



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA PRESIÓN DE PRENSADO SOBRE EL FENÓMENO DE  
SEGREGACIÓN DE SÓLIDOS EN MEZCLAS DE RESIDUOS DE ASERRÍO Y POLIETILENO  
DE BAJA DENSIDAD DE RECICLADO PRIMARIO**

**Mercedes Graciela Reyes de León**  
Asesorado por el Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus

Guatemala, mayo de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA PRESIÓN DE PRENSADO SOBRE EL FENÓMENO DE  
SEGREGACIÓN DE SÓLIDOS EN MEZCLAS DE RESIDUOS DE ASERRÍO Y POLIETILENO  
DE BAJA DENSIDAD DE RECICLADO PRIMARIO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**MERCEDES GRACIELA REYES DE LEÓN**  
ASESORADO POR EL ING. JORGE EMILIO GODÍNEZ LEMUS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA QUÍMICA**

GUATEMALA, MAYO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. César Ariel Villela Rodas
EXAMINADORA	Inga. Casta Petrona Zeceña Zeceña
EXAMINADOR	Ing. Mario José Mérida Meré
SECRETARIO	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez (a.i.)

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA PRESIÓN DE PRENSADO SOBRE EL FENÓMENO DE SEGREGACIÓN DE SÓLIDOS EN MEZCLAS DE RESIDUOS DE ASERRÍO Y POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD DE RECICLADO PRIMARIO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 5 de junio de 2015.

**Mercedes Graciela Reyes de León**

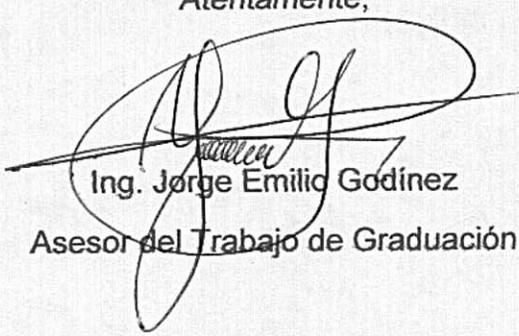
Guatemala 04 de febrero del 2016

Ingeniero  
Carlos Salvador Wong  
Director  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Ingeniero Wong:

Por este medio informo a usted que he revisado el informe final del trabajo de graduación "EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA PRESIÓN DE Prensado SOBRE EL FENÓMENO DE SEGREGACIÓN DE SÓLIDOS EN MEZCLAS DE RESIDUOS DE ASERRÍO Y POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD DE RECICLADO PRIMARIO" elaborado por la estudiante Mercedes Graciela Reyes de León, quien se identifica con el carne No. 200819387, el cual he encontrado satisfactorio.

Atentamente,

  
Ing. Jorge Emilio Godínez  
Asesor del Trabajo de Graduación

Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus  
INGENIERO QUÍMICO  
Colegiado 874



Guatemala, 11 de marzo de 2016.  
Ref. EIQ.TG-IF.016.2016.

Ingeniero  
Carlos Salvador Wong Davi  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **022-2015** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**

Solicitado por la estudiante universitaria: **Mercedes Graciela Reyes de León**.  
Identificada con número de carné: **2008-19387**.  
Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA PRESIÓN DE PRENSADO SOBRE EL  
FENÓMENO DE SEGREGACIÓN DE SÓLIDOS EN MEZCLAS DE RESIDUOS DE  
ASERRÍO Y POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD DE RECICLADO PRIMARIO**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Jorge Emilio Godínez Lemus**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

  
Ing. Otto Raúl De León De Paz  
COORDINADOR DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



Ref.EIQ.TG.026.2016

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la estudiante, **MERCEDES GRACIELA REYES DE LEÓN** titulado: **"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA PRESIÓN DE PENSADO SOBRE EL FENÓMENO DE SEGREGACIÓN DE SÓLIDOS EN MEZCLAS DE RESIDUOS DE ASERRÍO Y POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD DE RECICLADO PRIMARIO"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

*"Id y Enseñad a Todos"*

Ing. Carlos Salvador Wong Davi  
Director  
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, mayo 2016

Cc: Archivo  
CSWD/ale

Universidad de San Carlos  
De Guatemala

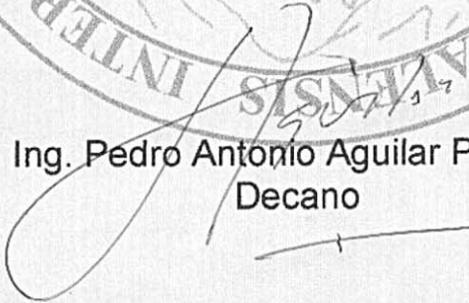


Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.213.2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA PRESIÓN DE Prensado sobre el Fenómeno de Segregación de Sólidos en Mezclas de Residuos de Aserrío y Polietileno de Baja Densidad de Reciclado Primario**, presentado por la estudiante universitaria: **Mercedes Graciela Reyes de León**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, mayo de 2016

/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por una vida llena de bendiciones, por estar siempre a mi lado, guiando cada paso.
- Mi padre** Erick Reyes, por su amor y apoyo incondicional.
- Mi madre** Mercedes de León (q. e. p. d.), porque me enseñó que todo es posible.
- Mis amigos** Por estar siempre ahí, tanto en los buenos como en los malos momentos.
- Enrique Godoy** Por ser una importante influencia en mi carrera y darme el apoyo moral necesario para seguir adelante.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por las bendiciones recibidas y guiarme en mi carrera.
<b>Mi padre</b>	Erick Reyes, por su apoyo incondicional.
<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser la casa de estudios que permitió que cumpliera una de mis metas.
<b>Escuela de Ingeniería Química</b>	Por las enseñanzas y oportunidades brindadas.
<b>Mis hermanos</b>	Erick Reyes y Daniel Reyes, por su amor.
<b>Mi tío</b>	Giovanni Reyes, por su apoyo y comprensión en todo momento.
<b>Mi abuela</b>	Elsa Reyes, por estar siempre pendiente de mí y ser como mi segunda madre.
<b>Enrique Godoy</b>	Por ser una importante influencia en mi carrera y su apoyo incondicional.
<b>Mi asesor</b>	Ing. Jorge Godínez, por su amistad, apoyo, tiempo y ser un gran maestro.

**Mis amigos**

Por estar en las buenas y en las malas.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
Hipótesis.....	XVI
INTRODUCCIÓN .....	XIX
1.    ANTECEDENTES .....	1
2.    MARCO TEÓRICO.....	3
2.1.    Segregación .....	3
2.1.1.    Causas de la segregación .....	3
2.2.    Propiedades de masas de partículas .....	4
2.3.    Caracterización de partículas sólidas .....	6
2.3.1.    Forma de las partículas .....	6
2.3.2.    Tamaño de las partículas .....	7
2.4.    Métodos de tamizado .....	8
3.    DISEÑO METODOLÓGICO .....	11
3.1.    Variables.....	11
3.2.    Delimitación del campo de estudio .....	12
3.3.    Recursos humanos disponibles.....	12
3.4.    Recursos materiales disponibles .....	13

3.4.1.	Material y equipo para la elaboración de la mezcla para madera plástica.....	13
3.4.2.	Equipo para determinar la segregación.....	13
3.5.	Técnica cuantitativa.....	14
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	14
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	19
3.8.	Análisis estadístico.....	27
4.	RESULTADOS.....	29
4.1.	Resultados para la formulación núm. 1 con los diferentes tamaños de partícula de residuos de aserrío .....	29
4.2.	Resultados para la formulación núm. 2 con los diferentes tamaños de partícula de residuos de aserrío .....	32
4.3.	Resultados para la formulación núm. 3 con los diferentes tamaños de partícula de residuos de aserrío .....	35
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	39
	CONCLUSIONES.....	43
	RECOMENDACIONES .....	45
	BIBLIOGRAFÍA.....	47
	APÉNDICES.....	49

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1. Porcentaje de polímero en mezcla en función de la presión aplicada a la formulación 25 % de polietileno de baja densidad y 75 % de residuos de aserrío que pasa por tamiz núm. 40 ..... 29
2. Porcentaje de polímero en mezcla en función de la presión aplicada a la formulación 25 % de polietileno de baja densidad y 75 % de residuos de aserrío que pasa por tamiz núm. 80 ..... 30
3. Porcentaje de polímero en mezcla en función de la presión aplicada a la formulación 25 % de polietileno de baja densidad y 75 % de residuos de aserrío que pasa por tamiz núm. 100 ..... 31
4. Porcentaje de polímero en mezcla en función de la presión aplicada a la formulación 50 % de polietileno de baja densidad y 50 % de residuos de aserrío que pasa por tamiz núm. 40 ..... 32
5. Porcentaje de polímero en mezcla en función de la presión aplicada a la formulación 50 % de polietileno de baja densidad y 50 % de residuos de aserrío que pasa por tamiz núm. 80 ..... 33
6. Porcentaje de polímero en mezcla en función de la presión aplicada a la formulación 50 % de polietileno de baja densidad y 50 % de residuos de aserrío que pasa por tamiz núm. 100 ..... 34
7. Porcentaje de polímero en mezcla en función de la presión aplicada a la formulación 75 % de polietileno de baja densidad y 25 % de residuos de aserrío que pasa por tamiz núm. 40 ..... 35

- 8. Porcentaje de polímero en mezcla en función de la presión aplicada a la formulación 75 % de polietileno de baja densidad y 25 % de residuos de aserrío que pasa por tamiz núm. 80 .....36
- 9. Porcentaje de polímero en mezcla en función de la presión aplicada a la formulación 75 % de polietileno de baja densidad y 25 % de residuos de aserrío que pasa por tamiz núm. 100 .....37

### TABLAS

- I. Variables dependientes e independientes ..... 11
- II. Masa por región de muestreo de formulación núm. 1: 25 % de polietileno de baja densidad y 75% de residuos de aserrío que pasa a través de tamiz núm. 40, aplicando diferentes presiones ..... 14
- III. Masa por región de muestreo de formulación núm. 2: 50 % de polietileno de baja densidad y 50 % de residuos de aserrío que pasa a través de tamiz núm. 40, aplicando diferentes presiones ..... 15
- IV. Masa por región de muestreo de formulación núm. 3: 75 % de polietileno de baja densidad y 25 % de residuos de aserrío que pasa a través de tamiz núm. 40, aplicando diferentes presiones ..... 15
- V. Masa por región de muestreo de formulación núm. 1: 25 % de polietileno de baja densidad y 75 % de residuos de aserrío que pasa a través de tamiz núm. 80, aplicando diferentes presiones ..... 16
- VI. Masa por región de muestreo de formulación núm. 2: 50 % de polietileno de baja densidad y 50 % de residuos de aserrío que pasa a través de tamiz núm. 80, aplicando diferentes presiones ..... 16
- VII. Masa por región de muestreo de formulación núm. 3: 75 % de polietileno de baja densidad y 25 % de residuos de aserrío que pasa a través de tamiz núm. 80, aplicando diferentes presiones ..... 17

VIII.	Masa por región de muestreo de formulación núm.1: 25 % de polietileno de baja densidad y 75 % de residuos de aserrío que pasa a través de tamiz núm. 100, aplicando diferentes presiones.....	17
IX.	Masa por región de muestreo de formulación núm. 2: 50 % de polietileno de baja densidad y 50 % de residuos de aserrío que pasa a través de tamiz núm. 100, aplicando diferentes presiones.....	18
X.	Masa por región de muestreo de formulación núm. 3: 75 % de polietileno de baja densidad y 25 % de residuos de aserrío que pasa a través de tamiz núm. 100, aplicando diferentes presiones.....	18
XI.	Porcentaje de masa en formulación núm. 1: 25 % de polietileno de baja densidad y 75 % de residuos de aserrío que pasa a través de tamiz núm. 40, aplicando diferentes presiones .....	19
XII.	Porcentaje de masa en formulación núm. 2: 50 % de polietileno de baja densidad y 50 % de residuos de aserrío que pasa a través de tamiz núm. 40, aplicando diferentes presiones .....	20
XIII.	Porcentaje de masa en formulación núm. 3: 75 % de polietileno de baja densidad y 25 % de residuos de aserrío que pasa a través de tamiz núm. 40, aplicando diferentes presiones .....	21
XIV.	Porcentaje de masa en formulación núm. 1: 25 % de polietileno de baja densidad y 75 % de residuos de aserrío que pasa a través de tamiz núm. 80, aplicando diferentes presiones .....	21
XV.	Porcentaje de masa en formulación núm. 2: 50 % de polietileno de baja densidad y 50 % de residuos de aserrío que pasa a través de tamiz núm. 80, aplicando diferentes presiones .....	22
XVI.	Porcentaje de masa en formulación núm. 3: 75 % de polietileno de baja densidad y 25 % de residuos de aserrío que pasa a través de tamiz núm. 80, aplicando diferentes presiones .....	22

XVII. Porcentaje de masa en formulación núm. 1: 25 % de polietileno de baja densidad y 75 % de residuos de aserrío que pasa a través de tamiz núm. 100, aplicando diferentes presiones.....23

XVIII. Porcentaje de masa en formulación núm. 2: 50 % de polietileno de baja densidad y 50 % de residuos de aserrío que pasa a través de tamiz núm. 100, aplicando diferentes presiones.....23

XIX. Porcentaje de masa en formulación núm. 3: 75 % de polietileno de baja densidad y 25 % de residuos de aserrío que pasa a través de tamiz núm. 100, aplicando diferentes presiones.....24

XX. Promedio de porcentajes de polímero y porcentajes de residuos de aserrío de la región de muestreo superior y formulación 1 .....24

XXI. Promedio de porcentajes de polímero y porcentajes de residuos de aserrío de la región de muestreo inferior y formulación 1 .....25

XXII. Promedio de porcentajes de polímero y porcentajes de residuos de aserrío de la región de muestreo superior y formulación 2 .....25

XXIII. Promedio de porcentajes de polímero y porcentajes de residuos de aserrío de la región de muestreo inferior y formulación 2 .....26

XXIV. Promedio de porcentajes de polímero y porcentajes de residuos de aserrío de la región de muestreo superior y formulación 3 .....26

XXV. Promedio de porcentajes de polímero y porcentajes de residuos de aserrío de la región de muestreo inferior y formulación 3 .....27

XXVI. Factores de contraste obtenidos para determinar variación significativa en la segregación .....27

XXVII. Descripción de la figura núm. 1.....30

XXVIII. Descripción de la figura núm. 2.....30

XXIX. Descripción de la figura núm. 3.....31

XXX. Descripción de la figura núm. 4.....32

XXXI. Descripción de la figura núm. 5.....33

XXXII. Descripción de la figura núm. 6.....34

XXXIII.	Descripción de la figura núm. 7 .....	35
XXXIV.	Descripción de la figura núm. 8 .....	36
XXXV.	Descripción de la figura núm. 9 .....	37



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
°	Ángulo en grados
<b>S<sub>p</sub></b>	Área superficial de la partícula
<b>Cm</b>	Centímetro
<b>K</b>	Constante de relación entre la presión normal y la presión aplicada
<b>D<sub>p</sub></b>	Diámetro nominal de la partícula
<b>Φ<sub>s</sub></b>	Esfericidad de la partícula
<b>F<sub>n</sub></b>	Factor de contraste
<b>g</b>	Gramos
<b>μm</b>	Micrómetro
<b>%</b>	Porcentaje
<b>P</b>	Presión aplicada
<b>L</b>	Presión normal
<b>Pulg</b>	Pulgada
<b>Ton</b>	Tonelada
<b>V<sub>p</sub></b>	Volumen de la partícula



## GLOSARIO

<b>Adhesión</b>	Es la propiedad de la materia por la cual se unen y plasman dos superficies de sustancias iguales o diferentes cuando entran en contacto.
<b>Ángulo de reposo</b>	Se denomina ángulo de reposo de un montículo de granel sólido al ángulo formado entre el copete y la horizontal de la base.
<b>Cohesión</b>	Propiedad por la cual las partículas se mantienen unidas en virtud de fuerzas internas.
<b>Elutriación</b>	Es el procedimiento utilizado para separar polvos finos de tamaño inferior; la separación puede realizarse en tamices, en varios tamaños graduados.
<b>Equidimensionales</b>	Tener aproximadamente las mismas dimensiones.
<b>Esfuerzo de compresión</b>	Es la resultante de las tensiones o presiones que existen dentro de un sólido deformable o medio continuo.
<b>Fisura</b>	Abertura alargada y con muy poca separación entre sus bordes, que puede seguir en un cuerpo sólido.

<b>Granel</b>	Conjunto de cosas que se transportan sin empaquetar.
<b>Homogéneo</b>	En química se aplica a la mezcla en la que los distintos elementos que la componen están totalmente interrelacionados entre sí y no se distinguen unos de otros.
<b>Mena metálica</b>	Es un mineral del que se puede extraer un elemento metálico, porque lo contiene en cantidad suficiente.
<b>Parámetro</b>	Elemento o dato importante desde el que se examina un tema, cuestión o asunto.
<b>Polietileno</b>	Polímero preparado a partir de etileno.
<b>Prensado</b>	Operación de hacer compacta una cosa.
<b>Presión</b>	Una magnitud física que mide la proyección de la fuerza en dirección perpendicular por unidad de superficie.
<b>Residuos de aserrío</b>	Es el producto de todas las operaciones mecánicas de elaboración de la madera.
<b>Segregación</b>	Separar o apartar algo de otras cosas.
<b>Tolva</b>	Dispositivo similar a un embudo de gran tamaño, destinado al depósito y canalización de materiales granulares.

## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se evaluó el efecto de la presión de prensado sobre el fenómeno de segregación de sólidos en mezclas de residuos de aserrío y polietileno de baja densidad de reciclado primario.

Para realizar la evaluación se elaboraron probetas de 10 cm de ancho y profundidad de una pulgada, con mezclas de polietileno de baja densidad y residuos de aserrío, con tres formulaciones diferentes de 25 % polímero-75 % residuos de aserrío, 50 % polímero-50 % residuos de aserrío y 75 % polímero-25 % residuos de aserrío, con tres diferentes tamaños de partícula de aserrío.

Las presiones aplicadas a las probetas fueron de 4, 6 y 8 toneladas; lo anterior, con el objetivo de determinar el efecto causado por la presión sobre la homogeneidad del material resultante. A continuación, se dividió cada probeta en dos secciones, una superior y otra inferior; posteriormente, se fragmentaron las partes así obtenidas separando los residuos de aserrío del polímero, para evaluar esta forma el grado de segregación.

Con los datos obtenidos se construyeron gráficas de porcentaje de polímero en las regiones superior e inferior de la probeta en función de la presión aplicada; se comprobó que para las formulaciones con menor porcentaje de residuo de aserrío y cuyo tamaño de partícula pasa por el tamiz No. 40, hay mayor segregación al aumentar la presión. También se comprobó que la segregación se presenta de forma significativa cuando se tienen porcentajes muy altos de cada uno de los componentes, ya sea residuos de

aserrío o polímero y que cuando los porcentajes están en proporción uno a uno, la segregación se ve atenuada y es independiente del tamaño de partícula.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Evaluar el efecto de la presión de prensado sobre el fenómeno de segregación de sólidos en mezclas de residuos de aserrío y polietileno de baja densidad de reciclado primario.

### **Específicos**

1. Evaluar el efecto de la presión sobre el fenómeno de segregación de sólidos en mezclas para maderas plásticas.
2. Determinar el porcentaje de segregación para distintas formulaciones de residuos de aserrío y polietileno de baja densidad.
3. Determinar la presión que cada formulación necesita para evitar segregación.
4. Analizar la uniformidad de la composición de la mezcla en piezas de madera plástica.

## **Hipótesis**

Es posible medir la segregación de los sólidos en una mezcla de residuos de aserrío-plástico reciclado cuando se varía la presión.

### **Hipótesis nula:**

Ho: No hay diferencia significativa en la composición de la mezcla cuando se varía la presión aplicada.

Ho: No hay diferencia significativa en la composición de la mezcla cuando se varía el tamaño de partícula del aserrío.

Ho: No hay diferencia significativa en la composición de la mezcla cuando se varía la proporción aserrío: plástico.

Ho: No hay interacción entre variables cuando se prepara la mezcla.

### **Hipótesis alternativa:**

Ha: Existe una diferencia significativa en la composición de la mezcla cuando se varía la presión aplicada.

Ha: Existe una diferencia significativa en la composición de la mezcla cuando se varía el tamaño de partícula del aserrío.

Ha: Existe una diferencia significativa en la composición de la mezcla cuando de varia la proporción aserrío: plástico.

Ha: Existe una interacción entre variables cuando se preparan la mezcla.



## INTRODUCCIÓN

Debido a que en la industria guatemalteca, los recursos naturales no son aprovechados de manera óptima ni en su totalidad, como es el caso del uso de la madera, se decide elaborar piezas de madera plástica con residuos de aserrío y polímeros reciclados, dando una opción más barata y un uso a lo que comúnmente quedaba como desperdicio; tomando en cuenta que contribuye a preservar las riquezas naturales.

Los intentos para hacer una pieza de madera plástica funcional llevan a los investigadores a tomar en cuenta materiales como el polietilenteraftalato, (PET), polietileno de baja densidad, mezclados con residuos de aserrío de diferentes maderas, se realizan pruebas para determinar las mejores combinaciones y formulaciones de esta, asegurando su funcionalidad.

Al elaborar las piezas originales se muestran espacios sin residuos de aserrío, o sin algún polímero, debilitando así dichos espacios en la pieza; entonces se decide optimizar la fabricación y crear piezas más uniformes en mezcla, pero para ello se debe evaluar el fenómeno de la segregación, que es la causante de las mezclas no uniformes.



## 1. ANTECEDENTES

En diciembre de 2014 se realizó la publicación del trabajo de graduación de la ingeniera química María Eugenia Guerra, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el cual realizó una evaluación de los parámetros de operación adecuados para el procesamiento de la madera plástica, fabricada a partir de residuos de aserrío y polietileno de baja densidad de reciclado primario, donde se concluyó que la formulación de la mezcla es el único parámetro que influye sobre las propiedades fisicomecánicas de la madera plástica, en especial en la fuerza de ruptura.

Debido a que la formulación influye en las propiedades evaluadas, y con base en las recomendaciones descritas en el trabajo de graduación de la ingeniera María Eugenia Guerra, se decide evaluar el fenómeno de la segregación, buscando una mezcla uniforme y con menos segregación debido a que se puede observar parte con exceso de residuos de aserrío o falta de él en una sola pieza ya fabricada.



## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Segregación**

Las partículas que tienen iguales propiedades no se segregan. Si difieren en alguna característica, el estado natural de la mezcla es ir a la segregación, la cual puede ocurrir inclusive luego de la etapa de mezclado; por ejemplo: durante el transporte, almacenamiento, llenado de recipientes, al aplicar presión, entre otros.

#### **2.1.1. Causas de la segregación**

Las propiedades que favorecen la segregación son las siguientes:

- **Distribución de tamaño:** es una de las principales causas de segregación. Cuanto más anchas sean las distribuciones de tamaño de partículas mayor es la segregación. Cuanto más grandes son las partículas, se observa mayor segregación.
- **Densidad:** las partículas muy densas se ubican preferencialmente en el centro de las pilas. Cuando se utiliza aire para el transporte o fluidización, estas partículas sedimentan con las más gruesas.
- **Forma:** las partículas esféricas tienden a comportarse como sólidos gruesos, en cambio las no esféricas tienen un comportamiento similar a los finos.

- Adhesión: si algunas partículas experimentan adhesión con las paredes de una línea de transporte, pueden conducir a problemas de segregación.
- Cohesividad: si las partículas son cohesivas, tratan de estar juntas; por lo tanto, se reduce la segregación.

## **2.2. Propiedades de masas de partículas**

Las masas de partículas sólidas, en especial cuando las partículas están secas y no se pegan, poseen muchas de las propiedades de un fluido. Ejercen presión sobre las paredes de un contenedor, fluyen a través de un orificio o descienden por una tolva. Sin embargo, se diferencian de los líquidos y gases en varios aspectos, ya que las partículas se entrecruzan y adhieren por efecto de la presión y no pueden deslizarse unas sobre otras, sino hasta que la fuerza aplicada alcanza una magnitud apreciable.

De manera contraria a lo que ocurre con la mayor parte de los fluidos, los sólidos granulares y las masas sólidas resisten permanentemente la distorsión cuando se someten a una fuerza distorsionante moderada. Cuando la fuerza es grande se produce la ruptura y una capa de partículas se desliza sobre otra, pero entre las capas situadas a ambos lados de la fisura hay una considerable fricción.

Las masas de sólidos tienen las siguientes propiedades distintivas:

- La presión no es la misma en todas las direcciones. En general, una presión que se aplica en una dirección crea cierta presión en otras direcciones, pero siempre es menor que la presión aplicada. Es mínima

en la dirección de ángulos rectos respecto de la presión aplicada. En una masa homogénea, la relación entre la presión normal y la presión aplicada,  $p \propto L/p$ , es una constante  $K'$ , que es característica del material. Esta depende de la forma y de las tendencias de entrelazamiento de las partículas, de la adhesividad de las superficies de los granos y de qué tan ajustadamente esté empacado el material. Es casi independiente del tamaño de partícula hasta que los granos se vuelven muy pequeños y el material ya no fluye libremente.

- Un esfuerzo cortante aplicado en la superficie de una masa se transmite a través de toda una masa estática de partículas, mientras no se produzca rotura.
- La densidad de la masa puede variar, dependiendo del grado de empaque de los granos. La densidad de un fluido es una función exclusiva de la temperatura y la presión, como sucede en cada una de las partículas individuales de un sólido, pero, no ocurre lo mismo con la densidad global o aparente. La densidad global es mínima cuando la masa está “floja”. Alcanza un máximo cuando la masa se somete a una vibración o apisonamiento.
- Antes de que una masa de partículas empacadas de forma apretada pueda fluir, se debe aumentar en volumen a fin de permitir el entrecruzamiento de granos para moverlas entre sí. Sin tal dilatación el flujo es imposible.
- Cuando los sólidos granulares están apilados sobre una superficie plana, los lados de la pila están a un ángulo reproducible definido con la horizontal, a este ángulo se llama ángulo de reposo del material. Para

sólidos granulares que fluyen libremente, a está con frecuencia entre 15 y 30°.

Dependiendo de sus propiedades de flujo, los sólidos en forma de partículas se dividen en dos clases: cohesivos y no cohesivos. Los materiales no cohesivos como grano, arena o briznas de plástico, fluyen desde depósitos o silos. Para estos sólidos,  $K$  está con frecuencia entre 0,35 y 0,6. Los sólidos cohesivos, tales como arcilla húmeda, se caracterizan por su dificultad para fluir a través de orificios. Para estos, el valor de  $K$  es aproximadamente cero.

### **2.3. Caracterización de partículas sólidas**

Las partículas sólidas individuales se caracterizan por su tamaño, forma y densidad. Las de sólidos homogéneos tienen la misma densidad que el material original.

Las partículas que se obtienen por el rompimiento de un sólido compuesto, tal como una mena metálica, tienen varias densidades; por lo general diferentes de la densidad del material original. El tamaño y la forma se especifican fácilmente para partículas regulares, tales como esferas y cubos, pero en el caso de partículas irregulares (como granos de arena o láminas de mica) los términos tamaño y forma no resultan tan claros y es preciso definirlos de manera arbitraria.

#### **2.3.1. Forma de las partículas**

La forma de una partícula individual se puede expresar convenientemente en términos de la esfericidad  $\phi$ , que es independiente del tamaño de la

partícula. Para una partícula esférica de diámetro  $D_p$ ,  $\phi_s = 1$ ; para una partícula no esférica, la esfericidad se define por la relación:<sup>1</sup>

$$\Phi_s \equiv \frac{6/D_p}{S_p/v_p}$$

donde  $D_p$  = diámetro nominal de partícula  
 $S_p$  = área superficial de una partícula  
 $v_p$  = volumen de una partícula

### 2.3.2. Tamaño de las partículas

En general, es posible especificar “diámetros” para cualquier partícula equidimensional. Las partículas que no son equidimensionales, es decir, que son más largas en una dirección que en otras, algunas veces se caracterizan por la segunda dimensión de mayor longitud.

Por convención, los tamaños de las partículas se expresan en diferentes unidades, dependiendo del intervalo de tamaños que intervienen. Las partículas gruesas se miden en pulgadas o milímetros, las partículas finas en función de la abertura del tamiz, y las partículas muy finas en micrómetros o nanómetros. Las partículas ultrafinas se describen a veces en función de su área de superficie por unidad de masa, por lo general en metros cuadrados por gramo.

---

<sup>1</sup> McCABE WARREN, Julian C.; SMITH, Peter H. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. p. 1011.

## 2.4. Métodos de tamizado

El tamizado se ha considerado el método de análisis de uso más frecuente y más repetido, porque el equipo, el procedimiento analítico y los conceptos básicos son engañosamente simples. En el tamizado, las partículas se ponen en contacto con aberturas del mismo tamaño que constituyen una serie de medidores que clasifican por tamaños. El análisis por tamizado presenta tres dificultades primordiales:

- En los tamices comerciales, las aberturas no son todas idénticas, aunque los tamices de la más alta calidad reducen al mínimo las desviaciones de dimensión.
- Las superficies de tamizado se dañan con suma facilidad durante su uso.
- Las partículas deben presentarse eficientemente en la abertura del tamiz.

En el pasado, el límite inferior para análisis de tamiz se fijaba en 43  $\mu\text{m}$  (malla 325), porque este era el límite práctico para elaborar tamices de malla de alambre. Al mismo tiempo, aproximadamente en este tamaño, las fuerzas superficiales que operan dentro del sistema del polvo dificultan el movimiento de este a través de las aberturas.

En fechas más recientes, el límite inferior impuesto al tamaño de la abertura se ha variado introduciendo los tamices electroformados. Las desviaciones del tamaño verdadero de la abertura son del orden de 2  $\mu\text{m}$  del tamaño nominal. Los de tamaño fino (menores que 40  $\mu\text{m}$ ) deben sostenerse en rejillas más gruesas. Con estos tamices finos, no es posible utilizar los métodos tradicionales de tamizado; pero sí se puede emplear el tamiz Alpine con barrido de aire, que es un dispositivo que tiene un chorro giratorio debajo de la

superficie de tamizado que limpia las aberturas. El aire de retorno ayuda a empujar el polvillo fino por ellas.

El método de elutriación es el tipo más simple; en el elutriador vertical por gravedad, el flujo tiende a arrastrar partículas hacia arriba a través de una columna, pero este movimiento recibe la oposición de la gravedad, de manera que solo las partículas más pequeñas pueden salir.



### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

#### 3.1. Variables

Las variables de medición del estudio para determinar la segregación en la mezcla para madera plástica se muestran en la siguiente tabla.

Tabla I. **Variables dependientes e independientes**

Nombre	Unidad de medida	Símbolo	Tipo de variable				
			Entrada	Respuesta	Dependiente	Independiente	Constante
Masa de polímero	Gramos	g	X			X	
Masa de residuo de aserrío	Gramos	g	X			X	
Presión de prensado	Toneladas	Ton	X			X	
Tamaño de partícula de residuo de aserrío	Micrómetro	$\mu\text{m}$	X			X	
Tamaño de partícula de polímero	Micrómetro	$\mu\text{m}$	X				X
Porcentaje de polímero	Porcentaje en peso	%					
Porcentaje de aserrío	Porcentaje en peso	%					

Fuente: elaboración propia.

### **3.2. Delimitación del campo de estudio**

Se estudió el fenómeno de segregación que se ve afectado por la influencia de la presión aplicada a la mezcla de aserrín y polietileno de baja densidad, utilizado para la elaboración de madera plástica.

Para este estudio se tomaron en cuenta tres tamaños de partículas de residuos de aserrío: los que pasan por tamiz 40 retenidos en tamiz 80, pasan por tamiz 80 retenidos por tamiz 100 y pasan tamiz 100 sin retención, manteniendo un solo tamaño de partícula de polietileno de baja densidad y la variación de la presión aplicada.

El tamaño de la probeta utilizada fue de 10 cm de diámetro. La materia prima que se utilizó fue un polietileno de baja densidad de reciclado primario, el cual se obtuvo de una de las recicladoras que comercializan este producto en la ciudad de Guatemala. El polímero se mezcló con aserrín proveniente de las actividades del taller de carpintería de la Sección de Tecnología de la Madera del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, donde se llevó a cabo la parte experimental de la presente investigación.

### **3.3. Recursos humanos disponibles**

Para la realización de la parte experimental de la investigación se contó con el laboratorio de Tecnología de la Madera del Centro de Investigaciones (CII) de la Facultad de Ingeniería, con el apoyo del Ingeniero Jorge Emilio Godínez, quien es asesor del trabajo de investigación y con Mercedes Graciela Reyes, investigadora de dicho proyecto.

### **3.4. Recursos materiales disponibles**

Los recursos materiales y el equipo que se utilizaron para esta investigación se presentan a continuación.

#### **3.4.1. Material y equipo para la elaboración de la mezcla para madera plástica**

- Residuo de aserrío.
- Polietileno de baja densidad de reciclado primario.
- Papel aluminio.
- Molde de metal aproximadamente de 5 pulgadas de ancho por 10 cm de diámetro y ½ pulgada de grosor.
- Prensa hidráulica con capacidad de 80 toneladas métricas.
- Tamiz 40.
- Tamiz 80.
- Tamiz 100.
- Horno eléctrico.
- Agua.
- Cuchilla.

#### **3.4.2. Equipo para determinar la segregación**

- Balanza
- Tamiz 40

### 3.5. Técnica cuantitativa

En la presente investigación, se realizaron mediciones exactas de la cantidad de materia de residuos de aserrío y de polietileno de baja densidad, en una porción de la mezcla y para determinar la cantidad de materia segregada. Se tomaron en cuenta el porcentaje de la masa en mezcla y la presión aplicada a cada mezcla.

### 3.6. Recolección y ordenamiento de la información

A continuación se presenta la recolección y el ordenamiento de la información en la tabla II.

Tabla II. **Masa por región de muestreo de formulación núm. 1: 25 % de polietileno de baja densidad y 75 % de residuos de aserrío que pasa a través de tamiz núm. 40, aplicando diferentes presiones**

Muestra	Presión (Ton)	Región de muestreo superior		Región de muestreo inferior	
		Polímero (g)	Aserrío (g)	Polímero (g)	Aserrío (g)
0	0	----	----	----	----
A	4	16,07	52,45	15,15	41,42
B		14,28	42,88	17,00	50,93
C		9,40	41,32	21,66	52,46
A	6	14,04	49,28	17,18	44,41
B		16,60	51,79	14,68	41,67
C		10,94	42,10	20,39	52,35
A	8	16,36	56,55	15,00	37,48
B		14,24	47,50	16,73	45,88
C		15,24	48,24	15,97	45,58

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Masa por región de muestreo de formulación núm. 2: 50 % de polietileno de baja densidad y 50 % de residuos de aserrío que pasa a través de tamiz núm. 40, aplicando diferentes presiones**

Muestra	Presión (Ton)	Región de muestreo superior		Región de muestreo inferior	
		Polímero (g)	Aserrío (g)	Polímero (g)	Aserrío (g)
<b>0</b>	<b>0</b>	----	----	----	----
A	4	31,18	36,41	29,79	27,54
B		28,73	34,01	33,90	28,48
C		25,29	26,40	37,35	35,96
A	6	28,47	33,50	34,02	29,90
B		26,38	29,44	36,02	33,01
C		28,47	33,52	34,02	28,90
A	8	27,5	32,40	34,86	30,16
B		26,68	39,13	31,53	27,59
C		26,78	28,85	36,00	32,90

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Masa por región de muestreo de formulación núm. 3: 75 % de polietileno de baja densidad y 25 % de residuos de aserrío que pasa a través de tamiz núm. 40, aplicando diferentes presiones**

Muestra	Presión (Ton)	Región de muestreo superior		Región de muestreo inferior	
		Polímero (g)	Aserrío (g)	Polímero (g)	Aserrío (g)
<b>0</b>	<b>0</b>	----	----	----	----
A	4	38,03	14,70	55,49	16,84
B		34,58	10,80	60,03	19,23
C		38,99	13,98	54,71	17,37
A	6	33,14	11,30	60,54	19,97
B		37,25	13,02	56,92	17,56
C		55,39	20,77	38,10	10,76
A	8	45,80	16,11	48,43	14,55
B		38,69	13,02	55,39	17,88
C		49,93	18,50	44,14	12,43

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Masa por región de muestreo de formulación núm. 1: 25 % de polietileno de baja densidad y 75 % de residuos de aserrío que pasa a través de tamiz núm. 80, aplicando diferentes presiones**

Muestra	Presión (Ton)	Región de muestreo superior		Región de muestreo inferior	
		Polímero (g)	Aserrío (g)	Polímero (g)	Aserrío (g)
<b>0</b>	<b>0</b>	----	----	----	----
A	4	17,68	52,00	13,60	42,39
B		17,87	58,08	13,27	36,12
C		14,00	44,04	17,49	49,59
A	6	14,95	46,27	16,65	47,48
B		15,74	51,85	15,72	40,96
C		12,56	43,38	18,95	50,32
A	8	13,83	48,65	17,31	44,48
B		15,05	46,82	16,39	47,32
C		14,37	46,43	17,17	47,55

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Masa por región de muestreo de formulación núm. 2: 50 % de polietileno de baja densidad y 50 % de residuos de aserrío que pasa a través de tamiz núm. 80, aplicando diferentes presiones**

Muestra	Presión (Ton)	Región de muestreo superior		Región de muestreo inferior	
		Polímero (g)	Aserrío (g)	Polímero (g)	Aserrío (g)
<b>0</b>	<b>0</b>	----	----	----	----
A	4	26,61	27,68	37,43	34,17
B		31,67	33,86	31,32	28,96
C		26,63	31,46	35,77	31,25
A	6	26,73	28,36	35,53	33,97
B		32,55	33,00	30,03	29,98
C		29,25	31,46	33,45	31,48
A	8	22,70	24,22	40,01	37,96
B		24,12	27,80	38,41	33,82
C		28,96	31,54	33,42	30,75

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Masa por región de muestreo de formulación núm. 3: 75 % de polietileno de baja densidad y 25 % de residuos de aserrío que pasa a través de tamiz núm. 80, aplicando diferentes presiones**

Muestra	Presión (Ton)	Región de muestreo superior		Región de muestreo inferior	
		Polímero (g)	Aserrío (g)	Polímero (g)	Aserrío (g)
0	0	----	----	----	----
A	4	51,64	17,25	43,07	13,18
B		32,08	12,01	61,88	19,06
C		42,78	15,90	51,04	15,40
A	6	44,92	15,85	48,93	15,20
B		44,76	16,24	49,35	14,70
C		40,43	15,20	53,27	16,67
A	8	58,46	20,18	35,50	10,87
B		52,82	18,92	40,96	12,10
C		42,78	16,60	51,06	14,98

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Masa por región de muestreo de formulación núm.1: 25 % de polietileno de baja densidad y 75 % de residuos de aserrío que pasa a través de tamiz núm. 100, aplicando diferentes presiones**

Muestra	Presión (Ton)	Región de muestreo superior		Región de muestreo inferior	
		Polímero (g)	Aserrío (g)	Polímero (g)	Aserrío (g)
0	0	----	----	----	----
A	4	16,98	53,00	15,69	39,14
B		18,60	52,17	14,08	39,92
C		18,21	53,69	14,20	39,35
A	6	14,61	51,53	16,86	41,90
B		14,06	48,13	18,40	44,96
C		14,63	46,68	17,80	45,47
A	8	15,16	47,65	16,20	46,58
B		14,73	52,18	16,57	41,01
C		13,98	46,59	17,12	46,39

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Masa por región de muestreo de formulación núm. 2: 50 % de polietileno de baja densidad y 50 % de residuos de aserrío que pasa a través de tamiz núm. 100, aplicando diferentes presiones**

Muestra	Presión (Ton)	Región de muestreo superior		Región de muestreo inferior	
		Polímero (g)	Aserrío (g)	Polímero (g)	Aserrío (g)
<b>0</b>	<b>0</b>	----	----	----	----
A	4	29,12	32,93	33,14	29,94
B		31,62	36,61	30,76	26,39
C		22,89	25,23	39,57	37,77
A	6	27,81	31,70	34,88	31,14
B		25,23	27,96	37,41	34,77
C		29,15	31,72	33,74	31,10
A	8	29,99	28,40	32,37	34,26
B		28,48	25,54	33,57	37,25
C		29,44	37,22	33,23	25,41

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Masa por región de muestreo de formulación núm. 3: 75 % de polietileno de baja densidad y 25 % de residuos de aserrío que pasa a través de tamiz núm. 100, aplicando diferentes presiones**

Muestra	Presión (Ton)	Región de muestreo superior		Región de muestreo inferior	
		Polímero (g)	Aserrío (g)	Polímero (g)	Aserrío (g)
<b>0</b>	<b>0</b>	----	----	----	----
A	4	54,11	19,28	40,25	11,44
B		45,96	15,89	48,33	14,26
C		45,29	16,22	48,66	14,89
A	6	48,99	17,45	46,16	12,40
B		57,74	19,9	36,27	11,08
C		47,23	17,65	46,97	13,18
A	8	41,77	15,28	52,53	15,23
B		51,56	18,56	42,33	12,56
C		51,61	18,31	42,40	12,74

Fuente: elaboración propia.

### 3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

A continuación se presenta el ordenamiento y procesamiento en las tablas de la XI a la XXV.

Tabla XI. **Porcentaje de masa en formulación núm. 1: 25 % de polietileno de baja densidad y 75 % de residuos de aserrío que pasa a través de tamiz núm. 40, aplicando diferentes presiones**

		Región de muestreo superior		Región de muestreo inferior		Región de muestreo superior		Región de muestreo inferior	
Muestra	Presión (Ton)	Polímero (g)	Aserrío (g)	Polímero (g)	Aserrío (g)	% polímero	% Aserrío	% polímero	% Aserrío
<b>0</b>	<b>0</b>	----	----	----	----	25,00	75,00	25,00	75,00
A	4	16,07	52,45	15,15	41,42	23,45	76,55	26,78	73,22
B		14,28	42,88	17,00	50,93	24,98	75,02	25,03	74,97
C		9,40	41,32	21,66	52,46	18,53	81,47	29,22	70,78
A	6	14,04	49,28	17,18	44,41	22,17	77,83	27,89	72,11
B		16,60	51,79	14,68	41,67	24,27	75,73	26,05	73,95
C		10,94	42,10	20,39	52,35	20,63	79,37	28,03	71,97
A	8	16,36	56,55	15,00	37,48	22,44	77,56	28,58	71,42
B		14,24	47,50	16,73	45,88	23,06	76,94	26,72	73,28
C		15,24	48,24	15,97	45,58	24,01	75,99	25,95	74,05

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Porcentaje de masa en formulación núm. 2: 50 % de polietileno de baja densidad y 50 % de residuos de aserrío que pasa a través de tamiz núm. 40, aplicando diferentes presiones**

Muestra	Presión (Ton)	Región de muestreo superior		Región de muestreo inferior		Región de muestreo superior		Región de muestreo inferior	
		Polímero (g)	Aserrío (g)	Polímero (g)	Aserrío (g)	% polímero	% Aserrío	% polímero	% Aserrío
0	0	----	----	----	----	50,00	50,00	50,00	50,00
A	4	31,18	36,41	29,79	27,54	46,13	53,87	51,96	48,04
B		28,73	34,01	33,90	28,48	45,79	54,21	54,34	45,66
C		25,29	26,40	37,35	35,96	48,93	51,07	50,95	49,05
A	6	28,47	33,50	34,02	29,90	45,94	54,06	53,22	46,78
B		26,38	29,44	36,02	33,01	47,26	52,74	52,18	47,82
C		28,47	33,52	34,02	28,90	45,93	54,07	54,07	45,93
A	8	27,5	32,40	34,86	30,16	45,91	54,09	53,61	46,39
B		26,68	39,13	31,53	27,59	40,54	59,46	53,33	46,67
C		26,78	28,85	36,00	32,90	48,14	51,86	52,25	47,75

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Porcentaje de masa en formulación núm. 3: 75 % de polietileno de baja densidad y 25 % de residuos de aserrío que pasa a través de tamiz núm. 40, aplicando diferentes presiones**

Muestra	Presión (Ton)	Región de muestreo superior		Región de muestreo inferior		Región de muestreo superior		Región de muestreo inferior	
		Polímero (g)	Aserrío (g)	Polímero (g)	Aserrío (g)	% polímero	% aserrío	% polímero	% aserrío
0	0	----	----	----	----	75,00	25,00	75,00	25,00
A	4	38,03	14,70	55,49	16,84	72,12	27,88	76,72	23,28
B		34,58	10,80	60,03	19,23	76,20	23,80	75,74	24,26
C		38,99	13,98	54,71	17,37	73,61	26,39	75,90	24,10
A	6	33,14	11,30	60,54	19,97	74,57	25,43	75,20	24,80
B		37,25	13,02	56,92	17,56	74,10	25,90	76,42	23,58
C		55,39	20,77	38,10	10,76	72,73	27,27	77,98	22,02
A	8	45,80	16,11	48,43	14,55	73,98	26,02	76,90	23,10
B		38,69	13,02	55,39	17,88	74,82	25,18	75,60	24,40
C		49,93	18,50	44,14	12,43	72,97	27,03	78,03	21,97

Fuente elaboración propia.

Tabla XIV. **Porcentaje de masa en formulación núm. 1: 25 % de polietileno de baja densidad y 75 % de residuos de aserrío que pasa a través de tamiz núm. 80, aplicando diferentes presiones**

Muestra	Presión (Ton)	Región de muestreo superior		Región de muestreo inferior		Región de muestreo superior		Región de muestreo inferior	
		Polímero (g)	Aserrío (g)	Polímero (g)	Aserrío (g)	% polímero	% aserrío	% polímero	% aserrío
0	0	----	----	----	----	25,00	75,00	25,00	75,00
A	4	17,68	52,00	13,60	42,39	25,37	74,67	24,29	75,71
B		17,87	58,08	13,27	36,12	23,52	76,41	26,86	73,13
C		14,00	44,04	17,49	49,59	24,12	75,87	26,07	73,92
A	6	14,95	46,27	16,65	47,48	24,42	75,58	25,96	74,03
B		15,74	51,85	15,72	40,96	23,28	76,73	27,73	72,26
C		12,56	43,38	18,95	50,32	22,45	77,54	27,35	72,64
A	8	13,83	48,65	17,31	44,48	22,13	77,86	28,01	71,98
B		15,05	46,82	16,39	47,32	24,32	75,67	25,72	74,27
C		14,37	46,43	17,17	47,55	23,63	76,36	26,53	73,47

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Porcentaje de masa en formulación núm. 2: 50 % de polietileno de baja densidad y 50 % de residuos de aserrío que pasa a través de tamiz núm. 80, aplicando diferentes presiones**

Muestra	Presión (Ton)	Región de muestreo superior		Región de muestreo inferior		Región de muestreo superior		Región de muestreo inferior	
		Polímero (g)	Aserrío (g)	Polímero (g)	Aserrío (g)	% polímero	% aserrío	% polímero	% aserrío
0	0	----	----	----	----	50,00	50,00	50,00	50,00
A	4	26,61	27,68	37,43	34,17	49,01	50,99	52,28	47,72
B		31,67	33,86	31,32	28,96	48,33	51,67	51,96	48,04
C		26,63	31,46	35,77	31,25	45,84	54,16	53,37	46,63
A	6	26,73	28,36	35,53	33,97	48,52	51,48	51,12	48,88
B		32,55	33,00	30,03	29,98	49,66	50,34	50,04	49,96
C		29,25	31,46	33,45	31,48	48,18	51,82	51,52	48,48
A	8	22,70	24,22	40,01	37,96	48,38	51,62	51,31	48,69
B		24,12	27,80	38,41	33,82	46,46	53,54	53,18	46,82
C		28,96	31,54	33,42	30,75	47,87	52,13	52,08	47,92

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Porcentaje de masa en formulación núm. 3: 75 % de polietileno de baja densidad y 25 % de residuos de aserrío que pasa a través de tamiz núm. 80, aplicando diferentes presiones**

Muestra	Presión (Ton)	Región de muestreo superior		Región de muestreo inferior		Región de muestreo superior		Región de muestreo inferior	
		Polímero (g)	Aserrío (g)	Polímero (g)	Aserrío (g)	% polímero	% aserrío	% polímero	% aserrío
0	0	----	----	----	----	75,00	25,00	75,00	25,00
A	4	51,64	17,25	43,07	13,18	74,96	25,04	76,57	23,43
B		32,08	12,01	61,88	19,06	72,76	27,24	76,45	23,55
C		42,78	15,90	51,04	15,40	72,90	27,10	76,82	23,18
A	6	44,92	15,85	48,93	15,20	73,92	26,08	76,30	23,70
B		44,76	16,24	49,35	14,70	73,38	26,62	77,05	22,95
C		40,43	15,20	53,27	16,67	72,68	27,32	76,17	23,83
A	8	58,46	20,18	35,50	10,87	74,34	25,66	76,56	23,44
B		52,82	18,92	40,96	12,10	73,63	26,37	77,20	22,80
C		42,78	16,60	51,06	14,98	72,04	27,96	77,32	22,68

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Porcentaje de masa en formulación núm. 1: 25 % de polietileno de baja densidad y 75 % de residuos de aserrío que pasa a través de tamiz núm. 100, aplicando diferentes presiones.**

Muestra	Presión (Ton)	Región de muestreo superior		Región de muestreo inferior		Región de muestreo superior		Región de muestreo inferior	
		Polímero (g)	Aserrío (g)	Polímero (g)	Aserrío (g)	% polímero	% aserrío	% polímero	% aserrío
0	0	----	----	----	----	25,00	75,00	25,00	75,00
A	4	16,98	53,00	15,69	39,14	24,26	75,76	28,61	71,38
B		18,60	52,17	14,08	39,92	26,28	73,71	26,07	73,92
C		18,21	53,69	14,20	39,35	25,32	74,67	26,51	73,48
A	6	14,61	51,53	16,86	41,90	22,09	77,91	28,69	71,30
B		14,06	48,13	18,40	44,96	22,61	77,39	29,04	70,96
C		14,63	46,68	17,80	45,47	23,86	76,13	28,13	71,86
A	8	15,16	47,65	16,20	46,58	24,13	75,86	25,80	74,19
B		14,73	52,18	16,57	41,01	22,01	77,98	28,77	71,22
C		13,98	46,59	17,12	46,39	23,08	76,91	26,95	73,04

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Porcentaje de masa en formulación núm. 2: 50 % de polietileno de baja densidad y 50 % de residuos de aserrío que pasa a través de tamiz núm. 100, aplicando diferentes presiones**

Muestra	Presión (Ton)	Región de muestreo superior		Región de muestreo inferior		Región de muestreo superior		Región de muestreo inferior	
		Polímero (g)	Aserrío (g)	Polímero (g)	Aserrío (g)	% polímero	% aserrío	% polímero	% aserrío
0	0	----	----	----	----	50,00	50,00	50,00	50,00
A	4	29,12	32,93	33,14	29,94	46,93	53,07	52,54	47,46
B		31,62	36,61	30,76	26,39	46,34	53,66	53,82	46,18
C		22,89	25,23	39,57	37,77	47,57	52,43	51,16	48,84
A	6	27,81	31,70	34,88	31,14	46,73	53,27	52,83	47,17
B		25,23	27,96	37,41	34,77	47,43	52,57	51,83	48,17
C		29,15	31,72	33,74	31,10	47,89	52,11	52,04	47,96
A	8	29,99	28,40	32,37	34,26	51,36	48,64	48,58	51,42
B		28,48	25,54	33,57	37,25	52,72	47,28	47,40	52,60
C		29,44	37,22	33,23	25,41	44,16	55,84	56,67	43,33

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Porcentaje de masa en formulación núm. 3: 75 % de polietileno de baja densidad y 25 % de residuos de aserrío que pasa a través de tamiz núm. 100, aplicando diferentes presiones**

Muestra	Presión (Ton)	Región de muestreo superior		Región de muestreo inferior		Región de muestreo superior		Región de muestreo inferior	
		Polímero (g)	Aserrío (g)	Polímero (g)	Aserrío (g)	% polímero	% aserrío	% polímero	% aserrío
0	0	----	----	----	----	75,00	25,00	75,00	25,00
A	4	54,11	19,28	40,25	11,44	73,72	26,27	77,86	22,13
B		45,96	15,89	48,33	14,26	74,30	25,69	77,21	22,78
C		45,29	16,22	48,66	14,89	73,63	26,37	76,57	23,43
A	6	48,99	17,45	46,16	12,40	73,73	26,26	78,82	21,17
B		57,74	19,9	36,27	11,08	74,37	25,63	76,60	23,40
C		47,23	17,65	46,97	13,18	72,79	27,20	78,08	21,91
A	8	41,77	15,28	52,53	15,23	73,21	26,78	77,52	22,47
B		51,56	18,56	42,33	12,56	73,53	26,46	77,11	22,88
C		51,61	18,31	42,40	12,74	73,81	26,18	76,89	23,11

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Promedio de porcentajes de polímero y porcentajes de residuos de aserrío de la región de muestreo superior y formulación 1**

Presión (Ton)	% polímero	% aserrío tamiz 40	% polímero	% aserrío tamiz 80	% polímero	% aserrío tamiz 100
0	25,00	75,00	25,00	75,00	25,00	75,00
4	22,32	77,68	24,34	75,66	25,29	74,71
6	22,36	77,64	23,39	76,61	22,85	77,15
8	23,17	76,83	23,37	76,63	23,07	76,92

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. Promedio de porcentajes de polímero y porcentajes de residuos de aserrío de la región de muestreo inferior y formulación 1

Presión (Ton)	% polímero	% aserrío tamiz 40	% polímero	% aserrío tamiz 80	% polímero	% aserrío tamiz 100
0	25,00	75,00	25,00	75,00	25,00	75,00
4	27,01	72,99	25,74	74,26	27,07	72,93
6	27,33	72,67	27,02	72,98	28,62	71,38
8	27,08	72,92	26,76	73,24	27,18	72,82

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. Promedio de porcentajes de polímero y porcentajes de residuos de aserrío de la región de muestreo superior y formulación 2

Presión (Ton)	% polímero	% aserrío tamiz 40	% polímero	% aserrío tamiz 80	% polímero	% aserrío tamiz 100
0	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
4	46,95	53,05	47,73	52,27	46,95	53,05
6	46,38	53,62	48,79	51,21	47,35	52,65
8	44,86	55,14	47,57	52,43	49,42	50,58

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. Promedio de porcentajes de polímero y porcentajes de residuos de aserrío de la región de muestreo inferior y formulación 2

Presión (Ton)	% polímero	% aserrío tamiz 40	% polímero	% aserrío tamiz 80	% polímero	% aserrío tamiz 100
0	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
4	52,42	47,58	52,54	47,46	52,51	47,49
6	53,16	46,84	50,89	49,11	52,23	47,77
8	53,07	46,93	52,19	47,81	50,88	49,12

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. Promedio de porcentajes de polímero y porcentajes de residuos de aserrío de la región de muestreo superior y formulación 3

Presión (Ton)	% polímero	% aserrío tamiz 40	% polímero	% aserrío tamiz 80	% polímero	% aserrío tamiz 100
0	75,00	25,00	75,00	25,00	75,00	25,00
4	73,98	26,02	73,54	26,46	73,89	26,11
6	73,80	26,20	73,32	26,68	73,63	26,37
8	73,92	26,08	73,34	26,66	73,52	26,48

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Promedio de porcentajes de polímero y porcentajes de residuos de aserrío de la región de muestreo inferior y formulación 3**

Presión (Ton)	% polímero	% aserrío tamiz 40	% polímero	% aserrío tamiz 80	% polímero	% pserrío tamiz 100
0	75,00	25,00	75,00	25,00	75,00	25,00
4	76,12	23,88	76,61	23,39	77,22	22,78
6	76,53	23,47	76,50	23,50	77,84	22,16
8	76,84	23,16	77,02	22,98	77,18	22,82

Fuente: elaboración propia.

### 3.8. Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA), para determinar la dispersión de los datos en el resultado y cuantificar si existe variación entre la segregación cuando se varía la presión aplicada.

El análisis se realizó con un nivel de significancia de 0,05 para un estudio, donde se trabajó con tres variables de formulación y tres de tamaño de partícula, con la aplicación de tres presiones aplicadas diferentes.

Tabla XXVI. **Factores de contraste obtenidos para determinar variación significativa en la segregación**

Formulación	Factor	Calculada	Crítico
1	F1	4,174	4,066
2	F2	3,116	4,066
3	F3	27,392	4,066

Fuente: elaboración propia.

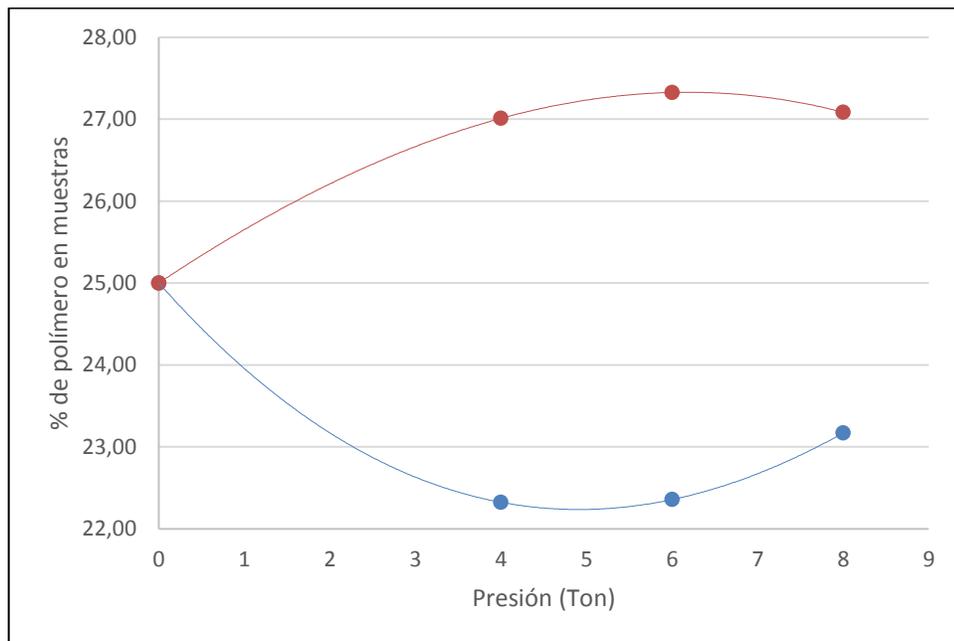
- Como  $F_1$  calculada es mayor que la  $F_1$  crítica se concluye que si hay diferencia significativa en la segregación cuando varia la presión aplicada, es decir, la presión sí influye en la segregación para la formulación 1.
- Como  $F_2$  calculada es menor que la  $F_2$  crítica, se concluye que se debe aceptar la hipótesis nula: no hay diferencia significativa en la segregación, esto quiere decir, que la presión aplicada no influye en la segregación para la formulación 2.
- Como  $F_3$  calculada es mayor que la  $F_3$  crítica, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que sí hay diferencia significativa en la segregación cuando se varía la presión.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Resultados para la formulación núm. 1 con los diferentes tamaños de partícula de residuos de aserrío

Los resultados para la formulación número 1 con los diferentes tamaños de partícula de residuos de aserrío se presentan en las figuras 1, 2 y 3.

Figura 1. **Porcentaje de polímero en mezcla en función de la presión aplicada a la formulación 25 % de polietileno de baja densidad y 75 % de residuos de aserrío que pasa por tamiz núm. 40**



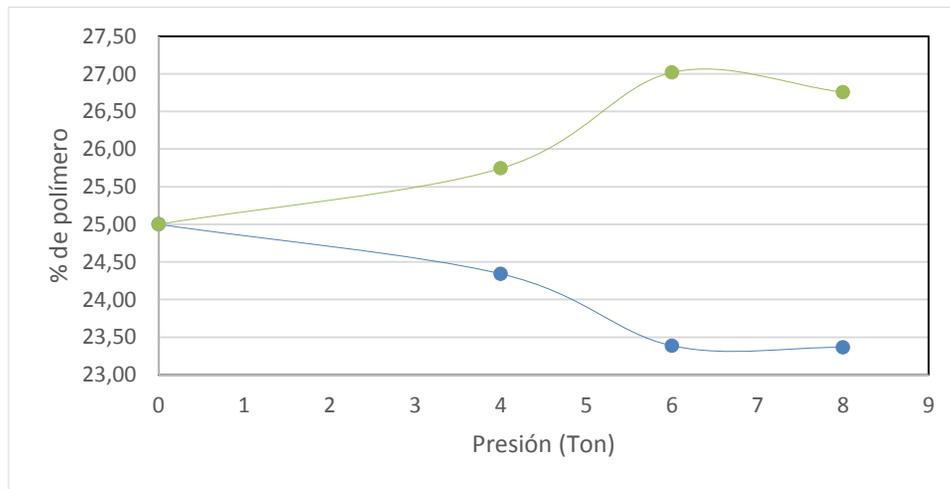
Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de las tablas XX y XXI.

Tabla XXVII. Descripción de la figura núm. 1

Color	Descripción
	Región de muestreo superior
	Región de muestreo inferior

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de la figura 1.

Figura 2. **Porcentaje de polímero en mezcla en función de la presión aplicada a la formulación 25 % de polietileno de baja densidad y 75 % de residuos de aserrío que pasa por tamiz núm. 80**



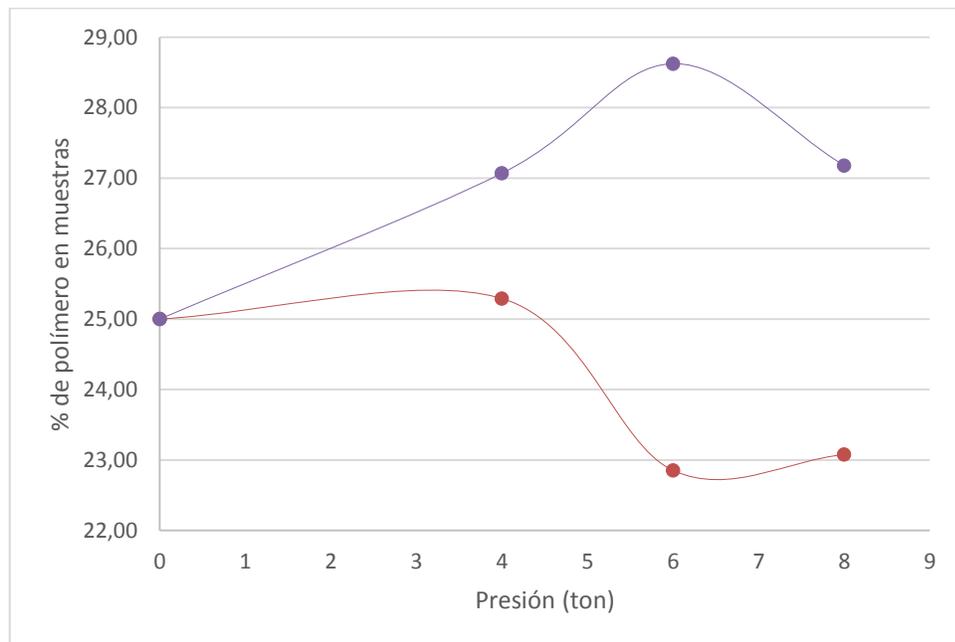
Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de las tablas XX y XXI.

Tabla XXVIII. Descripción de la figura núm. 2

Color	Descripción
	Región de muestreo superior
	Región de muestreo inferior

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de la figura 2.

Figura 3. **Porcentaje de polímero en mezcla en función de la presión aplicada a la formulación 25 % de polietileno de baja densidad y 75 % de residuos de aserrío que pasa por tamiz núm. 100**



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de las tablas XX y XXI.

Tabla XXIX. **Descripción de la figura núm. 3**

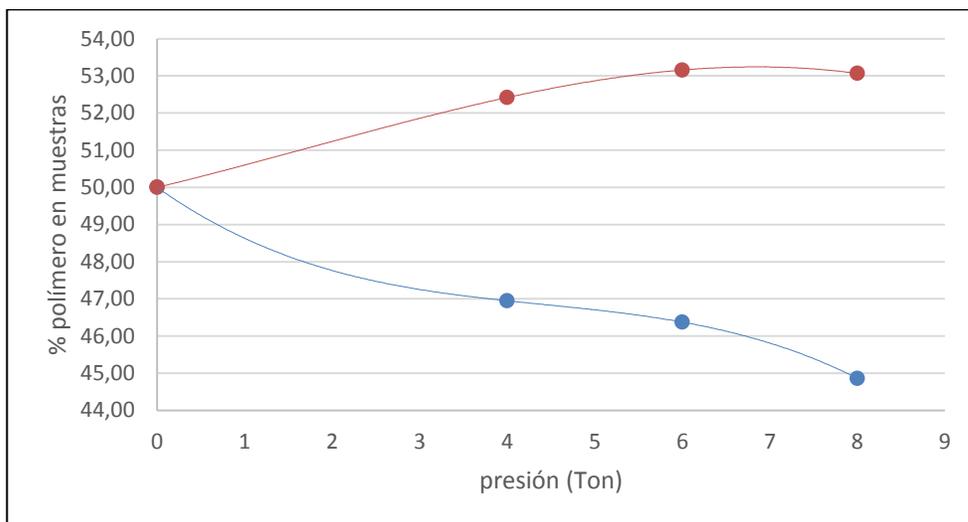
Color	Descripción
	Región de muestreo superior
	Región de muestreo inferior

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de la figura 3.

#### 4.2. Resultados para la formulación núm. 2 con los diferentes tamaños de partícula de residuos de aserrío

Los resultados para la formulación número 2 se pueden observar a continuación en las figuras 4, 5 y 6.

Figura 4. **Porcentaje de polímero en mezcla en función de la presión aplicada a la formulación 50 % de polietileno de baja densidad y 50 % de residuos de aserrío que pasa por tamiz núm. 40**



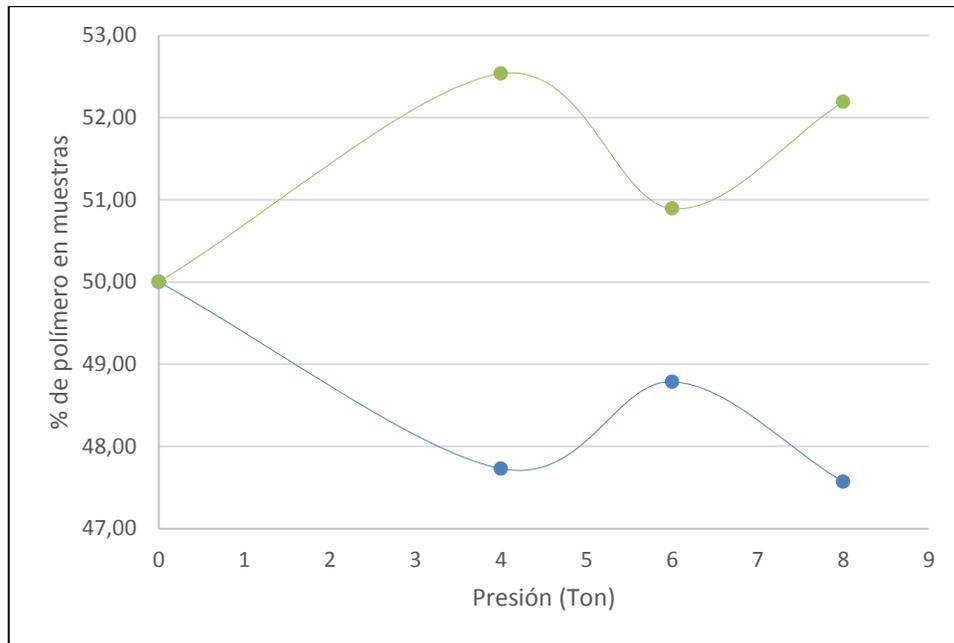
Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de las tablas XXII y XXIII.

Tabla XXX. **Descripción de la figura núm. 4**

Color	Descripción
	Región de muestreo superior
	Región de muestreo inferior

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de la figura 4.

Figura 5. **Porcentaje de polímero en mezcla en función de la presión aplicada a la formulación 50 % de polietileno de baja densidad y 50 % de residuos de aserrío que pasa por tamiz núm. 80**



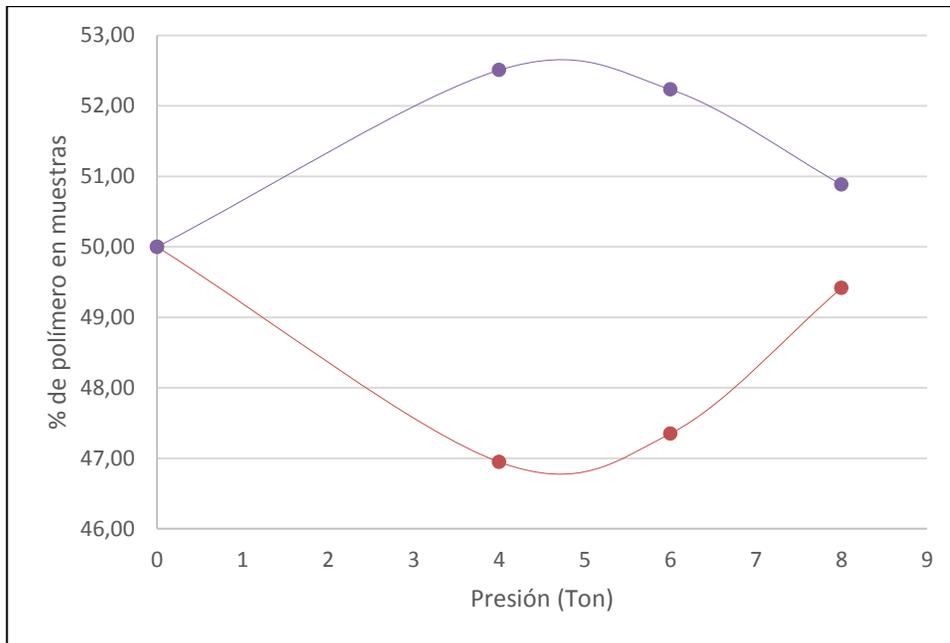
Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de las tablas XXII y XXIII.

Tabla XXXI. **Descripción de la figura núm. 5**

Color	Descripción
	Región de muestreo superior
	Región de muestreo inferior

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de la figura 5.

Figura 6. **Porcentaje de polímero en mezcla en función de la presión aplicada a la formulación 50 % de polietileno de baja densidad y 50 % de residuos de aserrío que pasa por tamiz núm. 100**



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de las tablas XXII y XXIII.

Tabla XXXII. **Descripción de la figura núm. 6**

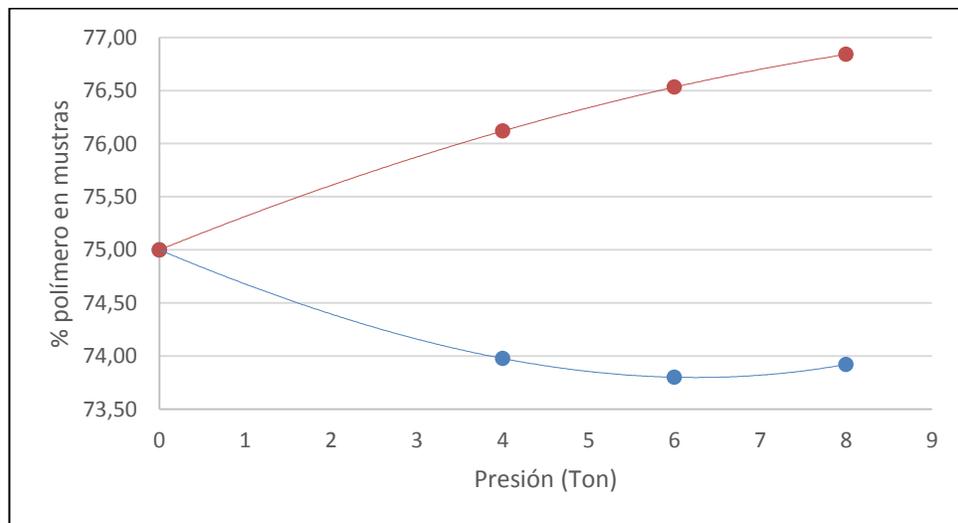
Color	Descripción
	Región de muestreo superior
	Región de muestreo inferior

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de la figura 6.

**4.3. Resultados para la formulación núm. 3 con los diferentes tamaños de partícula de residuos de aserrío**

A continuación se presentan los resultados de la formulación número 3 en las figuras 7, 8 y 9.

**Figura 7. Porcentaje de polímero en mezcla en función de la presión aplicada a la formulación 75 % de polietileno de baja densidad y 25 % de residuos de aserrío que pasa por tamiz núm. 40**



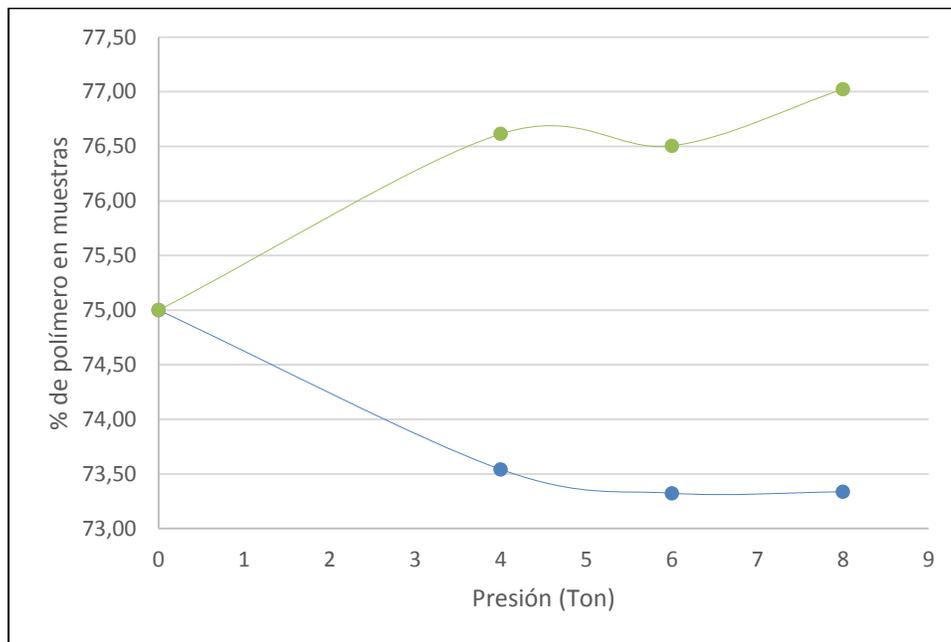
Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de las tablas XXIV y XXV.

**Tabla XXXIII. Descripción de la figura núm. 7**

Color	Descripción
	Región de muestreo superior
	Región de muestreo inferior

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de la figura 7.

Figura 8. **Porcentaje de polímero en mezcla en función de la presión aplicada a la formulación 75 % de polietileno de baja densidad y 25 % de residuos de aserrío que pasa por tamiz núm. 80**



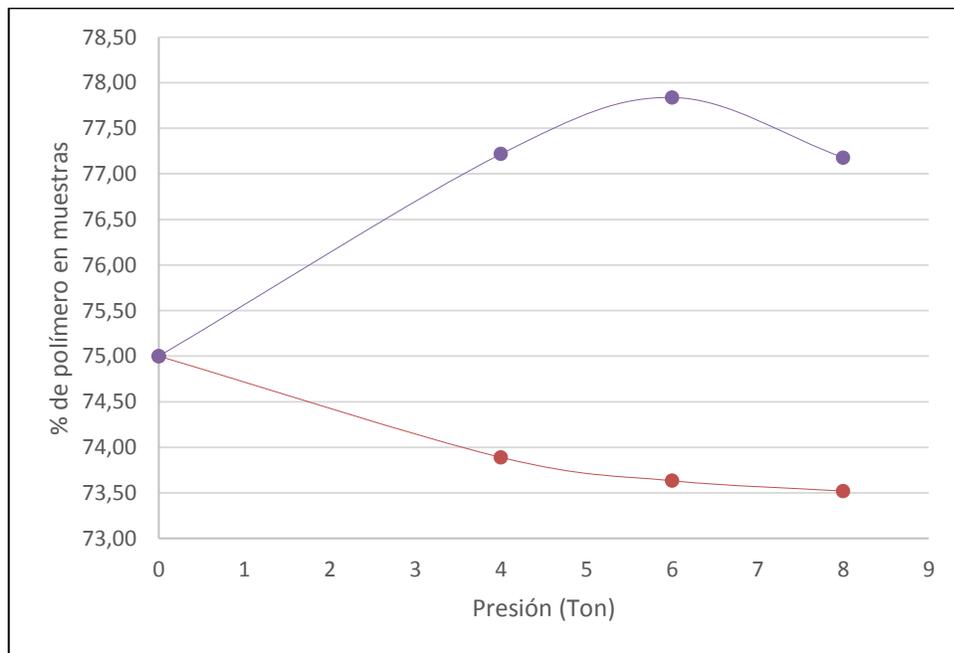
Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de las tablas XXIV y XXV.

Tabla XXXIV. **Descripción de la figura núm. 8**

Color	Descripción
	Región de muestreo superior
	Región de muestreo inferior

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de la figura 8.

Figura 9. **Porcentaje de polímero en mezcla en función de la presión aplicada a la formulación 75 % de polietileno de baja densidad y 25 % de residuos de aserrío que pasa por tamiz núm. 100**



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de las tablas XXIV y XXV.

Tabla XXXV. **Descripción de la figura núm. 9**

Color	Descripción
	Región de muestreo superior
	Región de muestreo inferior

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de la figura 9.



## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Se elaboraron probetas variando la formulación; identificando como “formulación núm. 1” a las mezclas con 25 % de polietileno de baja densidad y 75 % de residuos de aserrío; “formulación núm. 2” a las mezclas con 50 % de polietileno de baja densidad (polímero) y 50 % de residuos de aserrío; “formulación núm. 3” a las mezclas de 75 % de polietileno de baja densidad y 25 % de residuos de aserrío; para tres diferentes tamaños de partícula y tres presiones distintas; dando un total de ochenta y un probetas. A cada formulación se le aplicaron tres diferentes presiones en distintas corridas.

Cada resultado se representa en una gráfica que relaciona el porcentaje de polímero en mezcla, en función de la presión que se aplica.

En la figura 1 se representa el comportamiento observado en la segregación para probetas con formulación núm. 1; en la misma, se puede observar que el porcentaje de polímero aumenta en la región de muestreo inferior al aumentar la presión hasta 6 toneladas métricas y tiene una ligera disminución al llegar a las 8 toneladas métricas; en este caso, la segregación sí se ve afectada por la presión.

Las figuras 2 y 3 también representan el comportamiento de formulación núm. 1 con residuos de aserrío que pasa por tamiz núm.80 y tamiz núm.100 respectivamente; comparadas con la figura 1, las mezclas con partículas más finas tienen un comportamiento parecido, un aumento en la segregación al llegar hasta 6 toneladas métricas y una disminución de porcentaje de polímero evidente en la gráfica, al llegar a las 8 toneladas métricas.

La figura 1 muestra que la segregación es más parecida entre puntos, que la segregación con partículas finas mostradas en las figuras 2 y 3.

En la figura 4 se muestra el comportamiento de la formulación núm. 2 con residuos de aserrío que pasan por el tamiz núm. 40; se puede observar en dicha figura, que el porcentaje de masa del polietileno es mayor en la región de muestreo inferior al aumentar la presión.

En la figura 5 también para la formulación núm. 2, con residuos de aserrío que pasan por tamiz núm. 80, se observa una fluctuación en el comportamiento de dicha gráfica, de manera que el porcentaje de polímero en mezcla es mayor en la región de muestreo inferior, al aplicar 4 y 8 toneladas, que cuando se aplican 6 toneladas; esto caso indica que la segregación no se ve afectada por la presión aplicada.

La figura 6 representa el comportamiento de la formulación núm. 2 con residuos de aserrío que pasan por el tamiz núm. 100, es un caso contrario a la figura 5, donde indica que la presión no afecta la segregación, pero, por consecuencia, son los residuos de aserrío los que segregan, por ser muy finos.

En la figura 7 que muestra el comportamiento de la formulación núm. 3 se puede observar que al aumentar la presión el porcentaje de polímero en mezcla aumenta en la región de muestreo inferior, es decir, la presión sí afecta la segregación.

En la figura 8 se observa que el porcentaje de polímero en la mezcla es mayor en la región de muestreo inferior desde que se aplican 4 toneladas métricas, teniendo menor segregación en 6 toneladas que en 4 y 8 toneladas.

En la figura 9 se observa que el porcentaje de polímero en la región de muestreo inferior aumenta con la presión aplicada hasta 6 toneladas y tiene una ligera disminución en 8 toneladas, es decir, que sí se ve afectada la segregación por la presión, a mayor presión; mayor segregación.

Se determina que la segregación afecta a las partículas de residuos de aserrío en presiones de 8 toneladas para partículas muy finas. Para partículas más gruesas de residuos de aserrío, la segregación del polímero se ve afectada directamente al ir variando la presión.

Se comprueba que las formulaciones con menor porcentaje de residuos de aserrío y cuyo tamaño de partícula pasa por el tamiz núm. 40, hay mayor segregación al aumentar la presión. Además, se comprobó que la segregación se presenta de forma significativa cuando se tienen porcentajes muy altos de cada uno de los componentes, ya sea residuos de aserrío o polímero y que cuando los porcentajes están en proporción uno a uno, la segregación se ve atenuada y es independiente del tamaño de partícula.



## CONCLUSIONES

1. En los casos donde las partículas de residuos de aserrío son más grandes, al aumentar la presión, el polietileno de baja densidad aumenta su segregación, quedando en su mayoría en la parte inferior de la mezcla, es decir, sí se ve afectada la segregación por la presión aplicada.
2. El porcentaje de segregación de polímero para la formulación núm. 1, con los tamaños de partícula de residuos de aserrío que pasan por el tamiz núm. 40 y núm. 80, al aumentar la presión, esta aumenta.
3. El porcentaje de segregación de polímero para la formulación núm. 1, con el tamaño de partícula de residuos de aserrío que pasa por tamiz núm. 100, aumenta en la presión aplicada de 6 toneladas, y en las 8 toneladas, no afectan a la segregación del polímero.
4. El porcentaje de segregación de polietileno de baja densidad en la formulación núm. 2, con el tamaño de partícula de residuo de aserrío que pasa por el tamiz núm. 40, aumenta al aumentar la presión.
5. El porcentaje de segregación en la formulación núm. 2, con el tamaño de partícula de residuo de aserrío, que pasa por los tamices núm. 80 y núm. 100, es mayor en la presión aplicada de 4 toneladas, es decir que la presión no afecta la segregación.

6. El porcentaje de segregación de polietileno de baja densidad aumenta para la formulación núm. 3, con los tamaños de partícula de residuos de aserrío que pasan por los tamices núm. 40 y núm. 80, al aumentar la presión.
7. El porcentaje de segregación para la formulación núm. 3 para el tamaño de partícula de residuo de aserrío que pasa por el tamiz núm.100, aumenta con la presión 6 toneladas y tiene una disminución con la presión de 8 toneladas.
8. La presión que más se adecua para evitar una alta segregación es la de seis toneladas métricas para partículas más grandes de residuos de aserrío.
9. Las composiciones más uniformes, debido a las tendencias presentadas en las gráficas, son las formulaciones núm. 2 y núm. 3 al aplicar seis toneladas de presión, para los tamaños más grandes de partículas de residuos de aserrío.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio variando el tamaño de partícula, así como el tipo del polímero.
2. Evaluar el fenómeno de segregación a porcentajes más elevados de polímero en la mezcla.
3. Para minimizar el efecto de la segregación en las mezclas polímero-aserrío, deben usarse iguales proporciones de componentes.



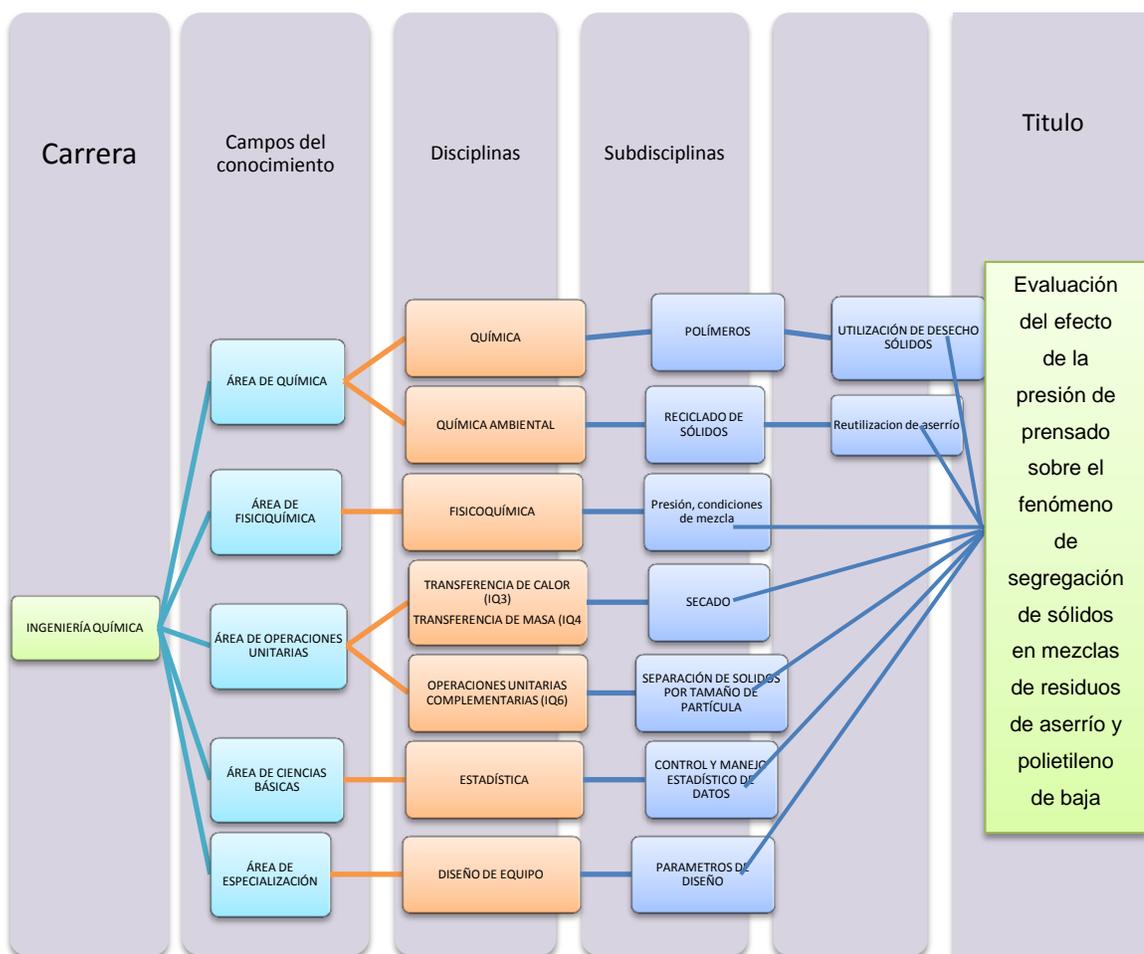
## BIBLIOGRAFÍA

1. GUERRA SALAZAR, María Eugenia. *Evaluación de los parámetros de operación adecuados para el procesamiento de la madera plástica, fabricada a partir de residuos de aserrín y polietileno de baja densidad de reciclado primario*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2014. 129 p.
2. HARPER, Charles A. *Manual de plásticos*. Tomo 1. México: McGraw-Hill Interamericana, 2004. 1052 p.
3. KIRK, E. Raymond; OTHMER, Donald F. *Enciclopedia de tecnología química*. Tomo. 13. México: Unión Tipografía Hispanoamericana, 1963. 973 p.
4. McCABE WARREN, Julián C.; SMITH, Peter. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. 7a ed. México: McGraw-Hill, 2007. 1211 p.
5. ORTIZ VILLALTA, Aurora María. *Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de la madera plástica elaborada a partir de mezclas de residuos de aserrín y polietileno tereftalato reciclado (PET reciclado)*. Trabajo de graduación de Ing. Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2015. 69 p.

6. PÉREZ MÉNDEZ, Emerson Víctor Manuel. *Análisis de las propiedades físicomecánicas para un sustituto de madera natural elaborado a base de plásticos reciclados*. Trabajo de graduación de Ing. Civil, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2010. 95 p.
7. RIVIERA TELLO, Mauricio Valenti. *Determinación de los parámetros adecuados para la elaboración de madera plástica por compresión en caliente de mezclas de desechos de madera teca (*Tectona grandis*) reducidos a aserrín y polipropileno*. Trabajo de graduación de Ing. Químico, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2014. 112 p.
8. RODWELL, Roger. *Handbook of wood chemistry and wood composites*. Estados Unidos: Taylor and Franceis, 2005. 474 p.
9. SAMPIERI, Roberto; FERNÁNDEZ COLLADO, Carlos; BAPTISTA LUCIO, María el Pilar. *Metodología de la investigación*. 4a ed. México: McGraw-Hill Interamericana, 2006. 139 p.
10. WALPOLE, Ronald E.; MEYERS, Raymond H.; MEYERS, Sharon L. *Probabilidad y estadística para ingenieros*. 6a ed. México: Prentice-Hall Hispanoamericana, 1999. 739 p.

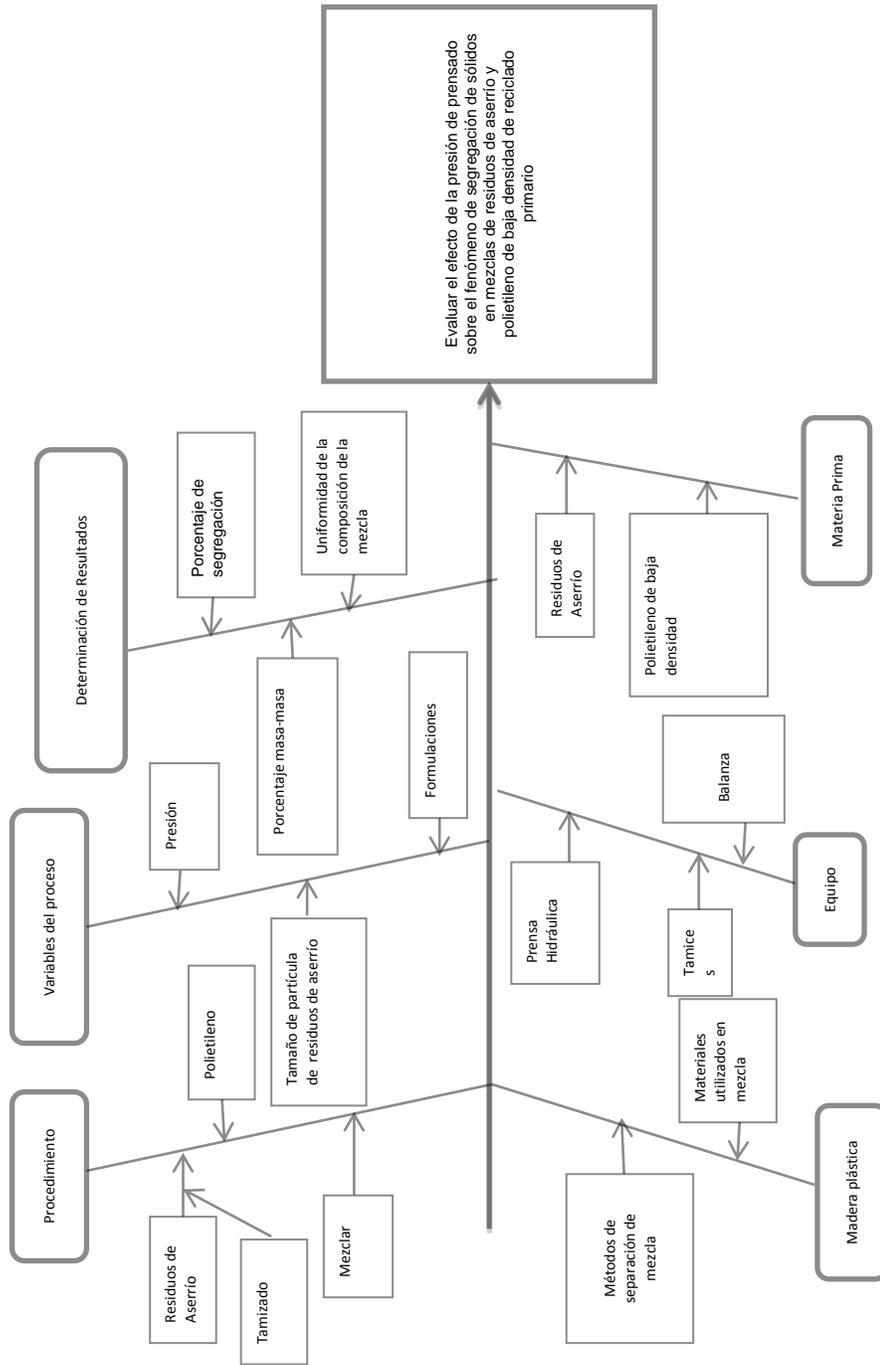
# APÉNDICES

Apéndice 1. **Tabla de requisitos académicos**



Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Procedimiento de la elaboración de las mezclas para determinar la segregación**

- Se realiza la recolección de la materia prima.
- Se tamizan los residuos de aserrío de los diferentes tipos de madera utilizados en la sección de tecnología de la madera, para obtener los tamaños deseados.
- El polietileno de baja densidad de reciclado primario es comprado y viene en *pellets* con un tamaño de partícula ya fijado.
- Se pesan los residuos de aserrío y el polietileno de baja densidad para formar una masa total de 125 g; los pesos de cada componente varían según la formulación.
- Se mezclan los dos componentes y se agrega un 10 % de agua en relación con la cantidad de residuos de aserrío.
- Se coloca papel aluminio en el molde, para una mejor manipulación de la misma.
- La mezcla es colocada en el papel aluminio.
- Se aplica la presión deseada y se espera hasta que se estabilice la aguja del medidor.
- Se saca del molde la mezcla con papel aluminio.
- Con una cuchilla se corta al medio.
- Se secan en el horno a 75 grados Celsius sacando cada 15 min para hasta el peso de la probeta original de 125 g (tomar en cuenta el peso del papel aluminio).
- Se tamizan para separar polímero de residuos de aserrío.
- Se pesa cada componente y se procede al cálculo de porcentaje de masa en cada sección de la muestra.

Apéndice 4. **Imágenes del procedimiento para la elaboración de las mezclas de residuos de aserrío y polietileno de baja densidad**

- Recolección de materia prima:



Fuente: Laboratorio de Tecnología de la Madera, CII, USAC.

Continuación del apéndice 4.

Se agrega coloca la mezcla de polímero y residuos de aserrío en una bolsa y se agrega agua y se agita:



Bolsa con la mezcla sin agua



Agua agregada a la mezcla



Bolsa con la mezcla con agua

Fuente: Laboratorio de Tecnología de la Madera, CII, USAC.

Continuación del apéndice 4.

- Se coloca papel aluminio en la probeta y se agrega la mezcla con agua.



Fuente: Laboratorio de Tecnología de la Madera, CII, USAC.

Continuación del apéndice 4.

Se lleva la mezcla a la prensa hidráulica y se aplica la presión deseada:



Fuente: Laboratorio de Tecnología de la Madera, CII, USAC.

Se corta la mezcla prensada con papel aluminio para mantener la forma:



Fuente: Laboratorio de Tecnología de la Madera, CII, USAC.

Continuación del apéndice 4.

Todas las piezas cortadas se colocan en una bandeja, debidamente identificadas y se procede a secar para eliminar el exceso de agua:



Fuente: Laboratorio de Tecnología de la Madera, CII, USAC.

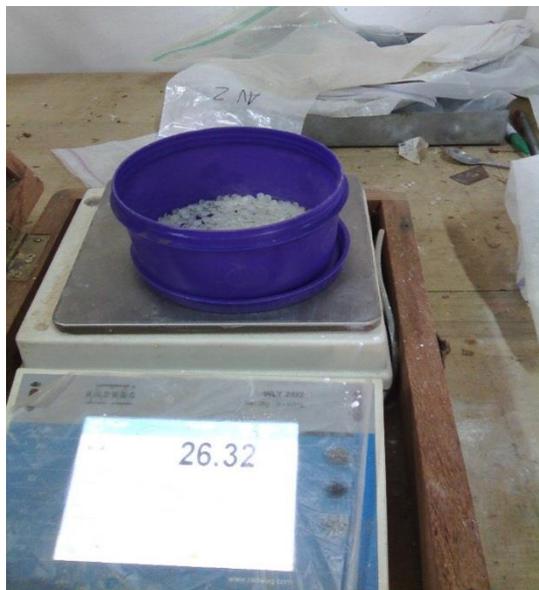
Se pulveriza la pieza para tamizarla y separar el polímero del aserrío:



Fuente: Laboratorio de Tecnología de la Madera, CII, USAC.

Continuación del apéndice 4.

Se pesa cada uno de los materiales:



Fuente: Laboratorio de Tecnología de la Madera, CII, USAC.

