

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



Fabricación de vasos usando chingaste de café como sustituto de vasos  
compostables comerciales

Trabajo de graduación en modalidad de trabajo profesional presentado por  
Laura Isabel Leiva Alvarez para optar al grado académico de Licenciada en  
Ingeniería Química

Guatemala  
2021



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería

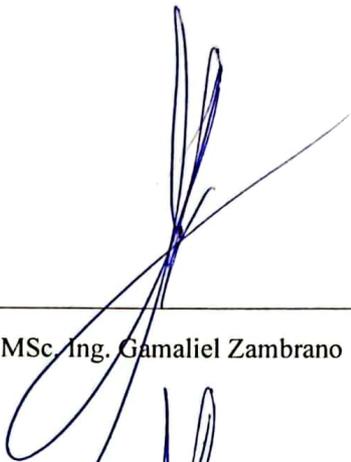


Fabricación de vasos usando chingaste de café como sustituto de vasos  
compostables comerciales

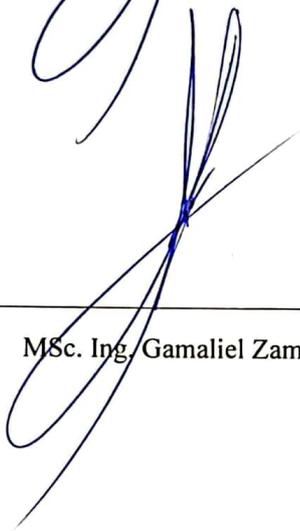
Trabajo de graduación en modalidad de trabajo profesional presentado por  
Laura Isabel Leiva Alvarez para optar al grado académico de Licenciada en  
Ingeniería Química

Guatemala  
2021

Vo. Bo.:

(f)   
MSc. Ing. Gamaliel Zambrano

Tribunal Examinador:

(f)   
MSc. Ing. Gamaliel Zambrano

(f)   
MSc. Ing. Luis Ernesto Núñez

(f) Carlo Martínez  
MSc. Lic. Carlo Martínez

Fecha de aprobación: Guatemala, 14 de diciembre de 2021

## PREFACIO

La elaboración de este trabajo de graduación surgió del interés de brindar información a la industria guatemalteca para promover una economía circular, usando como materia prima el chingaste de café y PLA para sustituir a los plásticos comerciales. Se buscó generar un nuevo material a partir de la mezcla de materias primas, siendo este un tipo de polímero resistente.

El desarrollo de este trabajo no se pudo haber realizado sin el apoyo de muchas personas e instituciones. Quiero agradecer a Dios por su guía y oportunidad brindadas, agradezco a mi familia por su apoyo en todo momento. A mis padres Margarita Álvarez y Francisco Leiva, a mi hermano Javier Leiva, a mi tía Liana Alvarado, mi abuela Margarita Alvarado y todos los demás miembros de la familia y amigos cercanos que siempre confiaron y creyeron en mí. A mis amigos también que siempre estuvieron apoyándome incondicionalmente, alegrando y haciendo divertido todo el proceso no solo del trabajo sino del estudio. Aquellos compañeros de vida que he tenido tanto dentro como fuera de la Universidad, cada uno brindado su apoyo incondicional.

Agradezco a Universidad del Valle de Guatemala y al departamento de Ingeniería Química por el apoyo con los equipos, la guía brindada durante toda la carrera y por permitirme desarrollar la investigación. Igualmente agradezco a mi asesor e ingenieros que estuvieron presente durante todo mi proceso de investigación apoyándome con su conocimiento y consejos.

De igual forma, mi más sincero agradecimiento al personal técnico del laboratorio de Operaciones Unitarias y al personal del laboratorio de investigación de alimentos. Que siempre estuvieron dispuestos a ayudarme y enseñarme a partir de su experiencia y consejos.

Agradezco a todos por confiar en mí y por formar parte de una parte muy importante de mi vida. Este trabajo va dedicado a todas las personas anteriormente mencionadas, personas que las considero parte muy importante de mi vida y que sin ellas no hubiera podido ser lo que soy ahora.

# ÍNDICE

RESUMEN .....	i
ABSTRACT.....	ii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. OBJETIVOS .....	2
A. General.....	2
B. Específicos .....	2
III. JUSTIFICACIÓN .....	3
IV. MARCO TEÓRICO.....	4
A. Consumo de café en Guatemala y el mundo.....	4
B. Consumo de plásticos en el mundo y Guatemala.....	5
C. Degradación .....	7
D. Biodegradabilidad .....	9
E. Compostaje y tipos de compost .....	9
F. Vasos desechables.....	11
G. Caracterización de materia prima.....	12
H. Procesos de moldeo de polímeros .....	14
I. Etapas de la comercialización .....	16
J. Ficha técnica .....	17
K. Ecuaciones .....	18
V. METODOLOGÍA .....	20
A. OBSERVACIÓN .....	20
B. PREPARACIÓN PREVIA DEL CHINGASTE DE CAFÉ.....	20
C. PREPARACIÓN DE MEZCLA Y ELABORACIÓN DE MUESTRAS .....	20
D. PRUEBAS DE COMPOSTAJE.....	21
E. MOLDEO DE MATERIAL.....	22
F. OBTENCIÓN DE DATOS TÉCNICOS DEL MATERIAL .....	23
VI. RESULTADOS.....	26
VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	32

VIII.	CONCLUSIONES .....	36
IX.	RECOMENDACIONES .....	37
X.	BIBLIOGRAFÍA .....	38
XI.	ANEXOS .....	40
A.	DATOS ORIGINALES .....	40
B.	CÁLCULOS DE MUESTRA .....	45
C.	ANÁLISIS DE ERROR .....	48
D.	DATOS CALCULADOS .....	49
E.	IMÁGENES DE EQUIPOS UTILIZADOS .....	55
F.	IMÁGENES DE EXPERIMENTACIÓN .....	62
XII.	GLOSARIO .....	73

## ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Cantidades de café importado por países que son principales consumidores .....	4
Imagen 2. Utilización de los residuos de café en Guatemala.....	5
Imagen 3. Representación gráfica del consumo mundial de plástico en el año 2018.....	6
Imagen 4. Representación gráfica del consumo mundial de plástico en el año 2019.....	7
Imagen 5. Características del compost utilizado para la experimentación .....	11
Imagen 6. Ejemplos de tamaños comunes de vasos desechables encontrados en el mercado .....	12
Imagen 7. Chingaste de café sobrante luego de utilizar una percoladora .....	13
Imagen 8. Equipo utilizado para el proceso de extrusión de polímeros.....	14
Imagen 9. Equipo utilizado para proceso de moldeo por inyección .....	15
Imagen 10. Equipo utilizado para el proceso de moldeo artesanal .....	16
Imagen 11. Figura del diseño de molde utilizado para la elaboración de vasos a partir de mezcla de chingaste de café y PLA.....	26
Imagen 12. Comparación de vasos fabricados a partir de chingaste de café y PLA.....	27
Imagen 13. Comparación de vasos fabricados a partir de chingaste de café y PLA con vasos existentes a partir de bambú y fécula de maíz.....	27
Imagen 14. Especificaciones técnicas del PLA utilizado como materia prima .....	45
Imagen 15. Espectrofotómetro PerkinElmer Spectrum Versión 10.5.4.....	55
Imagen 16. Horno al vacío marca VWR modelo 1410M .....	56
Imagen 17. Horno de convección marca Fisher Scientific .....	57
Imagen 18. Prensa hidráulica marca Carver modelo #3912 .....	58
Imagen 19. Compresora universal marca Versa Tester.....	59
Imagen 20. Tamizador marca Ro-Tar .....	60
Imagen 21. CNC marca Haas modelo TL1 .....	61
Imagen 22. Diseño de molde a utilizar para producción de vasos a partir de mezcla de chingaste de café y PLA.....	62
Imagen 23. Molde prototipo elaborado a partir de MoldStar.....	63
Imagen 24. Acero 10/43 utilizado para la elaboración del molde por medio de un CNC .....	63
Imagen 25. Proceso realizado en CNC para la elaboración del molde para producir vasos a partir de mezcla de chingaste de café y PLA.....	64
Imagen 26. Molde elaborado a partir de acero 10/43.....	64
Imagen 27. Proceso de elaboración del vaso en prensa hidráulica .....	65
Imagen 28. Muestras elaboradas a partir de mezcla de chingaste de café y PLA con un tamaño de partícula de 0.707 mm (mesh 25), 0.354 mm (mesh 45) y 0.250 mm (mesh 60) .....	66
Imagen 29. Análisis de IR realizada a muestra de mezcla de chingaste de café con PLA para determinación cualitativa de posible biodegradabilidad .....	66
Imagen 30. Lavado de chingaste de café utilizando 1 L de agua destilada durante 24 h.....	67
Imagen 31. Compostera casera utilizada para análisis de degradación del material de vasos compostables comerciales y de mezcla chingaste de café con PLA .....	67
Imagen 32. Primera extracción de muestras desde la compostera casera, realizada pasados los primeros 20 días de degradación.....	68

Imagen 33. Colocación de muestras en horno al vacío .....	69
Imagen 34. Prueba de flotabilidad realizada a piezas de material .....	69
Imagen 35. Prueba realizada para obtención de datos para el análisis de absorción de agua .....	70
Imagen 36. Lugar de ruptura de piezas utilizadas para análisis de tensión.....	70
Imagen 37. Equipos utilizados para determinar el punto de fusión del material fabricado .....	71
Imagen 38. Vasos moldeados a partir del material fabricado, realizado en triplicado.....	71
Imagen 39. Comparación de vasos fabricados a partir de chingaste de café y PLA con vasos a partir de bambú y fécula de maíz .....	72
Imagen 40. Vasos moldeados y procesados para eliminar excesos de mezcla .....	72

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Comparación de porcentaje de masa perdida promedio de cada una de las muestras respecto al tiempo durante el análisis de compostaje.....	28
Gráfica 2. Grupos funcionales por análisis IR realizado a muestra de chingaste de café con PLA.....	29
Gráfica 3. Balance de masa y energía del proceso total de manufactura de un vaso a partir de chingaste de café y PLA.....	31
Gráfica 4. Pérdida de masa porcentual respecto al tiempo de cada una de las muestras de material.....	53
Gráfica 5. Comparación de deformación respecto a la carga de las piezas realizadas a partir de chingaste de café y PLA.....	54

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales constituyentes de la borra de café (%materia seca).....	13
Tabla 2. Porcentaje de masa perdida de cada una de las muestras de chingaste de café con PLA respecto al tiempo durante el análisis de compostaje.....	27
Tabla 3. Porcentaje de masa perdida de cada una de las muestras comerciales y mezcla de chingaste de café y PLA respecto al tiempo durante el análisis de compostaje.....	28
Tabla 4. Dimensiones promedio del vaso moldeado a partir de mezcla de chingaste de café con PLA.....	29
Tabla 5. Punto de fusión promedio del material realizado a partir de mezcla de chingaste de café y PLA.....	29
Tabla 6. Porcentaje de agua absorbida por la mezcla chingaste de café y PLA respecto al tiempo.....	30
Tabla 7. Análisis de flotabilidad realizada al material proveniente de la mezcla de chingaste de café con PLA.....	30
Tabla 8. Carga promedio que soportan las piezas realizadas a partir de mezcla de chingaste de café y PLA.....	30
Tabla 9. Prueba de flotación realizada a la mezcla chingaste de café y PLA.....	40
Tabla 10. Masas iniciales del material chingaste de café y PLA para absorción de agua.....	40
Tabla 11. Masas del material chingaste de café y PLA para absorción de agua.....	40
Tabla 12. Masas de muestras de bambú durante el proceso de compostaje.....	41
Tabla 13. Masas de muestras de fécula de maíz durante el proceso de compostaje.....	41
Tabla 14. Masas de muestras de mezcla de chingaste de café con PLA durante el proceso de compostaje.....	42
Tabla 15. Prueba de tensión de la muestra 1 realizada a partir de la mezcla de chingaste de café con PLA.....	42
Tabla 16. Prueba de tensión de la muestra 2 realizada a partir de la mezcla de chingaste de café con PLA.....	43
Tabla 17. Prueba de tensión de la muestra 3 realizada a partir de la mezcla de chingaste de café con PLA.....	43
Tabla 18. Dimensiones de vasos moldeados a partir de mezcla de chingaste de café y PLA.....	44
Tabla 19. Punto de fusión del material fabricado a partir de mezcla de chingaste de café con PLA.....	44
Tabla 20. Masa promedio de las muestras de chingaste de café con PLA para análisis de absorción de agua.....	49

Tabla 21. Porcentaje de absorción de agua de las muestras de mezcla de chingaste de café con PLA.....	50
Tabla 22. Porcentaje y cantidad de masa perdida con respecto al tiempo para la muestra de vaso compostable a partir de bambú. ....	50
Tabla 23. Porcentaje y cantidad de masa perdida con respecto al tiempo para la muestra de vaso compostable a partir de fécula de maíz. ....	50
Tabla 24. Porcentaje y cantidad de masa perdida con respecto al tiempo para la muestra 1 de vaso compostable a partir de chingaste de café con PLA. ....	51
Tabla 25. Porcentaje y cantidad de masa perdida con respecto al tiempo para la muestra 2 de vaso compostable a partir de chingaste de café con PLA. ....	51
Tabla 26. Porcentaje y cantidad de masa perdida con respecto al tiempo para la muestra 3 de vaso compostable a partir de chingaste de café con PLA. ....	52
Tabla 27. Porcentaje promedio de masa perdida para las muestras 1, 2 y 3 de mezcla de chingaste de café con PLA.....	52
Tabla 28. Carga promedio que soportan las piezas realizadas a partir de mezcla de chingaste de café y PLA.. ....	52
Tabla 29. Dimensiones promedio de los vasos moldeados a partir de mezcla de chingaste de café.....	53
Tabla 30. Punto de fusión promedio para material fabricado a partir de mezcla de chingaste de café y PLA... ..	53

## RESUMEN

Este trabajo de investigación tuvo como objetivo presentar el estudio sobre la fabricación de un material a partir de la mezcla de chingaste de café y PLA, con el fin de encontrar un nuevo material que pueda ser utilizado en vez de los productos desechables que dañan al ambiente hoy en día. Primeramente se analizó la composición de la mezcla por medio de un análisis IR, para determinar por las características de sus picos, si puede ser un posible material compostable.

Se analizaron y compararon las muestras del material nuevo con muestras de otros materiales compostables que se encuentran en el mercado, siendo estos: fécula de maíz y bambú. Se encontró que el material desarrollado (mezcla de chingaste de café con PLA) pierde su masa con un promedio de 2.3% m/m cada 20 días. Siendo este colocado en el segundo lugar al momento de realizar una comparación con los otros dos productos encontrados en el mercado. Cabe mencionar que el material de bambú se posicionó en el primer lugar con una pérdida de masa promedio de 6.07% m/m cada 20 días y la fécula de maíz en el último con una pérdida de masa promedio de 0.85% m/m cada 20 días. Estos materiales son utilizados para producir vasos desechables de uso común, y son vendidos como productos biodegradables y/o compostables. Sin embargo, ninguno de estos materiales demostró ser compostable al momento de realizar el análisis de compostaje en una compostera casera.

También se determinaron características físicas de este material, siendo las principales pruebas de absorción de agua, análisis de flotabilidad, punto de fusión y análisis de tensión. Obteniendo que las muestras absorbieron la misma cantidad de agua durante el tiempo de análisis, demostrando que puede ser un material permeable; también se demostró que el material no tiene la capacidad de flotar. El material de mezcla de chingaste de café con PLA se fundió a una temperatura de  $200 \pm 5^\circ\text{C}$  y la carga promedio de tensión que soportan las piezas al ser estiradas fue de 1537.53 kPa, deformándose 0.206 m en promedio. Por último, se utilizó el programa Inventor para realizar el diseño de un molde para moldear la mezcla y producir un vaso de 4 oz, el diseño consistió en hacer dos moldes en donde uno fuera la cavidad donde ingresaría la mezcla y el otro fuera el encargado de dar la forma del vaso. Este molde fue diseñado para ser colocado en una prensa hidráulica y encajara en la misma. El material para elaborar el molde fue acero 10/43 para que resistiera la temperatura a la que el material se funde, cabe mencionar que para dar la forma al molde fue necesario utilizar un CNC.

Se recomienda principalmente que se procure realizar un procedimiento con equipos más industriales, donde se pueda realizar la mezcla más homogéneamente y que el proceso de moldeo sea por inyección. También se recomienda utilizar otros tipos de PLA que puedan ser más fluidos y menos viscosos para facilitar el proceso de moldeo y así brindar oportunidades para otros tipos de productos a partir de la mezcla.

## ABSTRACT

The objective of this research work was to present a study on the manufacture of a material from a mixture of coffee chingaste and PLA, in order to find a new material that can be used instead of disposable products that damage the environment today. First, the composition of the mixture was analyzed by IR analysis, to determine by the characteristics of its peaks, if it can be a possible compostable material.

Samples of the new material were analyzed and compared with samples of other compostable materials on the market, such as corn starch and bamboo. It was found that the developed material (mixture of coffee chingaste with PLA) loses its mass with an average of 2.3% m/m every 20 days. It was placed in second place when compared with the other two products found in the market. It is worth mentioning that bamboo material was positioned in first place with an average mass loss of 6.07% m/m every 20 days and corn starch in last place with an average mass loss of 0.85% m/m every 20 days. These materials are used to produce commonly used disposable cups, and are sold as biodegradable and/or compostable products. However, none of these materials proved to be compostable at the time of composting analysis in a home composter.

Physical characteristics of this material were also determined, the main tests being water absorption, buoyancy analysis, melting point and tensile analysis. Obtaining that the samples absorbed the same amount of water during the time of analysis, demonstrating that it can be a permeable material; it was also demonstrated that the material does not have the capacity to float. The coffee chingaste mix material with PLA was melted at a temperature of  $200\pm 5^{\circ}\text{C}$  and the average tensile load supported by the pieces when stretched was 1537.53 kPa, deforming 0.206 m on average. Finally, the Inventor program was used to design a mold to mold the mixture and produce a 4 oz. glass, the design consisted of making two molds where one was the cavity where the mixture would enter and the other was in charge of shaping the glass. This mold was designed to be placed in a hydraulic press and fit into it. The material used to make the mold was 10/43 steel to withstand the temperature at which the material melts, it is worth mentioning that to shape the mold it was necessary to use a CNC.

It is mainly recommended that a procedure with more industrial equipment, where the mixture can be made more homogeneously and the molding process is by injection molding. It is also recommended to use other types of PLA that can be more fluid and less viscous to facilitate the molding process and thus provide opportunities for other types of products from the mixture.

# I. INTRODUCCIÓN

Con el crecimiento industrial en el mundo, muchos productos y materiales se han vuelto dañinos e insostenibles para el ambiente. Las industrias se ven afectadas positivamente por el aumento de consumidores, pero también se ven afectados negativamente por las generaciones de gases de efecto invernadero y otros tipos de contaminación que no han podido manejar adecuadamente. Por estas razones de exceso de consumo y de contaminación, se han creado procesos alternativos que se enfocan en la reutilización de los desechos.

El café es uno de los alimentos más consumidos en el mundo y es así como ahora se han comenzado a reutilizar materiales de desecho orgánico como el que queda luego de preparar café en una cafetera, llamado chingaste de café. Con las ideas innovadoras, este material se utiliza para crear distintos objetos, así como adornos del hogar, utensilios de cocina, y vasos para transportar el café y mantener su temperatura. También se ha utilizado este desecho como un fertilizante, por sus contenidos de proteína, celulosa, ceniza, calcio y fósforo. El chingaste de café se caracteriza por tener grandes cantidades de ácidos grasos, proteínas, ácidos clorogénicos, carbohidratos y en menor cantidad cafeína y elementos traza (Narváez, *et al.*, 2018).

Los plásticos son materiales sintéticos o naturales constituidos por unidades individuales (monómeros) con la característica que son maleables. Su consumo mundial presenta una fuerte tasa de crecimiento de 9% anual y son materiales que no pueden degradarse fácilmente (Oceaneye, 2016; Greenpeace, 2021). Existen polímeros que tienen la capacidad de poder degradarse más rápido en presencia de microorganismos que aceleran su descomposición, estos polímeros son llamados biodegradables. También hay materiales compostables que se descomponen durante un proceso de compostaje para producir dióxido de carbono, agua, compuestos inorgánicos y biomasa (Plastivida, 2007).

El ácido poliláctico es uno de los polímeros biodegradables más utilizados. Pero es también uno de los más costosos de producir, generando limitaciones para su producción masiva. Habiendo conocido un poco acerca del polímero biodegradable y del chingaste de café se han propuesto soluciones a estos problemas de contaminación. Una de las propuestas es mezclar estos dos compuestos para que se pueda aprovechar el desecho de chingaste de café y que el uso de PLA se reduzca. De manera que el costo de producción de cualquier objeto a partir de PLA se puede reducir debido a la mezcla con el chingaste, agregando también que el chingaste ayuda a que la degradabilidad del PLA sea más rápida.

Por lo que el objetivo principal de esta investigación fue obtener un material moldeable y compostable a partir de la mezcla de chingaste de café y PLA. Que posea las características físicas necesaria para poder ser resistente y lavable, y así producir utensilios para consumir alimentos, tal como vasos desechables. Teniendo la idea principal de extender el ciclo de vida del café, eliminando la fase del desecho luego de haberse consumido como bebida. También se buscó analizar la capacidad que posee el material para compostarse y compararlo así con otros dos materiales usados actualmente en el mercado para producir vasos compostables (tales como bambú y fécula de maíz). Por último, se determinaron sus características mecánicas y físicas para observar su resistencia a momento de estirarse, calentarse y mojarse.

## II. OBJETIVOS

### A. General

Producir un material compostable a partir de la mezcla de chingaste de café y PLA para compararlo con dos productos compostables comerciales que se encuentran en el mercado.

### B. Específicos

- Diseñar y producir un vaso a partir del material obtenido (mezcla de chingaste de café y PLA) por medio de moldeo para compararlo en forma y resistencia con los otros dos vasos comerciales.
- Realizar un análisis de compostaje del material producido a partir de chingaste de café y compararlo con dos productos compostables (vasos) que se encuentran en el mercado actualmente.
- Realizar una ficha técnica del producto, a partir de la determinación de sus dimensiones, flotabilidad, punto de fusión, absorción de agua, fuerza de tensión y grupos funcionales con IR; para indicar las características básicas que posee el vaso.

### III. JUSTIFICACIÓN

En Guatemala el café se considera un cultivo de suma importancia económica. Consumiéndose aproximadamente 0.31 tazas de café al día y exportándose cerca del 2.4% de 163.2 millones de sacos de 60 kg del café total al mundo. La especie más consumida es el *C. arábica*, siendo utilizada la variedad de Catuaí que se adapta a la zona central, norte y oriental del país (Anacafé, 2019). Aunque se trata de un cultivo importante para el país, este genera una gran cantidad de residuos durante todo el proceso de producción. Entre los que se puede mencionar el chingaste o borra de café, que es el residuo de café molido que queda en los filtros de las cafeteras. El cual se utiliza actualmente como fertilizante y exfoliante en países extranjeros. También se encuentra el plástico como uno de los mayores desechos mundiales, siendo vertidos 8 millones de toneladas a los océanos. Y en Guatemala sus residuos excedieron los 6,300 millones de toneladas para el año 2015, aumentando así cada año.

Se ha demostrado en análisis realizados en 2015 en Taiwán por Wu que el chingaste de café se puede mezclar con PLA, y así aprovechar la obtención de un material que sea compostable. Siendo este material lo suficientemente resistente para poder ser utilizado en vez de los plásticos comerciales para crear objetos como maceteras, ceniceros, tablas para picar y demás. Incluyendo también que el chingaste de café es capaz de reducir el tiempo de degradación del PLA, generando así un alargamiento de vida útil al café por el uso que se le da a uno de sus desechos, ocasionando también una reducción en el impacto ambiental y representando un beneficio económico para la industria que contribuiría al desarrollo sostenible.

Guatemala se encuentra en el puesto 45 a nivel mundial en consumidores de café, produciendo aproximadamente 14 g de chingaste de café por cada taza al día. Más del 65% del chingaste de café que se obtiene como residuo luego de preparar el café en una percoladora termina vertido en los rellenos sanitarios del país, como lo indica la MINECO en su documento Café de Guatemala. Por lo tanto, este estudio se enfoca en el aprovechamiento del chingaste de café para crear un material alternativo al plástico que sea degradado más rápido.

El objetivo es proporcionar datos técnicos acerca del material desarrollado a partir de la mezcla chingaste de café y PLA, analizando su degradabilidad comparada con otros productos llamados biodegradables en el mercado. Haciendo énfasis en el uso viable de esta mezcla como alternativa de materia prima al momento de producir plásticos, contribuyendo así a la disminución de residuos plásticos y orgánicos para agregar un valor económico por las oportunidades de negocio que este material puede brindar.

## IV. MARCO TEÓRICO

### A. Consumo de café en Guatemala y el mundo

El café es un producto consumido en la mayoría de los lugares de todo el mundo, en algunos es una bebida indispensable para el día a día. Estadísticas actualizadas al 2020 proporcionadas por el ICO (International Coffee Organization), los países de la Unión Europea son los mayores importadores de Café en el mundo. Agregando también que el consumo llega a ser de 10,000 millones de kilos de café al año, bebiendo una persona un promedio de 1.3 kilos al año (ICO, 2020).

Imagen 1. Cantidades de café importado por países que son principales consumidores

<i>Importing countries (Coffee years: October - September)</i>	<b>110 154</b>	<b>112 763</b>	<b>117 589</b>	<b>118 319</b>	<b>2.4%</b>
European Union	42 567	44 017	46 129	45 667	2.4%
USA	25 775	26 112	27 759	27 934	2.7%
Japan	7 913	7 750	7 561	7 573	-1.5%
Russian Federation	4 638	4 324	4 506	4 627	-0.1%
Canada	3 783	3 829	3 885	3 942	1.4%
Algeria	2 223	2 254	2 286	2 318	1.4%
South Korea	2 316	2 371	2 484	2 602	4.0%
Australia	1 847	1 854	1 908	1 963	2.1%
Saudi Arabia	1 430	1 459	1 527	1 598	3.8%
Turkey	1 378	1 376	1 431	1 488	2.6%
Ukraine	1 120	1 252	1 223	1 194	2.2%

Fuente. ICO (2020)

El consumo de América Latina se hace en relación con el consumo de café por tazas por día, ningún país latinoamericano entra en el ranking en consumidores de café, esto es debido a razones como el clima debido a que se recurre a una bebida caliente como lo es el café (Tamara, 2009).

Guatemala cuenta con el puesto 45 a nivel mundial en consumidores de Café con 0,31 tazas por día, los primeros tres países latinoamericanos consumidores de café son: Brasil con 0,6 tazas por día, Colombia con 0,5 tazas por día y Chile con 0,4 tazas por día (Tamara, 2009). A nivel mundial Finlandia es el primer país consumidor de café, con 11,6 kilos de café por persona, seguido de Noruega e Islandia con 10 kg y 8,9 kilos de persona por año respectivamente (MINECO, 2019).

La industria de café en Guatemala ha mostrado una tendencia hacia productos premium, por las tiendas que consumen granos y granos tostados (&Café, Barista, Starbucks, etc.). Para 2019 el mercado guatemalteco es de Q 2.3 mil millones, con una participación de café instantáneo del 23% del total de las ventas y el 67% es café molido. Para el 2022 está estimado que llegue a un valor de Q 2,445 millones de quetzales (MINECO, 2019).

En Guatemala la utilización de los residuos de café se ve definida por la siguiente tabla:

Imagen 2. Utilización de los residuos de café en Guatemala

RESIDUO	DESCRIPCIÓN	PORCENTAJE DE USO
Pulpa de café	Usada como abono orgánico dejándose tres meses conservada y cubierta, aprovechándose como fuente de humus, nitrógeno y carbono, reemplazando fertilizantes químicos.	+ 95% usada como compuesto orgánico
Mucílago	Es el residuo del lavado y la fermentación. Se dificulta su uso debido a que queda en malas condiciones debido al proceso de fermentación que se realiza con el grano.	< 10% es reciclado, lo demás es vertido en ríos
Cisco o pergamino	Es quemado habitualmente en hornos para realizar la torrefacción y tueste.	100%
Volátiles y líquidos	Productos de la tosti3n donde se libera vapor, gas carb3nico y aceites del caf3.	Se pierden los volátiles, y los líquidos se generan en pequeña escala
Borra	La borra es el residuo final, el cual queda después de la torrefacci3n del grano de caf3. Es incinerada para obtenci3n de energí3 por algunas fábricas, depositada en rellenos sanitarios y usada en menor medida como fertilizante orgánico y enmienda de suelos.	- Calderas en fabricas 13% - Incineraci3n indefinida 27% - Rellenos sanitarios 60%

Fuente. MINECO (2019)

## B. Consumo de plásticos en el mundo y Guatemala

Los plásticos son materiales sintéticos o naturales constituidos por unidades individuales (monómeros) con la característica que son maleables. Su consumo mundial presenta una fuerte tasa de crecimiento de 9% anual. En el año 2015 la producción global de plástico aumentó a 380 millones de toneladas, de los cuales el mayor consumo se identifica en los países orientales, donde se consumen más de 100 kg de plástico por año por habitante (Oceaneye, 2016; Greenpeace, 2021).

Del consumo mundial, cerca del 40% del plástico es utilizado para empaques, el 20.5% para construcción, 8.3% para la industria automovilística, 5.4% para electrónicos y el resto en otras aplicaciones, entre ellas las médicas (Oceaneye, 2016).

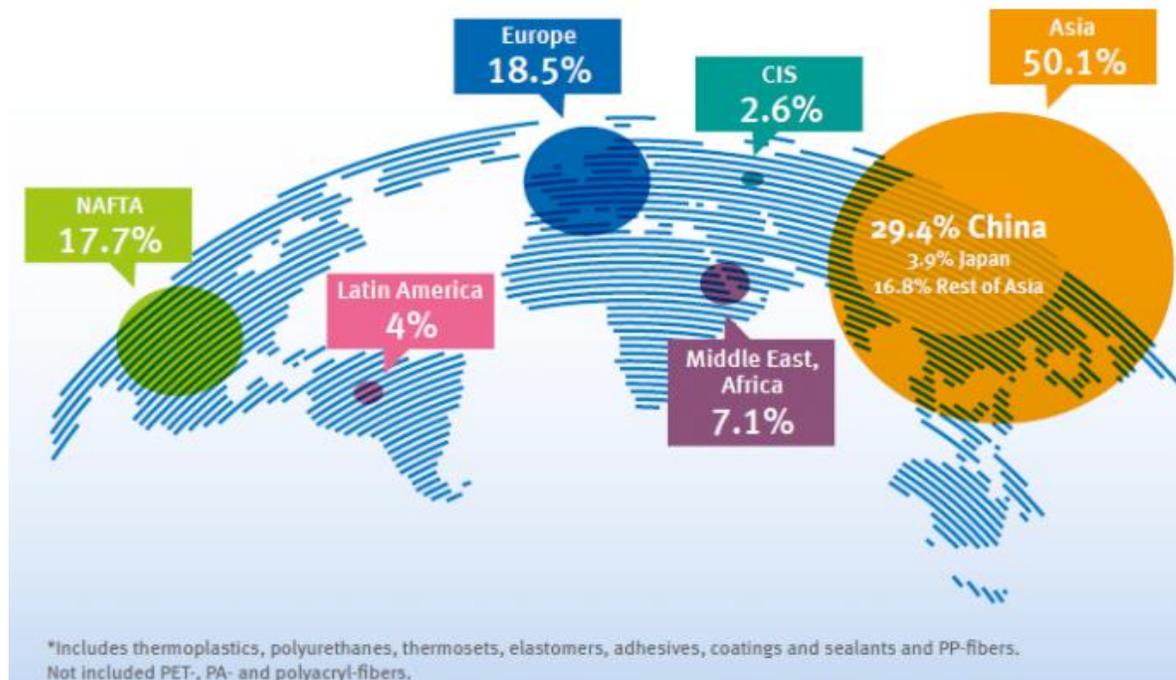
En el año 2018, Europa alcanzó una producción de 61.8 millones de toneladas, Asia fue responsable de la mitad de la producción mundial, siendo China el principal productor con un 305 del total (Greenpeace, 2021).

El mercado se encuentra dominado por 4 tipos principales de plásticos:

- Polietileno (PE): Se utiliza para la fabricación de bolsas de plástico, láminas y películas de plástico, así como contenedores (botellas).
- Poliester (PET): Utilizado para fabricar botellas, envases y prendas de ropa.
- Polipropileno (PP): Se fabrican electrodomésticos, muebles de jardín y componentes de vehículos.
- Cloruro de polivinilo (PVC): Se utiliza para la fabricación de tuberías y accesorios, válvulas y ventanas.

(Greenpeace, 2021).

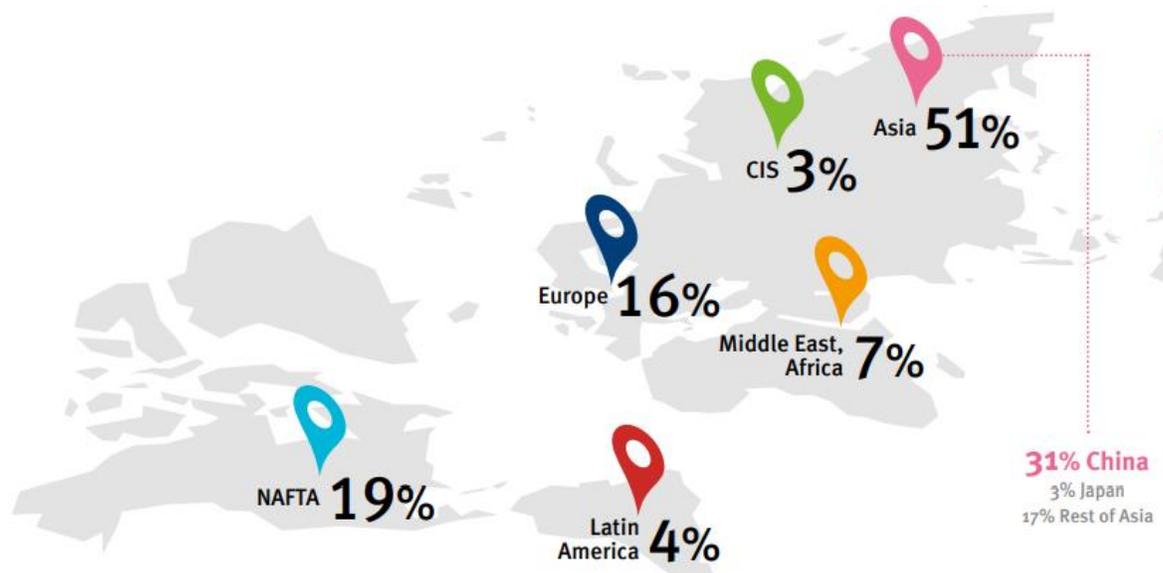
Imagen 3. Representación gráfica del consumo mundial de plástico en el año 2018



Fuente. Recalde (2019)

En el año 2019, la producción global alcanzó los 370 millones de toneladas, con una distribución por región como se muestra en la siguiente figura.

Imagen 4. Representación gráfica del consumo mundial de plástico en el año 2019



Fuente. Plastics Europe (2020)

En Guatemala, el plástico representa 0.51 kilogramos diarios de basura que una persona genera por día, de acuerdo con el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (González, 2018). Y sus residuos excedieron los 6,300 millares de toneladas para el año 2015, aumentando así cada año.

### C. Degradación

Para la degradación de plástico pueden utilizarse enzimas, microorganismo y tecnologías que lo convierten en ladrillos. De acuerdo con el investigador físico-biólogo de la Universidad Pompeu Fabra, Richard Solé, el plástico es un polímero muy estable químicamente y no hay formas naturales de degradación que lo eliminen. Quemar los residuos plásticos no es una opción ecológica, dado que al quemarse se producen notables emisiones contaminantes liberando CO<sub>2</sub> y metales pesados. Existen algunos procesos de degradación química, aunque implican procesos demasiado largos y requiere uso de líquidos corrosivos como el ácido nítrico. En el Instituto de Tecnología de Kioto (Japón) se ha descubierto una bacteria capaz de alimentarse de PET, digiriéndolo y desintegrándolo (Robles, 2019).

Una investigadora del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Federica Bertocchini, identificó los gusanos *Galleria mellonella* capaces de degradar el polietileno. Pueden degradar 92 miligramos en 12 horas. Su facilidad para digerirlo puede deberse a que la estructura de este plástico es similar a la cera de abejas que normalmente consumen. Aunque también se ha comprobado que el polietileno se desintegra incluso con el simple contacto con el capullo que forma el gusano. Se sospecha que el responsable de este efecto es una enzima por lo que se deberá detectar, aislar y producir in vitro a escala industrial (Robles, 2019).

Además, se ha investigado la creación de enzimas mutantes para destruir estos polímeros, en el Instituto de Ciencias biológicas y Biomédicas de Portsmouth, el profesor McGeehan ha creado la PETasa, una enzima que desintegra el PET. Así como en la Universidad Autónoma de México, dos

científicas han logrado aislar genes del hongo *Aspergillus nidulans*, de suelos y frutas para introducirlo en una levadura para obtener una enzima capaz de degradar cuatro tipos de poliésteres (Robles, 2019).

En Australia se está probando una tecnología por procesos químicos capaz de transformar los residuos plásticos en polvo de cristal. Entre otras técnicas se encuentra mezclar los desechos plásticos agrícolas con nanopartículas para crear nuevos materiales, sí como convertir los residuos plásticos en filamentos para uso en impresoras 3D (Robles, 2019).

Existen plásticos biodegradables que no son obtenidos por derivados del petróleo, sino que son obtenidos de fuentes de materia prima renovables como el almidón de maíz, azúcares o aceites vegetales. Estos se denominan biopolímeros, los cuales son biodegradables en condiciones controladas (Plastivida, 2007).

Un plástico degradable se encuentra constituido por un material plástico que le permite mantener su integridad física durante el proceso de manufactura, almacenamiento, envasado, vida en estantería y uso por el consumidor. Al finalizar su vida útil, si se trata de un material biodegradable, este es transformado por agentes ambientales (principalmente microorganismos) a sustancias simples o componentes menores que se asimilan al medio ambiente. Si la degradación es aeróbica se produce dióxido de carbono y agua, si es aeróbica se produce metano y dióxido de carbono (Plastivida, 2007). Los plásticos degradables pueden clasificarse de acuerdo con su proceso de degradación, entre las clasificaciones más comunes se encuentran:

- Biodegradables: Materiales capaces de ser sometidos a una descomposición aeróbica o anaeróbica por acciones enzimáticas de microorganismos como bacterias, hongos o algas bajo condiciones controladas. Son aquellos que se obtienen por vía fermentativa y se denominan biopolímeros como polihidroxibutirato (PHB), polihidroxicvalerato (PHV) y ácido poliláctico (PLA). Estos se fabrican a pequeña escala por lo que son caros, dado que no son de uso masivo y presentan aplicaciones limitadas (Plastivida, 2007).
- Compostables: Son aquellos materiales que pueden descomponerse durante un proceso de compostaje para producir dióxido de carbono, agua, compuestos inorgánicos y biomasa sin dejar residuos tóxicos visibles (Plastivida, 2007). Para poder medir los porcentajes de masa perdida durante un proceso de compostabilidad se puede utilizar la siguiente ecuación:

Ecuación 1. Porcentaje de masa perdida en compostabilidad de muestras analizadas.

$$\%m_{perdida} = \frac{m_{día\ actual} - m_{día\ 1}}{m_{día\ 1}} * 100\%$$

Descripción:

- $\%m_{perdida}$  = Porcentaje de masa perdida
- $m_{día\ 20}$  = Masa de muestra en día 20
- $m_{día\ 1}$  = Masa de muestra en día 1

- Oxo-degradable: Materiales que se descomponen por un proceso de etapas múltiples usando aditivos químicos. Para iniciar su degradación se puede utilizar luz ultravioleta, calor y/o tensión mecánica para reducir el peso molecular del polímero generando un remanente de bajo peso molecular susceptible de desarrollar un proceso de biodegradación con el tiempo. Sin embargo, no ha sido posible determinar si los residuos que quedan tienen efectos tóxicos para el medio ambiente (Plastivida, 2007).
- Fotodegradable: Son aquellos que se degradan por la exposición a rayos ultravioleta de la radiación solar, perdiendo resistencia y fragmentándose en partículas. En este proceso la energía de la luz es mayor que la energía de unión de los enlaces moleculares por lo que se rompen las cadenas reduciendo el peso molecular y sus propiedades mecánicas (Plastivida, 2007).

## D. Biodegradabilidad

Un material tiene la capacidad de ser biodegradado. La biodegradabilidad, como proceso natural, es cuando un material pierde o cambia sus propiedades originales debido a procesos de acción biológica. La mayoría de las sustancias y materiales orgánicos son biodegradables, y presentan diferentes tiempos de degradación debido a diversos factores, los cuales son: el medio en el que se encuentren, los tipos de organismos degradadores, su sustancia, entre otros. Los organismos degradadores son generalmente microscópicos, tales como bacterias u hongos. Estos se encargan de la desintegración de la materia orgánica muerta, haciendo que esta sea retornada mineralizada al reservorio abiótico del ecosistema (Moore and Saunders, 1997).

Los materiales orgánicos tienen la capacidad de degradarse en sustancias más simples, mediante una actividad enzimática de microorganismos. El fenómeno de las biodegradaciones es basado en el carbono. Si se imitan los procesos naturales, los residuos orgánicos que son eliminados mediante la biodegradación continúan un proceso industrializable, el cual se vuelve compatible a ritmos de producción de los residuos orgánicos. En el compostaje se pueden tratar productos manufacturados como materiales biodegradables (por ejemplo, el plástico biodegradable), estos tienen una biodegradación compatible con la de los dichos tratamientos (Moore and Saunders, 1997).

Es de los biopolímeros más conocidos, el cual se obtiene del maíz, trigo o papas por la transformación de almidón mediante fermentación con microorganismos en ácido láctico, el cual es el monómero básico. Este se polimeriza por un proceso químico generando así el ácido poliláctico que puede ser extrusado, inyectado, soplado, termoformado, impreso y sellado por calor (Plastivida, 2007).

## E. Compostaje y tipos de compost

El compostaje es un proceso biológico controlado de oxidación, se crean pilas para la creación del compostaje teniendo como objetivo una generación de entorno apropiado para un ecosistema de descomposición. Los agentes microscópicos son los más efectivos debido a las bacterias y otros

microorganismos, el conjunto de bacterias llamado caldo microbiano producen un aprovechamiento de componentes de las materias que se vayan a compostar, también es utilizado agentes microscópicos y basura orgánica en vertederos, para realizar la descomposición (Flor de tierra, 2021).

Los parámetros usados para el proceso de compostaje son la temperatura, humedad, relación carbono nitrógeno, acidez(p), tamaño de partículas y aireación: en la temperatura, se evidencia un ciclo de temperaturas debido a la actividad metabólica microbiológica, esto hace que haya cuatro fases en el proceso de compostaje. La fase uno es la mesófila la cual el material está fresco a una temperatura ambiente, en este momento el carbono y nitrógeno comienzas descomponiendo los materiales. El material debe tener una humedad adecuada, si la humedad es poca la degradación es lenta, cuando se presenta un exceso de humedad en el material a compostar facilita la proliferación de bacterias anaeróbicas y hongos, que no sería lo adecuado. Como segunda fase llamada termófila es una fase de higienización, en el cual el material alcanza las temperaturas más altas las cuales son aproximadamente de 45° C. En esa fase entran las bacterias termófilas las cuales facilitan la degradación, debido a esto las bacterias actúan transformando el nitrógeno en amoníaco por lo cual el pH sube. A estas temperaturas altas se eliminan quistes y huevos de helminto, esporas de hongos y semillas de malezas, es esta etapa es importante la oxigenación del material a compostar debido a que es rápidamente consumido por los microorganismos (Flor de tierra, 2021).

En la fase tres o enfriamiento las temperaturas descienden para quedarse en un intervalo entre 40-45° C, esto debido a que las fuentes de carbono y nitrógeno ya han sido agotadas en la fase tres, en este punto hongos y bacterias vuelven a entrar en el compostaje reiniciando su actividad. Por último, en la fase cuatro o maduración hay procesos de condensación y polimerización de compuestos carbonados, se produce una formación de ácidos húmicos y fúlvicos en el ambiente. La relación carbono nitrógeno, es debido a que los microorganismos absorben treinta veces las partes de carbono por cada uno de nitrógeno, conocer la velocidad de descomposición y el tiempo de compostaje para determinar con esta relación los diferentes parámetros. La acidez (pH) es uno de los parámetros más importantes debido a que se debe evaluar el ambiente microbiano y que tan estables son los residuos. Aireación, se necesita la presencia de oxígeno para este desarrollo adecuado de los microorganismos, por último, el tamaño de las partículas debe ser pequeño ya que toda la actividad de los microorganismos se genera en la parte superior de estas, un tamaño ideal general para el compost es que estas partículas sean de 2 a 5 cm, en estos juegan factores como la aireación de la pila, la humedad, densidad, entre otros (Flor de tierra, 2021).

Existen diversos materiales que se pueden someter a este proceso de compostaje, cualquier material biodegradable con el tiempo indicado para el producto se puede compostar. Para el compostaje de café primeramente se realiza una recolección de los residuos orgánicos del café, la finalidad que se le da a esto es servir de abono para plantas y áreas verdes generando nutrientes (Flor de tierra, 2021). El procedimiento es el siguiente:

- Cavar un hoyo en la tierra con una profundidad aproximada de 4 a 8 metros
- Cubrirlo con café
- Colocar ramas y otros residuos orgánicos
- Se espera un tiempo determinado dependiendo de la profundidad del hoyo

- Se obtiene el abono

(Flor de tierra, 2021)

Un tipo de compost que puede utilizarse de manera artesanal en los hogares es el siguiente:

Imagen 5. Características del compost utilizado para la experimentación



Fuente. Flor de Tierra (2021)

## F. Vasos desechables

Los vasos desechables más comunes en el mercado son los vasos de papel, utilizados principalmente para servir café, té u otras bebidas. Estos se encuentran compuestos de fibra de celulosa virgen de alta calidad combinado con un revestimiento de polietileno. Sin embargo, su consumo ha presentado un crecimiento problemático, en China se venden anualmente hasta 10 billones de estos vasos desechables, en el Reino Unido hasta 2.5 billones. Una gran mayoría de estos son desechados en las calles o son quemados en lugar de ser reciclado (Yuhui, 2018).

También hay otros tipos de vasos desechables que son vendidos como biodegradables. Algunos de estos son los vasos hechos a partir de bambú y de fécula de maíz. Los que son a partir de bambú poseen una mezcla de fibra de bambú, almidón de maíz y resinas no transgénicas; estas resinas son las encargadas de hacer que el vaso sea más resistente a los líquidos. Es un material de color marrón

que contiene altas cantidades de carbono y hace que se pueda degradar mucho más rápido que los vasos de plástico comunes. El paquete de 50 unidades de vasos de 16 oz., se vende a Q117.00 en Guatemala, siendo más costoso que los vasos de duroport o cualquier otro tipo de plástico (La Torre, 2021).

Los vasos que son a partir de fécula de maíz están hechos de una resina compostable polimerizada a partir de la fécula de maíz. Es un material de color blanco especializado para bebidas frías, son vendidos como biodegradables ya que se degradan entre 90 y 180 días. El paquete de 50 unidades de vasos de 12 oz., se vende a Q25.99 en Guatemala, siendo también más costoso que los vasos plásticos comunes que se venden entre Q8.00 y Q25.00 dependiendo del material y el tamaño (La Torre, 2021).

Hay muchos diseños para los vasos desechables, siendo primordial la capacidad de estos, el cual es definido en onzas, así como se puede ver en la imagen; la forma común de los vasos es teniendo un diámetro menor en la base y uno mayor en la parte superior. Se pueden encontrar los siguientes tamaños de vasos: 9, 10, 12, 16, 20, 24 y 32 onzas; utilizando cada vez más materia prima de manufactura conforme aumenta el tamaño. El tamaño también define el precio de los vasos, ya que, siendo más grandes suelen ser más costosos (La Torre, 2021).

Imagen 6. Ejemplos de tamaños comunes de vasos desechables encontrados en el mercado



Fuente. JM Distribuidores (2022)

## G. Caracterización de materia prima

El café es uno de los alimentos más consumidos en el mundo como se vio anteriormente. Debido a este consumo, la cantidad de desechos va en aumento también. Siendo uno de estos desechos el chingaste de café, que es el sobrante luego de preparar un café en una percoladora. Este residuo ha sido utilizado para compostar la tierra, comida para animales o para producir energías alternativas como biogás. Sin embargo, el reciclaje de este no se da abasto y siempre se buscan alternativas para darle usos a este chingaste. Pero en Guatemala no se ha buscado ninguna solución a este problema, por lo tanto, este chingaste es únicamente depositado en el basurero causando daños al ambiente (Wu, 2015). Debido a que el chingaste de café no tiene ningún uso aprovechable en Guatemala, se puede obtener de manera gratuita en cualquier establecimiento que prepare café. En la siguiente imagen se puede observar cómo luce el chingaste de café.

Imagen 7. Chingaste de café sobrante luego de utilizar una percoladora



Fuente. Simas (2018)

El chingaste de café se caracteriza por tener grandes cantidades de ácidos grasos, proteínas, ácidos clorogénicos, carbohidratos y en menor cantidad cafeína y elementos traza (Narváez, *et al.*, 2018). El tipo de café que más se produce en Guatemala es del tipo *C. arabico* y el utilizado para llevar a cabo la investigación fue del tipo Catuaí, que se encuentra mayormente en la parte central, norte y oriental del país (Anacafé, 2019). Los principales elementos que pueden ser visibles en la caracterización del chingaste de café son los encontrados en la siguiente tabla.

Tabla 1. Principales constituyentes de la borra de café (% materia seca).

Constituyente	Arábigo %	Robusta %
Cafeína	1,2	2,2
Trigonelina	1	0,7
Ácidos Alifáticos	1,7	1,6
Lípidos	16	10
Glucósidos	0,2	trazas
Minerales	4,2	4,4
Ácidos clorogénicos	2,7	3,1
Proteínas	10	11
Carbohidratos	39	45,5

Fuente. Narváez (2018)

El ácido poliláctico es uno de los polímeros biodegradables más utilizados. Pero es también uno de los más costosos de producir, generando limitaciones para su producción masiva. Habiendo conocido un poco acerca del polímero biodegradable y del chingaste de café se han propuesto soluciones a estos problemas. Una de las soluciones es mezclar estos dos compuestos para que se pueda aprovechar el desecho de chingaste de café y que el uso de PLA se reduzca. De manera que el costo de producción de cualquier objeto a partir de PLA se puede reducir debido a la mezcla con

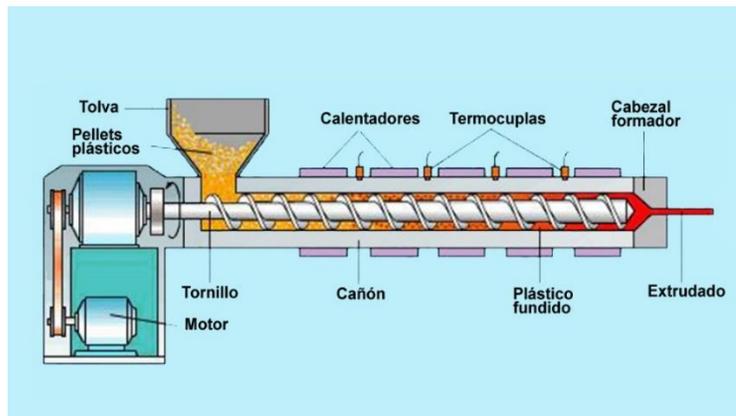
el chingaste, agregando también que el chingaste ayuda a que la degradabilidad del PLA sea más rápida. Algunos ejemplos de estos objetos es la producción de vasos, muebles como adornos, material para impresiones 3D, etc. Además, que ha sido demostrado por medio de análisis que el chingaste de café ayuda a que la tierra se fertilice, proveyendo a la misma de proteína, celulosa, ceniza, calcio y fósforo (Wu, 2015).

A pesar de ser una buena opción para aprovechar un desecho y reducir costos de producción, las fuerzas de adhesión entre el chingaste y el PLA son débiles y esto ocasiona que la mezcla sea más difícil de llevarse a cabo. Cabe mencionar que se puede modificar la superficie del chingaste con anhídrido maleico para que se adhiera al PLA por medio de la penetración de los poros a las cadenas del polímero (Wu, 2015). El PLA utilizado para la investigación fue del tipo 2003D, ya que este tipo de polímero es fácil de procesar en equipos convencionales de extrusión y termoformado, está diseñado para usarse en empaque de alimentos ya que provee certificaciones por la FDA, resiste temperaturas de hasta 210 °C y es uno de los que posee menor viscosidad de las variantes que había disponibles en la empresa. El costo de este material ronda por los \$150.00 dólares americanos para 15 lb incluyendo el envío para Guatemala. En la siguiente imagen se puede observar con detalle las características del material utilizado.

## H. Procesos de moldeo de polímeros

Los procesos por los cuales pueden pasar los polímeros para ser moldeados son los siguientes: extrusión, inyección, soplado, calandrado, rotomoldeo, termoformado, y espumas. El proceso de extrusión es utilizado para elaborar productos semiterminados como mangueras, tuberías, planchas, láminas, perfiles, etc. La alimentación ocurre en la tolva para llegar al tornillo sin fin que tiene las paredes del cañón calientes para derretir el polímero y que salga inyectado con una forma específica determinada por el cabezal. En la siguiente imagen se puede observar el equipo que se utiliza para el proceso de extrusión (Rossi, 2019).

Imagen 8. Equipo utilizado para el proceso de extrusión de polímeros

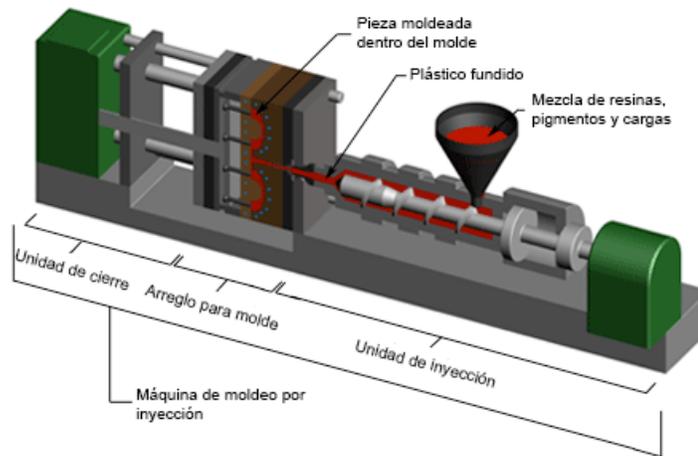


Fuente. Rossi (2019)

Para elaborar procesos moldeados de alta calidad se puede usar el método de inyección. Esta máquina consiste en una unidad de plastificación, que es el extrusor, una unidad de cierre que es un

pistón que cierra y abre el molde y el molde como tal que es el encargado de definir la forma del polímero. En la siguiente imagen se puede observar el equipo utilizado para realizar el proceso de inyección (Rossi, 2019).

Imagen 9. Equipo utilizado para proceso de moldeo por inyección



Fuente. Rossi (2019)

También se puede utilizar un proceso de moldeo más artesanal, siendo este por medio de una prensa hidráulica. La mezcla es colocada en una olla para calentarse y derretirse para que se facilite el moldeo en la prensa. Luego de derretida la mezcla, se coloca dentro del molde metálico y se genera la presión suficiente para que la mezcla adquiera la forma del molde. Sin embargo, la mejor manera para llevar a cabo el moldeo es por medio de inyección, ya que de esta forma se mantiene una temperatura constante y una presión mayor para que la forma sea más precisa y exacta. En la siguiente imagen se puede observar el equipo utilizado para el proceso de moldeo artesanal (Rossi, 2019).

Imagen 10. Equipo utilizado para el proceso de moldeo artesanal



Fuente. Elaboración propia (2021)

## I. Etapas de la comercialización

El ciclo de vida de un producto denotado por sus siglas (CVP), conlleva a que los productos que se ofrecen tengan una vida útil y limitada. Por ende, los productos deben presentar una constante evolución desde su producción (nacimiento) y lanzamiento hasta que se retire el producto (muerte). El ciclo de vida de un producto al igual que el ciclo de vida biológico pasa por cuatro etapas, las cuales indican factores que afectan a la evolución y la demanda de estos. La duración de las fases determina la competencia de la empresa para poder adaptar sus productos a las nuevas necesidades de la sociedad, sus cuatro etapas son: introducción, crecimiento, madurez y declive (Smith, 2016).

Primeramente, en la introducción el producto es lanzado por primera vez al mercado dando ideas innovadoras, esto es una etapa de incertidumbre y riesgo la cual conlleva a un mayor coste. Se produce un primer acercamiento del producto a la sociedad y por ende a los consumidores, en este se contemplan los estudios del mercado anteriormente realizados y el desarrollo del propio producto. En esta etapa el objetivo principal es definir y trabajar por un mejor posicionamiento del producto, así como también la respuesta del mercado. Esto conlleva a la etapa de crecimiento, en la cual el producto es posicionado y aceptado por los consumidores, provocando beneficios para la empresa y la sociedad. El aumento de beneficios producidos se refleja en que los costes de fabricación se reducen por una facilidad de experiencia de fabricación. En esta etapa se realizan modificaciones para una mejor adaptación del producto a la demanda. En la etapa de madurez del producto se tiende a producir una meta en la cual el producto llega a la cima del mercado, esta etapa tiende a tener una duración más alta. También se debe anticipar la posible caída de las ventas, y así continuar buscando ideas innovadoras para que el producto siga siendo viable y apetecido por los

consumidores. La última etapa que se encuentra es la del declive, en la cual el producto es sustituido por otras opciones más sustentables o atractivas para consumidores. Lo importante en esta etapa consiste en minimizar la inversión y hacer una correcta planificación sobre el producto para ser modificado o enfocarlo al mercado nuevamente. Finalmente, la importancia del ciclo de la vida de un producto incide directamente a la supervivencia de éste (Smith, 2016).

También hay un enfoque ambiental que se le puede dar a cada una de estas etapas del ciclo de vida en las cuales se aconseja que se practique la PyCS (Producción y Consumo Sustentable), teniendo en mente que se puede desarrollar el desacople. En este ciclo de vida la cuna representa el nacimiento del producto y la tumba el final de este. Para poder cuantificar los impactos ambientales que está generando un producto, proceso o servicio durante su ciclo de vida se utiliza la metodología ACV (Análisis de Ciclo de Vida, por sus siglas). Cuantificando así desde la obtención de la materia prima, la manufactura y el transporte, hasta el uso y disposición final que se le dará. Para esto, se puede realizar la huella ambiental, que está basada en la ISO 14040. Con esto se pueden identificar oportunidades de mejora tanto ambientales como económicos de la empresa ya que, al encontrar la etapa del proceso con mayor impacto, este se puede reducir (Suppen, et al., 2013).

## J. Ficha técnica

La ficha técnica de un producto es una hoja de características la cual simplifica el funcionamiento de un componente, este con un detalle minucioso para ser utilizado por la persona encargada de su diseño. Esta herramienta informa de una manera estandarizada y fácil las características técnicas de un producto o material, así como también a un nivel comercial informa a los clientes de características de su composición y presentación (Carrasco y García, 2018).

La ficha técnica tiene algunas etapas, página introductoria la cual describe el producto, listados de componentes específicos, así como también su información adicional. La información típica que debe tener una ficha técnica es: datos del fabricante, lista de formatos estas con imágenes y códigos, propiedades, descripción de la funcionalidad, esquema de conexiones, consumo, condiciones de operaciones indicadas, tabla de especificaciones, esquemas y medidas, pruebas a realizar e información sobre normas de seguridad y uso (Carrasco y García, 2018).

Primero que nada, es necesario tomar las dimensiones del producto a moldear con un vernier u otro instrumento de medición, algunos ejemplos de dimensiones pueden ser su grosor, altura, diámetros, y fondo. Dependiendo del material, también es necesario conocer su punto de fusión para no someterlo a temperaturas que puedan dañar el objeto. Se puede considerar la capacidad que tiene de absorber el agua, ya que de esta manera se puede determinar su permeabilidad. Para este análisis se puede hacer uso de la siguiente ecuación para determinar el porcentaje de masa de agua que absorbió una pieza hecha a partir de la mezcla de materiales.

Ecuación 2. Porcentaje de masa de agua absorbida por muestra de material.

$$\%m_f = \frac{m_W - m_c}{m_c} * 100\%$$

Descripción:

- $\%m_f$  = Porcentaje de peso de agua absorbida
- $m_w$  = Peso de muestra actual
- $m_c$  = Peso de muestra inicial

Conocer si el material es capaz de flotar también es de importancia, ya que puede brindar una facilidad de separación de otros objetos por medio de densidades. Y, por último, saber la carga que resisten los materiales ayuda para conocer en qué pueden ser utilizados, con lo que respecta a la manufactura de objetos específicos que necesitan ser o no resistentes a caídas, estiramientos, compresiones y demás (Carrasco y García, 2018).

## K. Ecuaciones estadísticas

Las ecuaciones estadísticas se basan en datos recolectados de un experimento para hacer un análisis e interpretación de los resultados. Sirven para explicar fenómenos regulares o no regulares que pudieron ocurrir de forma aleatoria o condicional. El promedio puede ser utilizado para conocer la distribución que poseen los resultados obtenidos y determinar de esta manera el sesgo que posee una característica analizada. En la siguiente ecuación se puede observar cómo se determina la media (Skoog,*etal.*,2001).

En el ámbito científico es común el realizar mediciones repetidas de una o más variables, cada una con sus incertidumbres individuales. Estas incertidumbres son de tipo instrumental que se puede conocer dadas las características del instrumento de medición. La propagación del error es simplemente el proceso de determinar la incerteza de un cálculo que se basa en una operación (Skoog, et al., 2001). Para poder realizar el cálculo de estas propagaciones de error dependiendo de si el cálculo es una suma-resta o división-multiplicación se pueden utilizar las siguientes ecuaciones:

Ecuación 3. Media aritmética

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 \dots + x_n}{n}$$

Descripción:

- $\bar{X}$  = Media aritmética de los datos obtenidos
- $x_1 + x_2 + x_3 \dots + x_n$  = Datos obtenidos involucrados en el cálculo de la media.
- $n$  = Número total de observaciones

Ecuación 4. Propagación de error de una suma o resta.

$$S_y = \sqrt{S_a^2 + S_b^2 + S_c^2 + \dots}$$

Descripción:

- $S_y$  = Valor resultante
- $S_a^2 + S_b^2 + S_c^2 \dots$  = Incertidumbre asociada a cada variable

Ecuación 5. Propagación de error de una multiplicación o división.

$$S_y = Y \sqrt{\left(\frac{S_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{S_b}{b}\right)^2 + \left(\frac{S_c}{c}\right)^2}$$

Descripción:

- $S_y$  = Valor resultante
- $a, b, c \dots$  = Variables involucradas en la ecuación
- $S_a, S_b, S_c \dots$  = Incertidumbre asociada a cada variable

## V. METODOLOGÍA

### A. OBSERVACIÓN

1. Se obtuvo el chingaste de café de cafeterías ubicadas en la Universidad del Valle de Guatemala, el café era de tipo *C. arabico* y de la variedad Catuaí. Definido en marco teórico.
2. El PLA utilizado fue importado de Estados Unidos por la empresa Nature Works LLC, del tipo 2003D. Definido en marco teórico.
3. El compost utilizado fue de la marca Flor de Tierra, con un pH de 8.2. Definido en marco teórico.
4. Los vasos biodegradables de fécula de maíz y bambú fueron comprados en paquetes de 25 unidades en empresas guatemaltecas. Definido en marco teórico.

### B. PREPARACIÓN PREVIA DEL CHINGASTE DE CAFÉ

#### Materiales y equipos utilizados:

- 210 g de chingaste de café seco
- 3.5 L de agua destilada
- 0.5 L de acetona marca ALQUIMICA
- 3 Beakers marca Kimax de  $1000 \pm 5$  mL
- Horno de convección marca Fischer Scientific
- Horno al vacío marca VWR, modelo 1410M
- Tamizador marca RO-TAP, modelo RX-29
- 2 trozos de tela de 40 x 40 cm
- Balanza analítica marca OHAUS, modelo PA114

#### Procedimiento utilizado:

- Pesar 60 g de chingaste de café seco en un beaker de 1L utilizando la balanza analítica.
- Llenar el beaker con un 1L de agua destilada, para dejar reposar durante 24 h. Este mismo procedimiento se realizó hasta tener lavados los 210 g de chingaste de café.
- Filtrar el agua del chingaste de café por medio de un trozo de tela de 40 x 40 cm.
- Colocar el chingaste de café húmedo en un horno de convección durante 16 horas a una temperatura entre 100-110°C.
- Tamizar el chingaste de café seco a 45 mesh en un tamizador. Y luego lavar con 0.5 L de acetona por medio del uso de un trozo de tela de 40 x 40 cm para filtrar la acetona del chingaste.
- Secar el chingaste de café en un horno al vacío a 105°C durante 8 horas.

### C. PREPARACIÓN DE MEZCLA Y ELABORACIÓN DE MUESTRAS

#### Materiales y equipos utilizados:

- 80 g de chingaste de café preparado y seco.
- 120 g de PLA 2003D (Obtenida en Nature Works LLC)
- Una olla de acero inoxidable

- Espátula
- Estufa eléctrica marca Thermo Scientific, modelo CIMAREC
- Plancha de asbesto
- Balanza analítica marca OHAUS, modelo PA114
- Tubo de acero inoxidable
- Tijeras
- Termómetro infrarrojo
- Vernier digital marca UNIT electronics, modelo AR0938

Procedimiento utilizado:

- Calentar la olla de acero inoxidable en la estufa eléctrica a una temperatura de 250°C durante 5 min. Midiendo la temperatura de la olla con un termómetro infrarrojo.
- Vertir 120 g de PLA en la olla y esperar 3 min a que se derrita mientras se agita con la espátula, luego de derretido verter 80 g de chingaste de café por pocos mientras se mantiene en mezcla constante con la espátula hasta observar homogeneidad.
- Con la mezcla homogénea y estando caliente se debe moldear por medio de un tubo de acero inoxidable y la plancha de asbesto, de manera que el material esté plano con un grosor uniforme de 0.2 mm. Tomando la medida de este grosor con un vernier digital.
- Posteriormente se procede a cortar tres muestras de 4 x 4 cm para pruebas de compostaje, tres muestras de 5 x 5 cm para pruebas de flotabilidad, tres muestras de 5 x 5 cm para prueba de punto de fusión, tres muestras de 5 x 5 cm para pruebas de absorción de agua, y tres muestras de 25.4 cm de largo y 2.54 cm de ancho y 0.02 cm de grosor.

## D. PRUEBAS DE COMPOSTAJE

Materiales y equipos utilizados:

- Compost- abono orgánico marca Flor de Tierra
- Materia orgánica (cáscaras de frutas y verduras, cascarones de huevos, etc.)
- 100 mL de agua
- Vasos compostables de bambú y fécula de maíz
- Caja plástica de 50 x 20 x 20 cm con 3 separaciones plásticas
- Muestras de mezcla realizada anteriormente con tamaño de 4 x 4 cm y grosor de 0.2 mm
- Balanza analítica marca OHAUS, modelo PA114
- Horno al vacío marca VWR, modelo 1410M
- Vernier digital marca UNIT electronics, modelo AR0938

Procedimiento utilizado:

- Cortar tres muestras de 4 x 4 cm provenientes de cada uno de los vasos de bambú y fécula de maíz. Teniendo un total de 9 muestras incluyendo las elaboradas de mezcla de chingaste de café con PLA.
- Colocar el compost en la caja plástica y mezclar con materia orgánica y 100 mL de agua para alimentarla y humedecerla, luego se colocan las separaciones para cada una

de las muestras (nueve muestras) de manera que tengan 5 cm de separación entre ellas. Se puede observar con detalle la caja en la Imagen 31.

- Realizar hoyos en cada una de las separaciones de manera que las piezas estuvieran enterradas como mínimo 10 cm.
- Cada 7 días colocar y mezclar materia orgánica y 50 mL de agua para mantener la humedad y alimentación del compost.
- Cada 20 días extraer las 9 muestras, lavarlas con agua destilada y secarlas en un horno al vacío a 50°C durante 16 horas. Para posteriormente tomar las masas de cada muestra en triplicado por medio de una balanza analítica.
- Por último, ingresar las piezas en el compost alimentado y humedecido para seguir su proceso de degradabilidad.
- Para medir el porcentaje de masa perdida en las muestras se utilizó la siguiente ecuación:

$$\%m_{perdida} = \frac{m_{día\ actual} - m_{día\ 1}}{m_{día\ 1}} * 100\%$$

Donde:

- $\%m_{perdida}$  = Porcentaje de masa perdida (m/m)
- $m_{día\ 20}$  = Masa de muestra en día actual (g)
- $m_{día\ 1}$  = Masa de muestra en día 1 (g)

(Wu, 2015)

## E. MOLDEO DE MATERIAL

### Materiales y equipos utilizados:

- Dos pedazos de acero 10/43 de 10 cm de diámetro y 11 cm de altura
- 200 g de mezcla de chingaste de café con PLA
- CNC marca HAAS, modelo TL-1
- Olla de acero inoxidable
- Estufa eléctrica marca Thermo Scientific, modelo CIMAREC
- Prensa hidráulica marca CARVER, modelo 3850-0C
- Guantes para calor
- Espátula
- Termómetro infrarrojo
- Aceite mineral
- Plancha de asbesto
- 2 beakers marca Kimax de 250 ± 0.5 mL

### Procedimiento utilizado:

- Primeramente, elaborar el diseño del molde que será utilizado para generar un vaso de 4 oz, en un programa para proyectos en 3D. En la Imagen 22 se puede visualizar el diseño final del molde.
- Elaborar el molde en un CNC, durante una semana, siguiendo los diseños del vaso y del molde, utilizando acero 10/43 para resistir altas temperaturas.
- Pesar 120 g de PLA y 80 g de chingaste de café en dos beakers por separado para tener una mezcla final de 200 g.

- Colocar el PLA en la olla y estufa para que comience a derretirse a los 250°C y poco a poco se debe agregar el chingaste de café mientras se mezcla constantemente con una espátula hasta tener una mezcla homogénea.
- Verter aceite mineral en el interior y exterior de los moldes para evitar que se trabe la pieza moldeada y facilitar la extracción de esta.
- Verter la mezcla caliente dentro del molde y utilizar la prensa hidráulica para presionar y realizar el moldeo. En la Imagen 27 se puede observar con detenimiento el procedimiento seguido.
- Luego se debe extraer el vaso moldeado liberando la presión de la prensa, se cortan los excesos de mezcla y se lija para dar un mejor acabado a la pieza.

## F. OBTENCIÓN DE DATOS TÉCNICOS DEL MATERIAL

### 1. Determinación de dimensiones de vaso moldeado

#### Materiales y equipos utilizados:

- Vernier digital marca UNIT electronics, modelo AR0938
- Balanza analítica marca OHAUS, modelo PA114

#### Procedimiento utilizado:

- Utilizar el vernier para medir la longitud, diámetros, fondo y grosor de los vasos moldeados.
- Utilizar la balanza analítica para obtener la masa final del vaso moldeado.

### 2. Determinación de flotabilidad del material

#### Materiales y equipos utilizados:

- 3 beakers de  $250 \pm 0.5$  mL
- Tres muestras de material con medidas de 5 x 5 cm.
- Vernier digital marca UNIT electronics, modelo AR0938
- Cronómetro

#### Procedimiento utilizado:

- Tomar las medidas de las piezas con un vernier digital para que estas fueran homogéneas.
- Colocar las tres piezas en cada uno de los beakers y se agregaron 200 mL de agua de manera que quedaran sumergidas.
- Observar si la muestra flota luego de cada uno de los tiempos por analizar. Estos tiempos a analizar son 5, 10, 15, 30, 60 y 180 min.

### 3. Determinación de absorción de agua del material

#### Materiales y equipos utilizados:

- Tres frascos de vidrio con capacidad de 500 mL
- Tres muestras de material de 5 x 5 cm
- Horno al vacío marca VWR, modelo 1410M
- 1,500 mL de agua destilada
- Desecadora

- Balanza analítica marca OHAUS, modelo PA114
- Vernier digital marca UNIT electronics, modelo AR0938

Procedimiento utilizado:

- Cortar tres muestras del material con unas medidas de 5 x 5 cm y secarlas en un horno al vacío a 50°C durante 12 horas, para después colocarlas en una desecadora.
- Tomar las masas de las muestras y luego colocar una pieza en cada frasco, para luego verterles 500 mL de agua destilada, de manera que las muestras quedaran sumergidas.
- Cada 10 días se deben sacar las muestras, secarlas del exceso de agua y tomar sus masas en triplicado. Las pruebas se realizaron durante 70 días.
- Utilizar la siguiente ecuación para determinar el porcentaje de absorción de agua de las muestras:

$$\%m_f = \frac{m_W - m_c}{m_c} * 100\%$$

Donde:

- $\%m_f$  = Porcentaje de peso de agua absorbida (m/m)
- $m_W$  = Peso de muestra actual (g)
- $m_c$  = Peso de muestra inicial (g)

(Wu, 2015)

#### 4. Determinación de fuerza de tensión del material

Materiales y equipos utilizados:

- Tres muestras de 25.4 cm de largo y 2.54 cm de ancho y 0.02 cm de grosor.
- Compresora universal marca Versa Tester
- Cinta métrica
- Cronómetro
- Vernier digital marca UNIT electronics, modelo AR0938

Procedimiento utilizado:

- Primero se deben medir las muestras con un vernier digital para que estas tuvieran las medidas especificadas.
- Colocar las muestras en el empujador del equipo para sostenerla por la parte de arriba y abajo por medio de una prensa con dientes. En la Imagen 19 se puede visualizar cómo fueron colocadas las piezas en el equipo.
- Luego se debe calibrar el sensor para medir la deformación de manera que el cero fuera la marcada por el equipo cuando la muestra está centrada.
- Encender el equipo para que comience a generar tensión lentamente, aumentando de 20 lb en 20 lb de carga.
- Durante la generación de tensión se debe tomar el tiempo que transcurrió hasta romper las muestras. Al momento en que se quiebre la muestra se detiene el equipo para tomar lectura de la carga soportada por el material.

#### 5. Determinación de grupos funcionales del material

Materiales y equipos utilizados:

- Una muestra de material de 0.2 x 0.2 cm.
- Espectrofotómetro marca Perkin Elmer modelo Spectrum
- Vernier digital marca UNIT electronics, modelo AR0938

Procedimiento utilizado:

- Medir una muestra de 0.2 x 0.2 cm con un vernier digital y se colocarla en el cristal lector del espectrofotómetro.
- Esperar 5 min a que el equipo encontrara similitudes con otros materiales del banco de información y obtener un análisis IR.

6. Determinación de punto de fusión del material

Materiales y equipos utilizados:

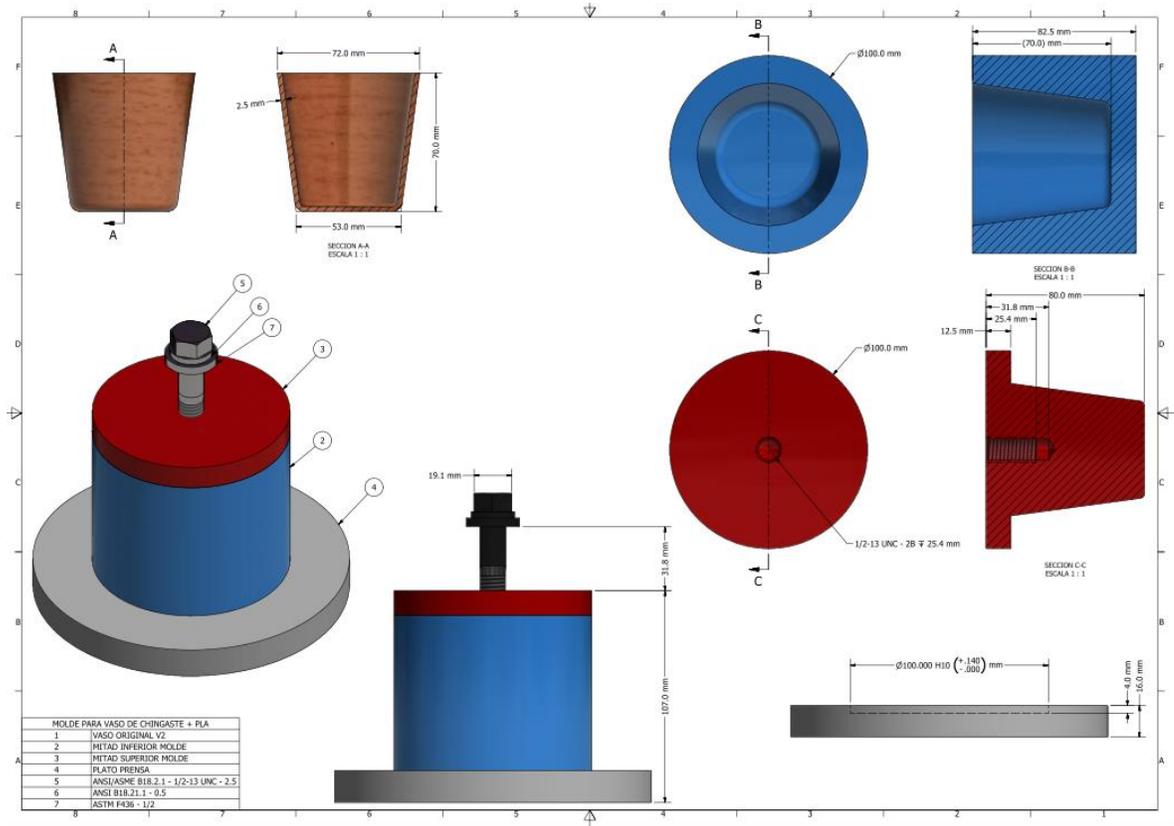
- Tres muestras de material de 5 x 5 cm
- Olla de acero inoxidable
- Espátula
- Termómetro infrarrojo
- Estufa eléctrica marca Thermo Scientific, modelo CIMAREC
- Vernier digital marca UNIT electronics, modelo AR0938

Procedimiento utilizado:

- Precalentar la estufa y la olla a una temperatura de 20 °C durante 5 min, tomando el control de esta con un termómetro infrarrojo.
- Medir una muestra de 5 x 5 cm con un vernier digital y colocarla en la olla de acero inoxidable caliente.
- Posteriormente se debe aumentar la temperatura en 20 °C cada 5 min hasta observar que el material comience a sudar y tener su primera gota.

## VI. RESULTADOS

Imagen 11. Figura del diseño de molde utilizado para la elaboración de vasos a partir de mezcla de chingaste de café y PLA



Fuente. Elaboración propia utilizando el programa Inventor. Tomando como base de las medidas la prensa hidráulica localizada en el laboratorio de operaciones unitarias de Universidad del Valle de Guatemala.

Nota. El molde para el vaso fue elaborado para producir un vaso de 4 oz con un grosor de 2.5 mm a partir del material desarrollado. Se utilizó acero 10/43 para el molde por su resistencia a las temperaturas con las que se trabajaron.

Imagen 12. Comparación de vasos fabricados a partir de chingaste de café y PLA



Fuente. Elaboración propia utilizando mezcla de chingaste de café y PLA.

Nota. El aspecto de los vasos demuestra los fallos durante las primeras prácticas hasta lograr un vaso más llamativo visualmente, con acabados realizados con lija y quitando los excesos de material post moldeo.

Imagen 13. Comparación de vasos fabricados a partir de chingaste de café y PLA con vasos existentes a partir de bambú y fécula de maíz



Fuente. Elaboración propia utilizando vasos de distintos materiales.

Nota. El vaso ubicado del lado izquierdo es a partir de fécula de maíz, el de en medio es a partir de bambú y el del lado derecho es a partir de chingaste de café y PLA.

Tabla 2. Porcentaje de masa perdida de cada una de las muestras de chingaste de café con PLA respecto al tiempo durante el análisis de compostaje.

	Muestra	Día 1	Día 20	Día 40	Día 60	Día 80	Día 100
<b>Porcentaje de masa perdida (%)</b> ( $\pm 0.0001\text{ g}$ )	1	0	0.7875	2.1973	4.8021	6.9883	9.0172
	2	0	0.6385	2.0026	4.5545		
	3	0	1.2677	3.5276	6.1972	8.4062	11.1627

Fuente. Elaboración propia con datos de experimentación a condiciones de 0.986 atm y 22 °C.

Nota. Se midió el grosor de las muestras procurando que fueran en promedio de 0.2 mm con un Vernier digital marca UNIT electronics.

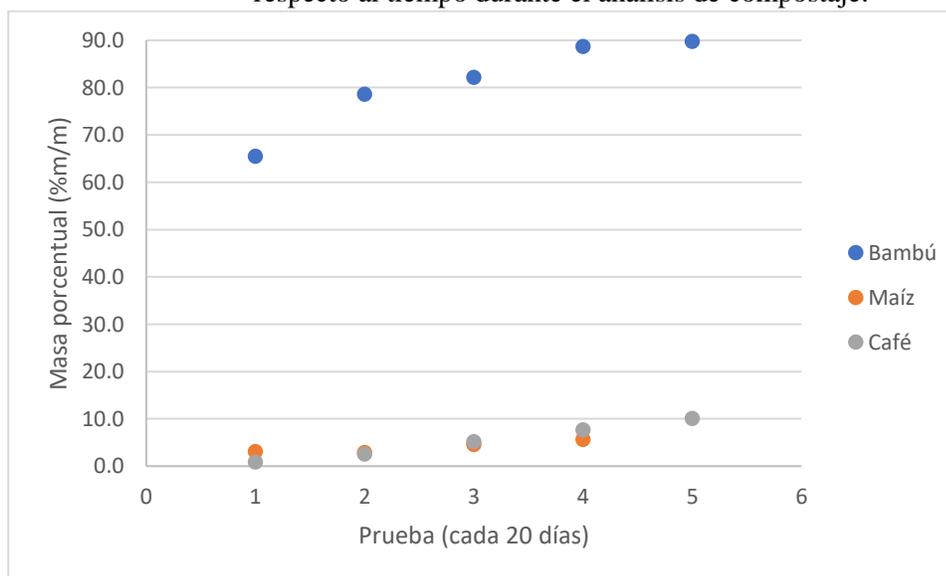
Tabla 3. Porcentaje de masa perdida de cada una de las muestras comerciales y mezcla de chingaste de café y PLA respecto al tiempo durante el análisis de compostaje.

	Muestra	Día 20	Día 40	Día 60	Día 80	Día 100
<b>Porcentaje de masa perdida (%)</b> ( $\pm 0.0001\text{ g}$ )	Bambú	65.5004	78.6396	82.1877	88.7141	89.7713
	Fécula de maíz	3.1233	3.5213	4.5947	5.6595	
	Café	0.8979	2.5758	5.1846	7.6973	10.0900

Fuente. Elaboración propia con datos de experimentación a condiciones de 0.986 atm y 22 °C.

Nota. Se midió el largo y ancho de las muestras procurando que fueran de 4.00 x 4.0 cm con un Vernier digital marca UNIT electronics.

Gráfica 1. Comparación de porcentaje de masa perdida promedio de cada una de las muestras respecto al tiempo durante el análisis de compostaje.



Fuente. Elaboración propia con datos de experimentación a condiciones de 0.986 atm y 22 °C.

Nota. Se representa una comparación gráfica de la pérdida de masa porcentual respecto al tiempo, siendo utilizados los datos brindados en tabla 3.

Tabla 4. Dimensiones promedio del vaso moldeado a partir de mezcla de chingaste de café con PLA.

	<b>Grosor</b> ( $\pm 0.01$ cm)	<b>Altura</b> ( $\pm 0.01$ cm)	<b>Diámetro superior</b> ( $\pm 0.01$ cm)	<b>Diámetro inferior</b> ( $\pm 0.01$ cm)	<b>Fondo</b> ( $\pm 0.01$ cm)
<b>Promedio</b>	0.60	8.00	6.16	5.29	5.98

Fuente. Elaboración propia con datos de experimentación a condiciones de 0.986 atm y 22 °C.

Nota. Se midieron las dimensiones del vaso con un Vernier digital marca UNIT electrónica.

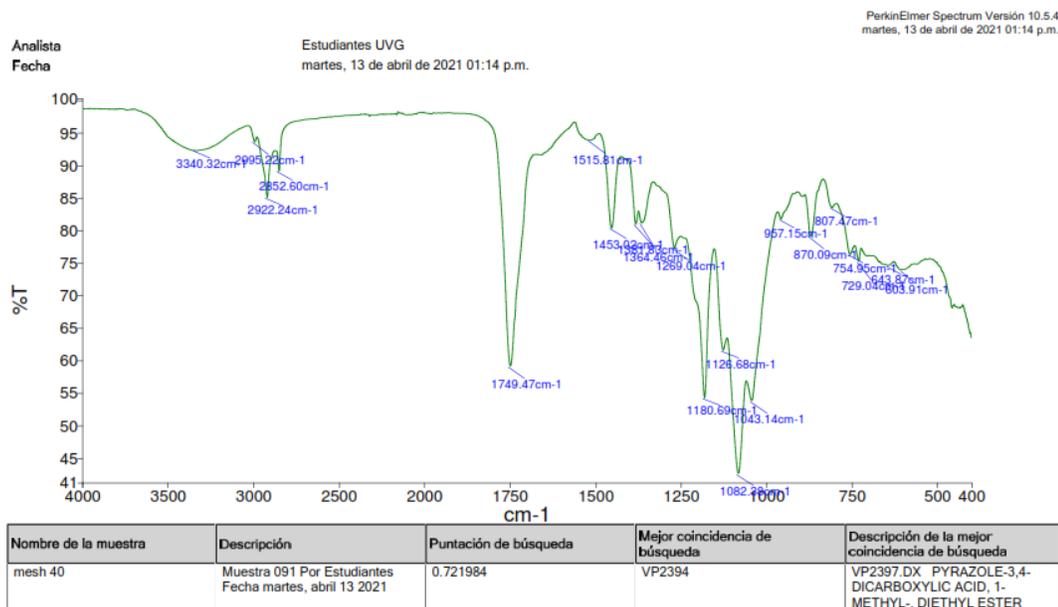
Tabla 5. Punto de fusión promedio del material realizado a partir de mezcla de chingaste de café y PLA.

<b>Muestra</b>	<b>Punto de fusión</b> ( $\pm 5$ °C)
1	200
2	200
3	200
<b>Promedio</b>	200

Fuente. Elaboración propia con datos de experimentación a condiciones de 0.986 atm y 22 °C.

Nota. Para realizar el análisis tuvo que observarse la primera gota del material observada en las muestras, tomando constantemente el cambio de temperatura con un termómetro infrarrojo de marca Steren.

Gráfica 2. Grupos funcionales por análisis IR realizado a muestra de chingaste de café con PLA para ficha técnica.



Fuente. Elaboración propia con datos de experimentación a condiciones de 0.986 atm y 22 °C.

Nota. Se observa el pico característico del grupo carbonilo presente en 1750 cm-1 aproximadamente, el cual es conocido en la mayoría de los materiales que indican ser biodegradables.

Tabla 6. Porcentaje de agua absorbida por la mezcla chingaste de café y PLA respecto al tiempo.

	10 días	20 días	30 días	40 días	50 días	60 días	70 días
<b>Porcentaje de agua absorbida (%Mf)(±0.01 g)</b>	20.61	19.17	20.36	20.30	20.63	20.45	21.00

Fuente. Elaboración propia con datos de experimentación a condiciones de 0.986 atm y 22 °C.

Nota. Se midieron las masas de las muestras con una balanza analítica marca OHAUS.

Tabla 7. Análisis de flotabilidad realizada al material proveniente de la mezcla de chingaste de café con PLA.

Muestra	Tiempo 1 (5 min)	Tiempo 2 (10 min)	Tiempo 3 (15 min)	Tiempo 4 (30 min)	Tiempo 5 (60 min)	Tiempo 6 (180 min)
1	No flotó	No flotó	No flotó	No flotó	No flotó	No flotó
2	No flotó	No flotó	No flotó	No flotó	No flotó	No flotó
3	No flotó	No flotó	No flotó	No flotó	No flotó	No flotó
4	No flotó	No flotó	No flotó	No flotó	No flotó	No flotó

Fuente. Elaboración propia con datos de experimentación a condiciones de 0.986 atm y 22 °C.

Nota. Para la realización de las pruebas se utilizó agua del grifo y se tomaron los tiempos con un cronómetro.

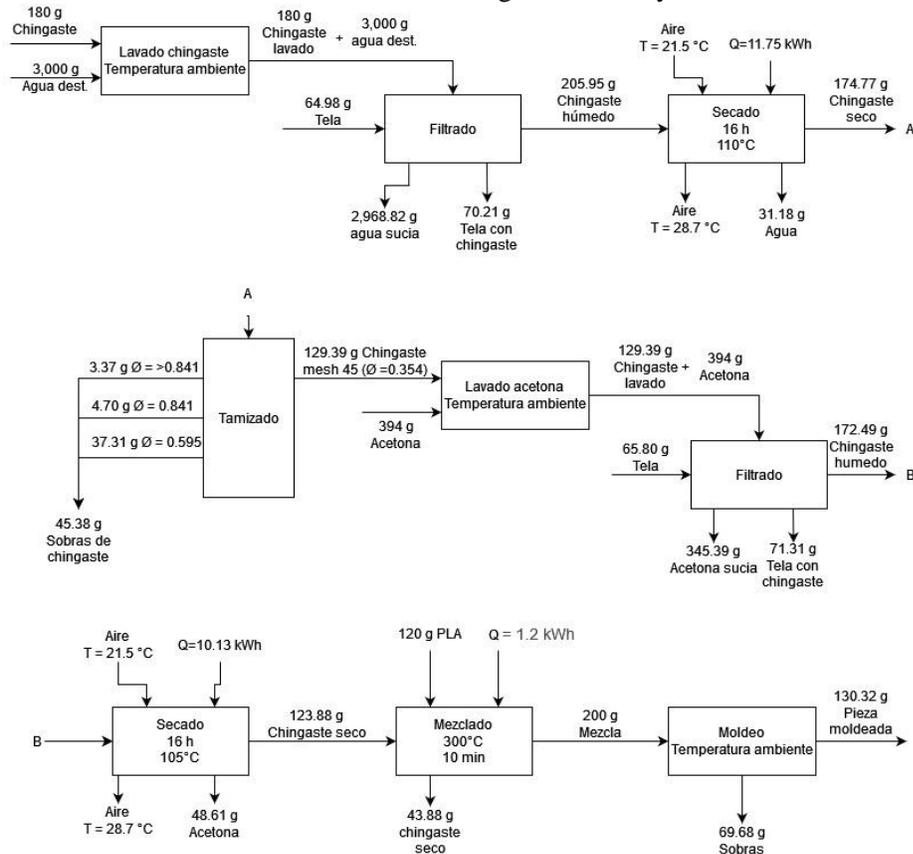
Tabla 8. Carga promedio que soportan las piezas realizadas a partir de mezcla de chingaste de café y PLA.

Muestra	Tiempo (s)	Carga soportada (±0.01 kPa)	Deformación (±0.001 m)
<b>1</b>	80	1630.61	0.207
<b>2</b>	80	1341.03	0.203
<b>3</b>	80	1640.95	0.207
<b>Promedio</b>	80	1537.53	0.206

Fuente. Elaboración propia con datos de experimentación a condiciones de 0.986 atm y 22 °C.

Nota. Se sumaron 86.18 kPa de fuerza a los resultados debido a que el peso inferior del sostenedor en el equipo generaba ese peso extra. Se tomaron las medidas con una compresora universal de marca Test Pilot.

Gráfica 3. Balance de masa y energía del proceso total de manufactura de un vaso a partir de chingaste de café y PLA.



Fuente. Elaboración propia con datos de experimentación a condiciones de 0.986 atm y 22 °C.

Nota. Se determinó el balance a partir de 180 g de chingaste de café que ingresan en el sistema. Se tomó en consideración el consumo energético de los equipos utilizados durante el proceso. El tiempo total del proceso fue de 66 horas para producir un solo vaso con una masa de 130.32 g.

## VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Este trabajo de investigación tuvo como objetivo principal desarrollar un material compostable a partir de la mezcla del chingaste de café y PLA para aprovechar este desecho y dar un fin a su ciclo de vida. Durante la primera fase de la experimentación se determinó el mejor tamaño de partícula que debía tener el chingaste de café para poder brindar un material resistente, agradable visualmente y que lograra mezclarse con facilidad. Para esto se realizaron pruebas con tres tamaños de partícula distintos, siendo estos de 25 (0.707 mm), 45 (0.354 mm) y 60 mesh (0.250 mm). Y se decidió trabajar con un mesh de 45 (0.354 mm) para la elaboración del producto final debido a que presentaba mejores cualidades. Además, teóricamente el mejor tamaño de partícula para trabajar es de 0.354 mm debido a que las partículas de chingaste y PLA se pueden mezclar con mayor homogeneidad y producir una menor porosidad en el material. Como se puede observar en la Imagen 28, de los tres tipos de muestras la mejor poseía más resistencia, facilidad de mezclado, menor porosidad, y era más liso. Mientras que con las otras muestras lo más notorio fue la dificultad al realizar la mezcla y también la poca resistencia ya que eran más quebradizos debido a su mayor porosidad.

Para poder elaborar estas muestras cualitativas, el chingaste de café se tuvo que someter previamente a un lavado con agua destilada y acetona para eliminar todos aquellos componentes que son solubles en agua como azúcares, algunos ácidos y compuestos orgánicos que pueden afectar a que la mezcla no se lleve a cabo adecuadamente. Cabe mencionar que durante el lavado del chingaste de café hubo mucha pérdida de producto debido a que se utilizó una tela para filtrar, en la cual quedaban restos de materia que no podían ser aprovechados. Luego de los lavados, el chingaste debía ser secado en horno al vacío para que la temperatura pudiera aumentar sin que se afectaran las propiedades básicas del chingaste. Ya que, si se quemaba por el proceso de secado, se generaban cenizas que no podían ser aprovechadas.

Luego de haber escogido que el tamaño de partícula a utilizar fuese de 45 mesh (0.354 mm) se realizaron las demás pruebas a este material con el objetivo de determinar su capacidad para degradarse, de absorber agua, de flotar, de resistir a la tensión y demás. Siendo de importancia la comparación de este material con productos ya existentes en el mercado guatemalteco, tales como vasos compostables a partir de bambú y de fécula de maíz. Para llevar a cabo el proceso de comparación de degradación se utilizó un compost artesanal con características químicas que se pueden observar en la Imagen 5, ya que en Guatemala no existen las pilas de compost industriales. Habiendo realizado una pila de compost casero como se observa en la Imagen 31 se realizaron divisiones para que cada muestra tuviera como mínimo 5 cm de distancia entre ellas y 10 cm de profundidad en la tierra. Esto para facilitar el contacto del compost que es el encargado de degradar el material. Como se puede observar en la Tabla 2, el chingaste de café con PLA se degrada continuamente durante los 60 días mínimos medidos. Esto se puede deber a que el chingaste de café ayuda a que el PLA, que de por sí es un material catalogado como biodegradable, sea degradado más rápidamente. Sin embargo, al momento de comparar los datos con la Tabla 3 y la Gráfica 1, se observa que el material producido se encuentra en segundo lugar de mejor tiempo de degradación, ya que de último lugar se ubica la fécula de maíz porque la pérdida de masa era muy pequeña. Por otro lado, el material de bambú es el que mejores resultados presentó, debido a que su degradación fue del 65.50% m/m desde los primeros 20 días de análisis. Pero cabe mencionar que, a pesar de ser el primero en degradarse más rápido, llegó un punto (a partir del día 60) en donde la masa ya no variaba y quedaba un tipo de muestra muy delgada que ya no se degradaba como se puede

observar en la Imagen 32. Mientras que, con la muestra de café, a pesar de ser una degradación lenta, era continua porque aumentaba en aproximadamente un 150% cada 20 días.

En la Tabla 2 también se puede observar que se hizo una comparación entre las tres muestras de chingaste de café con PLA elaboradas, esto porque el proceso de manufactura de las placas fue netamente artesanal, por lo que las piezas no lograron poseer el mismo peso como para obtener un peso promedio en el cuál basarse. Mientras que las piezas obtenidas de los otros vasos comerciales sí pudieron ser homogéneas en peso debido a que ya tienen un proceso industrial con menos errores de fabricación detrás. Agregando también que, durante la experimentación una de las muestras se quebró debido a la debilidad que generó la degradación y hubo pedazos que no se pudieron cuantificar, causando así el comienzo desde cero para el análisis de degradación de una nueva pieza (siendo esta la muestra 2 observada en la tabla). Sí el análisis hubiera sido realizado en una compostera industrial, es muy probable que la degradación ocurriera más rápido y de manera más controlada, ya que se considerarían la temperatura, el tiempo, la humedad del compost, y el CO<sub>2</sub> emitido por los materiales.

Durante el análisis de degradabilidad de las muestras se realizaron otras pruebas al material elaborado. Tales como su espectro IR para determinar los grupos funcionales que posee la mezcla y así poder analizar si puede ser un posible material biodegradable de una manera cualitativa. El pico característico es el carbonilo presente en 1750 cm<sup>-1</sup> aproximadamente, como se observa en la Gráfica 2, el cual es conocido en la mayoría de los materiales que indican ser biodegradables. Sin embargo, al realizar la comparación entre el dato cualitativo y los datos experimentales, se logró determinar que el material no es netamente biodegradable. Ya que, durante su tiempo de degradación relativamente lento a comparación de otros materiales biodegradables, muchos seres vivos pueden perjudicarse debido a una ingesta accidental. Cabe mencionar que este material no tiene posibilidad de degradarse al aire libre o siendo enterrado en cualquier tipo de suelo, lo que también genera la dificultad de su tratamiento. Una manera de facilitar el tratamiento del material es triturarlo y utilizarlo como si fuera abono en un compost industrial, ya que de esta manera se puede degradar más rápidamente debido a que habría una mayor área de contacto entre el material triturado y el compost.

Otro de los análisis realizados fue la prueba de flotabilidad, la cual se puede observar en la Tabla 7. Esta indicó que el material en ningún momento puede ser capaz de flotar, así como se observa en la Imagen 34, esto debiéndose a que la mezcla posee una densidad mayor que la del agua. También cabe recalcar que la porosidad que posee el material ocasiona que haya intercambios de gases con el exterior, así como el oxígeno, provocando que la pieza no flote. A pesar de pasar 70 días sumergidas en agua no se observó nunca una flotación por parte de las piezas mientras se realizaba el análisis de absorción de agua. Esto puede ser un beneficio al momento de producir productos a partir de este material, ya que un método de separación puede ser por flotación, en donde los demás materiales sean capaces de flotar. Como se puede observar en la Tabla 6, en el análisis de absorción de agua, las muestras absorbieron la misma cantidad de agua durante los 70 días, siendo este un valor promediado de 20.4% Mf. Demostrando así, que se puede considerar un material permeable, debido a que no absorbe grandes cantidades de agua, lo que puede generar un beneficio al momento de querer producir algún tipo de objeto que no absorba el agua, como por ejemplo vasos. Ya que al momento de que un vaso absorba el agua o líquido que posea dentro del mismo, el vaso se puede debilitar y perder su forma y dureza, causando una mayor probabilidad de que ocurran accidentes con los líquidos. Entre los tres vasos analizados, el que demostró mayor debilidad al momento de verter líquidos dentro fue el producido a partir de bambú. Lo que causaba

que el vaso tuviera que ser cambiado cada dos horas aproximadamente y generando así un mayor consumo de vasos.

En el análisis para medir la carga promedio de tensión que resiste el material (Tabla 8) se observó que soporta un promedio de 1537.53 kPa de carga, sufriendo una deformación promedio de 0.206 m, lo cual indica que es un material resistente que no se quebrará fácilmente con solo caerse, presionarlo o estirarlo. Demostrando que puede ser más resistente que los vasos comerciales hechos de otros materiales como duroport o plástico delgado. Sin embargo, no existen datos teóricos que puedan ser utilizados para comparar los valores experimentales obtenidos a partir de la prueba de tensión. También cabe mencionar que es un material que puede resistir las temperaturas de bebidas calientes como café o té sin derretirse ni causar daños en la salud del consumidor. Las variaciones que se observan entre los valores se deben a que algunas piezas poseían alguna debilidad por la falta de un aplanamiento o moldeo homogéneo, como se puede observar en la Imagen 36.

Otro objetivo de la experimentación fue producir un vaso con el material generado a partir del proceso de moldeo. Un primer prototipo de molde fue realizado a partir de un material llamado MoldStar, como se puede observar en la Imagen 23. El cual es utilizado para moldear con yeso o cualquier otro material que no necesite de calor para secarse. Su característica principal es que es un material flexible que puede resistir hasta temperaturas de 180°C. Para poder elaborar este molde se tuvo que realizar un molde previo a partir de PLA por medio de impresoras 3D, este molde fue utilizado como base para elaborar el que fue a partir de MoldStar, ya que este polímero debía secarse mientras mantenía la forma deseada. La dificultad más notoria en este tipo de moldes a partir de MoldStar es que las piezas poseían muchas deformidades que ocasionaban que no fuera uniforme y que al momento de moldear con chingaste de café y PLA causaron dificultades para extraer el vaso moldeado. También el material, por ser un tipo de silicona o resina, no resistió las temperaturas de entre 250°C y 300°C que eran necesarias para moldear el vaso, ya que se volvía menos resistente y era más flexible, cambiando así la forma del vaso. Además, que no podía ser colocado en la prensa hidráulica para generar la presión necesaria y llevar a cabo el moldeo, ya que el material poseía una alta viscosidad y no podía adquirir la forma del vaso sin hacer presión. Por lo tanto, se elaboró un molde a partir de acero 10/43, como se puede observar en las imágenes 24 y 26, para que tuviera resistencia a temperaturas más elevadas (entre 250°C y 300°C). Para poder hacer el molde se necesitó de un CNC para luego ser utilizado en una prensa hidráulica y moldear el material, como se muestra en las imágenes 25 y 27. El diseño utilizado para elaborar los moldes es el que se puede observar en la Imagen 12, se utilizó el programa de inventor para poder brindar una imagen de todos los ángulos de la pieza junto con sus medidas para generar un vaso de 4 oz con un grosor de 2.5 mm. También cumplió la función de tener una cavidad en donde pudo ser sujeta la parte de arriba del molde con la prensa hidráulica, aprovechando ese mismo peso para generar una mayor presión al momento de moldear el material. El tamaño del vaso se definió así porque es el que podía ser utilizado en la prensa hidráulica debido a las dimensiones de la misma, por lo que no se podía producir un vaso que fuera más grande. También se tomó en consideración este tipo de vaso porque es de los más utilizados en el mercado para bebidas calientes, siendo en su mayoría para café y té.

Al momento de realizar los moldeos se obtuvieron tres vasos con distintas formas, los cuales iban mejorando conforme el número de experimentación que fuese. Se decidió realizar la experimentación en triplicado para poder comparar las dimensiones entre cada uno de los vasos y generar de esta manera un promedio. En la Imagen 13 se puede observar una comparación entre los tres vasos moldeados, obteniendo a partir de ellos sus respectivas dimensiones que se pueden ver en la Tabla 4. El molde estaba diseñado para moldear vasos de 4 oz., sin embargo, al momento de realizar el proceso, la prensa no generaba la suficiente presión para que el molde llegara a cerrarse

por completo, por lo que quedaron con poca profundidad y un grosor mayor al que se tenía planeado (el cual era de 2.5 mm). De esta manera se pudo demostrar que se pueden realizar moldeos de distintos tipos de objetos con el material elaborado, sobre todo cuando el proceso de moldeo sea por inyección, ya que de esta manera se puede asegurar moldeo con menos errores y más facilidad debido que la mezcla sería calentada y mezclada constantemente mientras se inyecta en el molde. Se determinó que estos vasos poseen resistencia a caídas y a temperaturas de máximo 200°C, ya que en la Tabla 5 se puede observar que el punto de fusión promedio obtenido para el material fue de 200°C. Esta prueba fue realizada con un aumento de 10°C/min comenzando en 170°C y terminando en 220°C. Debido a las variaciones en las longitudes de las cadenas del polímero y a su cristalinidad particular, el material se fundió en un rango de temperatura amplio. Ya que es un polímero mezclado con chingaste de café, tiene una polidispersidad de las cadenas, una ramificación e imperfección de cristales mayor que el del PLA causando que el punto de fusión sea mayor al del PLA como material único, siendo el punto de fusión del PLA utilizado de 210°C.

Habiendo elaborado los vasos se hizo una comparación entre el mejor vaso moldeado a partir de chingaste de café y PLA con los vasos comerciales de fécula de maíz y bambú, con ese orden en la Imagen 14. Se puede observar que el vaso elaborado a partir del material desarrollado es visualmente más resistente que los demás debido a su grosor y textura. Se realizó un proceso de lijado y cortado de excesos del material para poder dar una mejor forma a los vasos y sean más atractivos visualmente, este cambio en los vasos y comparación se puede observar en la Imagen 13. Se demostró que el material desarrollado tiene la capacidad de poder ser utilizado para producir otro tipo de productos, debido a que sus características de resistencia, flexibilidad para moldearse, resistencia al calor y al frío y dureza son útiles para poder hacer objetos como ceniceros, tablas para picar, tops para mesas y otros productos que usualmente son producidos a partir de otros polímeros.

Para poder comerciar un producto así de viable es necesario vender las ideas de producción y los beneficios que pueden tener las personas que usen este material. Para producir un vaso de 4 oz fue necesario mezclar 120 g de PLA y 80 g de chingaste de café como se puede observar en el balance presente en la Gráfica 3. Se puede reducir las cantidades para poder producir el mismo vaso, ya que como se puede observar las sobras fueron elevadas, generando así una oportunidad de mejora para ese proceso. Además, que se puede mejorar la eficiencia del proceso si el mismo se realiza de una manera más industrial con equipos más precisos y exactos y así no producir una gran cantidad de sobras.

## VIII. CONCLUSIONES

- Se diseñó y produjo un vaso a partir de chingaste de café y PLA por medio de moldeo con calor, siendo el vaso final más resistente a temperaturas de hasta 200°C, teniendo un porcentaje de absorción de agua del 20% y un soporte de carga de 1537.53 kPa con una deformación de 0.2 m.
- Se analizó que el material a base de chingaste de café y PLA pierde en promedio 2.3% de su masa cada 20 días durante el proceso de compostaje casero, encontrándose así en segundo lugar ya que la muestra de fécula de maíz demostró perder un 0.8% de su masa y el de bambú demostró perder un 6.0% de su masa cada 20 días.
- Se determinó que las dimensiones de un vaso a partir de chingaste de café y PLA fueron de 0.60 cm de grosor, 8.00 cm de altura y 6.00 cm de fondo. El punto de fusión del material desarrollado fue de 200°C debido a la primera gota observada. La absorción de agua fue de un 20.00% durante 70 días. La fuerza de tensión que fue de 1537.53 kPa y la flotabilidad del material fue nula durante un análisis de una hora, demostrando que la porosidad del material no permite que flote.

## IX. RECOMENDACIONES

- Realizar el proceso de manufactura de los vasos de chingaste de café y PLA utilizando maquinaria para plantas piloto, donde la mezcla pueda ser más homogénea, el proceso de moldeo con calor constante (como el proceso de inyección del plástico), y que en el proceso de lavado tenga menos pérdida de material.
- Utilizar otros tipos de PLA que puedan ser más fluidos y menos viscosos para facilitar el proceso de moldeo y así brindar oportunidades para otros tipos de productos a partir de la mezcla.
- Realizar un análisis de biodegradabilidad del material en una compostera industrial, en donde se controle humedad, temperatura y emisiones de CO<sub>2</sub> para determinar el tiempo de degradación de una manera más controlada e industrializada.
- Realizar un análisis económico de la producción a escala piloto o industrial de algún producto hecho a partir del material desarrollado, ya que posee características que pueden ser provechosas para la elaboración de otros productos como maceteros, ceniceros, tops para mesas, etc.

## X. BIBLIOGRAFÍA

- Anacafé. (2019). *Guía de variedades de café Guatemala*. Obtenido de Anacafé: <https://www.anacafe.org/uploads/file/9a4f9434577a433aad6c123d321e25f9/Gu%C3%ADa-de-variedades-Anacaf%C3%A9.pdf>
- American Plastics Council. (2004). *National post-consumer plastic recycling report*. Arlinton: American Plastics Council.
- EFEverde. (2016). *La producción de alimentos causa el 60% de la pérdida de biodiversidad*. Obtenido de EFEverde: <https://www.efeverde.com/noticias/producir-alimentos-causa-60-perdida-biodiversidadunea2/>
- Equipo LS. (2017). *Las impactantes cifras de la contaminación plástica en nuestros océanos*. Obtenido de Equipo LS: <https://laderasur.com/articulo/las-impactantes-cifras-de-la-contaminacion-plastica-ennuestros-oceanos/>
- González, A.L. (2018). *La guerra del plástico*. elPeriódico. Recuperado el 17 de octubre de 2021 de: <https://elperiodico.com.gt/noticias/domingo/2018/07/22/la-guerra-del-plastico/>
- Greenpeace. (2021). *Datos sobre la producción de plásticos*. Recuperado el 17 de octubre de 2021 de: <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/datos-sobre-la-produccion-de-plasticos/>
- Griffin, A. (2017). *Pollution is killing millions of people a year and the world is reaching 'crisis point', experts warn*. Obtenido de independent: <https://www.independent.co.uk/environment/pollution-air-clean/watervehicles-diesel-car-tax-lancet-report-deaths-fatal-disease-a8009751.html>
- Juárez, F. (2018). *El café guatemalteco: un enfoque en el mercado mundial y su productividad*. Obtenido de Camcig: <https://camcig.org/userfiles/2019/01/2018.-DICE-El-caf%C3%A9-guatemalteco-un-enfonque-en-el-mercado-mundial-y-su-productividad-1.pdf>
- MINECO. (2019). *Café en Guatemala*. Guatemala: Unidad de Inteligencia de Mercados.
- Moore, G; Saunders, S. (1997). *Advances in biodegradable polymers*. Obtenido de Rapra Review Reports: [https://books.google.com.gt/books?id=75h7riUYxokC&pg=PA3&dq=biodegradable&hl=es&sa=X&ved=2ahUKewjU\\_v2UmJHtAhWF2FkKHQJfATMQ6AEwAHoECAAAQAg#v=onepage&q=biodegradable&f=false](https://books.google.com.gt/books?id=75h7riUYxokC&pg=PA3&dq=biodegradable&hl=es&sa=X&ved=2ahUKewjU_v2UmJHtAhWF2FkKHQJfATMQ6AEwAHoECAAAQAg#v=onepage&q=biodegradable&f=false)
- Narváez, M; Villota, L. (2018). *Caracterización fisicoquímica de la borra del café*. Colombia: corporación universitaria autónoma del cauca facultad ciencias ambientales y desarrollo sostenible programa de ingeniería ambiental y sanitaria.
- Oceaneye. (2016). *Plastic consumption*. Recuperado el 17 de octubre de 2021 de: <https://www.oceaneye.ch/en/issues/consommation-de-plastique/>
- Ortega, A. (2019). *Funcionalidad de empaques biodegradables a base de hongos Ecovative para alimentos*. 1era edición. Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala.

- Pérez, C. (2017). *El 95% del agua se desperdicia en Guatemala debido a la contaminación ambiental*. Guatemala: Prensa Libre.
- PlasticsEurope. (2020). *Plastics – the Facts 2020*. Association of Plastics Manufacturers.
- Plastivida. (2007). *Degradación de los Materiales Plásticos*. Argentina: Centro de Información Técnica
- Recalde, A.X. (2019). *Plastic Flow in Worldwide Context*. Dresden: Technische Universität DOI: 10.13140/RG.2.2.29715.22567
- Robles, S. (2019). *Innovación para conseguir degradar el plástico*. España: National Geographic Recuperado el 17 de octubre de 2021 de: [https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/innovacion-para-conseguir-degradar-plastico\\_15059](https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/innovacion-para-conseguir-degradar-plastico_15059)
- Smith, A. (2016). *El ciclo de vida del producto*. Obtenido de en50minutos: <https://books.google.com.gt/books?id=C2TyCwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=ciclo+de+vida+de+un+producto&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwi9nq3EI5HtAhWluFkKHYmkBqEQ6AEwAHoECAAQA#v=onepage&q=ciclo%20de%20vida%20de%20un%20producto&f=false>
- Suppen, N., Arista, G. y Aguillón, J. (2013). *Análisis de Ciclo de Vida y Ecodiseño para la construcción en México*. México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Tamara, Oscar. (2009). *Productos Kroyal*. Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.
- Weng, Y; Jin, Y; Meng, Q; et al. (2013). *Biodegradation behavior of poly(butylene adipate-co-terephthalate) (PBAT), poly(lactic acid) (PLA), and their blend under soil conditions*. China: College of Chemistry and Materials Engineering.
- Wu, C. (2015). *Renewable resource-based green composites of Surface-treated spent coffee grounds and polylactide: Characterisation and biodegradability*. Taiwán.
- Yuhui, M. (2018). *Problems and resolutions in dealing with waste disposable paper cups*. Science progress, 101(1), 1-7.

## XI. ANEXOS

### A. DATOS ORIGINALES

Tabla 9. Prueba de flotación realizada a la mezcla chingaste de café y PLA.

<b>Muestra</b>	<b>Tiempo 1 (5 min)</b>	<b>Tiempo 2 (10 min)</b>	<b>Tiempo 3 (15 min)</b>	<b>Tiempo 4 (30 min)</b>	<b>Tiempo 5 (60 min)</b>	<b>Tiempo 6 (180 min)</b>
1	No flotó	No flotó	No flotó	No flotó	No flotó	No flotó
2	No flotó	No flotó	No flotó	No flotó	No flotó	No flotó
3	No flotó	No flotó	No flotó	No flotó	No flotó	No flotó
4	No flotó	No flotó	No flotó	No flotó	No flotó	No flotó

Fuente. Elaboración propia con datos de experimentación a condiciones de 0.986 atm y 22 °C.

Nota. El análisis se realizó en cuadruplicado, teniendo mediciones para cada una de las muestras y utilizando el mismo tiempo en cada una de ellas.

Tabla 10. Masas iniciales del material chingaste de café y PLA para absorción de agua.

<b>Muestra</b>	<b>Mc (<math>\pm 0.0001</math> g)</b>
<b>1</b>	2.4977
<b>2</b>	2.4885
<b>3</b>	2.6044

Fuente. Elaboración propia con datos de experimentación a condiciones de 0.986 atm y 22 °C.

Nota. El análisis se realizó en triplicado y se tomó su masa inicial denotada Mc para determinar el agua absorbida por las muestras de material luego de 70 días.

Tabla 11. Masas del material chingaste de café y PLA para absorción de agua.

<b>Muestra</b>	<b>10 días (<math>\pm 0.0001</math> g)</b>	<b>20 días (<math>\pm 0.0001</math> g)</b>	<b>30 días (<math>\pm 0.0001</math> g)</b>	<b>40 días (<math>\pm 0.0001</math> g)</b>	<b>50 días (<math>\pm 0.0001</math> g)</b>	<b>60 días (<math>\pm 0.0001</math> g)</b>	<b>70 días (<math>\pm 0.0001</math> g)</b>
<b>1</b>	3.0998	3.0862	3.0972	3.0948	3.1009	3.0964	3.1171
	3.1000	3.0795	3.0797	3.0876	3.0964	3.0890	3.1074
	3.0999	3.0738	3.0730	3.0811	3.0906	3.0830	3.0982
<b>2</b>	2.9872	2.9593	2.9854	2.9801	2.9865	2.9819	2.9969
	2.9870	2.9517	2.9740	2.9729	2.9793	2.9759	2.9867
	2.9872	2.9464	2.9667	2.9672	2.9730	2.9704	2.9777
<b>3</b>	3.0683	3.0195	3.0840	3.0786	3.0885	3.0828	3.0990
	3.0684	3.0127	3.0762	3.0694	3.0813	3.0774	3.0888
	3.0683	3.0076	3.0710	3.0629	3.0740	3.0718	3.0819

Fuente. Elaboración propia con datos de experimentación a condiciones de 0.986 atm y 22 °C.

Nota. Los análisis se realizaron en triplicado, tomando las masas de cada muestra en triplicado también. Se realizaron cada diez días para determinación de agua absorbida por las muestras en cada tiempo.

Tabla 12. Masas de muestras de bambú durante el proceso de compostaje.

<b>Muestra</b>	<b>Día 1</b> ( $\pm 0.0001 \text{ g}$ )	<b>Día 20</b> ( $\pm 0.0001 \text{ g}$ )	<b>Día 40</b> ( $\pm 0.0001 \text{ g}$ )	<b>Día 60</b> ( $\pm 0.0001 \text{ g}$ )	<b>Día 80</b> ( $\pm 0.0001 \text{ g}$ )	<b>Día 100</b> ( $\pm 0.0001 \text{ g}$ )
<b>1</b>	0.5337	0.1784	0.1242	0.1045	0.0613	0.0567
	0.5347	0.1784	0.1238	0.1047	0.0607	0.0569
	0.5347	0.1784	0.1240	0.1047	0.0608	0.0563
<b>2</b>	0.5397	0.1919	0.1043	0.0780	0.0465	0.0424
	0.5401	0.1922	0.1044	0.0791	0.0462	0.0425
	0.5403	0.1925	0.1043	0.0783	0.0465	0.0425
<b>3</b>	0.5455	0.1879	0.1180	0.1053	0.0755	0.0666
	0.5465	0.1887	0.1180	0.1054	0.0759	0.0668
	0.5466	0.1889	0.1175	0.1060	0.0753	0.0666

Fuente. Elaboración propia con datos de experimentación a condiciones de 0.986 atm y 22 °C.

Nota. Se realizó el análisis en triplicado, tomando las lecturas de las masas en triplicado también para obtener un promedio. Los datos se tomaron cada 10 días habiendo limpiado las muestras de tierra y habiéndose secado en un horno al vacío durante 16 horas previo al pesaje.

Tabla 13. Masas de muestras de fécula de maíz durante el proceso de compostaje.

<b>Muestra</b>	<b>Día 1</b> ( $\pm 0.0001 \text{ g}$ )	<b>Día 20</b> ( $\pm 0.0001 \text{ g}$ )	<b>Día 40</b> ( $\pm 0.0001 \text{ g}$ )	<b>Día 60</b> ( $\pm 0.0001 \text{ g}$ )	<b>Día 80</b> ( $\pm 0.0001 \text{ g}$ )
<b>1</b>	0.4514	0.4364	0.4373	0.4273	0.4210
	0.4516	0.4366	0.4369	0.4275	0.4216
	0.4515	0.4365	0.4370	0.4273	0.4211
<b>2</b>	0.4317	0.4184	0.4196	0.4126	0.4081
	0.4318	0.4185	0.4197	0.4128	0.4081
	0.4318	0.4188	0.4196	0.4134	0.4085
<b>3</b>	0.4283	0.4157	0.4170	0.4111	0.4079
	0.4284	0.4157	0.4175	0.4111	0.4080
	0.4285	0.4155	0.4174	0.4111	0.4080

Fuente. Elaboración propia con datos de experimentación a condiciones de 0.986 atm y 22 °C.

Nota. Se realizó el análisis en triplicado, tomando las lecturas de las masas en triplicado también para obtener un promedio. Los datos se tomaron cada 10 días habiendo limpiado las muestras de tierra y habiéndose secado en un horno al vacío durante 16 horas previo al pesaje.

Tabla 14. Masas de muestras de mezcla de chingaste de café con PLA durante el proceso de compostaje.

<b>Muestra</b>	<b>Día 1</b> <b>(±0.0001 g)</b>	<b>Día 20</b> <b>(±0.0001 g)</b>	<b>Día 40</b> <b>(±0.0001 g)</b>	<b>Día 60</b> <b>(±0.0001 g)</b>	<b>Día 80</b> <b>(±0.0001 g)</b>	<b>Día 100</b> <b>(±0.0001 g)</b>
<b>1</b>	4.2357	4.2014	4.142	4.0318	3.9385	3.8570
	4.2376	4.204	4.1443	4.0335	3.9414	3.8566
	4.2379	4.2057	4.1456	4.0355	3.9430	3.8514
<b>2</b>	3.1789	3.1577	3.1153	3.0332		
	3.1793	3.159	3.1153	3.0350		
	3.1796	3.1602	3.1162	3.0352		
<b>3</b>	3.6031	3.5566	3.4759	3.3794	3.2990	3.2023
	3.6054	3.5599	3.4776	3.3816	3.3019	3.2030
	3.6061	3.5610	3.4796	3.3834	3.3046	3.2021

Fuente. Elaboración propia con datos de experimentación a condiciones de 0.986 atm y 22 °C.

Nota. Se realizó el análisis en triplicado, tomando las lecturas de las masas en triplicado también para obtener un promedio. Los datos se tomaron cada 10 días habiendo limpiado las muestras de tierra y habiéndose secado en un horno al vacío durante 16 horas previo al pesaje.

Tabla 15. Prueba de tensión de la muestra 1 realizada a partir de la mezcla de chingaste de café con PLA.

<b>Carga (kPa)</b>	<b>Deformación (m)</b>
137.90	0.205
275.79	0.205
413.69	0.205
551.58	0.205
689.48	0.205
827.37	0.206
965.27	0.206
1103.16	0.206
1241.06	0.207
1378.95	0.207
1516.85	0.207
1544.43	0.207

Fuente. Elaboración propia con datos de experimentación a condiciones de 0.986 atm y 22 °C.

Nota. Se realizó el análisis en triplicado siendo estos los valores para la primera muestra de material. Se utilizaron piezas homogéneas en longitud, ancho y grosor para realizar las experimentaciones.

Tabla 16. Prueba de tensión de la muestra 2 realizada a partir de la mezcla de chingaste de café con PLA.

<b>Carga (kPa)</b>	<b>Deformación (m)</b>
137.90	202
275.79	202
413.69	202
551.58	202
689.48	203
827.37	203
965.27	203
1103.16	203
1241.06	203
1254.85	203

Fuente. Elaboración propia con datos de experimentación a condiciones de 0.986 atm y 22 °C.

Nota. Se realizó el análisis en triplicado siendo estos los valores para la segunda muestra de material. Se utilizaron piezas homogéneas en longitud, ancho y grosor para realizar las experimentaciones.

Tabla 17. Prueba de tensión de la muestra 3 realizada a partir de la mezcla de chingaste de café con PLA.

<b>Carga (kPa)</b>	<b>Deformación (m)</b>
137.90	0.205
275.79	0.205
413.69	0.206
551.58	0.206
689.48	0.206
827.37	0.206
965.27	0.207
1103.16	0.207
1241.06	0.207
1378.95	0.207
1516.85	0.207
1554.77	0.207

Fuente. Elaboración propia con datos de experimentación a condiciones de 0.986 atm y 22 °C.

Nota. Se realizó el análisis en triplicado siendo estos los valores para la tercera muestra de material. Se utilizaron piezas homogéneas en longitud, ancho y grosor para realizar las experimentaciones.

Tabla 18. Dimensiones de vasos moldeados a partir de mezcla de chingaste de café y PLA.

<b>Muestra</b>	<b>Grosor (<math>\pm 0.01</math> cm)</b>	<b>Altura (<math>\pm 0.01</math> cm)</b>	<b>Diámetro superior (<math>\pm 0.01</math> cm)</b>	<b>Diámetro inferior (<math>\pm 0.01</math> cm)</b>	<b>Fondo (<math>\pm 0.01</math> cm)</b>
1	0.65	8.00	6.16	5.26	5.97
2	0.59	7.5	6.11	5.31	5.43
3	0.57	8.5	6.20	5.29	6.55

Fuente. Elaboración propia con datos de experimentación a condiciones de 0.986 atm y 22 °C.

Nota. Se realizó el análisis en triplicado haciendo tres vasos moldeados a partir del mismo material. Tomando las medidas de sus dimensiones y tener comparaciones entre los mismos.

Tabla 19. Punto de fusión del material fabricado a partir de mezcla de chingaste de café con PLA.

<b>Muestra</b>	<b>Punto de fusión (<math>\pm 5</math> °C)</b>
1	200
2	200
3	200

Fuente. Elaboración propia con datos de experimentación a condiciones de 0.986 atm y 22 °C.

Nota. Se realizó el análisis en triplicado utilizando tres piezas homogéneas en longitud, ancho y grosor. Se obtuvo el punto de fusión observando la primera gota de material que se observaba en la pieza.

## B. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Imagen 14. Especificaciones técnicas del PLA utilizado como materia prima



### Ingeo™ Biopolymer 2003D Technical Data Sheet

#### For Fresh Food Packaging and Food Serviceware

Ingeo biopolymer 2003D, a NatureWorks LLC product, is a thermoplastic resin derived from annually renewable resources and is specifically designed for use in fresh food packaging and food serviceware applications. Ingeo biopolymer 2003D is a transparent general purpose extrusion grade that is used naturally or as part of a formulated blend. This is a high molecular weight biopolymer grade that processes easily on conventional extrusion equipment. Extruded roll stock is readily thermoformable. See table at right for properties.

Typical Material & Application Properties <sup>(1)</sup>		
Physical Properties	Ingeo 2003D	ASTM Method
Specific Gravity	1.24	D792
MFR, g/10 min (210°C, 2.16kg)	6	D1238
Clarity	Transparent	
Mechanical Properties		
Tensile Strength @ Break, psi (MPa)	7,700 (53)	D882
Tensile Yield Strength, psi (MPa)	8,700 (60)	D882
Tensile Modulus, kpsi (GPa)	500 (3.5)	D882
Tensile Elongation, %	6.0	D882
Notched Izod Impact, ft-lb/in (J/m)	0.3 (16)	D256
Shrinkage is similar to PET <sup>(2)</sup>		
Heat Distortion Temperature (°C)	55	E2092

(1) Typical properties; not to be construed as specifications.

(2) Refer to Ingeo biopolymer Sheet Extrusion Processing Guide

#### Applications

Potential applications for Ingeo biopolymer 2003D include:

- Dairy containers
- Food serviceware
- Transparent food containers
- Hinged-ware
- Cold drink cups

#### Processing Information

Ingeo biopolymer 2003D is easily processed on conventional extrusion equipment. The material is stable in the molten state, provided that the drying procedures are followed. More detailed recommendations and processing requirements are found in the Ingeo biopolymer sheet extrusion processing guide, the purging technical data sheet, and the drying and crystallizing processing guide, all of which can be found at [www.natureworkslc.com](http://www.natureworkslc.com).

#### Machine Configuration

Ingeo biopolymer 2003D will process on conventional extrusion machinery with the following equipment: General purpose screw with L/D ratios from 24:1 to 32:1 and compression ratio of 2.5:1 to 3:1. Smooth barrels are recommended.

Processing Temperature Profile <sup>(1)</sup>		
Melt Temperature	410°F	210°C
Feed Throat	113°F	45°C
Feed Temperature	355°F	180°C
Compression Section	375°F	190°C
Metering Section	390°F	200°C
Adapter	390°F	200°C
Die	375°F	190°C
Screw Speed	20-100 rpm	

(1) These are starting points and may need to be optimized.

1. Clean extruder and bring temperatures to steady state with low viscosity, general purpose polystyrene or polypropylene.
2. Vacuum out hopper system to avoid contamination.
3. Introduce Ingeo biopolymers into the extruder at the operating conditions used in Step 1.
4. Once Ingeo biopolymer has purged, reduce barrel temperatures to desired set points.
5. At shutdown, purge machine with high viscosity polystyrene or polypropylene.

Fuente. Nature Works (2021)

## C. CÁLCULOS DE MUESTRA

Cálculo 1. Determinación del porcentaje masa de agua absorbida por la muestra 1 de la mezcla de chingaste de café y PLA .

Esta ecuación representa el porcentaje de agua que fue absorbida por la muestra 1 del material desarrollado, se hizo una comparación de los pesos cuando la muestra estaba seca y cuando estaba mojada. El análisis fue realizado cada 20 días para determinar si había un aumento en el porcentaje de agua.

$$\%m_f = \frac{m_w - m_c}{m_c} * 100\% \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\%m_f = \frac{3.0999 - 2.5302}{2.5302} * 100\% = 20.61\%$$

Nota. Este procedimiento se utilizó para determinar los porcentajes de peso de agua absorbidos por las otras dos muestras de material. Para realizar el cálculo se utilizaron los promedios de los datos de las tablas 10 y 11 para la muestra 1 del material.

Cálculo 2. Determinación del porcentaje de masa perdido de la muestra 1 de bambú para prueba de degradabilidad en compostaje luego de 20 días.

Esta ecuación representa el porcentaje de masa que perdió la muestra 1 de bambú durante los primeros 20 días del análisis de compostabilidad. Se realizó una diferencia de masas entre el día 1 y el 20 para todas las muestras de material, de bambú y de fécula de maíz. El análisis se llevaba a cabo cada 20 días durante 60 días.

$$\%m_{perdida} = \frac{m_{día\ 20} - m_{día\ 1}}{m_{día\ 1}} * 100\% \quad \text{Ecuación 2}$$

$$\%m_{perdida} = \frac{0.1864 - 0.5344}{0.5344} * 100\% = 65.12\%$$

Nota. Este procedimiento se utilizó para determinar los porcentajes de masa perdida de las demás muestras de bambú, chingaste de café y PLA, y fécula de maíz. Para realizar el cálculo se utilizaron los promedios de los datos de la tabla 12 en días 20 y 1 para la muestra 1 del material.

Cálculo 3. Determinación del porcentaje de masa perdida de la muestra 1 de bambú para prueba de degradabilidad en compostaje luego de 60 días.

Esta ecuación representa el porcentaje de masa que perdió la muestra 1 de bambú durante los primeros 20 días del análisis de compostabilidad. Se realizó una diferencia de masas entre el día 1 y el 20 para todas las muestras de material, de bambú y de fécula de maíz. El análisis se llevaba a cabo cada 20 días durante 60 días.

$$\%m_{perdida} = \frac{m_{día\ 60} - m_{día\ 1}}{m_{día\ 1}} * 100\% \quad \text{Ecuación 2}$$

$$\%m_{perdida} = \frac{0.0785 - 0.5400}{0.5400} * 100\% = 85.46\%$$

Nota. Este procedimiento se utilizó para determinar los porcentajes de masa perdida de las demás muestras de bambú, chingaste de café y PLA, y fécula de maíz. Para realizar el cálculo se utilizaron los promedios de los datos de la tabla 12 en días 60 y 1 para la muestra 1 del material.

Cálculo 4. Balance de masa del proceso de primer secado del chingaste de café.

Esta ecuación representa el balance de masa que fue realizado con la base de cálculo establecida de 180 g de entrada de chingaste de café, teniendo un tiempo de secado de 16 horas al vacío a una temperatura de 110°C. Este mismo procedimiento se utilizó para el balance de masa de los demás procesos de secado.

$$\dot{m}_{entrada} = \dot{m}_{salida} + H_2O$$

$$\dot{m}_{entrada} - \dot{m}_{salida} = H_2O$$

$$H_2O = 205.95 \text{ g chingaste húmedo} - 174.77 \text{ g chingaste seco}$$

$$H_2O = 31.18 \text{ g Agua}$$

Nota. Esta ecuación fue utilizada para los balances de masa realizados en el otro proceso de secado de chingaste de café cuando fue lavado con acetona. Para realizar el cálculo se utilizaron los datos presentes en el diagrama de bloques del proceso para la primera corrida del proceso de producción.

Cálculo 5. Balance de masa del proceso de mezcla de materia prima previo al proceso de moldeo.

Esta ecuación representa el balance de masa que fue realizado con la base de cálculo establecida de 180 g de entrada de chingaste de café, teniendo un tiempo de mezcla de 10 min a una temperatura de 300°C. Para realizar la mezcla se tomó como base que del 100% de la mezcla, un 40% debía ser chingaste de café y un 60% debía ser PLA.

$$\dot{m}_{entrada} = \dot{m}_{salida}$$

$$\dot{m}_{Chingaste\ café} + \dot{m}_{PLA} = \dot{m}_{mezcla} + \dot{m}_{sobras\ chingaste}$$

$$123.88 \text{ g chingaste} + 120 \text{ g PLA} = 200 \text{ g mezcla} + 43.88 \text{ g sobras chingaste}$$

Nota. Esta ecuación fue utilizada para los balances de masa realizados en los procesos de lavado de chingaste, filtrado, secado de agua, tamizado, lavado con acetona, filtrado de acetona, secado de acetona y moldeo. Para realizar el cálculo se utilizaron los datos presentes en el diagrama de bloques del proceso para la primera corrida del proceso de producción.

Cálculo 6. Balance de energía del proceso de mezcla del chingaste de café y PLA.

Esta ecuación representa el balance de energía que fue realizado con la base de cálculo establecida de 180 g de entrada de chingaste de café, teniendo un tiempo de mezcla de 10 min a una temperatura de 300°C. Este mismo procedimiento se utilizó para el balance de energía de los demás procesos de secado.

$$E_K + E_P + U = Q + W$$

$$Q = -W = -1.2 \text{ kWh}$$

Nota. Esta ecuación fue utilizada para los balances de energía realizados en los procesos de secado del chingaste con agua destilada y el proceso de secado del chingaste con acetona. Para realizar el cálculo se utilizaron los datos presentes en el diagrama de bloques del proceso para la primera corrida del proceso de producción.

## D. ANÁLISIS DE ERROR

Cálculo 7. Determinación de promedio de las muestras utilizadas para análisis de absorción de agua, compostaje y tensión del material chingaste de café y PLA y vasos compostables comerciales. Se utilizó la siguiente ecuación:

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 \dots + x_n}{n} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

- $\bar{X}$  = Media aritmética de los datos obtenidos
- $x_1 + x_2 + x_3 \dots + x_n$  = Datos obtenidos involucrados en el cálculo de la media.
- $n$  = Número total de observaciones

Ejemplo:

Cálculo de masa promedio de las muestras de chingaste de café con PLA para análisis de absorción de agua. Se emplearon los datos colocados en la tabla 20.

$$Mc \bar{X} = \frac{2.4977 \text{ g} + 2.4885 \text{ g} + 2.6044 \text{ g}}{3} = 2.5302 \text{ g}$$

Nota. El cálculo de estos datos se realizó por medio del programa Excel, siendo la función PROMEDIO(). Este cálculo fue utilizado para determinar los valores promedios necesarios durante el trabajo. Para realizar el cálculo se utilizaron los datos presentes en la tabla 10 para las muestras 1, 2 y 3.

Cálculo 8. Determinación de incertidumbres para sumas y restas involucradas durante las experimentaciones de absorción de agua, compostaje y tensión del material chingaste de café y PLA y vasos compostables comerciales. Se utilizó la siguiente ecuación:

$$S_y = \sqrt{S_a^2 + S_b^2 + S_c^2 + \dots} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

- $S_y$  = Valor resultante
- $S_a^2 + S_b^2 + S_c^2 \dots$  = Incertidumbre asociada a cada variable

Ejemplo:

Cálculo de propagación de error de la sumatoria para cálculo del promedio de masas de las muestras de chingaste de café con PLA para análisis de absorción de agua.

$$S_y = \sqrt{0.0001^2 + 0.0001^2} = 0.00014 Mc$$

Nota. El cálculo de estos datos se realizó por medio del programa Excel. Este cálculo fue utilizado para determinar los análisis de error en sumatorias o restas realizadas durante el trabajo. Para realizar el cálculo se utilizaron los datos presentes en la tabla 20 para las muestras 1, 2 y 3.

Cálculo 9. Determinación de incertidumbres para multiplicaciones y divisiones involucradas durante las experimentaciones de absorción de agua, compostaje y tensión del material chingaste de café y PLA y vasos compostables comerciales. Se utilizó la siguiente ecuación:

$$S_y = Y \sqrt{\left(\frac{S_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{S_b}{b}\right)^2 + \left(\frac{S_c}{c}\right)^2} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

- $S_y$  = Valor resultante
- $a, b, c \dots$  = Variables involucradas en la ecuación
- $S_a, S_b, S_c \dots$  = Incertidumbre asociada a cada variable

Ejemplo:

Cálculo de propagación de error de masa promedio de las muestras de chingaste de café con PLA para análisis de absorción de agua.

$$S_y = 2.5302 Mc \sqrt{\left(\frac{0.0001}{2.4977}\right)^2 + \left(\frac{0.0001}{2.4885}\right)^2 + \left(\frac{0.0001}{2.6044}\right)^2} = 0.00017 Mc$$

Nota. El cálculo de estos datos se realizó por medio del programa Excel. Este cálculo fue utilizado para determinar los análisis de error en multiplicaciones o divisiones realizadas durante el trabajo. Para realizar el cálculo se utilizaron los datos presentes en la tabla 20 para las muestras 1, 2 y 3.

## E. DATOS CALCULADOS

Tabla 20. Masa promedio de las muestras de chingaste de café con PLA para análisis de absorción de agua.

<b>Muestra</b>	<b>Mc (<math>\pm 0.0001 g</math>)</b>
<b>1</b>	2.4977
<b>2</b>	2.4885
<b>3</b>	2.6044
<b>Prom Mc</b>	2.5302

Fuente. Elaboración propia con datos recabados de la masa inicial de las muestras.

Nota. Se obtuvo el promedio de las masas iniciales de las piezas utilizadas para análisis de absorción de agua de estas.

Tabla 21. Porcentaje de absorción de agua de las muestras de mezcla de chingaste de café con PLA.

	<b>10 días</b> <b>(±0.0001 g)</b>	<b>20 días</b> <b>(±0.0001 g)</b>	<b>30 días</b> <b>(±0.0001 g)</b>	<b>40 días</b> <b>(±0.0001 g)</b>	<b>50 días</b> <b>(±0.0001 g)</b>	<b>60 días</b> <b>(±0.0001 g)</b>	<b>70 días</b> <b>(±0.0001 g)</b>
<b>Prom Mw (g)</b>	3.0518	3.0152	3.0452	3.0438	3.0523	3.0476	3.0615
<b>%Mf</b>	20.6145	19.1680	20.3559	20.3005	20.6339	20.4499	20.9992

Fuente. Elaboración propia con datos recabados de la masa de agua absorbida de las muestras.

Nota. Se obtuvo el porcentaje de absorción de agua de cada una de las piezas utilizando la ecuación 1 y se obtuvo su promedio.

Tabla 22. Porcentaje y cantidad de masa perdida con respecto al tiempo para la muestra de vaso compostable a partir de bambú.

<b>Muestra</b>	<b>Día 1</b> <b>(±0.0001 g)</b>	<b>Día 20</b> <b>(±0.0001 g)</b>	<b>Día 40</b> <b>(±0.0001 g)</b>	<b>Día 60</b> <b>(±0.0001 g)</b>	<b>Día 80</b> <b>(±0.0001 g)</b>	<b>Día 100</b> <b>(±0.0001 g)</b>
<b>Promedio (g)</b>	0.5402	0.1864	0.1154	0.0962	0.0610	0.0553
<b>%</b>		65.5004	78.6396	82.1877	88.7141	89.7713

Fuente. Elaboración propia con datos recabados de la masa perdida en muestras de bambú.

Nota. Se obtuvo un promedio de la pérdida de masa que demostraron tener las piezas durante el proceso de compostabilidad, para obtener las cantidades se hizo uso de la ecuación 2.

Tabla 23. Porcentaje y cantidad de masa perdida con respecto al tiempo para la muestra de vaso compostable a partir de fécula de maíz.

<b>Muestra</b>	<b>Día 1</b> <b>(±0.0001 g)</b>	<b>Día 20</b> <b>(±0.0001 g)</b>	<b>Día 40</b> <b>(±0.0001 g)</b>	<b>Día 60</b> <b>(±0.0001 g)</b>	<b>Día 80</b> <b>(±0.0001 g)</b>
<b>Promedio (g)</b>	0.4372	0.4236	0.4247	0.4171	0.4125
<b>%</b>		3.1233	2.8717	4.5947	5.6595

Fuente. Elaboración propia con datos recabados de la masa perdida en muestras de fécula de maíz.

Nota. Se obtuvo un promedio de la pérdida de masa que demostraron tener las piezas durante el proceso de compostabilidad, para obtener las cantidades se hizo uso de la ecuación 2.

Tabla 24. Porcentaje y cantidad de masa perdida con respecto al tiempo para la muestra 1 de vaso compostable a partir de chingaste de café con PLA.

<b>Muestra</b>	<b>Día 1</b> <b>(±0.0001 g)</b>	<b>Día 20</b> <b>(±0.0001 g)</b>	<b>Día 40</b> <b>(±0.0001 g)</b>	<b>Día 60</b> <b>(±0.0001 g)</b>	<b>Día 80</b> <b>(±0.0001 g)</b>	<b>Día 100</b> <b>(±0.0001 g)</b>
<b>1</b>	4.2357	4.2014	4.1420	4.0318	3.9385	3.8570
	4.2376	4.2040	4.1443	4.0335	3.9414	3.8566
	4.2379	4.2057	4.1456	4.0355	3.9430	3.8514
Promedio (g)	4.2371	4.2037	4.1440	4.0336	3.9410	3.8550
% de masa perdida (g)		0.7875	1.4210	2.6633	2.2965	2.1814
Pérdida porcentual de masa (%)		0.7875	2.1973	4.8021	6.9883	9.0172

Fuente. Elaboración propia con datos recabados de la masa perdida en muestra 1 de chingaste de café con PLA.

Nota. Se obtuvo un promedio de la pérdida de masa que demostró tener la pieza durante el proceso de compostabilidad, para obtener las cantidades se hizo uso de la ecuación 2.

Tabla 25. Porcentaje y cantidad de masa perdida con respecto al tiempo para la muestra 2 de vaso compostable a partir de chingaste de café con PLA.

<b>Muestra</b>	<b>Día 1</b> <b>(±0.0001 g)</b>	<b>Día 20</b> <b>(±0.0001 g)</b>	<b>Día 40</b> <b>(±0.0001 g)</b>	<b>Día 60</b> <b>(±0.0001 g)</b>
<b>2</b>	3.1789	3.1577	3.1153	3.0332
	3.1793	3.1590	3.1153	3.0350
	3.1796	3.1602	3.1162	3.0352
Promedio (g)	3.1793	3.1590	3.1156	3.0345
% de masa perdida (g)		0.6385	1.3728	2.6041
Pérdida porcentual de masa (%)		0.6385	2.0026	4.5545

Fuente. Elaboración propia con datos recabados de la masa perdida en muestra 2 de chingaste de café con PLA.

Nota. Se obtuvo un promedio de la pérdida de masa que demostró tener la pieza durante el proceso de compostabilidad, para obtener las cantidades se hizo uso de la ecuación 2.

Tabla 26. Porcentaje y cantidad de masa perdida con respecto al tiempo para la muestra 3 de vaso compostable a partir de chingaste de café con PLA.

<b>Muestra</b>	<b>Día 1</b> ( $\pm 0.0001 \text{ g}$ )	<b>Día 20</b> ( $\pm 0.0001 \text{ g}$ )	<b>Día 40</b> ( $\pm 0.0001 \text{ g}$ )	<b>Día 60</b> ( $\pm 0.0001 \text{ g}$ )	<b>Día 80</b> ( $\pm 0.0001 \text{ g}$ )	<b>Día 100</b> ( $\pm 0.0001 \text{ g}$ )
<b>3</b>	3.6031	3.5566	3.4759	3.3794	3.2990	3.2023
	3.6054	3.5599	3.4776	3.3816	3.3019	3.2030
	3.6061	3.5610	3.4796	3.3834	3.3046	3.2021
Promedio (g)	3.6049	3.5592	3.4777	3.3815	3.3018	3.2025
% de masa perdida (g)		1.2677	2.2889	2.7672	2.3550	3.0094
Pérdida porcentual de masa (%)		1.2677	3.5276	6.1972	8.4062	11.1627

Fuente. Elaboración propia con datos recabados de la masa perdida en muestra 3 de chingaste de café con PLA.

Nota. Se obtuvo un promedio de la pérdida de masa que demostró tener la pieza durante el proceso de compostabilidad, para obtener las cantidades se hizo uso de la ecuación 2.

Tabla 27. Porcentaje promedio de masa perdida para las muestras 1, 2 y 3 de mezcla de chingaste de café con PLA.

	<b>Muestra</b>	<b>Día 1</b>	<b>Día 20</b> ( $\pm 0.0001 \text{ g}$ )	<b>Día 40</b> ( $\pm 0.0001 \text{ g}$ )	<b>Día 60</b> ( $\pm 0.0001 \text{ g}$ )	<b>Día 80</b> ( $\pm 0.0001 \text{ g}$ )	<b>Día 100</b> ( $\pm 0.0001 \text{ g}$ )
<b>Porcentaje de masa perdida (%)</b>	1	0	0.7875	2.1973	4.8021	6.9883	9.0172
	2	0	0.6385	2.0026	4.5545		
	3	0	1.2677	3.5276	6.1972	8.4062	11.1627
	<b>Promedio</b>		0.8979	2.5758	5.1846	7.6973	10.0900

Fuente. Elaboración propia con datos recabados de la masa perdida en muestras 1, 2 y 3 de chingaste de café con PLA.

Nota. Se obtuvo un promedio del porcentaje de masa perdida por cada una de las piezas del material realizado.

Tabla 28. Carga promedio que soportan las piezas realizadas a partir de mezcla de chingaste de café y PLA.

<b>Muestra</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>Carga soportada (kPa)</b>	<b>Deformación (m)</b>
<b>1</b>	80	1544.43	0.207
<b>2</b>	80	1254.85	0.203
<b>3</b>	80	1554.77	0.207
<b>Promedio</b>	80	1451.35	0.206

Fuente. Elaboración propia con datos recabados del análisis de fuerza de tensión para muestras de chingaste de café con PLA.

Nota. Se obtuvo un promedio del tiempo que tomó para que las piezas se rompieran o quebraran, la carga máxima que soportaron y la deformación que tuvieron estas.

Tabla 29. Dimensiones promedio de los vasos moldeados a partir de mezcla de chingaste de café.

	<b>Grosor</b> ( $\pm 0.01$ cm)	<b>Altura</b> ( $\pm 0.01$ cm)	<b>Diámetro superior</b> ( $\pm 0.01$ cm)	<b>Diámetro inferior</b> ( $\pm 0.01$ cm)	<b>Fondo</b> ( $\pm 0.01$ cm)
<b>Promedio</b>	0.60	8.00	6.16	5.29	5.98

Fuente. Elaboración propia con datos recabados de la toma de dimensiones de la muestra de vaso final.

Nota. Se obtuvo un promedio para cada una de las dimensiones de los vasos, utilizando para esto un Vernier digital.

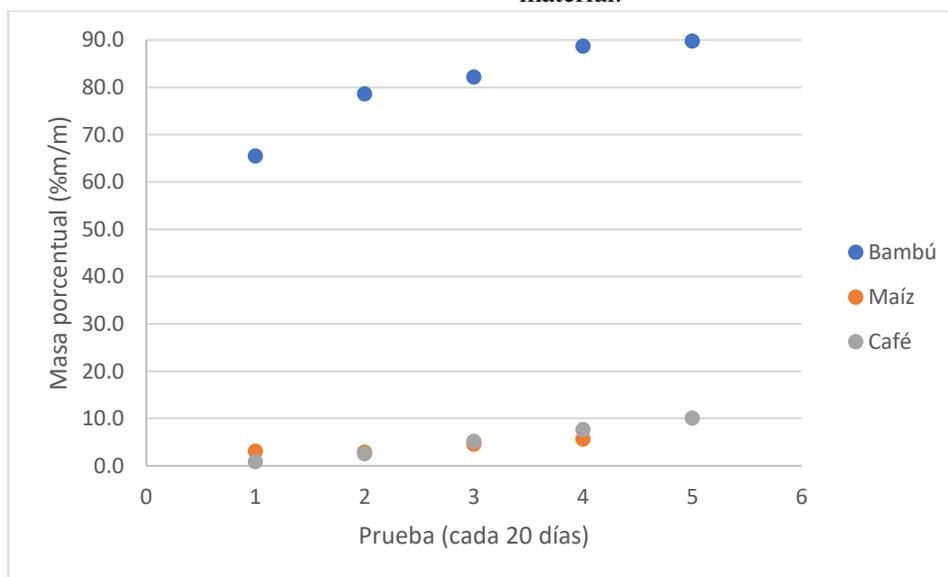
Tabla 30. Punto de fusión promedio para material fabricado a partir de mezcla de chingaste de café y PLA.

<b>Muestra</b>	<b>Punto de fusión</b> ( $\pm 5$ °C)
1	200
2	200
3	200
<b>Promedio</b>	200

Fuente. Elaboración propia con datos recabados del punto de fusión de las muestras 1, 2 y 3 de chingaste de café con PLA.

Nota. Se obtuvo una temperatura promedio en la cual las piezas comenzaban a derretirse, tomando como base la primera gota observable.

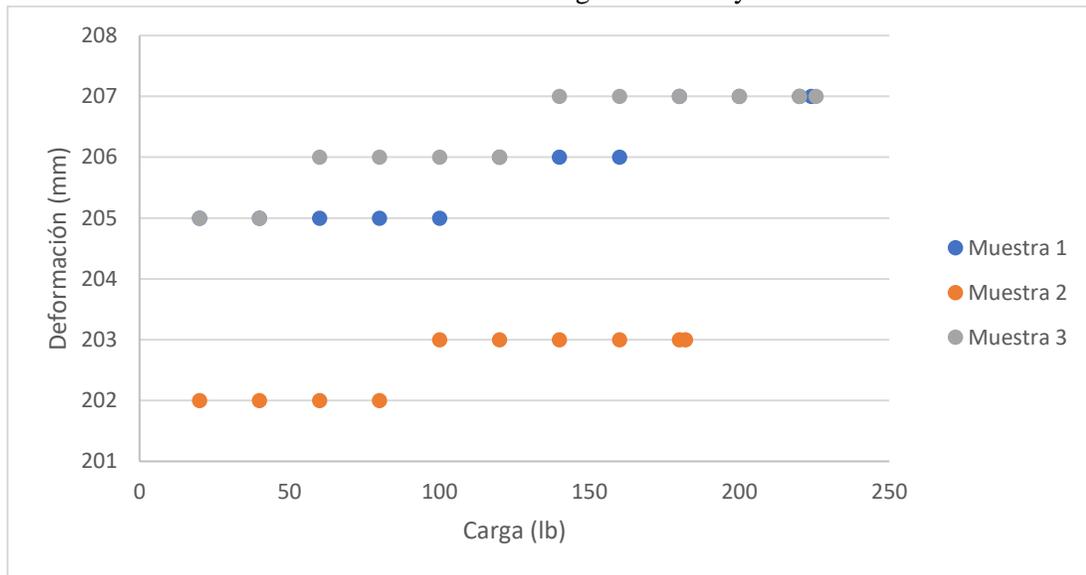
Gráfica 4. Pérdida de masa porcentual respecto al tiempo de cada una de las muestras de material.



Fuente. Elaboración propia con datos recabados de la pérdida de masa porcentual de cada uno de los materiales analizados.

Nota. Se comparó la pérdida de masa porcentual con respecto al tiempo de los materiales provenientes de los distintos vasos, siendo estos de bambú, fécula de maíz y chingaste de café con PLA.

Gráfica 5. Comparación de deformación respecto a la carga de las piezas realizadas a partir de chingaste de café y PLA.



Fuente. Elaboración propia con datos recabados de la deformación respecto a la carga de las muestras de chingaste de café y PLA.

Nota. Se analizaron las tres muestras homogéneas de chingaste de café con PLA para observar su cambio en la deformación conforme se aumentaba la carga en las piezas.

## F. IMÁGENES DE EQUIPOS UTILIZADOS

Imagen 15. Espectrofotómetro PerkinElmer Spectrum Versión 10.5.4



Nota. Este equipo fue el utilizado para analizar la muestra de material chingaste de café con PLA para obtener su espectro IR. Ubicación: Laboratorio de Instrumental Avanzada de la Universidad del Valle de Guatemala.

Imagen 16. Horno al vacío marca VWR modelo 1410M



Nota. Este equipo fue utilizado para secar las muestras previo a la toma de masas de los materiales que fueron usados para la prueba de compostabilidad. Ubicación: Centro de Estudios Agrícolas y Alimentarias de la Universidad del Valle de Guatemala.

Imagen 17. Horno de convección marca Fisher Scientific



Nota. Este equipo fue utilizado para secar el chingaste de café posterior a los lavados realizados al mismo. Ubicación: Centro de Estudios Agrícolas y Alimentarias de la Universidad del Valle de Guatemala.

Imagen 18. Prensa hidráulica marca Carver modelo #3912



Nota. Este equipo fue utilizado para llevar cabo el proceso de moldeo, ingresando en el molde la mezcla de material para luego por medio de presión generar la forma de un vaso. Ubicación: Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.

Imagen 19. Compresora universal marca Versa Tester



Nota. Este equipo fue utilizado para realizar los análisis de carga soportada por el material, la pieza se colocaba como se muestra en la imagen y el equipo era encargado de halar los extremos mientras medía la fuerza necesitada para quebrarla. Ubicación: Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Universidad del Valle de Guatemala.

Imagen 20. Tamizador marca Ro-Tar



Nota. Este equipo fue el utilizado para separar por tamaño de partícula el chingaste de café a un mesh de 45 (0.354 mm tamaño de partícula), y posteriormente utilizarlo para la mezcla. Ubicación: Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.

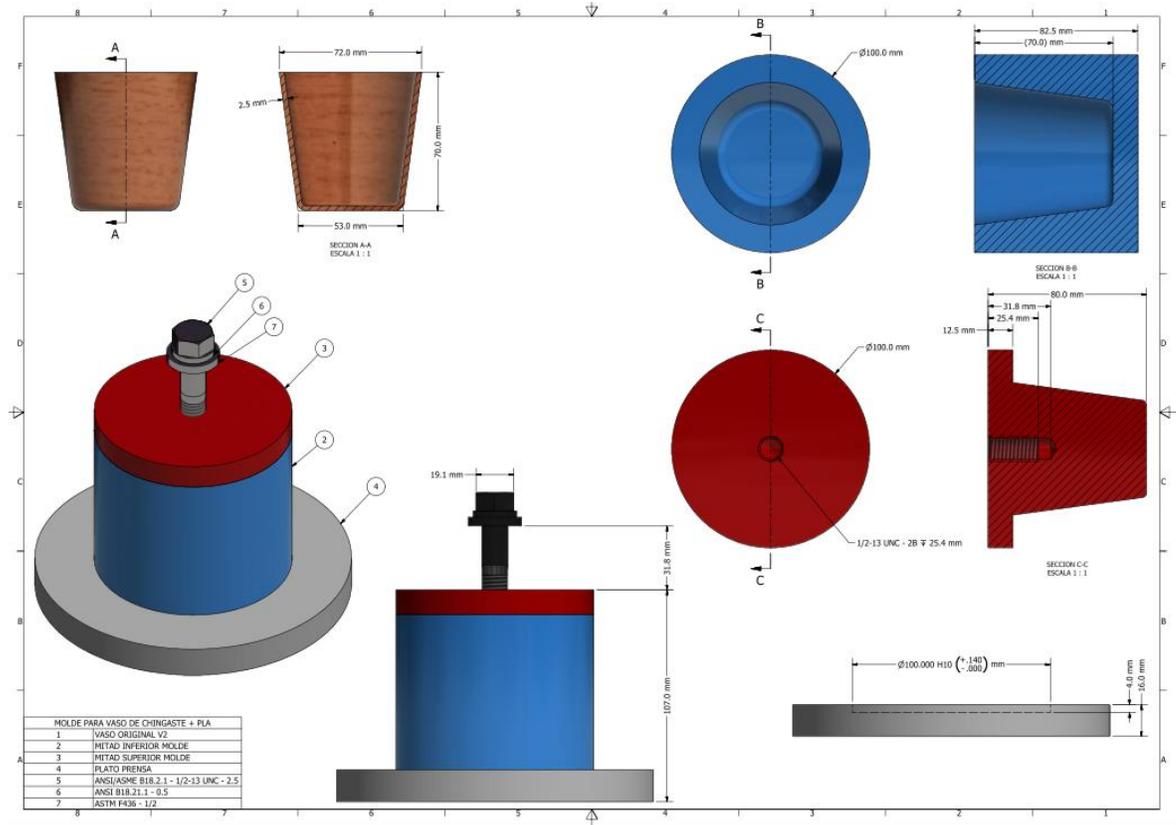
Imagen 21. CNC marca Haas modelo TL1



Nota. Este equipo fue utilizado para producir el molde que posteriormente se colocaría en la prensa para brindar la forma de vaso a la mezcla de material. Ubicación: Laboratorio de Mecánica de la Universidad del Valle de Guatemala.

## G. IMÁGENES DE EXPERIMENTACIÓN

Imagen 22. Diseño de molde a utilizar para producción de vasos a partir de mezcla de chingaste de café y PLA.



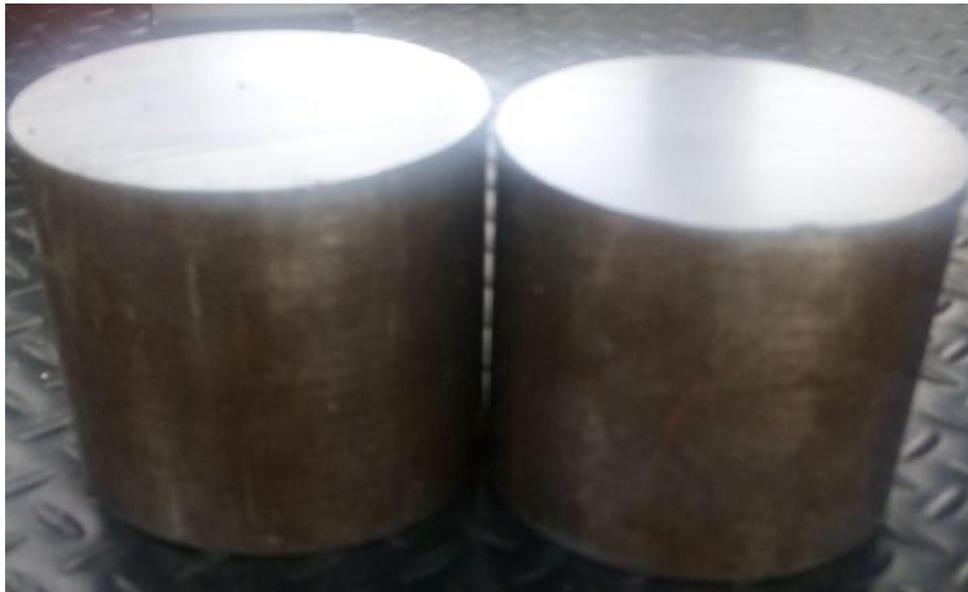
Nota. Este fue el diseño final presentado para la manufactura del molde en el CNC, estos datos se ingresan a un programa de la máquina para que esta trabaje automáticamente y genere el molde de acero 10/43.

Imagen 23. Molde prototipo elaborado a partir de MoldStar



Nota. Aquí se muestran los prototipos de moldes hechos a partir de Mold Star (un polímero), para probar primeramente si era posible moldear un vaso usando este material. Se partió de un molde hecho a partir de PLA en impresión 3D para obtener la forma final.

Imagen 24. Acero 10/43 utilizado para la elaboración del molde por medio de un CNC



Nota. Este material fue el utilizado para realizar el proceso de moldeo del vaso a partir del material. Se escogió este acero debido a la capacidad que posee de resistir el calor, ya que el prototipo se derretía al momento de moldear.

Imagen 25. Proceso realizado en CNC para la elaboración del molde para producir vasos a partir de mezcla de chingaste de café y PLA



Nota. Proceso utilizado por el CNC para moldear los trozos de acero 10/43 y darle forma conforme lo indicado en el diseño del molde.

Imagen 26. Molde elaborado a partir de acero 10/43



Nota. Molde finalizado a partir de acero 10/43 para colocarlo en la prensa hidráulica y realizar proceso de moldeo del material.

Imagen 27. Proceso de elaboración del vaso en prensa hidráulica



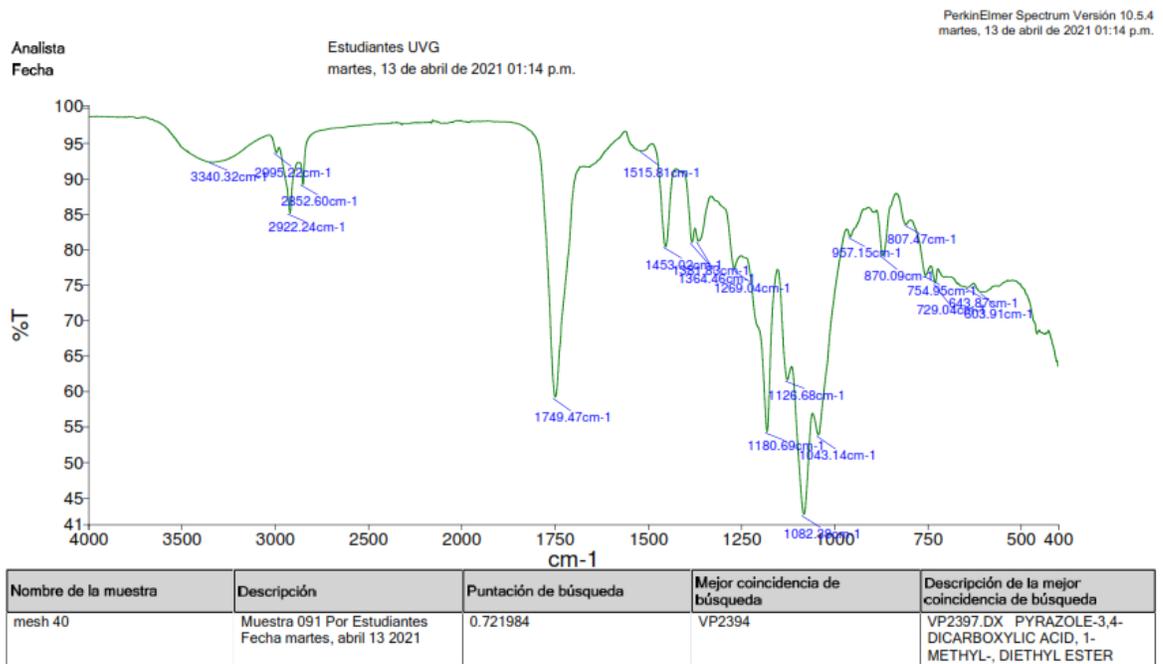
Nota. Se muestra el proceso utilizado para llevar a cabo el moldeo del material utilizando el molde de acero y la prensa hidráulica para ejercer la presión necesaria.

Imagen 28. Muestras elaboradas a partir de mezcla de chingaste de café y PLA con un tamaño de partícula de 0.707 mm (mesh 25), 0.354 mm (mesh 45) y 0.250 mm (mesh 60)



Nota. Muestras realizadas con distintas mezclas de chingaste de café y PLA para obtener resultados cualitativos de resistencia, forma y agrado visual, para tomar una elección.

Imagen 29. Análisis de IR realizada a muestra de mezcla de chingaste de café con PLA para determinación cualitativa de posible biodegradabilidad



Nota. Espectro IR a partir del análisis de una muestra de mezcla de PLA con chingaste café utilizando mesh 45, obtenido por Espectrofotómetro Perkin Elmer.

Imagen 30. Lavado de chingaste de café utilizando 1 L de agua destilada durante 24 h



Nota. Muestra del procedimiento de lavado de chingaste de café inicial para eliminar cualquier sustancia que sea soluble en agua.

Imagen 31. Compostera casera utilizada para análisis de degradación del material de vasos compostables comerciales y de mezcla chingaste de café con PLA



Nota. Muestra de la caja utilizada y separada para llevar a cabo proceso de compostabilidad de las 9 muestras de distintos materiales para realizar una comparación entre cada una de ellas.

Imagen 32. Primera extracción de muestras desde la compostera casera, realizada pasados los primeros 20 días de degradación



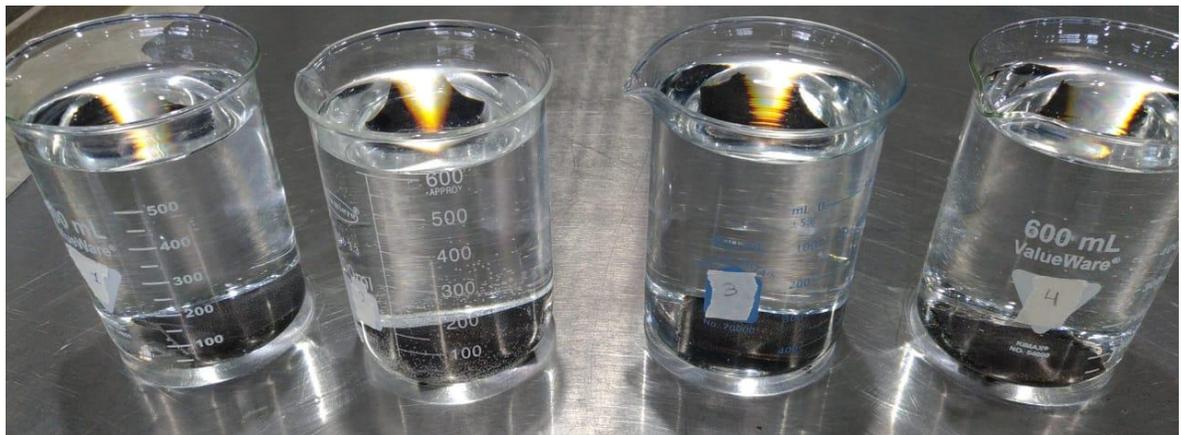
Nota. Muestra de cómo se observaban las piezas de distintos materiales cuando se analizaba su pérdida de masa. Siendo la primera fila el material chingaste de café con PLA, la segunda a partir de fécula de maíz y la tercera a partir de bambú.

Imagen 33. Colocación de muestras en horno al vacío



Nota. Se pueden observar las muestras previamente lavadas con agua destilada para quitar excesos de tierra listas para su proceso de secado al vacío durante 16 horas para su posterior toma de masa.

Imagen 34. Prueba de flotabilidad realizada a piezas de material



Nota. Proceso de prueba de flotabilidad de las piezas a partir del material realizado, se observa claramente que ninguna tuvo la capacidad de flotar en ninguno de los tiempos.

Imagen 35. Prueba realizada para obtención de datos para el análisis de absorción de agua



Nota. La prueba fue realizada en frascos de vidrio a una temperatura constante del ambiente y nuevamente no se visualizó en ningún momento la capacidad de las piezas por flotar.

Imagen 36. Lugar de ruptura de piezas utilizadas para análisis de tensión



Nota. Se observa la deformación de las piezas inicialmente homogéneas utilizadas para la prueba de tensión.

Imagen 37. Equipos utilizados para determinar el punto de fusión del material fabricado



Nota. Se realizó este análisis utilizando un sartén en el cual se midió la temperatura por medio del termómetro, aumentando de a pocos la temperatura hasta observar la primera gota de material.

Imagen 38. Vasos moldeados a partir del material fabricado, realizado en triplicado



Nota. El orden de izquierda a derecha indica el orden utilizado para llevar a cabo el proceso de moldeo, teniendo en cada una un mejoramiento en la forma de los vasos.

Imagen 39. Comparación de vasos fabricados a partir de chingaste de café y PLA con vasos a partir de bambú y fécula de maíz



Nota. El vaso ubicado del lado izquierdo es el que está hecho a partir de fécula de maíz, el que se encuentra en medio es de bambú y el último es del material desarrollado.

Imagen 40. Vasos moldeados y procesados para eliminar excesos de mezcla



Nota. Vasos finales habiendo realizado un proceso de acabado con lija para darles un mejor aspecto visual.

## XII. GLOSARIO

1. Bioplástico: este término se ha utilizado en varios campos, y se incluyen: desde materiales con un origen biológico (bio-based) hasta los denominados plásticos biodegradables.
2. Biopolímero: polímero o macromolécula que se sintetiza como resultado de una parte del metabolismo primario o secundario de un ser vivo.
3. Plástico biodegradable: plástico que se degrada por contacto con microorganismos que se encuentran presentes en naturaleza: algas, hongos, bacterias.
4. Plástico compostable: plástico que sufre degradación por procesos biológicos al colocarse en una unidad de compostaje activo y produce durante el proceso: CO<sub>2</sub>, Agua, Compuestos inorgánicos, Biomasa.
5. Plástico degradable: resultando en cambio o disminución de propiedades que pueden ser determinarse por métodos estándar apropiados de prueba en un período de tiempo, que efectuados al plástico y su aplicación, que determina su clasificación.
6. Plásticos: material que contiene como componente esencial una o más sustancias poliméricas orgánicas de alto peso molecular.
7. Polímero: materiales macromoleculares sintéticos o naturales, que se componen de muchas unidades individuales (monómeros) y poseen un grupo de propiedades únicas y diferentes, que pueden ajustarse por diferentes métodos