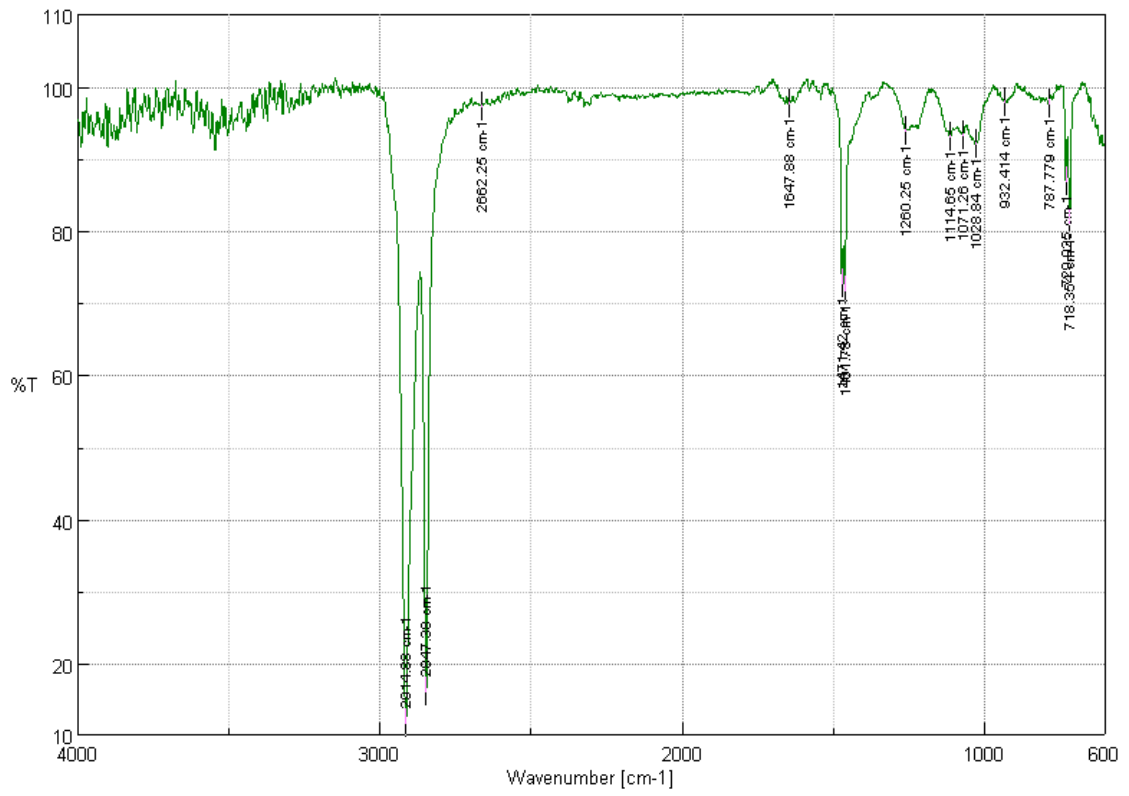
Análisis de las muestras

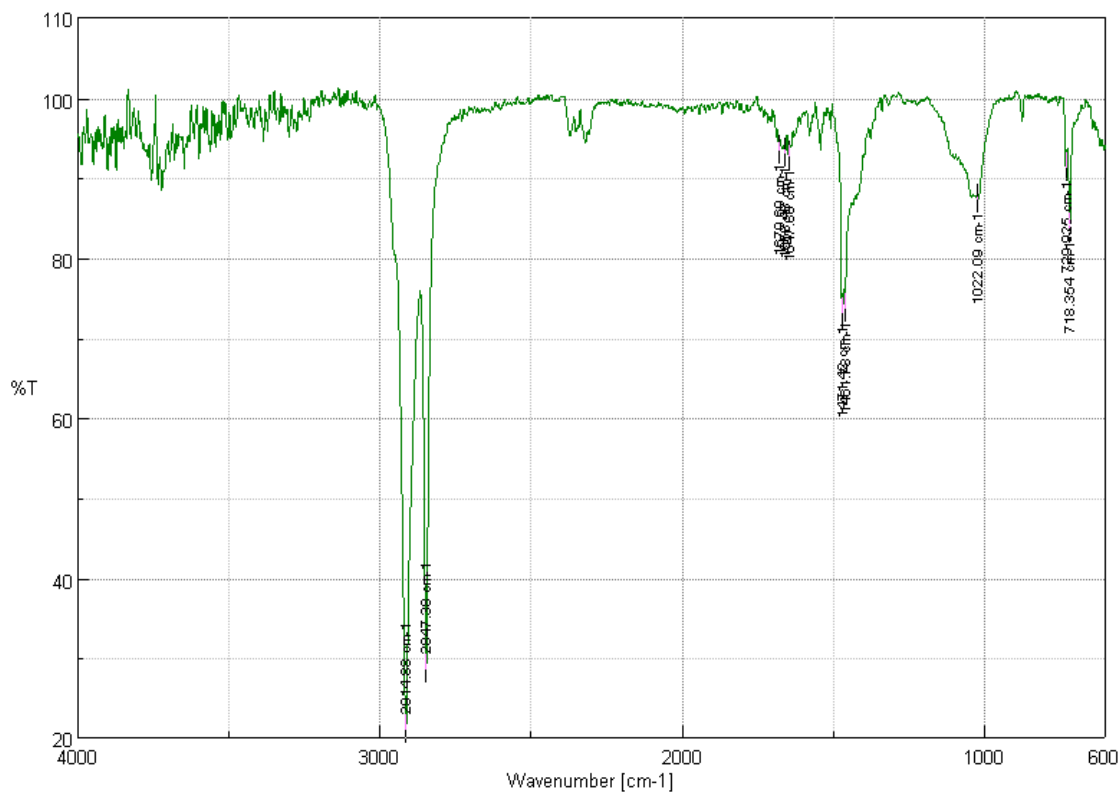
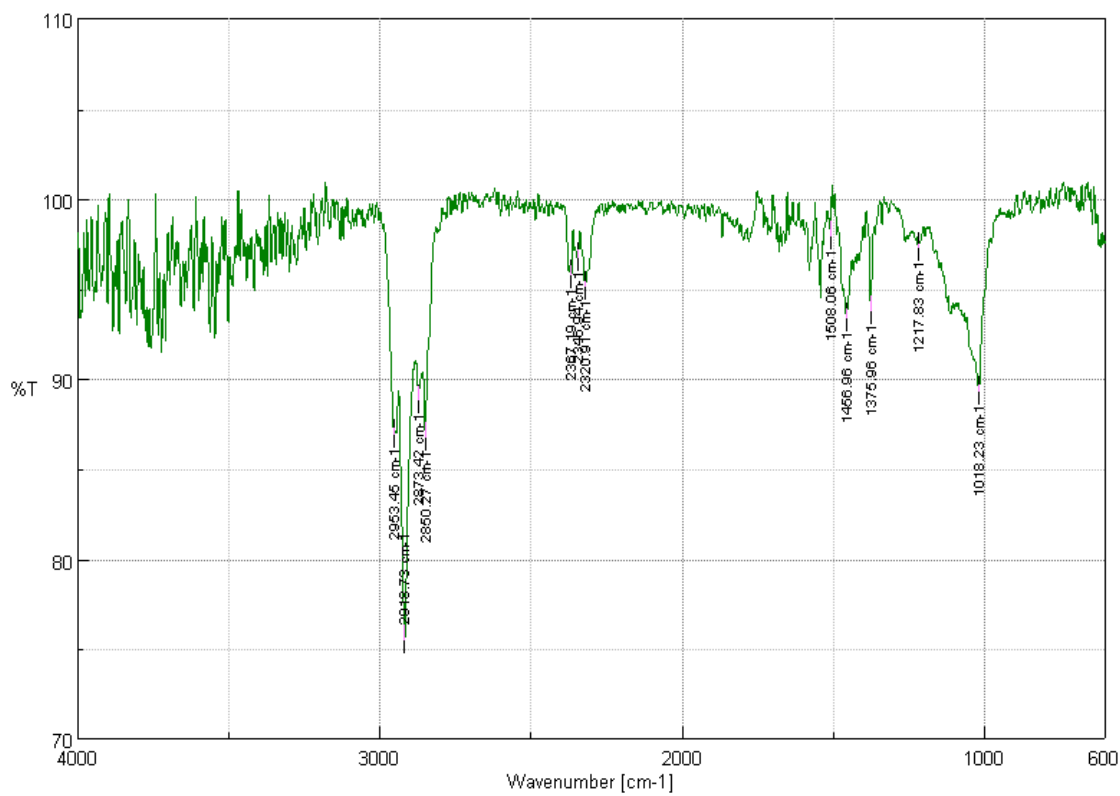


Análisis de las muestras

ANEXO B: ESPECTROS OBTENIDOS DE LAS MUESTRAS







ANEXO C: TABLA DE PESOS DE LOS PLÁSTICOS

PESO DE LAS MUESTRAS

N°	USO	TIPO	PESO (g)	CUERPO	TAPA	ETIQUETA	ANILLO	OTROS
1	-	5	43	43				
2	galon	2	81,1735	80,347	0,103	0,7235		
3	Yogurt	2	74	63,0985		0,0285		10,873
4		7	126	126				
5	balde	5	172	161,0985		0,0285		10,873
6	medicina	2	36	31,6791	3,7723	0,5486		
7	cloro	2	68	67,4474			0,5526	
8		6	103	103				
9	Yogurt	2	31	28,3493	2,2515		0,3992	
10	aceite	4	28	28				
11	medicina	4	38	33,9772	3,816			0,2068
12	sampoo	5	24	23,5935		0,4065		
13	Yogurt	2	46	41,542	3,438	0,4282	0,5918	
14	cloro	4	32	29,1417	2,345		0,5133	
15	canasta	4	160	154				6
16	bote de basu	5	419	419				
17		2	103	103				
18	mayonesa	4	34	34				

ANEXO D: PROCEDIMIENTO PARA IDENTIFICACIÓN DE PLÁSTICOS



**PROCEDIMIENTO: IDENTIFICACIÓN DE
PLÁSTICOS SEGÚN EL TIPO DE RESINA**

INSTITUCIÓN

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

ELABORADO POR

MARIAN MORENO PERLAZA

REVISADO POR

Ing. Paúl Pamay Paredes MSc.

Dra. Janneth Jara Samaniego

Diciembre 2021 – Riobamba Ecuador

1. OBJETIVO

Este documento tiene el objetivo de servir como un instrumento de guía para los ensayos de caracterización de polímeros, en específico, plásticos establecidos por la Sociedad Internacional de Plástico con el fin de identificar la resina a la que pertenece.

2. ÁMBITO DE APLICACIÓN

Aplicable para ensayos de residuos plásticos cuyo interés sea conocer acerca de los polímeros que comúnmente utilizados, como el plástico. En este sentido, se podrá determinar el tipo de resina por el que está formado un artículo plástico común, como: Polietileno de tereftalato, Polipropileno, Poliestireno Polietileno de baja densidad, Polietileno de alta densidad y Otros, considerando su codificación según la Sociedad Internacional de Plástico.

3. NORMATIVA

Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2634:2012.

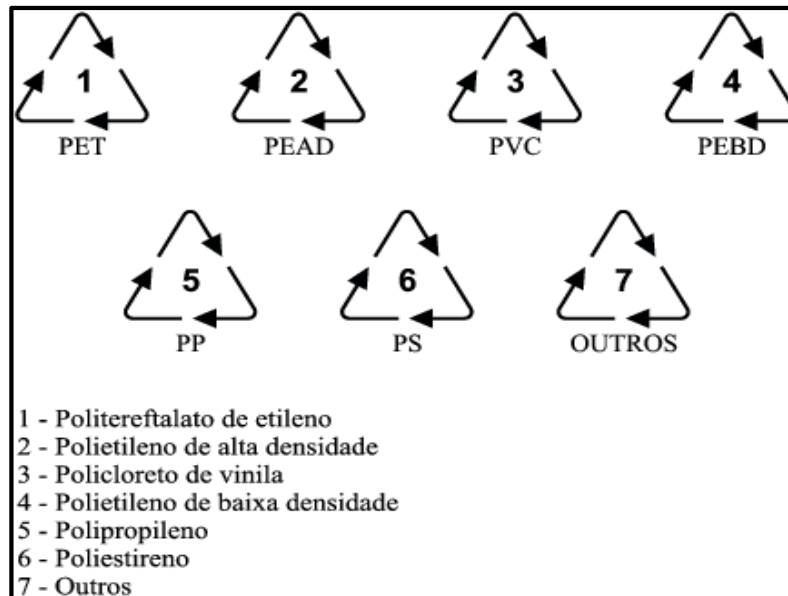
4. DESARROLLO

Las muestras que van a ser analizadas deberán poseer ciertas características que no influyan en los resultados de las pruebas, por lo que se debe considerar:

5. Deberán ser sólidas y compactas.
6. Su tamaño debe ser representativo.
7. No debe poseer residuos de sustancia que alteren los resultados.

4.1. Separación manual

Para este primer paso, se debe tener en cuenta la numeración que estableció la SPI de la codificación de los plásticos, que debe estar en el cuerpo del producto plástico.



Se debe tener en consideración que, las etiquetas, anillos, tapas, generalmente no cuentan con la identificación y no siempre son del mismo plástico, por lo que se recomienda realizar otras pruebas.

4.2. Método de separación de densidades

4.2.1. Materiales

- Varilla de agitación
- Vasos de precipitación
- Gradilla
- Lámpara de alcohol
- Espátula
- Tapones
- Caja de fósforos

4.2.2. Reactivos

- Alcohol industrial
- Agua destilada
- Acetona
- Ácido Sulfúrico

4.2.3. Procedimiento

- Limpiar completamente los tubos de ensayo y la varilla de agitación.
- Ingresar 2 mL de agua destilada en el vaso de precipitación, conjuntamente con el plástico
- Con la ayuda de la varilla de agitación, sumergir completamente la muestra para evitar la formación de burbujas de aire.
- Registrar el fenómeno presentado. ¿Flota o no Flota?
- Para la el test de Beilstein, colocar un poco de alcohol industrial en la lámpara de alcohol, verificar que este bien cerrada y encender la llama.
- Calentar el plástico en la lámpara de alcohol hasta derretir una ínfima muestra de plástico.
- Una vez adherido el cable caliente sobre el plástico, llevar nuevamente todo el sistema a la llama para verificar algún cambio de color.
- Evidencia y registrar el fenómeno presenciado.

4.3. Método de reacción a la llama

Esta prueba se la realiza conjuntamente con la de separación por densidades. En este método se trabajó con las muestras de la misma manera que en el ensayo anterior, para ello, se hizo uso de un Mechero de Bunsten y se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

- Cantidad y color del humo
- Color de la llama
- Olor de la llama

4.4. Prueba con el espectrofotómetro de infrarrojo

4.4.1. Materiales

- Espátula
- Algodón
- Brocha

4.4.2. Reactivos

- Muestra de plástico
- Alcohol

4.4.3. Equipos

- Espectrofotómetro infrarrojo JASCO FT/IR 4100

Procedimiento

- Prender el equipo en el “switch Power”
- Iniciar el barrido, para lo cual se debe ejecutar el software “Spectra Manager”
- Limpiar con un poco de algodón, una brocha y alcohol el área de muestra.
- Realizar el background si se evidencia una ausencia de alguna sustancia en el área de muestra, posteriormente se cierra la tapa del equipo y presionar el botón “Start”
- Ejecutar un barrido espectral, para lo cual se coloca la muestra sobre el cristal del área de muestra, se quita el seguro y se tira hacia adelante el tornillo de ajuste, se debe verificar que el tornillo este cerrado completamente y se cierra la tapa. Se hace click en “Start”.
- Corregir las escalas de dióxido de carbono.
- Identificar aquellos los picos más relevantes. Señalar líneas auxiliares.
- Proceder a guardar el espectro obtenido como un archivo del programa empleado, así como en Microsoft Word.
- En caso de ser necesario se repite el procedimiento.
- Cerrar todos los programas; se debe desconectar y apagar el ordenador de ambos switch.

ANEXO E: CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVA



epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 26 / 04 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTORA (S)
Nombres – Apellidos: <i>Marian Moreno Perlaza</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: <i>Ciencias</i>
Carrera: <i>Ingeniería en Biotecnología Ambiental</i>
Título a optar: <i>Ingeniera en Biotecnología Ambiental</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.</i>

LEONARDO
FABIO MEDINA
NUSTE

Firmado digitalmente por LEONARDO
FABIO MEDINA NUSTE
Nombre de reconocimiento (DN): c=EC,
o=BANCO CENTRAL DEL ECUADOR,
ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE
INFORMACION ECRICE, j=QUITO,
serialNumber=0000621485,
cn=LEONARDO FABIO MEDINA NUSTE
Fecha: 2022.04.26 10:21:21 -05'00'



0601-DBRA-UTP-2022