



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE OAXACA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y BIOQUÍMICA

TESIS

**CARACTERIZACIÓN MECÁNICA Y BIODEGRADABILIDAD EN VASOS DE
HOJA DE ELOTE (Zea mays)**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTA:

SARA BETINA PACHECO LEYVA

ASESORA:

M.C. AYMARA JUDITH DÍAZ BARRITA

COMISIÓN REVISORA:

DR. IVÁN ANTONIO GARCÍA MONTALVO

DR. EMILIO HERNÁNDEZ BAUTISTA

DR. MARCO ANTONIO SÁNCHEZ MEDINA

AGRADECIMIENTOS

A mi mamá Blanca Lorena Leyva Arreortúa por su dedicación y esfuerzo durante mi formación académica, por su cariño y apoyo incondicional. Gracias por no rendirte y enseñarme a ser fuerte para lograr mis metas.

A mis abuelos Jaime Leyva Martínez y Sara Arreortúa Pérez, a mi tía Sandra Leyva Arreortúa y a mi papá Roberto Pacheco Silva por brindarme su apoyo incondicional, su cariño y palabras de aliento para seguir adelante.

A la M. C. Aymara Judith Díaz Barrita por darme la confianza para trabajar en este proyecto, por brindarme su apoyo y conocimientos durante mi residencia profesional. Usted formó parte importante con sus aportes profesionales que la caracterizan, los cuales me ayudaron a la elaboración de mi tesis, muchas gracias.

A mis amigos que hice durante mi estadía en el Instituto Tecnológico de Oaxaca, los cuales siempre me brindaron su apoyo cuando lo necesitaba, por aportarme ideas y compartir sus conocimientos conmigo. Gracias por los buenos momentos.

A mis catedráticos que me enseñaron durante toda la carrera, por su dedicación y conocimientos brindados para formarme como profesionista.

Al Tecnológico Nacional de México campus Oaxaca, por el financiamiento de este proyecto (Proyecto clave: 18321.23-P).

RESUMEN

Los envases biodegradables son una alternativa para sustituir algunos plásticos, no producen residuos y por lo tanto al descomponerse no liberan elementos químicos ni gases a la atmósfera. De igual forma no contaminan los mares.

Se elaboraron vasos con hoja de elote, para ello se hicieron diferentes pruebas en donde se variaba la técnica de elaboración de los vasos, cantidad de capas de hoja de elote, tiempo del tratamiento térmico de las hojas y tiempo de secado.

Con los vasos obtenidos se realizaron pruebas físico-mecánicas, primero se evaluaron los siguientes parámetros para cada vaso: peso, altura, diámetro superior e inferior, espesor y color. Posteriormente se realizaron pruebas de retención de agua a temperatura ambiente, agua fría y agua caliente, para determinar el tiempo y temperatura que resiste el vaso. Finalmente se realizaron pruebas de resistencia con apoyo de un texturómetro INSTRON 4442, se evaluaron hojas de elote con tratamiento térmico, muestras de los vasos obtenidos con hoja de elote y láminas de capas de hoja de elote, cada una con las nervaduras de la hoja en diferente posición.

De los vasos elaborados se eligieron algunos para evaluar la degradación durante un mes con el apoyo de abono.

Con los resultados obtenidos se determinó que el vaso debe tener 7 capas de hoja de elote, el envase es más resistente a líquidos con temperaturas frías (8°C), la prueba de resistencia mejor evaluada fue la de láminas de capas de hoja de elote y finalmente se obtuvo que más del 90% del vaso se degrada en un mes.

ÍNDICE

	Página
INTRODUCCIÓN	11
PROBLEMÁTICA	13
OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	15
Objetivo general	15
Objetivos específicos	15
JUSTIFICACIÓN.....	16
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	18
1.1 Zea mays	18
1.1.1 Anatomía del maíz (Zea mays)	19
1.1.2 Taxonomía del maíz	19
1.1.3 Variedades del maíz	20
1.1.4 Usos del maíz	29
1.2 Vasos desechables	33
1.2.1 Definición	34
1.2.2 Tipos de vasos.....	34
1.2.3 Método de fabricación de vasos desechable tradicionales (no biodegradables)	37
1.2.4 Pruebas mecánicas en la elaboración de vasos	39

1.3 Envases biodegradables.....	43
1.3.1 Definición	43
1.3.2 Tipos	44
1.3.3 Métodos de fabricación.....	45
1.3.4 Ejemplos de envases innovadores biodegradables	46
1.3.5 Norma para envases biodegradables.....	49
1.4 Adhesivos alimentarios	50
1.4.1 Tipos	50
1.4.2 Pegamento de mucílago	51
1.5 Impacto ambiental de envases desechables.	52
1.6 Diseño y elaboración de moldes	53
1.6.1 PLA.....	55
1.6.2 Propiedades de las fibras del PLA.....	56
CAPÍTULO II. DESARROLLO EXPERIMENTAL	57
2.1 Elaboración de vasos de hoja de elote	57
2.1.1 Diseño y elaboración de molde en ácido poliláctico (PLA)	57
2.1.2 Elaboración de vasos.....	59
2.2 Caracterización físico-mecánica de los vasos	62
2.2.1 Caracterización física.....	62
2.2.1.1 Dimensiones.....	62

2.2.1.2 Pruebas de retención de agua.....	63
2.2.2 Caracterización mecánica.....	64
2.2.2.2 Pruebas de resistencia en el INSTRON	64
2.3 Biodegradabilidad de los vasos.....	67
CAPÍTULO III. RESULTADOS	69
3.1 Elaboración de vasos.....	69
3.1.1 Obtención del molde en PLA	69
3.1.2 Obtención de vasos	72
3.2 Caracterización físico-mecánica de los vasos	78
3.2.1 Caracterización física.....	78
3.2.1.1 Dimensiones.....	78
3.2.1.2 Pruebas de retención de agua.....	80
3.2.2 Caracterización mecánica.....	83
3.2.2.2 Pruebas de resistencia en el INSTRON	83
3.3 Resultados de la biodegradabilidad de los vasos	90
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES.....	97
CAPÍTULO V. RECOMENDACIONES / SUGERENCIAS	98
CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
ANEXO	108

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Clasificación del maíz.	19
Tabla 2. Características de los vasos obtenidos.	72
Tabla 3. Medidas de los vasos obtenidos.	78
Tabla 4. Resultados de pruebas de retención de agua.	80
Tabla 5. Resultados obtenidos en los ensayos de tracción (Pardo, 2018).	89
Tabla 6. Resultados obtenidos en los ensayos de flexión (Pardo, 2018).	90
Tabla 7. Prueba 1, medidas promedio de las muestras degradadas.	91
Tabla 8. Medidas promedio de las muestras degradadas.	93
Tabla 9. Datos de la prueba 2 de degradación.	108

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Tipos de maíz (Salcido, 2021).....	20
Figura 2. Tipos de vasos.	37
Figura 3. Moldeo por inyección (Net, 2022).....	39
Figura 4. Pruebas mecánicas en la elaboración de vasos (Aimplas, 2020).	42
Figura 5. Máquina Sorui (Bucher, 2017).....	47
Figura 6. Vaso comestible: Scoff-ee Cupy (KFC, 2015).	48
Figura 7. Vaso de calabaza (Aizaki, 2018).	48
Figura 8. Molde de aluminio a) Parte A (A _{AL}) y b) Parte B (B _{AL}).	57
Figura 9. Molde de aluminio Parte A (A _{AL}) y B (B _{AL}) embonando.	58
Figura 10. Impresoras 3D, a) Anet E10 y b) Sindoh 3DWOX 1	59
Figura 11. Hojas en forma de (a) círculo y (b) abanico.....	60
Figura 12. Pasos para la elaboración de vasos.....	61
Figura 13. Dimensiones del vaso obtenido.....	62
Figura 14. Escala de color para tonalidades verdes y cafés.	63
Figura 15. a) INSTRON serie 4442, b) Mordazas #2710-004.....	64
Figura 16. Muestras con las nervaduras en vertical y horizontal.	65
Figura 17. Muestra LHE con nervaduras en sentido horizontal y vertical.	66

Figura 18. Cortes de vaso para degradación.....	68
Figura 19. Diseño del molde de PLA.	69
Figura 20. Impresión del molde en PLA.	70
Figura 21. Molde de PLA final.	71
Figura 22. Molde para obtener vasos de calabaza (Aizaki, 2018).	72
Figura 23. Vasos de hoja de elote obtenidos.....	76
Figura 24. Prueba de retención de agua en vasos de hoja de elote: a) Agua a temperatura ambiente, b) Agua caliente y c) Agua fría.	82
Figura 25. Pruebas de HETT, a) Muestra con nervaduras horizontales y b) Muestra con nervaduras verticales.....	84
Figura 26. Muestra VHE con nervaduras horizontales.	85
Figura 27. Muestra VHE con nervaduras verticales.	86
Figura 28. Muestra LHE con nervaduras en sentido horizontal.....	87
Figura 29. Muestra LHE con nervaduras en sentido vertical.	89
Figura 30. a) Ensayo de flexión y b) ensayo de tracción (Pardo, 2018).	90
Figura 31. Muestras de 1/4 de vaso, a) Muestra 1 y b) Muestra 2.	92
Figura 32. Proceso de biodegradación.....	95

ÍNDICE DE GRÁFICAS

	Página
Gráfica 1. Carga vs extensión VHE nervaduras horizontales.	85
Gráfica 2. Carga vs extensión VHE nervaduras verticales.	86
Gráfica 3. a) Carga vs extensión LHE nervaduras horizontales y b) Carga vs extensión LHE nervaduras verticales.	88
Gráfica 4. Prueba 2 de degradación.....	94

INTRODUCCIÓN

El plástico es uno de los materiales que más tarda en descomponerse y al mismo tiempo es uno de los más utilizados en las sociedades actuales. La mayoría de los productos que consumimos viene en un envase hecho con plástico, por lo que la cantidad de desechos que se generan es alarmante.

Los envases de un solo uso son los más importante para el mercado del plástico en la actualidad, según el estudio *Plastic & Health: The Hidden Costs of a Plastic Planet*, del Centro de Derecho Ambiental Internacional, el 51% del uso de plásticos se enfoca en comida (Law, 2019).

Los bisfenoles y sus derivados son utilizados para aportar dureza a los envases, y los ftalatos son derivados del ácido ftálico que se utilizan para proporcionarles flexibilidad. Éstas son sustancias químicas llamadas disruptores endocrinos (DES), son compuestos que interfieren en la producción, liberación, transporte, metabolismo, unión, acción o eliminación de hormonas naturales responsables del mantenimiento de homeostasis y la regulación de procesos de desarrollo que, bajo determinadas condiciones, pueden liberar cantidades extremadamente pequeñas de los compuestos con los cuales se fabrican. Tales sustancias están en casi todos los materiales poliméricos y se pueden liberar por acción del calor o polimerización incompleta del barniz, con lo cual provocan alteración química, degradación y migración de estos contaminantes desde la pared del envase hasta el alimento que contienen, dañando drásticamente el cuerpo humano y el medio ambiente (Castro, 2015).

Los vasos de plástico reutilizables están hechos de polipropileno, un tipo de plástico que permite su reutilización y tarda en descomponerse 1.000 años. Los vasos de plástico desechables tardan entre 65 y 75 años en degradarse y no permiten su reutilización (Ecoembes, Ecoembes cómo reciclar, 2022).

El proyecto tiene como objetivo principal, diseñar envases biodegradables a partir de hojas de elote, que son residuos que no siempre son aprovechados o se utilizan para otros fines, y de esta manera contribuir a la sustitución de los envases de poliestireno.

Dentro de esta investigación se describe la metodología para el diseño del molde y su posterior fabricación en material de ácido poliláctico (PLA). También el proceso para la elaboración de los vasos y las pruebas mecánicas y físicas que se realizaron.

PROBLEMÁTICA

El plástico está en todas partes, en objetos de uso diario, insumos para la salud, calzado, accesorios, diversos utensilios para el trabajo u hogar, botellas para líquidos, alimentos que se piden para llevar, entre muchos otros.

Los recipientes de plástico son fabricados por derivados del petróleo como el polietileno, polipropileno, policloruro de vinilo y el tereftalato de polietileno, etc. Estos no son biodegradables y representan problemas graves de contaminación ambiental, problemas para la salud al consumir alimentos y bebidas en este tipo de envases. El problema del uso de envases de plástico sintéticos es algo que se conoce ya de años.

En México ha sido de gran dificultad lograr disminuir el uso del plástico. Es importante resaltar y comprender la contaminación que generan los envases desechables de plástico después de su uso, así como la postura de la sociedad frente a este problema y al cuidado del medioambiente; de esta forma se entenderá la importancia y beneficio del producto propuesto.

Los plásticos de un solo uso representan el 50% de los que se producen al año. Este material termina afectando principalmente a los mares y océanos, ya que es ahí a donde terminan acumulándose, se estima que 8 millones de toneladas de plástico llegan a los océanos cada año. 100 000 tortugas y mamíferos marinos, y un millón de aves marinas mueren anualmente por la contaminación del plástico de los mares. Se proyecta que en 2050 habrá más plásticos que peces en el océano (PROFECO, 2021).

Por tal motivo, es importante buscar alternativas de envases alimentarios que sean amigables con el ambiente, que tengan un tiempo de degradabilidad corto y que se disminuyan los daños que pueda provocar al ser desechados. Este trabajo tiene como objetivo caracterizar mecánicamente vasos de hoja de elote y determinar la biodegradabilidad de estos.

OBJETIVOS DEL PROYECTO

Objetivo general

Caracterizar mecánicamente vasos de hoja de elote y determinar la biodegradabilidad de estos.

Objetivos específicos

1. Elaborar vasos de hoja de elote con ayuda de moldes de aluminio y PLA.
2. Caracterizar mecánicamente los vasos obtenidos.
3. Determinar la biodegradabilidad de los vasos de hoja de elote.

JUSTIFICACIÓN

La gran mayoría de los vasos de plástico están hechos de polietileno (PET), el cual es producido a base de petróleo, pero la extracción de esta materia es una gran fuente de emisiones de gases de efecto invernadero. Además, la producción de plástico genera gases tóxicos que acaban emitiéndose a la atmósfera.

Una persona puede consumir hasta 70 mil piezas de plástico al año en alimentos y bebidas. La contaminación generada por plásticos desechables afecta a más de 100 mil animales marinos y provoca la muerte de un millón de aves al año; también daña la salud humana.

Nydia Suppen Reynaga, encargada del Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable (CADIS) en México, menciona que el 99% de los vasos desechables se tiran tras su único uso, también menciona que los vasos de papel en su desechado impactan ambientalmente con su composición en un 62% en contaminación aérea, 57% colabora en el cambio climático, 42% en lluvia ácida, 75% en eutrofización, 68% en toxicidad en agua, 49% en toxicidad en las personas y 85% en toxicidad de suelos. Mientras que los vasos de EPS (poliestireno expandido) colaboran en 15% en daños a la capa de ozono, y en un 28% en impacto en los recursos no renovables.

La mayoría de este tipo de vasos y platos de plástico desechables contienen toxinas peligrosas como los bifenilos policlorados (PCBs), ftalatos colorantes, Bisfenol A o éteres de polibromodifenilo (PBDE) entre otras sustancias. Todos estos materiales emiten contaminantes a nuestro cuerpo en pequeñas dosis.

Un plástico tarda más de 1.000 años en degradarse; es por esto, que la investigación y aplicación del proyecto propuesto es una buena opción para sustituir a los vasos de Polietileno tereftalato (PET), y de esta manera, mitigar una parte de la contaminación ambiental.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1 *Zea mays*

El maíz (*Zea mays*) pertenece a la familia de las Gramineae, es la planta más domesticada y evolucionada del reino vegetal. Originaria del continente americano, su cultivo se ha extendido a todo el mundo. Es usado para la fabricación de tortillas, harinas nixtamalizadas, botanas, bebidas fermentables, una gran cantidad de platillos y para el aislamiento de almidón (Benítez, 2008).

El maíz (*Zea mays*) es originario del continente americano, la evidencia arqueológica sobre su existencia indica que tiene aproximadamente 5000 años de antigüedad. Representaciones de la planta de maíz o sus partes en esculturas, códices, cerámicas prehistóricas, así como estudios a fósiles encontrados, indican que el maíz tuvo su origen geográfico en la República Mexicana, específicamente en el valle de Tehuacán, Puebla y al norte del estado de Oaxaca. También indican que en México ocurrió su domesticación y posterior dispersión a otras regiones del continente, hacia el norte hasta Canadá y hacia el sur hasta Argentina. A finales del siglo XV, tras el descubrimiento del continente americano por Cristóbal Colón, el grano fue introducido en Europa a través de España (Anónimo, Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura, 2007; Pandey, 1998; Reyes, 1990).

Fue en la cueva de Guilá Naquitz, Oaxaca, donde se halló la prueba más antigua de maíz que se tiene de su existencia. La cual tiene aproximadamente 7,000 años de antigüedad, aunque se asevera que su cultivo se remonta a más de 10,000 años. Antes de la llegada de los españoles se le conocía como centli. Además, a través del

recorrido que tuvo por América, recibió diversos nombres como: choclo, jojoto, corn, milho o elote. Con la llegada de los conquistadores fue que se le llamó mayormente como lo conocemos hoy en día, maíz (Ortega & Serrano, 2021).

1.1.1 Anatomía del maíz (*Zea mays*)

El maíz (*Zea mays*), pertenece a la familia de las Gramíneae, subfamilia Panicoideae, y tribu Andropogoneae; la cual incluye siete distintos géneros: *Zea* (como el teocintle), *Tripsacum* (conocidas como arrocillo o maicillo), *Coix*, *Chionachne*, *Sclerchne*, *Polytoca* y *Trilobachne* (Paliwal, 2001 a; Pandey, 1998).

1.1.2 Taxonomía del maíz

La clasificación del maíz puede ser botánica o taxonómica, comercial, estructural, especial y en función de su calidad, La tabla 1 muestra su clasificación.

Tabla 1. Clasificación del maíz.

Clasificación taxonómica del maíz	
Reino:	<i>Plantae</i>
División:	<i>Magnoliophyta</i>
Clase:	<i>Liliopsida</i>
Subclase:	<i>Commelinidae</i>
Orden:	<i>Poales</i>
Familia:	<i>Poaceae (Gramíneae)</i>
Subfamilia:	<i>Panicoideae</i>
Tribu:	<i>Andropogoneae</i>
Género	<i>Zea</i>
Especie:	<i>Z. mays</i>
Nombre científico:	<i>Zea mays L</i>

1.1.3 Variedades del maíz

Los tipos de maíz (Figura 1), también se conocen como razas de maíz, este término se utiliza para agrupar individuos o poblaciones que comparten características en común, de orden morfológico, ecológico, genético y de historia de cultivo, lo que permite diferenciarlas como grupos. Sus principales productores son los estados de Sinaloa, Jalisco, México, Michoacán y Chihuahua (Rural, 2023).

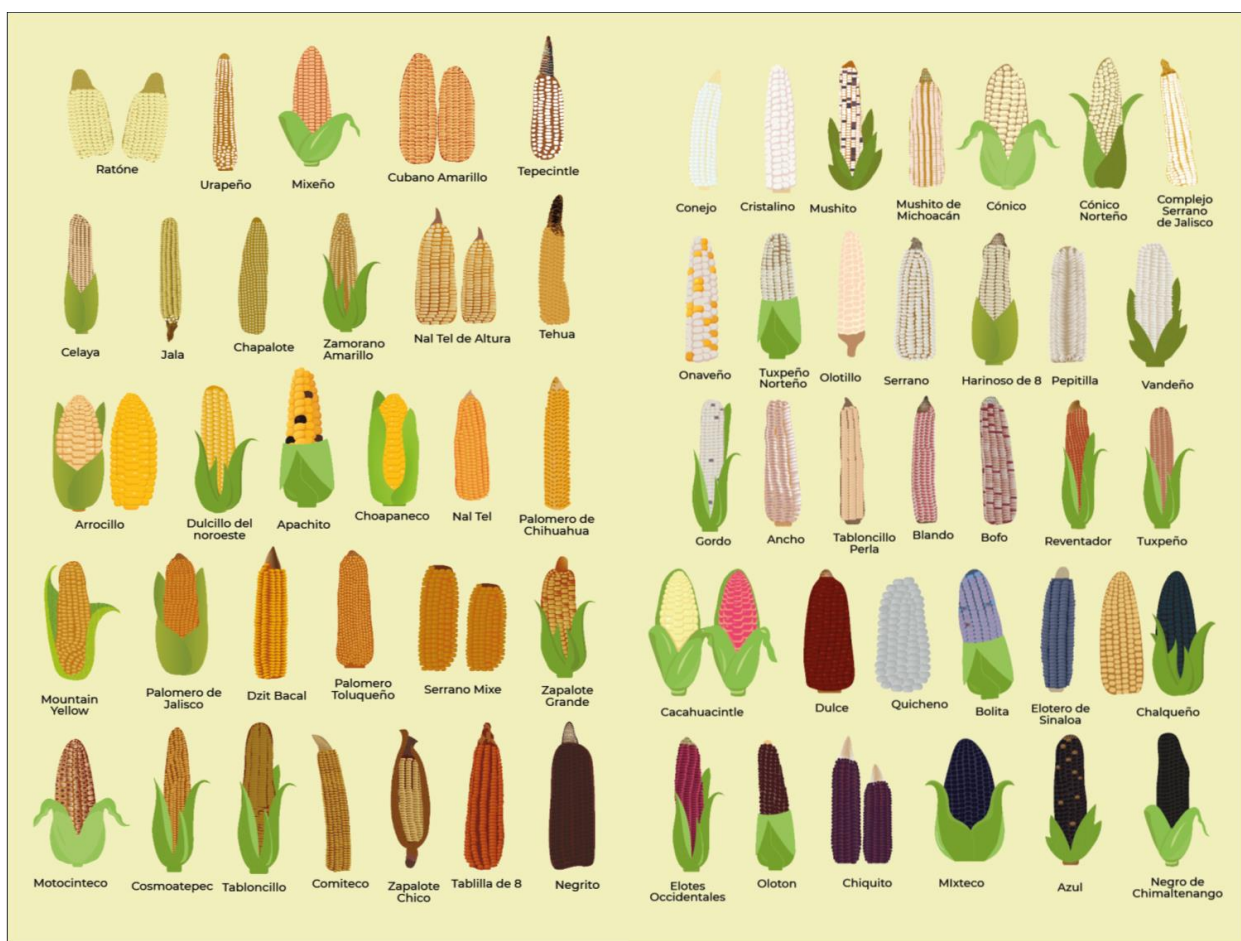


Figura 1. Tipos de maíz (Salcido, 2021).

En el libro Los herederos del maíz (Ortega & Serrano, 2021) menciona que los maíces mexicanos se dividen en 7 grupos:

1. Grupo cónico

Distribución: Estado de México, Puebla, Michoacán y Oaxaca.

Son mazorcas de forma cónica o piramidal. Dentro de este grupo se encuentra:

Arrocillo: Es una mazorca pequeña con grano semicristalino, puntiagudo, a semidentado de color amarillo, blanco y negro.

Cacahuacintle: Es una mazorca con grano grande y harinoso de color blanco, rosa y azul.

Chalqueño: Es una mazorca grande y cónica de hileras numerosa. Olote de grosor medio con grano grande de textura harinosa, semidentada y semicristalinos de color blanco, amarillo, rojo, rosado y azul.

Cónico: Es una mazorca de forma cónica o piramidal de textura semidentada y semicristalina con grano de color blanco, amarillo, morado y rojos.

Cónico Norteño: Es una mazorca cónica con grano de textura semidentada de color blanco, tonalidades del amarillo y morado.

Dulce: Es una mazorca cónica a semicilíndrico con grano dulce de color, amarillo, rojo y morado.

Elotes Cónicos: Son mazorcas con granos semiharinosos de coloración rojiza a morado o negra de tamaño pequeño o delgado.

Mixteco: Es una mazorca larga y cilíndrica a semicilíndricas con grano dentado de coloración blanco, amarillo y azul.

Mushito: Es una mazorca cónica de 14 hileras con grano blanco, morado y pinto.

Mushito de Michoacán: Su característica principal son los granos de diferente color.

Negrito: Es una mazorca cónica a semicilíndricas con grano de textura dentado a cristalino de color azul oscuro y negro.

Palomero de Jalisco: Son mazorcas pequeñas de numerosas hileras con grano puntiagudo y reventador.

Palomero Toluqueño: Es una mazorca pequeña de numerosas hileras con grano puntiagudo y reventador.

Uruapeño: originario de Jalisco. Es una mazorca cónica con grano.

Palomero de Chihuahua: Es una mazorca alargada a cónica con grano cristalino y reventador de color blanco y amarillo.

2. Grupo Sierra de Chihuahua

Distribución: Chihuahua, Durango, Sonora, Sinaloa y Jalisco.

Son mazorcas largas, delgadas, con granos redondeados de textura dura o harinosa.

A este grupo pertenecen los siguientes:

Apachito: Es una mazorca alargada y cilíndrica con grano semicristalino a cristalino, color amarillo, blanco y rosado.

Azul: Es una mazorca alargada con granos cristalinos y semi harinosos de coloración azul a violeta.

Complejo Serrano de Jalisco: Es una mazorca cónica y alargada de bajo número de hileras con granos de textura cristalina semidentada con coloraciones blancas, amarillas, rojas con tonalidades de anaranjado.

Cristalino de Chihuahua: mazorca alargada y cilíndrica con grano de textura cristalina o semicristalina de coloraciones amarillas y blancas.

Gordo mazorca alargada y semielípticas con grano grande de textura harinosa generalmente de color blanco.

Mountain Yellow: mazorca cónica de grano mayormente cristalino.

3. Grupo Ocho Hileras

Son mazorcas largas que tienen de 8 a 12 hileras con granos, excepto el de bolita. A este grupo pertenecen los siguientes:

Blando: tiene granos harinosos de color blanco.

Onaveño: maíz cristalino de coloración blanca y amarilla.

Harinoso de Ocho: mazorca larga de bajo número de hileras con grano grande y harinoso.

Tabloncillo: mazorca larga con grano dentado a semicristalino de color blanco, amarillo, anaranjado y ahumado.

Tabloncillo Perla: mazorca larga y delgada con grano de textura cristalina.

Bofo: mazorca larga y semielíptica de textura harinosa de color jaspeado y blanco.

Elotes Occidentales: mazorca larga con granos grandes de textura harinosa de coloraciones rosadas a moradas y rojas.

Tablilla de Ocho: mazorca cónica y alargada de pocas hileras con grano semidentado.

Jala: mazorca (la más grande del mundo) con grano dentado y suave.

Zamorano Amarillo: mazorca cónica y grande con grano cristalino a semidentado y amarillo.

Ancho: mazorca semicilíndrica con granos grandes, anchos y dentados.

Bolita: mazorca corta de pocas hileras con granos medianos y de amplia variedad de colores.

4. Grupo Chapalote

Distribución: Nayarit, Sonora, Sierra Madre Occidental, Sinaloa, Guerrero y Michoacán.

Es una mazorca alargada con granos de textura cristalina, harinosa y dulce. Dentro de este grupo se encuentran los siguientes:

Chapalote: mazorca con granos cristalinos y reventadores de color café, rosa y rojo cuando se cruza.

Dulcillo del Noroeste: mazorca con grano de textura dulce y rugosa de color amarillo y rojo.

Elotero de Sinaloa: mazorca larga con grano azul de textura harinosa a semicristalina.

Reventador: mazorca corta, delgada y alargada con grano pequeño, cristalino y reventador.

5. Grupo Tropicales precoces

Distribución: Yucatán, Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Nuevo León y Tamaulipas.

En general es una mazorca semicilíndrica con grano cristalino, semidentado y dentado de color blanco, amarillo y azul. En este grupo se encuentran los siguientes tipos:

Conejo: mazorca delgada con grano blanco de textura cristalina a semidentada, en variantes azules es semiharinoso.

Nal-Tel: mazorca con grano cristalino y semidentado de color amarillo, blanco, azul y rojo.

Ratón: mazorca semicilíndrica con grano dentado y semidentado de color blanco, amarillo y azul oscuro.

Zapalote Chico: mazorca corta de bajo número de hileras con grano semiharinoso.

6. Grupo Dentados tropicales

Distribución: Jalisco, Michoacán, Guerrero, Coahuila, Tamaulipas, Oaxaca, Chiapas, Yucatán, Tabasco, Morelos y Zacatecas.

Es una mazorca mediana a larga y cilíndrica que contiene de 12 a 16 hileras con granos dentados. Dentro de este grupo se encuentran las siguientes:

Celaya: es una mazorca cilíndrica y grande de alto número de hileras con grano dentado de color blanco.

Tepecintle: mazorca cilíndrica con grano dentado y de punta descubierta de color blanco, amarillo y anaranjado.

Tuxpeño: mazorca cilíndrica de varias hileras con grano dentado de color blanco.

Tuxpeño Norteño: es una mazorca cilíndrica de 13 hileras con grano semidentado, dentado y semicristalino de color blanco y azul.

Vandeyo: mazorca cilíndrica y corta. Olote grueso con grano dentado, pero predomina de blando a semiduro de color blanco, azul, amarillo y rojo.

Zapalote Grande: es una mazorca corta y ligeramente cilíndrica con grano dentado de color blanco amarillo y azul.

Nal-Tel de Altura: son mazorcas cortas de 11 hileras con granos pequeños color amarillo.

Pepitilla: mazorca cónica de olote delgado de numerosas hileras con grano alargado y puntiagudo, muy variado en grosor, tamaño y color.

Chiquito: es una mazorca cónica y semicilíndrica con punta sin grano de textura cristalina a dentada de color blanco, amarillo, anaranjado y azul.

Choapaneco: mazorca semicilíndrica con granos dentados de color amarillo, rojo y azul. Punta desprovista de grano.

Cubano Amarillo: es una mazorca semicilíndrica con grano cristalino de color amarillo intenso a anaranjado.

7. Grupo Maduración tardía

Distribución: Chiapas, Oaxaca y Yucatán.

Es una mazorca larga que tiene de 12 a 14 hileras de granos. Este grupo lo conforman las siguientes:

Dzit-Baca: mazorca delgada de bajo número de hileras. Olote flexible con grano pequeño, dentado y semicristalino de color amarillo y blanco.

Comiteco: es una mazorca larga con grano semicristalino a dentado de color blanco amarillo, azul, negro y rojo.

Coscomatepec: mazorca grande y semicilíndrica con grano dentado de color blanco, amarillo, rojo y azul.

Motozinteco: mazorca con grano dentado a semicristalino de color blanco, a veces con tintes rosados y anaranjados.

Olotillo: es una mazorca alargada de olote delgado y flexible con grano dentado a semiharinoso de numerosas variantes de colores.

Olotón: mazorca de base abultada con grano de numerosa disposición de hileras, textura cristalina y variación de color.

Tehua: mazorca de base abultada con grano grande, dentado y semicristalino de coloraciones blanca, amarillo y morado.

Negro de Chimaltenango: es una mazorca con grano grande de color negro.

Quicheño: mazorca de amplia variación de tamaño con grano y forma.

Serrano: mazorca pequeña semicilíndrica con grano cristalino y redondo.

Mixeño: es una mazorca semicilíndrica con granos de textura cristalina y ligeramente dentado.

Serrano Mixe: mazorca delgada y alargada de bajo número de hileras con grano redondo, cristalino y de colores muy variados.

1.1.4 Usos del maíz

El maíz es el cereal que más usos diversos tiene, desde fuente de alimento, ya sea animal o humano, hasta para la obtención de derivados con grandes impactos industriales. Y aunque la producción del grano de maíz es el principal motivo, todas las partes de la planta, desde las hojas, el tallo, el fruto y hasta la panoja, tienen múltiples fines y usos (Watson, 1988; Fussell, 1992).

Del Maíz (2023) El maíz es un cereal con muchos usos, estos se clasifican en 4 áreas principales:

1. Alimento para los seres humanos

El maíz es uno de los alimentos básicos en la alimentación humana (junto con el trigo y el arroz). Gracias a él tenemos una gran variedad de productos que preparamos en diferentes platos y que pueden llegar a hacer muy ricos en energía y con un valor nutricional elevado.

Los humanos utilizamos el grano y la mazorca completa, siendo esta su fruta múltiple, ambos muy ricos en vitaminas, almidones, calcio, potasio y fósforo.

Este alimento se consume en forma de grano o triturado en las siguientes preparaciones: panes de maíz, tortillas, fécula de maíz o maicena, harina de maíz (por ejemplo, en pizzas y tacos), granos para pozole, palomitas de maíz, elotes, cereales, atole de maíz, azúcar o glucosa, tamales, entre muchos otros platillos.

2. Alimento animal (ganado y aves fundamentalmente)

En la alimentación de los animales el maíz es utilizado en la elaboración de piensos muy provechosos para la ceba de animales. En países desarrollados o en vías de desarrollo, más del 60% de la producción del maíz se aprovecha para crear piensos combinados para aves, cerdos y de forma general para los rumiantes.

Los Coeficientes de digestibilidad de la proteína (%) del maíz en los animales es considerablemente alta, va desde el 65% en rumiantes y conejos hasta el 83% en las aves. Por lo que es un alimento ideal para diversos tipos de animales.

3. Forraje

Se utiliza para confección de elementos artesanales como pueden ser cestas, sombreros, tapetes y diferentes adornos. Todos estos elementos se confeccionan a partir de sus hojas. También se comenta que en algunos pueblos también es utilizado como papel para cigarros.

Los olotes o también conocidos como tusas, que se extraen de las mazorcas y es la parte no comestible de la misma se aprovecha para elaborar artesanías.

4. Utilizado en el procesamiento industrial de productos derivados

Pasta de dientes: el sorbitol es un ingrediente de la pasta de dientes derivado del maíz.

Ayuda a crear el sabor y la textura de la pasta de dientes.

Yogur: Utiliza jarabe de maíz con alto contenido de fructosa como edulcorante.

Goma de mascar: utiliza jarabe de maíz con alto contenido de fructosa y maltitol como edulcorantes y sorbitol para dar sabor.

Gominolas y regaliz: estos dulces no solo incluyen jarabe de maíz de alguna forma para darles su textura, pero también, el almidón de maíz en polvo se utiliza para cubrir sus moldes y permite fabricantes para sacarlos más fácilmente después de que hayan terminado de moldearse.

Cosméticos: el rubor y la sombra de ojos a menudo contienen zeamays (nombre científico del maíz).

Champú: El ácido cítrico de champús y acondicionadores es extraído del maíz.

Pañales desechables: El almidón de maíz se usa para absorber la humedad de los pañales.

Papel, papel reciclado y cartón: El almidón de maíz industrial se utiliza durante el proceso de fabricación del papel.

Sobres: Se usa para hacer pegamento de nitrocelulosa, que mantiene los sobres cerrados para que se puede enviar por correo.

Jabón de manos: Al menos el 25% de los ingredientes en algunos jabones de manos contienen o se derivan de maíz.

Crayones y tiza: Se utiliza el almidón de maíz industrial para sacarlos de sus moldes y pegar las etiquetas de papel a los crayones.

Zapatos: Actualmente ya existen grandes compañías que comienzan a producir suelas de zapatos a base de maíz cultivado industrialmente, no tóxico y sin petróleo.

Neumáticos: Algunas compañías están utilizando almidón de maíz para unir químicamente los ingredientes de su nuevo tipo de neumático.

Fuegos artificiales: Se requiere un «aglutinante» para que se quemen correctamente los fuegos artificiales, siendo la dextrina uno de los más usados, y este es un carbohidrato ligero que se obtiene más comúnmente a partir del maíz.

Baterías: El almidón de maíz se utiliza a menudo como conductor eléctrico en las baterías.

Desodorante: Utiliza almidón de maíz por su naturaleza absorbente.

Desinfectante de manos: Contiene etanol que normalmente se obtiene fermentando maíz.

Productos de plástico: El bioplástico se utiliza en muchos productos diferentes como bolsas, recipientes y tazas. Los plásticos a base de maíz son biodegradables y utiliza

hasta un 68% menos de combustibles fósiles durante la producción que los plásticos tradicionales y se estima que emiten un 55% menos de gases de efecto invernadero.

1.2 Vasos desechables

La historia de los vasos de plástico, se remonta a los años 60, pero antes de su invención, la gente usaba vasos de papel con fines similares, estos vasos contenían una delgada cubierta de cera en el interior que prevenía el derrame, pero estaban hechos de papel. El precursor de los vasos de plástico modernos fue Dixie cups, quien fabricó los primeros vasos en 1908. La compañía vio la necesidad de un vaso desechable y cambió completamente la forma. Antes del invento de estos vasos, la gente bebía de recipientes comunes o de barriles de agua, donde podían contraer gérmenes y enfermedades de otros (Maldonado, 2012).

Los vasos desechables son útiles para contener líquidos para cualquier ocasión en específico. Por ejemplo, los vasos de plástico son usados para ser desechados de una manera fácil al terminar de ser usado, haciendo que se ahorre el momento de lavar una gran cantidad de vasos de cerámica si fuese el caso, en cambio, para ocasiones más regulares, como tomar bebidas en casa, se usan vasos de vidrio o cerámica, que son materiales más duraderos y resistentes. Por esto, el uso del vaso plástico se considera ocasional (Greenvase, Greenvase tienda online de envases, 2022).

1.2.1 Definición

Vaso proviene del latín. Deriva de vasum, vasi con el significado de recipiente, oquedad de forma cóncava, vasija. Este sustantivo alterna en latín con vas, vasis con idéntico concepto. El vaso es un recipiente cóncavo, habitualmente cilíndrico, fabricado con diferentes materiales, puede ser de plástico, cartón o papel, de tamaño pequeño o mediano, que habitualmente se usa para beber y que luego es desechado (Actual, 2016).

1.2.2 Tipos de vasos

Existen diferentes tipos de vasos dependiendo de varios factores: el número de usos (desechables de usar y tirar, reutilizables), el material del que están hechos (plástico, cartón, etc), su tamaño (vaso chico, vaso de mediano o vaso grande) o el uso que les vas a dar (para servir café, agua, para cumpleaños, etc).

a) Vasos biodegradables de PLA:

Los vasos de ácido poliláctico (Figura 2 a) son de origen vegetal, es decir, están fabricados únicamente con materias primas sostenibles, como es el almidón de maíz. Cuentan con propiedades muy similares al plástico y además son biodegradables y compostables. Son ideales para bebidas frías debido a que su rango térmico es de máximo 45°C (Monouso, 2023).

b) Vasos de polipropileno:

Son altamente resistentes en comparación a otros materiales plastificados. En este caso, también existen dos clasificaciones: el Termoformado y el Inyectado. El vaso de

Polipropileno Termoformado (Figura 2 b), también conocido como PP, presenta una alta resistencia a las caídas y, debido a su proceso de fabricación, puedes calentar tus bebidas al microondas sin ningún inconveniente. En cuanto al vaso desechable de Polipropileno Inyectado, cuenta con una alta capacidad de resistencia a las grietas y son muy resistentes. También resultan ser más duros y rígidos que los termoformados, por lo que son perfectos para bebidas calientes y frías (Mediterráneo, 2020).

c) Vasos de PET:

Son conocidos por su ligereza y alta resistencia a los impactos. Son actualmente uno de los tipos de vasos de plástico más utilizados por los locales gastronómicos o establecimientos de bebidas que ofrecen refrescos, batidos y gaseosas para llevar. Otra gran característica de estos tipos de vasos de plástico es su transparencia, permitiendo visualizar el líquido a ingerir con mayor claridad (Figura 2 c). Y, además de eso, muchos modelos incluyen una tapa de plástico para evitar que las bebidas se vuelquen durante su traslado. El inconveniente de estos tipos de vasos desechables es que no son aptos para bebidas calientes (Mediterráneo, 2020).

d) Vasos de PS (poliestireno):

Dentro de esta rama están los de PS cristal duro (Figura 2 d) y los de PS cristal económicos. Son de un aspecto más transparente, rígido y quebradizo o no quebradizo dependiendo de si es duro o delgado. Se llaman así porque por su apariencia se confunden usualmente con el cristal (Monouso, 2023).

e) Vasos reutilizables:

La gran mayoría de los vasos reutilizables (Figura 2 e) están fabricados a base de polipropileno, un material plástico reciclable y libre de cloro. Sea cual sea la situación en la que se usen, permiten su reutilización tantas veces como necesitemos. Y al terminar, se pueden lavar y guardar para futuras ocasiones, evitando de esta manera gastar un vaso desechable por cada bebida que tomemos (Ecoembes, 2021).

f) Vasos de FOAM:

Los vasos de FOAM (Figura 2 f) están hechos de poliestireno expandido, caracterizado por su aspecto espumoso y blanco. También se los conoce como vasos de corcho o vasos EPS (poliestireno expandido o espumado) y combinan a la perfección la rigidez con la ligereza. Una de las principales ventajas de estos tipos de vasos desechables es que su superficie permite la impresión de logotipos o frases corporativas, por lo que muchas empresas lo prefieren como packaging o promocionar su marca. Son muy resistentes a temperaturas elevadas (Mediterráneo, 2020).

g) Vasos de cartón:

Los vasos de cartón blanco (Figura 2 g) o cartón café, son una de las alternativas más sostenibles para el servicio de bebidas en general. Son fabricados a partir de un material biodegradable, se trata de recipientes respetuosos con el medio ambiente ya que son totalmente reciclables (Envapro, 2022).

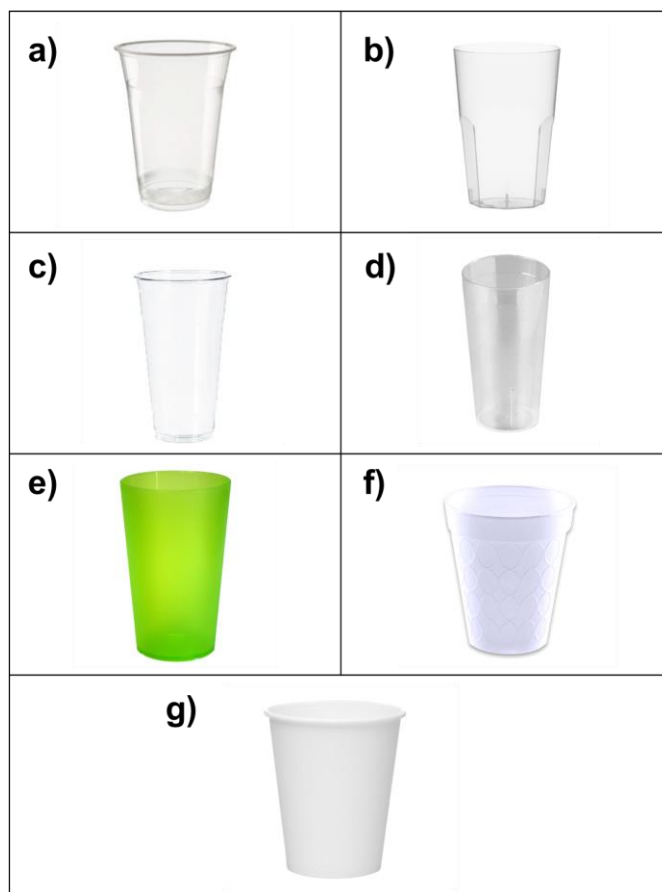


Figura 2. Tipos de vasos.

1.2.3 Método de fabricación de vasos desechable tradicionales (no biodegradables)

La mayoría de los vasos de plástico se fabrican mediante un proceso llamado moldeo por inyección, donde los materiales plásticos se mezclan con líquidos y se insertan en la plantilla para vasos de plástico, que determina el tamaño y grosor de los mismos (Amico, 2021).

El moldeo por inyección (Figura 3) se puede definir como la técnica, o método de moldeo, en la que el polímero sintético, o resina, se funde y en estado líquido se inyecta a alta presión en un molde cerrado, hasta llenar este completamente; el polímero se enfría dentro del molde y solidifica; finalmente se abre el molde y se extrae la pieza moldeada (Ramírez, 1995).

El proceso de moldeo por inyección comienza con la materia prima que se coloca en una máquina llamada tolva. En realidad, la máquina simplemente mezcla consistentemente el tipo de plástico con otros materiales necesarios para formar el resultado final. Cuando los materiales se hayan mezclado, se verterá en las plantillas y cuando tenga el grosor y tamaño adecuados, permanecerá en la plantilla y se enfriará. Lo único que queda es que los vasos de plástico se calienten lentamente para quitar el yeso de la superficie. Por lo tanto, lo que influye en si los vasos de plástico se fabrican como desechables o reutilizables depende de las plantillas que utilice el fabricante. En realidad, esta es una configuración bastante determinante para el fabricante, razón por la cual los fabricantes suelen especializarse en la producción de vasos plástico desechables o vasos de plástico reutilizables (Amico, 2021).

Otro tipo de fabricación de vasos es por medio del termoformado en donde los vasos de plástico se transforman a partir de una lámina de plástico que es calentada y sometida a vacío para que se estire y se ajuste a las cavidades del molde, dicho estiramiento hace que las cadenas del polímero dejen su forma ordenada, una desventaja en la producción de este tipo de vasos es que un exceso de estiramiento

puede llegar a romper el material. El proceso de producción de estos vasos es más empleado debido a su bajo costo (Gómez, 2018).

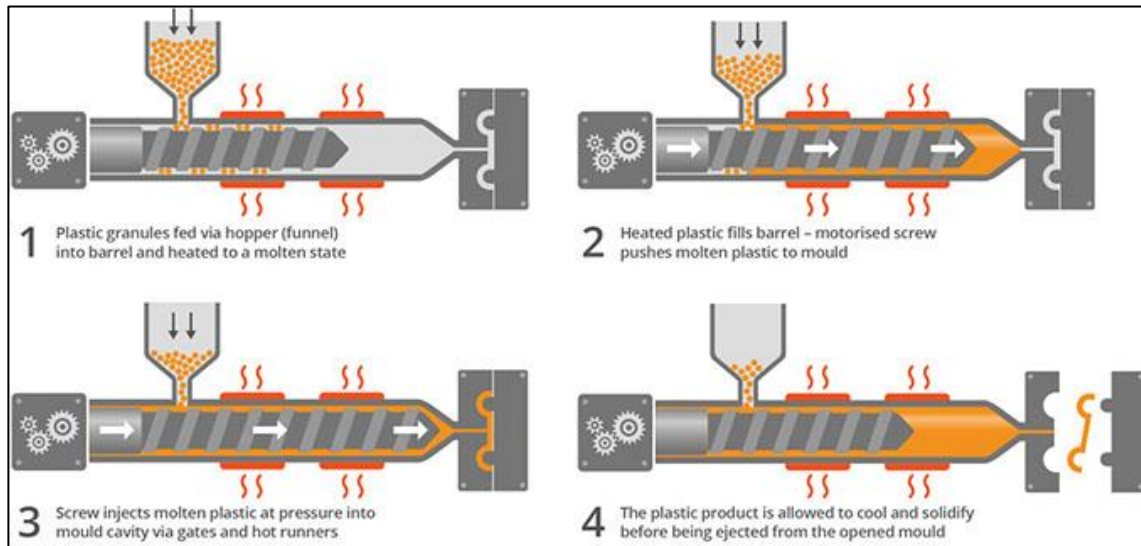


Figura 3. Moldeo por inyección (Net, 2022).

1.2.4 Pruebas mecánicas en la elaboración de vasos

La empresa AIMPLAS (2020) aplica diferentes ensayos para determinar las propiedades mecánicas de un material plástico en función a la necesidad y el campo de aplicación de cada producto. Las propiedades que evalúan son las siguientes:

a) Ensayos de tracción:

Consiste en la aplicación de esfuerzo en la misma dirección que el eje longitudinal de las probetas (Figura 4 a). La norma general para materiales plásticos es la UNE-EN ISO 527. De todos los ensayos de tracción realizados en la máquina universal de

ensayos es posible extraer una gráfica con los datos esfuerzo-deformación registrados, a partir de las cuales se pueden determinar el comportamiento elástico y plástico de un material, así como cuantificar por ejemplo su resistencia máxima o a rotura.

b) Propiedades en compresión:

Describen el comportamiento de un material cuando está sometido a una carga de compresión a una velocidad uniforme (Figura 4 b). La norma general para materiales plásticos es la UNE-EN ISO 604. En la práctica, las cargas a compresión no siempre se aplican instantáneamente. Los ensayos de compresión proporcionan un método para obtener resultados en investigación y desarrollo, control de calidad y aceptación o rechazo según especificaciones. En algunos casos, para estudiar el comportamiento en compresión de algunos productos, los ensayos se realizan sobre el mismo producto completo, sin necesidad de mecanizar una probeta de dimensiones más pequeñas. Este tipo de estudio es muy típico en productos destinados a envase, por ejemplo, botellas, bandejas, contenedores, etc. En estos casos, en general, se puede emplear la norma UNE 12048.

c) Resistencia a flexión:

Es la capacidad del material de soportar fuerzas aplicadas perpendicularmente a su eje longitudinal (Figura 4 c). Se calculan los esfuerzos en los puntos máximo y de rotura, las deformaciones correspondientes y el módulo elástico teniendo en cuenta la separación entre apoyos calculada a partir del espesor de la probeta. Las normas

generales que se emplean son la UNE-EN ISO 178 para materiales plásticos y la UNE-EN ISO 14125 para materiales plásticos reforzados con fibras.

d) Coeficientes de fricción estático y dinámico:

Se determinan con la norma UNE-EN ISO 8295 para materiales plásticos en forma de película de plástico (films). Son la relación entre la fuerza de tracción necesaria para iniciar o continuar el deslizamiento entre dos superficies y la fuerza de gravedad que actúa perpendicular sobre las mismas (Figura 4 d).

e) Separación por pelado:

Es un método de ensayo utilizado para determinar la fuerza de unión de los materiales plásticos en forma de láminas, hojas o planchas (Figura 4 e). Es aplicable al estudio de cualquier tipo de unión, independientemente del método empleado para unir los materiales (termosellado, pegado, cosido, unión de multicapas, etc.).

f) Punción:

Es un ensayo particular para films y láminas, aunque también se utiliza sobre envase termo conformado (Figura 4 f). La norma general empleada es la UNE-EN 14477. En otro tipo de materiales, por ejemplo, láminas de impermeabilización, se utilizan otras normas como la UNE-EN 12236 y generalmente, el nombre que recibe el ensayo es punzonado estático en lugar de punción.

g) Ensayo de desgarro:

Sirve para determinar la fuerza necesaria para propagar el rasgado de un corte definido, a partir de un corte practicado en una probeta o una probeta con una hendidura definida (Figura 4 g). Las normas generales que se suelen emplear son la UNE-EN 6383-1 y la UNE-ISO 34-1. Existen otras normas que hablan de ensayos de rasgado que se aplican más a películas de plástico concretamente y que siguen normas relacionadas con las que se acaban de mencionar, por ejemplo, la UNE-EN ISO 6383-2 para rasgado Elmendorf. La resistencia al rasgado por el método Elmendorf es una propiedad que se determina en films y láminas de plásticos cuya aplicación será, normalmente, el envase o embalaje.

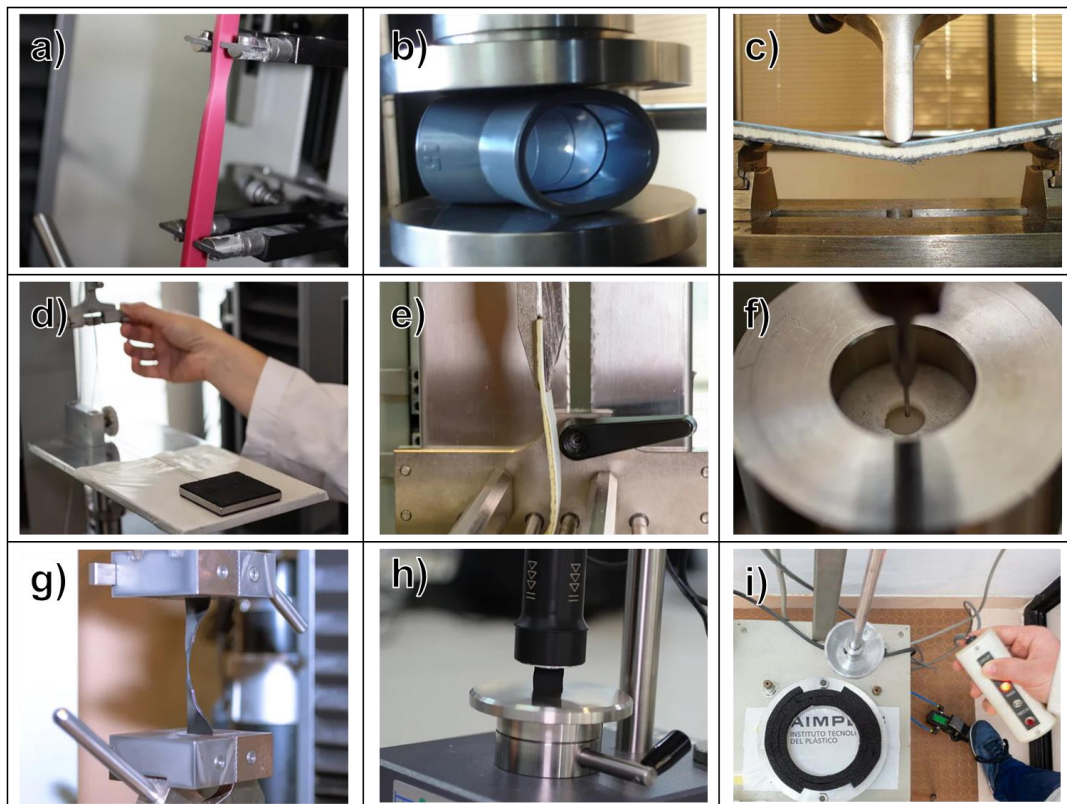


Figura 4. Pruebas mecánicas en la elaboración de vasos (Aimplas, 2020).

h) Ensayo de dureza:

Es la resistencia que opone un material a ser rayado o penetrado (Figura 4 h). Es una medida previa a la fractura, y es función tanto de la rigidez del material como de su módulo de Elasticidad. Existen distintos métodos para determinar la dureza de un material plástico, como la Shore, la Barcol o la Bola, las cuales se determinan con las normas de ensayo UNE-EN ISO 868, UNE 53270 o la UNE-EN ISO 2039-1 respectivamente.

i) Ensayo de impacto:

Puede ser por caída libre, caída de proyectil o impacto pendular como el Charpy o el Izod (Figura 4 i). La diferencia con los ensayos mecánicos realizados en la MUE (Máquina universal de ensayo) es la velocidad de ensayo. En estos casos, se emplean velocidades mucho más elevadas.

1.3 Envases biodegradables

1.3.1 Definición

Se conoce como envase biodegradable a aquel envase que puede descomponerse por la acción de agentes biológicos como el agua, el sol y otros microorganismos sin dejar ningún tipo de micro plástico en la naturaleza (Prime, 2022).

1.3.2 Tipos

Envases biodegradables se degradan en condiciones ambientales sin generar residuos. Sin embargo, se trata de un proceso que puede tardar años y no existe una normativa que regule cuánto tiempo puede pasar como máximo para que este tipo de envases se consideren biodegradables.

Los envases compostables se convierten en compost una vez que han sido utilizados y desechados en el lugar apropiado: en un contenedor junto con residuos orgánicos.

Poliácido Láctico Cristalizado (CPLA):

Este material es un derivado del ácido poliláctico que se fabrica mediante la cristalización del PLA. Esta cristalización hace que la resistencia del material mejore. Es resistente a temperaturas más altas que pueden llegar hasta los 85°C. A diferencia del PLA, es que tras el proceso de cristalización pierde la transparencia y el material se torna blanquecino.

Caña de azúcar:

Las fibras de caña de azúcar se someten a un proceso de secado y triturado y, posteriormente, se mezclan con otras sustancias biodegradables para formar los envases o utensilios de cocina, por ejemplo, platos. Es un material compostable que resiste altas temperaturas. El aspecto que tiene el menaje de caña de azúcar es similar al de los productos fabricados en cartón o papel (Manía, 2021).

Cartón Kraft:

Es un tipo de cartón grueso, rugoso, de poco peso y sumamente resistente, y tiene un gramaje de entre 20g a 120g. Es muy flexible en cuanto a su personalización, ya que su color natural es el marrón, pero lo puedes encontrar en otros colores también. Por eso es muy utilizado para empaquetar, guardar y transportar productos. Es un material ecológico, totalmente reciclable y amigable con el medio ambiente, teniendo un proceso de elaboración muy sencillo (Greenvase, 2021).

Papel con película de PLA:

El PLA es un plástico de origen vegetal que se obtiene a partir de almidón o de la caña de azúcar. Esta capa de PLA es 100% de grado alimenticio, cuyo origen es el maíz. Esto hace que estos vasos sean más responsables con el medio ambiente, ya que no solo son reciclables, sino que además son compostables. Además de ser biodegradable, puede llegar a descomponerse, al degradarse se convierte en compost o abono. De esta forma se evita el exceso de contaminación en el medio ambiente y se evitan las emisiones a la atmósfera que provocan la transformación de residuos (Hods, 2021).

1.3.3 Métodos de fabricación

Los biopolímeros utilizados en envases biodegradables se producen de diferentes maneras. Uno de los métodos de producción más comunes es extraerlos directamente de la materia vegetal. El envasado a base de almidón es posiblemente el tipo más común de biopolímero producido con este método, de éste proviene el PLA, también llamado como ácido poliláctico el cual se obtiene a partir de materias primas como el

almidón de maíz. Las plantas verdes, como las papas, el maíz, el arroz, etc., se calientan y las moléculas de almidón se extraen directamente de ellas. Los biopolímeros de almidón se procesan, se calientan y se convierten en una forma de envase final. El almidón se considera un biopolímero muy bueno porque se produce en grandes cantidades en todo el mundo, 31 mil millones de kg por año, lo que lo hace muy accesible y de bajo costo. Se ha demostrado que los polímeros a base de almidón reemplazan con éxito los poliestirenos y los plásticos de polietileno. La fabricación de estos vasos se hace utilizando materia prima orgánica, puede ser celulosa, plátano, aceite de soya y hasta semillas de aguacate. Todos estos productos se descomponen en el medio ambiente sin dañarlo porque pueden llegar a convertirse en abono, por lo tanto, es un ciclo de vida que no contamina y evita la generación de basura. Otro de los materiales que más se utilizan para crear estos vasos es el bagazo de trigo, una materia prima natural que los hace resistentes y funcionales. Al emplear este tipo de insumos en su fabricación, se logra una descomposición más rápida, pues en ella intervienen organismos como los hongos y factores naturales como la humedad (Renovapack, 2023).

1.3.4 Ejemplos de envases innovadores biodegradables

Vasos biodegradables hechos de algas:

Jerónimo Batista Bucher (2017) es un joven argentino de 18 años creó una máquina que fabrica vasos ecológicos, llamada Sorui (Figura 5). Esta máquina crea vasos biodegradables a partir de algas que se producen en entornos naturales marinos o canales. Estos vasos pueden contener distintos líquidos, servir para composta luego

de ser utilizados o abandonarse sobre la tierra donde se degradarán naturalmente en menos de dos semanas.



Figura 5. Máquina Sorui (Bucher, 2017).

Vasos Scoff-ee Cupy:

En Reino Unido, la cadena de comida rápida Kentucky Fried Chicken (KFC) pone a disposición de sus comensales vasos comestibles para café hechos con galleta, papel de azúcar y chocolate blanco (Figura 6). Según los creadores, el chocolate se va derritiendo y el café va recibiendo un ligero sabor conforme pasa el tiempo sin que el recipiente pierda la forma ni la galleta lo crujiente. Este producto tiene la particularidad de que conserva la temperatura del café y la galleta se mantiene crujiente (KFC, 2015).



Figura 6. Vaso comestible: Scoff-ee Cupy (KFC, 2015).

Vasos de calabaza:

El estudio CRÈME, con sede en Brooklyn, presenta unas atractivas tazas con una presencia orgánica y con una durabilidad destacada y que no presentan ninguna afectación para el planeta. Estos se elaboran cultivando calabazas en moldes de PLA para crear vasos (Figura 7) y tazas. Esto es para sustituir el uso de plásticos para la demanda que se tiene en las cafeterías, restaurantes y fuentes de soda del mundo que sirven bebidas calientes (Aizaki, 2018).



Figura 7. Vaso de calabaza (Aizaki, 2018).

1.3.5 Norma para envases biodegradables

Norma UNE-EN 13432:2001:

Especifica qué propiedades debe tener un material para ser considerado realmente biodegradable o compostable, de manera que si un material, como un embalaje o una bolsa, cumple con esta norma, eso significa que puede reciclarse por biodegradación. La norma se refiere a la degradabilidad del material, pero no se refiere necesariamente a las materias primas. Es decir, aunque los materiales de un embalaje tengan origen biológico, esto no significa necesariamente que sean biodegradables. De ahí que, la manera de que el consumidor tenga la seguridad de tener un embalaje o una bolsa compostable, será que estos estén certificados y cumplan la norma EN 13432 (AEN/CTN49, 2001).

The circular campus (2022) explica los criterios para cumplir con la norma EN 13432:

Si un embalaje cuenta con diferentes componentes (unos compostables y otros no), el elemento en su conjunto será considerado no compostable.

Al menos el 90% de los materiales debe descomponerse por acción biológica en un plazo máximo de seis meses.

Tras doce semanas expuesto a condiciones de compostaje, el 90% del producto debe medir menos de 2 x 2 mm.

Debe haber una pérdida de visibilidad del residuo antes de 90 días de compostaje.

Debe haber una pérdida del 90% de la masa antes de 180 días.

1.4 Adhesivos alimentarios

Un adhesivo dirigido al sector alimentario tiene que ser, más allá de eficiente y de calidad, seguro para la salud de las personas. Los adhesivos siempre están presentes. Desde las cajas de patatas fritas del supermercado hasta el envase donde van tus botellas de agua, la mayoría de productos alimentarios que requieren de un embalaje necesitan también de un adhesivo (Quilosa, 2021).

1.4.1 Tipos

De acuerdo con Label Food, Soletigroup (2013), manejan los siguientes adhesivos para alimentos:

Adhesivo sin rastro:

Se trata de un adhesivo reposicionable que permite pegar y despegar la etiqueta sin que ésta pierda el poder de adhesión. Funciona en cualquier tipo de superficie sin dañarla ni dejar restos. Este tipo de adhesivo es apto para el contacto con alimentos.

Adhesivo para congelación:

Capaz de adherirse a envases congelados, húmedos o ligeramente mojados, incluso si se habla de cartón corrugado. Apropriadas para etiquetar envases de alimentos en entornos húmedos o fríos como invernaderos o cámaras frigoríficas, así como para mostrar información en lugares de venta al por menor.

Adhesivo soluble en agua:

Esto permite que, hasta las etiquetas más adheridas, se pueden eliminar con rapidez y sin desprender residuos simplemente contactando con agua. Ideal para utilizarlo en envases o recipientes reutilizables.

Adhesivo de alta durabilidad:

Adhesivo permanente lo que permite que la etiqueta sea de difícil despegue. Este tipo de etiqueta son perfectas para usar en envases de un solo uso, para bandejas retractiladas, para productos que deban soportar bajas temperaturas, etiquetas para Take Away y Delivery.

1.4.2 Pegamento de mucílago

El mucílago es un compuesto sintetizado por plantas y microbios. Se hincha en el agua y tiene una consistencia gelatinosa. Su función es mantener un ambiente húmedo. El mucílago forma un grupo heterogéneo de biopolímeros, que se componen principalmente de polisacáridos. Su principal propiedad es la capacidad de absorber agua y, por lo tanto, de formar coloides y geles de moco (los llamados hidrocoloides). Se distingue entre el mucílago animal compuesto de glicoproteínas y el mucílago vegetal, que se forma casi exclusivamente a partir de polisacáridos hetero. Además, las sustancias del mucílago se dividen en sustancias solubles en agua y sustancias insolubles en agua. El mucílago vegetal se encuentra en los granos, pero también en las raíces, la corteza, los tallos y las hojas de las plantas superiores, así como en las

algas. Son especialmente conocidas las semillas de lino, las legumbres y el mucílago de tamarindo (Tech, 2013).

1.5 Impacto ambiental de envases desechables.

La contaminación por plásticos tiene impactos negativos en los diferentes ecosistemas donde ha llegado y perdura por una cantidad de tiempo por lejos muy superior al tiempo de utilidad que brindaron dichos productos. Estos plásticos son fragmentados por la acción mecánica del viento, las olas o por la acción química de la degradación de sus materiales frente a la exposición a los rayos ultravioletas, produciendo microplásticos que afectan a más de 700 especies, desde el plancton hasta la ballena azul, el animal más grande del planeta (Rivas & Garelli, 2021).

En el caso de los ambientes terrestres, se ha documentado que los microplásticos presentes en los suelos generan problemas para las lombrices, disminuyendo su tiempo de vida y haciéndolas perder el 3% de su peso corporal cuando son expuestas a materiales como el polietileno de alta densidad (HDPE), usado en envases y algunas bolsas. Esto tiene como consecuencia impactos negativos en la agricultura (Boots, Rusell, & Green, 2019).

Las playas mexicanas están llenas de microplásticos, particularmente de fibras plásticas provenientes de artes de pesca, el turismo y del impacto de los empaques y embalajes utilizados por las personas, así como también microplásticos que provienen de las aguas residuales. Por ejemplo, en las playas de Baja California se han

encontrado una abundancia de micropartículas plásticas de 135 ± 92 partículas por kilo (Colin, Jimenez, Corral, Hernandez, & Wakida, 2018).

Mientras que en el Golfo de México la mayoría de los materiales encontrados son de polipropileno y polietileno, muchos de los cuales son utilizados en productos de vida corta como vasos, vajilla desechable y bolsas plásticas de tiendas de conveniencia, encontrándose en una abundancia de hasta 61.08 ± 34.61 piezas por metro cuadrado (Beckwith, 2018).

1.6 Diseño y elaboración de moldes

La empresa IJ ROBOTICS (2023) menciona los siguientes métodos para diseño y fabricación de moldes para inyección de plástico o aluminio, moldes permanentes para fundición por gravedad, moldes para moldeo en arena verde o PEPSET según sea la necesidad:

Moldes de Inyección: es un método extremadamente versátil de producir piezas y productos. Es uno de los métodos preferidos para fabricar piezas porque tiene múltiples ventajas sobre otros métodos de moldeo. El moldeo por inyección no solo es más simple y confiable, sino que también es extremadamente eficiente. Con ello se pueden fabricar geometrías complejas, tiene alta eficiencia y no conlleva dificultad para realizar los acabados.

Moldes permanentes: sustituyen ventajosamente a los de arena cuando se trata de fabricar grandes series de una misma pieza; la fundición en moldes duraderos permite

la fabricación más racional de piezas de fundición mediante un uso repetido de los moldes, aumentando la exactitud en las medidas y mejorando la naturaleza de la superficie. El material utilizado para la construcción del molde depende de la cantidad de piezas a fundir, el metal a colar y la complejidad de la pieza.

Moldes para moldeo de Arena Verde o PEPSET: es uno de los métodos más usados para producción media, los moldes para este proceso crean una cavidad en el molde de arena o bien el molde puede incluir varios patrones idénticos para crear múltiples impresiones en el molde de arena; creando así, múltiples cavidades que producirán varias piezas en una fundición. Dependiendo del número de piezas planeado para la producción de esta pieza, el molde puede ser fabricado en madera, resina epoxica o aluminio.

Moldes de arena PEPSET: son ideales para la producción de una pieza única, son la opción más económica cuando se requiere solo una pieza ya que se ahorra la fabricación del molde. Algunas de las ventajas que tienen sobre el molde de hierro gris son: bajo costo y menor tiempo de fabricación.

Moldes con impresora 3D: son más baratos y más sencillos que otras técnicas. Primero se diseña el molde en un software con las dimensiones deseadas, posteriormente se determina la cantidad de material que se desee ocupar, puede ser una impresión con el 100% de relleno o menor, dependiendo de la durabilidad y el uso que se le vaya a dar al molde. El material para esta impresión puede ser el PLA o el ABS, con ello se pueden diseñar y fabricar diferentes cosas, desde una prótesis hasta un tornillo (BCN3D, 2021).

1.6.1 PLA

El PLA (ácido poliláctico) es uno de los plásticos que más se utilizan en el sector de la fabricación aditiva. Inventado en 1930 por el químico Wallace Carothers, desarrollador del nylon y el neopreno, este material puede utilizarse en forma de filamento o pellets para impresoras 3D de escritorio o soluciones más industriales. A diferencia de muchas otras opciones de materiales disponibles en el mercado, el PLA es un termoplástico más sostenible puesto que no proviene de recursos finitos, como es el caso del petróleo, sino que se consigue a base de recursos naturales y renovables. Debido a sus orígenes algo, este material lleva siendo popular desde sus inicios en el ámbito de la impresión 3D. De hecho, su uso se ha extendido a una amplia variedad de industrias y aplicaciones. En esta guía conoceremos todo sobre este material, incluyendo sus características, la facilidad de impresión, algunas aplicaciones, así como los principales fabricantes del mercado (Contreras, 2023).

El PLA (ácido poliláctico) ofrece buenas prestaciones al combinar una alta velocidad de impresión con unos bordes muy definidos siempre y cuando el material se enfríe correctamente. Además, los modelos que imprime tienen una deformabilidad muy baja. Este tipo de filamento posee una vida útil de al menos 12 meses si se conserva entre 15 y 25º grados, por lo que es apto para almacenamiento.

Las piezas impresas con PLA son resistentes, flexibles y tienen una baja inflamabilidad. Tienen unas propiedades muy similares a las de los plásticos PET, pueden soportar los rayos ultravioletas y son inodoras y fáciles de manipular. Además, utilizar filamentos PLA en impresión 3D puede ser interesante para las empresas que

buscan cambiar sus procesos de fabricación para dotarlos de una mayor sostenibilidad. Esto se debe a que es biodegradable siempre y cuando se manipule mediante compostaje industrial. Es decir, abandonado a la intemperie puede tardar 80 años en desintegrarse, pero puede gestionarse fácilmente en una planta de residuos (Sicnova, 2022).

1.6.2 Propiedades de las fibras del PLA

Según la Universidad de Valladolid (2016), el PLA cuenta con las siguientes propiedades:

Bajo peso específico comparado con otras fibras naturales, lo que implica productos más ligeros.

Una tenacidad más alta o lo que es lo mismo una fuerza extensible mayor que las fibras naturales.

Recuperación de la humedad perceptiblemente más baja con ello se hace un hueco en los tejidos de secado rápido.

Resistencia UV excepcional comparado con otras fibras.

Índice de refracción bajo, lo cual genera intensos colores una vez teñidas las fibras de PLA.

Comparado con el PET y otros sintéticos, bajo poder calorífico, genera menor cantidad de humos al quemarse y una extensión más rápida de la humedad.

CAPÍTULO II. DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.1 Elaboración de vasos de hoja de elote

2.1.1 Diseño y elaboración de molde en ácido poliláctico (PLA)

Se cuenta con un molde de aluminio diseñado con el programa de SolidWorks 2020, el maquinado del molde fue en una aleación de aluminio (6061) con uso de torno y fresadora convencional. El molde consta de dos partes: la parte A (A_{AL}) (Figura 8 a) es aquella que tiene forma cilíndrica y en la que se introduce la parte B (B_{AL}) como se puede ver en la figura 9. La parte B (B_{AL}) (Figura 8 b) es aquella que da forma al vaso y en donde se adhieren las hojas. Al embonar las dos partes, el vaso toma forma y se obtiene un envase con una capacidad de 8 onzas y un volumen de 237 mililitros (García-Vásquez, 2023).

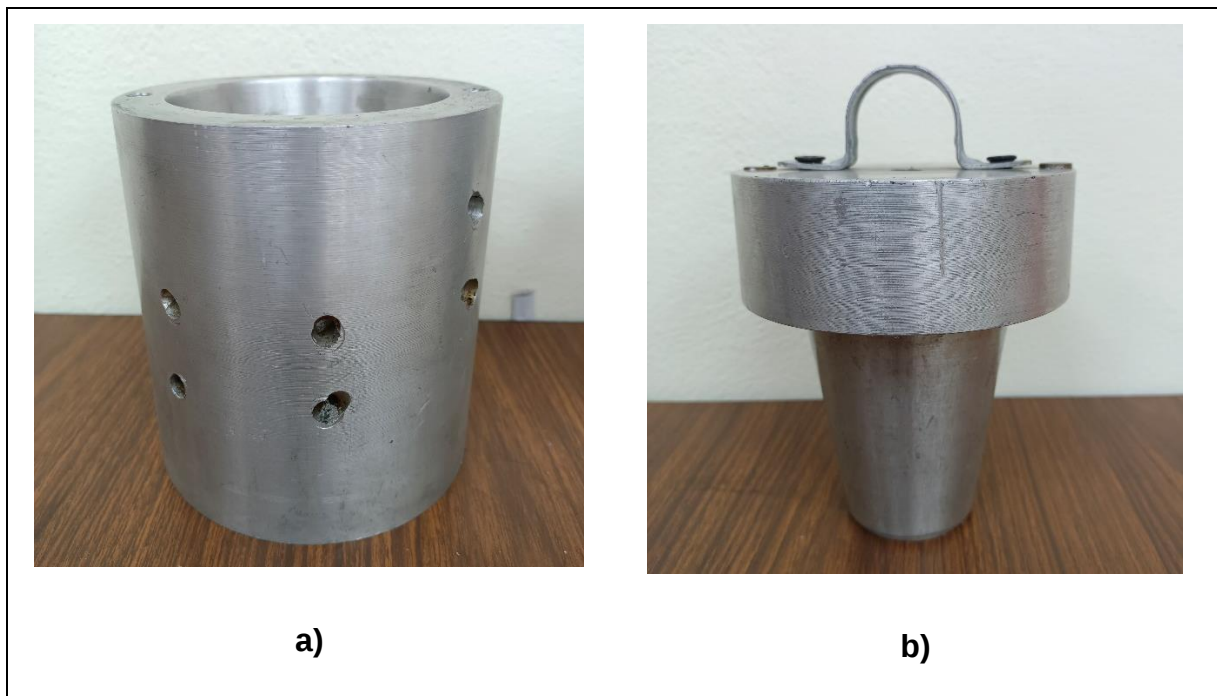


Figura 8. Molde de aluminio a) Parte A (A_{AL}) y b) Parte B (B_{AL}).



Figura 9. Molde de aluminio Parte A (A_{AL}) y B (B_{AL}) embonando.

Se diseñó un molde para vaso en el programa SolidWorks para posteriormente imprimirlo en material de ácido poliláctico (PLA). La principal característica del diseño fue obtener un molde que permita mejorar el secado, por lo que se contemplaron orificios tanto en la parte A (A_{PLA}) y B (B_{PLA}) del molde. Dicho molde se mejoró a diferencia del molde de aluminio para que fuera fácil de desprender el vaso una vez ya finalizado.

El material empleado fue ácido poliláctico (PLA), y se realizó con las impresoras 3D “Anet E10” y “Sindoh 3DWOX 1” (Figura 10).

La impresión del molde de ácido poliláctico (PLA) se realizó en el Laboratorio de Ingeniería Mecánica del Instituto Tecnológico de Oaxaca, con el apoyo de la M. en C. Grysel Pimentel Nogales, jefe de laboratorio.



Figura 10. Impresoras 3D, a) Anet E10 y b) Sindoh 3DWOX 1

2.1.2 Elaboración de vasos

Los vasos de hoja de elote se elaboraron variando los siguientes parámetros: a) tiempo de cocción de las hojas, b) Tipo de corte de las hojas, c) tiempo y temperatura de secado.

Se utilizaron dos moldes. El molde de aluminio para dar la forma de vaso y el molde de PLA para finalizar el secado. La parte B (B_{AL}) es aquella que da forma al vaso y en donde se adhieren las hojas. Al embonar la parte A (A_{AL}) con la parte B (B_{AL}), el vaso toma forma.

La metodología (Figura 12) empleada para la elaboración de vasos de hoja de elote fue la siguiente:

1. Se cortaron las hojas de elote desprendiéndolas desde la raíz para obtenerlas enteras. Solo se tomaron en cuenta las hojas más tiernas, ya que las últimas capas que están expuestas al ambiente son más rígidas.
2. Las hojas se lavaron con agua potable y se colocaron en un molde con agua limpia.
3. Se les dio un tratamiento térmico, variando los tiempos: 30 min, 1 h, 2 h y 3 h.
4. Posterior al tratamiento térmico, las hojas se colocaron sobre una rejilla para eliminar el excedente de agua.
5. Se cortaron las hojas en dos formas (Figura 11): círculos (de diferentes diámetros), que se utilizaron para la base, y abanicos (de diferentes medidas), para el cuerpo del vaso.

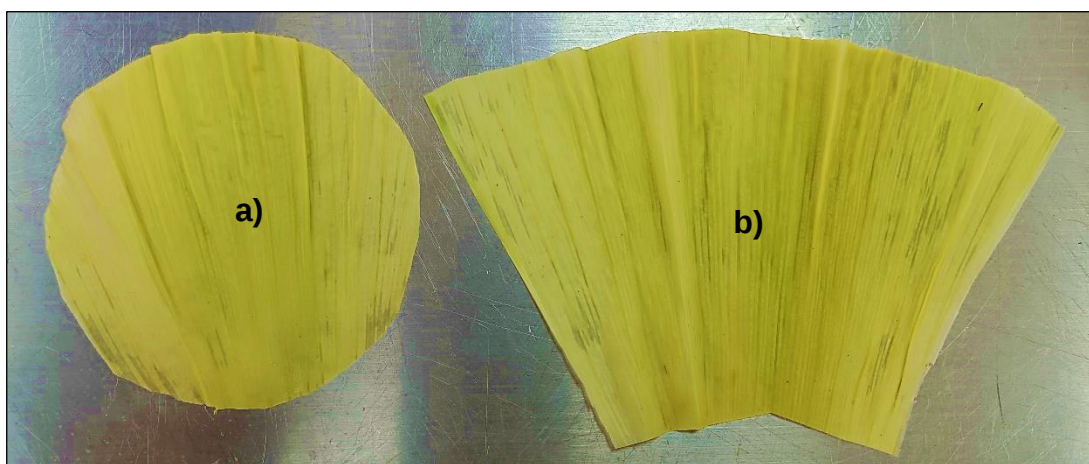


Figura 11. Hojas en forma de (a) círculo y (b) abanico.

6. Una vez cortadas las piezas se colocaron en la parte B_{AL} del molde, el cual previamente fue revestido de un plástico (film) y lubricado con aceite de olivo. Entre cada capa de hoja de elote se adicionó pegamento de mucilago (marca Alfa) para adherirlas. Este paso se repitió hasta obtener el grosor del vaso adecuado (5 capas, 6 capas, 7 capas, 8 capas, 9 capas y 10 capas).
7. Una vez listo la parte B_{AL} se embonó con la parte A_{AL}, previamente calentada, y se dejó secar en una estufa, donde se evaluaron diferentes temperaturas (100°C, 130°C y 150°C) y tiempos de secado (5 horas, 4 horas y 3 horas).
8. Finalmente se desmoldó el vaso y se introdujo al molde de PLA para terminar el secado a temperatura ambiente.

La figura 12 muestra brevemente los pasos generales que se siguieron para la elaboración de vasos con hoja de elote.

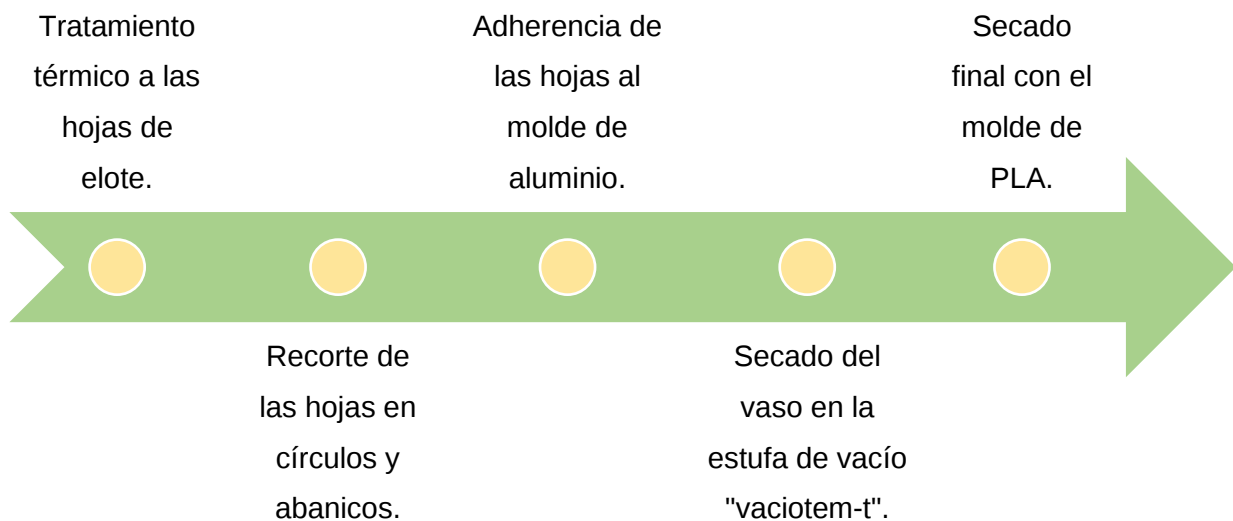


Figura 12. Pasos para la elaboración de vasos.

2.2 Caracterización físico-mecánica de los vasos

2.2.1 Caracterización física

2.2.1.1 Dimensiones

A los vasos obtenidos se les determinó las siguientes dimensiones (Figura 13): a) Diámetro superior (Φ_s) b) Diámetro inferior (Φ_i), c) Grosor, d) Altura, e) Peso y f) Color.

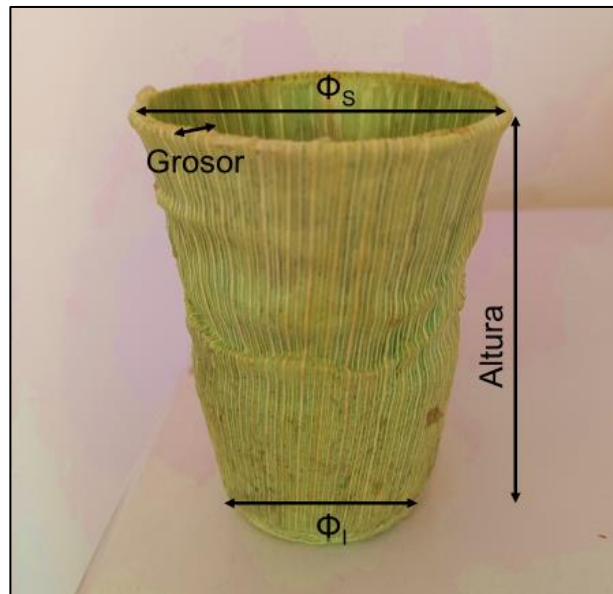


Figura 13. Dimensiones del vaso obtenido.

El Φ_s , Φ_i , grosor y altura del vaso se midieron empleando un vernier, marca Traceable, y se tomaron 10 lecturas obteniendo un promedio de éstos. Estas mediciones se hicieron por triplicado.

El peso se obtuvo colocando el vaso en una balanza analítica (Radwag As 220.R2) y se tomó el promedio de 3 lecturas.

El color de los vasos obtenidos se determinó a través de una escala de colores para tonalidades verdes y cafés elaborada con ColorZilla. La tabla de colores elaborada, se muestra en la figura 14.

#cfd98f
#a1917c
#c2a94f
#c4ae95
#b58d48
#cca85c
#e8c76f
#c9ba32

Figura 14. Escala de color para tonalidades verdes y cafés.

2.2.1.2 Pruebas de retención de agua

Se colocaron 100 ml de agua pura en el vaso y se tomó el tiempo, en segundos, hasta observar filtración o derrame de agua. Así mismo, se midió la cantidad de agua restante (ml) que logró contener el vaso.

Se evaluaron tres temperaturas del agua: agua fría (8 °C), agua a temperatura ambiente (23 °C) y agua caliente (80 °C). Cada prueba se realizó por triplicado.

2.2.2 Caracterización mecánica

2.2.2.2 Pruebas de resistencia en el INSTRON

Las pruebas de resistencia se llevaron a cabo con un texturómetro (INSTRON 4442) (Figura 15 a) utilizando unas mordazas CAT #2710-004 (Figura 15 b).

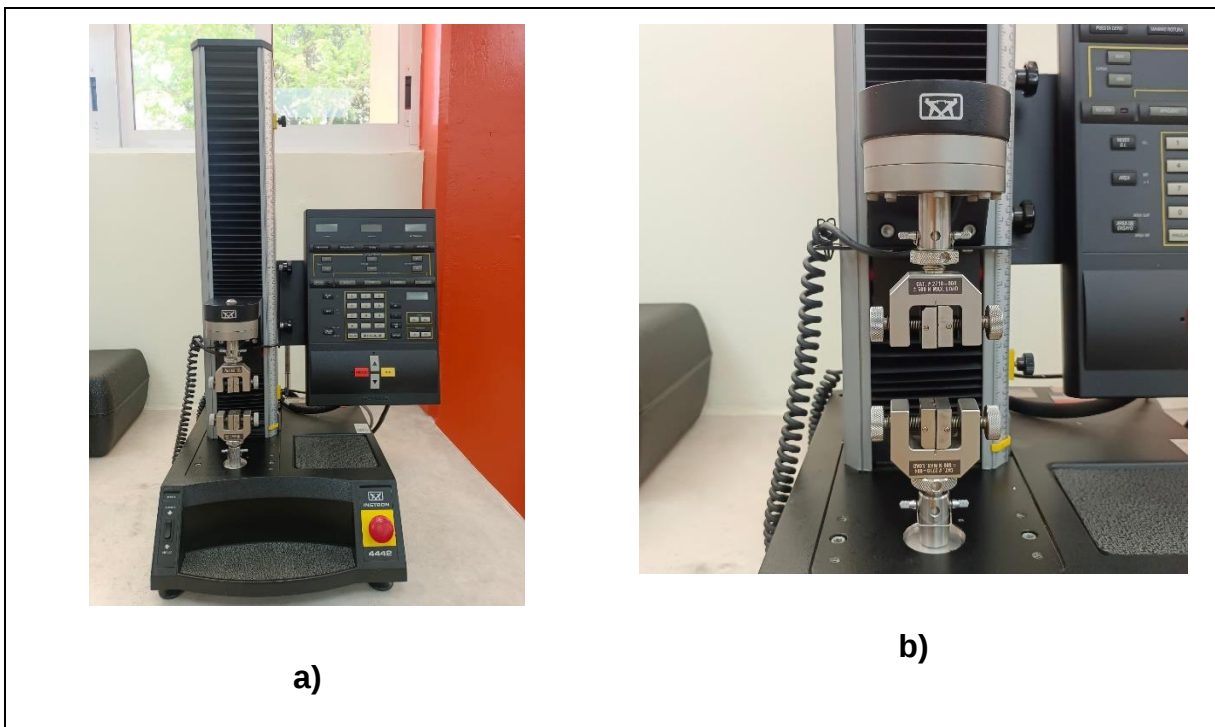


Figura 15. a) INSTRON serie 4442, b) Mordazas #2710-004.

Se evaluaron tres tipos de muestras: a) Hojas de Elote con Tratamiento Térmico (HETT), b) muestras de los Vasos obtenidos con Hoja de Elote (VHE) y c) Láminas de capas de Hoja de Elote (LHE).

Para llevar a cabo las pruebas de resistencia para las muestras a) HETT y b) VHE, se recortaron dos rectángulos de 8 cm x 2.5 cm por cada muestra. Las mediciones se realizaron por triplicado. El primer rectángulo se recortó con la orientación de las nervaduras de la hoja en forma horizontal y el segundo rectángulo con las nervaduras en sentido vertical, ver figura 16.

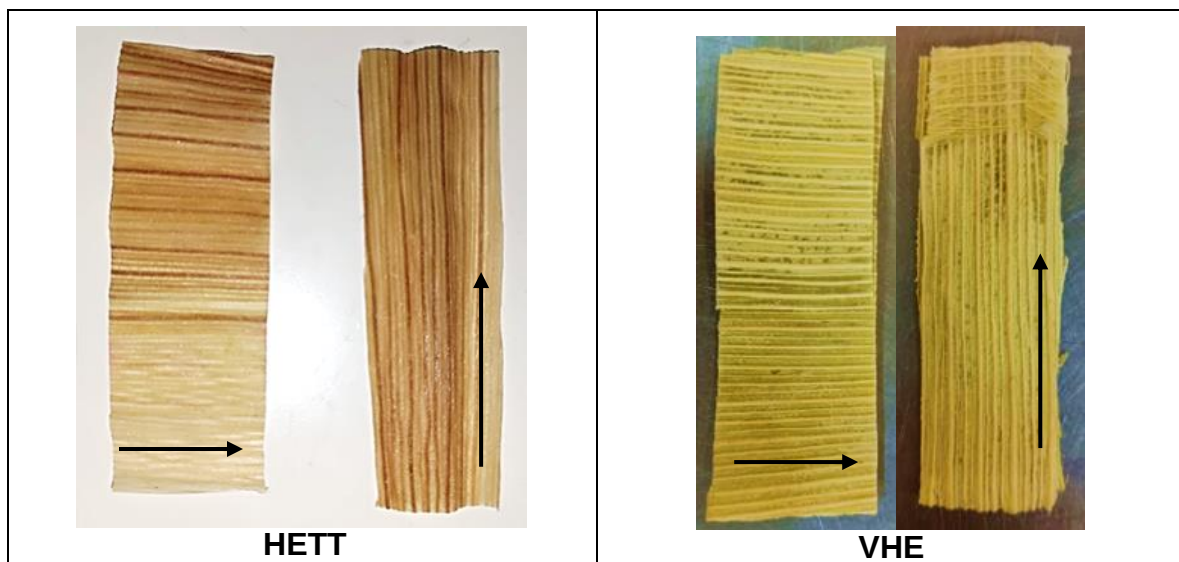


Figura 16. Muestras con las nervaduras en vertical y horizontal.

Para las muestras LHE (Figura 17), como primer paso se sometieron las hojas a tratamiento térmico, después se recortaron rectángulos de 8 cm x 2.5 cm con la orientación de las nervaduras de la hoja en forma horizontal y otros rectángulos con

las nervaduras en sentido vertical. Se obtuvieron siete rectángulos por muestra. Cada capa de la lámina se adhirió con el pegamento de mucilago. Posteriormente se prensaron y se sometió a secado (Estufa de vacío “vaciotem-t”) a 130 °C por 1.5 h. Finalmente se desprendió la muestra de la prensadora.

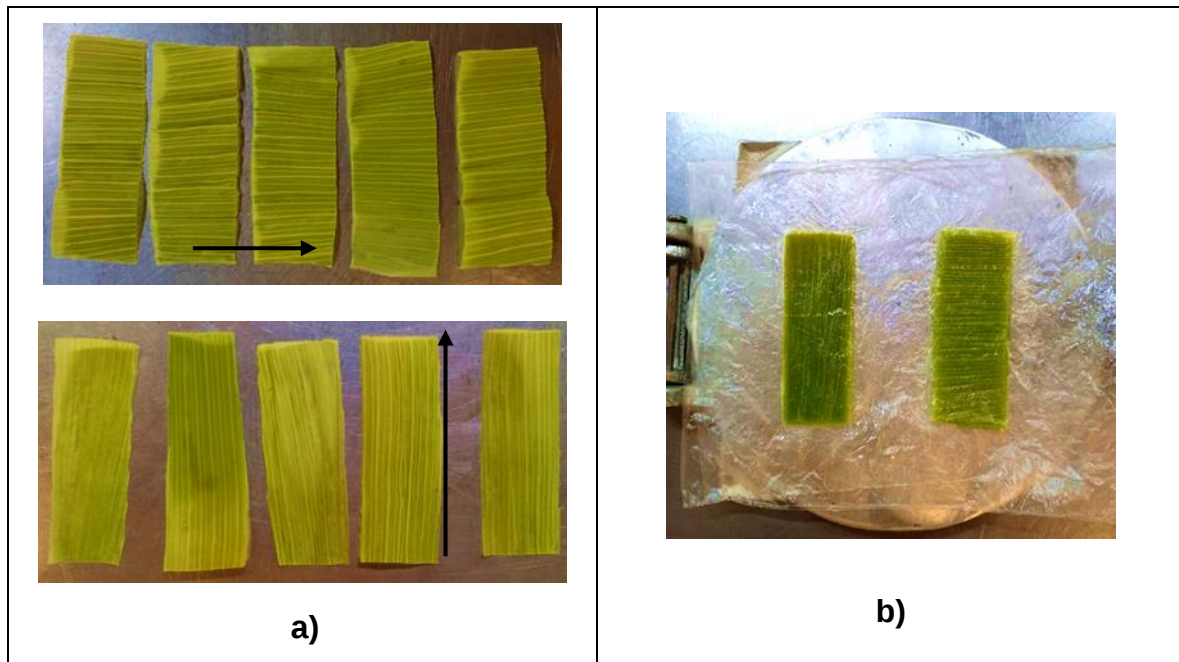


Figura 17. Muestra LHE con nervaduras en sentido horizontal y vertical.

En la figura 17 la parte a) muestra los cortes de las láminas con tratamiento térmico, y en la parte b) son las muestras ya adheridas en la prensa.

Las pruebas se realizaron por triplicado; se determinó el área de los rectángulos para introducirla en el equipo INSTRON.

Se obtuvieron los datos de carga (KN/cm²) y extensión (mm) obteniéndose gráficas de carga vs extensión para cada muestra, finalmente se obtuvo la máxima rotura con todos los datos.

2.3 Biodegradabilidad de los vasos

La biodegradabilidad de los vasos se realizó de la siguiente manera:

1. Se prepararon dos recipientes de madera con abono, cuidando que se pudiera retener la humedad del mismo.
2. Se cortaron vasos obteniendo cuatro muestras de cada uno (Figura 18). Éstas se pesaron y se midieron (altura, ancho y espesor).
3. Posteriormente, se enterraron las muestras en el abono y se fueron retirando cada cierto tiempo para ir midiendo el peso de la muestra y conocer la degradación de las mismas mediante evidencia fotográfica.
4. Al extraer las muestras del abono, después de medirlas, se volvían a regresar al abono.
5. El abono se regó constantemente para mantenerlo húmedo.
6. Se emplearon dos tiempos de extracción de muestras: en el experimento 1 se retiraron cada siete días; en el experimento 2 la muestra se extrajo cada 2 días.

Ambos experimentos se prolongaron por un mes y se realizó por triplicado para obtener un promedio.



Figura 18. Cortes de vaso para degradación.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1 Elaboración de vasos

3.1.1 Obtención del molde en PLA

El molde de PLA diseñado y el vaso prototipo se observa en la figura 19.

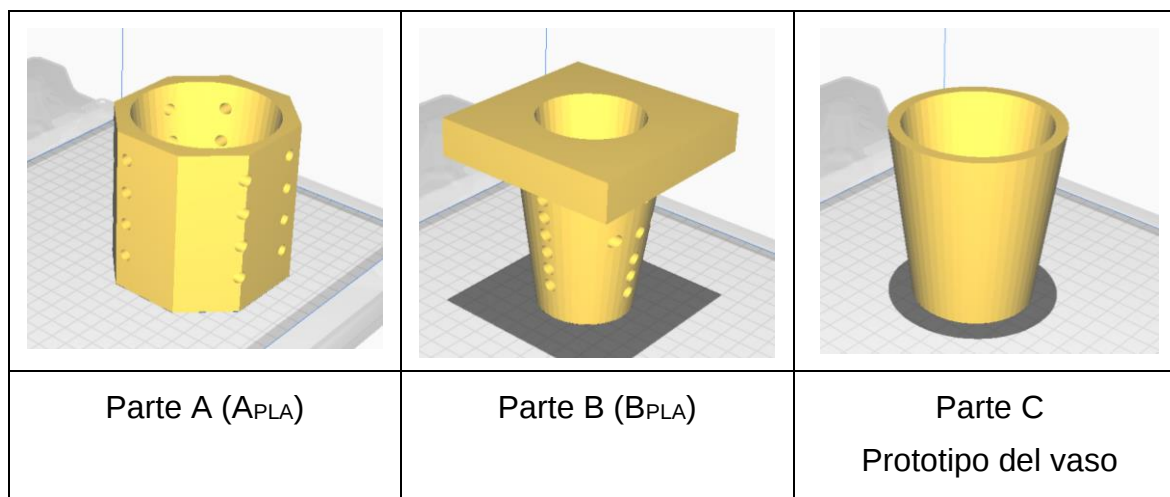


Figura 19. Diseño del molde de PLA.

De acuerdo a la figura 19, la parte A (A_{PLA}) que corresponde a la base, se diseñó con una altura de 14.4 cm, altura interior de 9.1 cm, diámetro exterior inferior 11.4 cm, diámetro interior inferior de 6 cm, diámetro interior superior: 8.4 cm y un grosor exterior superior de 1.5cm. La parte B (B_{PLA}) del molde que corresponde al interior del molde, es decir la parte que embonara con la parte A, se diseñó con las siguientes características: una altura de 9.1 cm, diámetro superior de 7.4 cm y el diámetro inferior de 5 cm. Por último, el diseño del prototipo del vaso se propuso para obtenerlo con

una altura de 9.8 cm, un diámetro superior 7.6 cm, el diámetro inferior de 5 cm y un grosor de 1.8 cm.

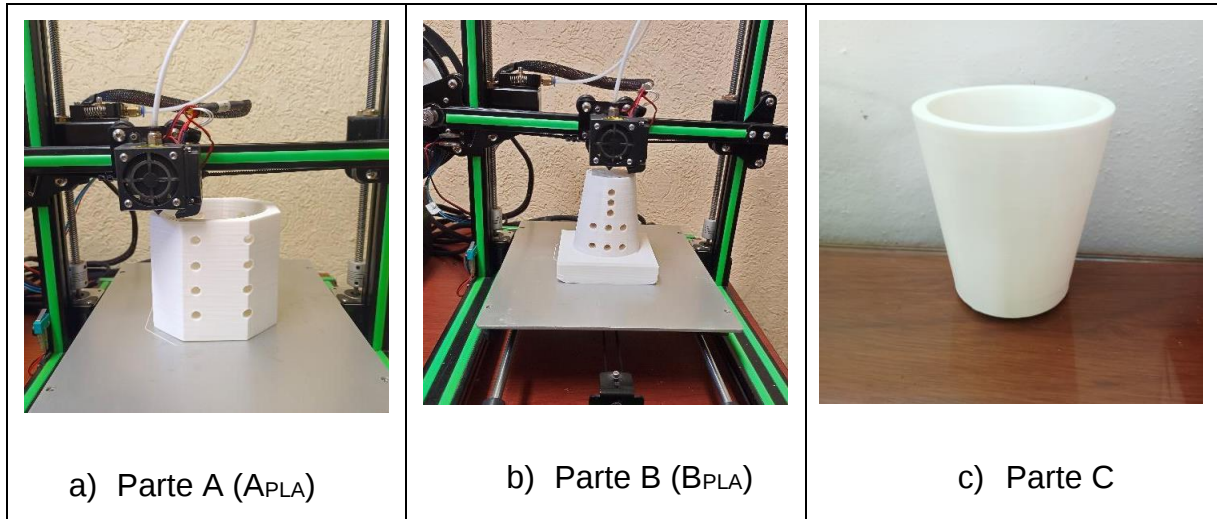


Figura 20. Impresión del molde en PLA.

Para la parte A (A_{PLA}) (Figura 20 a) se utilizó una impresora 3D *Anet E10*, la temperatura utilizada fue de 220°C, la velocidad de impresión de 80 mm/s con un tiempo de impresión de 8 horas 35 min. Para la parte B (B_{PLA}) (Figura 20 b) se utilizó una impresora 3D *Anet E10*, la temperatura utilizada fue de 225°C, la velocidad de impresión de 80 mm/s con un tiempo de impresión de 9 horas. Para el prototipo del vaso (Figura 20 c) se utilizó una impresora 3D *Sindoh 3DWOX 1*, la temperatura utilizada fue de 219°C, la velocidad de impresión de 75 mm/s con un tiempo de impresión de 4 horas 32 min.

Las tres impresiones (Figura 21) se obtuvieron con un pesaje ligero, hizo falta aumentar el porcentaje de PLA para que al embonar la parte B (B_{PLA}) con la parte A (A_{PLA}) haga más presión sobre ella para marcar mejor la forma del vaso.

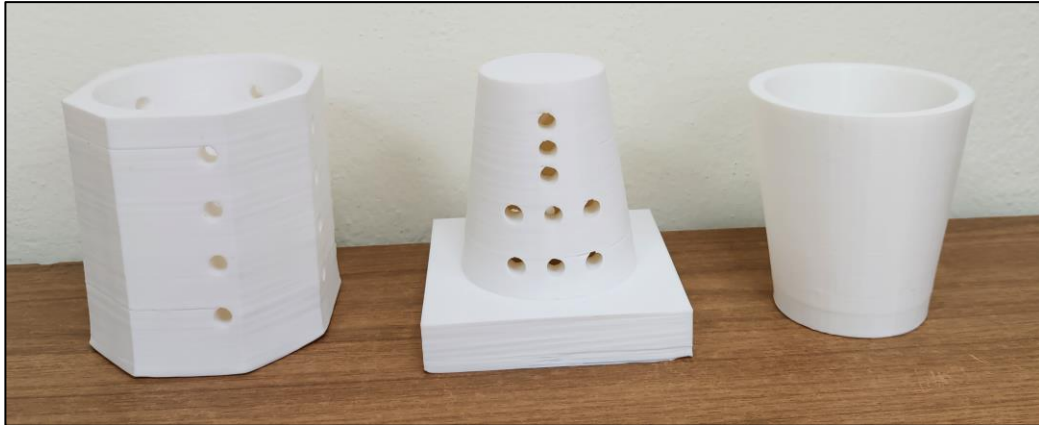


Figura 21. Molde de PLA final.

El molde de PLA mencionado anteriormente, tiene parecido con el molde que utilizan para elaborar vasos de calabaza en el estudio de diseño Crème, con sede en Brooklyn (Aizaki, 2018).

Dicho molde también está impreso por medio de una impresora 3D y se utiliza para productos biodegradables.

Crème ha diseñado diferentes moldes impresos en 3D (Figura 22), dentro de estos moldes se cultivan plantas de calabaza, que permite que la verdura crezca en la forma en que se desee dependiendo del molde en el que se coloque, ya sea moldes en forma de vaso o taza, una vez que se desarrolla la planta, se desmolda el envase.



Figura 22. Molde para obtener vasos de calabaza (Aizaki, 2018).

3.1.2 Obtención de vasos

Tabla 2. Características de los vasos obtenidos.

VASO	TIEMPO DE COCCIÓN DE HOJAS	CAPAS DE HOJAS	TEMPERATURA DE SECADO (°C)	TIEMPO DE SECADO (HORAS)
1	30 minutos	5	100	4
2	1 hora	10	100	4
3	2 horas	5	100	5
4	2 horas	10	100	4
5	2 horas	5	130	4
6	2 horas	7	130	4
7	2 horas	5	150	3
8	3 horas	6	100	4

Se realizaron diferentes pruebas de vasos variando sus características, así como se muestra en la tabla 2 donde se puede observar que varían la cantidad de capas de hoja de elote, el tiempo de cocción de las hojas, la temperatura de secado y el tiempo de secado.

De acuerdo con los datos de la tabla 2, el vaso más conveniente fue el número 6, ya que lleva un número moderado de capas de hoja de elote que se pueden colocar perfectamente en el molde, el tiempo de cocción de las hojas es el adecuado para manipularlas fácilmente y la temperatura de secado permite que sea en un tiempo razonable.

El vaso 1 (Figura 23 a) no resultó adecuado, las hojas no presentaron buena adherencia y por consiguiente el vaso perdió la forma. Las hojas se desprendieron, la base no se sujetó, así como las partes interiores de las paredes del vaso.

El vaso 2 (Figura 23 b) quedó bastante grueso y rígido, presentó problemas al desmoldarlo, despegándose las capas de la orilla del vaso al momento de retirarlo del molde. El número de capas de hojas utilizado en esta prueba no fue conveniente, puesto que la base perdió su forma y no se logró mantener en una posición correcta el vaso.

El vaso 3 (Figura 23 c) quedó adherido al molde y no fue posible desprenderlo manualmente. Se tuvo que cortar para poder desprenderlo. La última capa de la base del vaso no quedó adherida y esto provocó que la posición del vaso no fuera la correcta.

El vaso 4 (Figura 23 d) presentó poca adherencia de las capas en la orilla superior del vaso, por lo que, al momento de retirarlo del molde, las hojas se desprendieron en esa zona. La parte inferior del vaso perdió la forma plana y las capas presentaron poca adherencia entre ellas; por lo tanto, el vaso no pudo sostenerse de manera correcta. El vaso presentó un grosor adecuado; sin embargo, la textura fue muy irregular.

Para obtener el vaso 5 (Figura 23 e), durante el secado que fue de 2 horas, se desprendió el vaso de hoja de elote del molde cada 30 minutos para evitar que se adhiriera al aluminio. Posteriormente, ya que tenía la forma de vaso, se dejó secar 1 hora sin la parte A_{AL} del molde, y finalmente el vaso se pasó al molde de PLA durante un día, a temperatura ambiente para finalizar su secado.

El vaso 5 tuvo una forma más acertada a un vaso, ya que por la parte interna el acabado fue liso y se veía bien ya que todas las capas de hojas se adhirieron correctamente. El vaso contaba con firmeza, pero su grosor fue mínimo y en la parte externa a medio vaso se podía notar los bordes de las hojas de las capas de la base.

La obtención del vaso 6 (Figura 23 f) tuvo un mejor resultado, ya que cada media hora se revisaba y se desprendía para evitar que se adhiriera al molde. Posteriormente, ya que tenía la forma de vaso, se dejó secar 30 minutos sin la parte A_{AL} del molde, y finalmente el vaso se pasó al molde de PLA durante un día, a temperatura ambiente, para finalizar su secado.

El molde de PLA fue de apoyo para que el vaso no perdiera la forma de la base, se aumentaron las capas de hoja de elote y por ello el vaso resultó más rígido y estable.

Se le añadió una última capa en la parte exterior al vaso para cubrir las hojas de la base y para darle una mejor apariencia de acabado.

El vaso 7 (Figura 23 g) se desprendió un poco de la parte superior, esto fue debido a que solo se revisó cada hora, por lo tanto, se adhirió más al molde y se desprendió con dificultad.

La parte interior de esta prueba tenía una mejor textura, eran lisos y sin ningún residuo de pegamento o de hoja desprendida, fue uno de los mejores resultados ya que anteriormente los primeros vasos siempre quedaban despegados de adentro.

Para la obtención del vaso 8 (Figura 23 h) el resultado fue favorable ya que al desmoldarlo se pegó al molde y se tuvo que cortar de la parte superior para poder desprenderse.

La base del vaso no se veía resistente ya que de las orillas no sellaron bien, a diferencia del vaso anterior, el vaso 8 tuvo las hojas de la base muy a la medida del diámetro del vaso, por lo tanto, se desprendieron con facilidad ya que no había una medida adecuada para que abarcara mayor área del vaso.

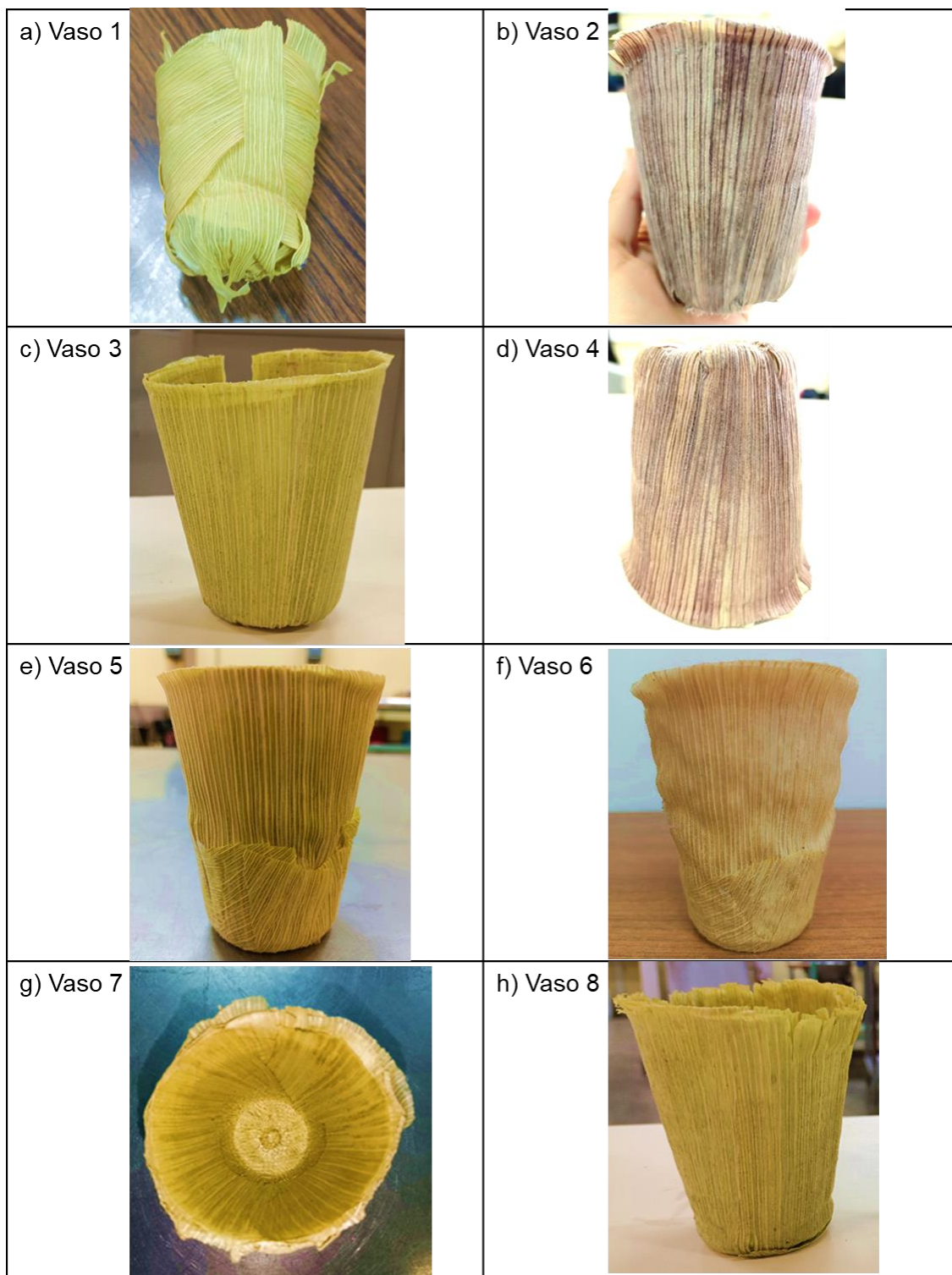


Figura 23. Vasos de hoja de elote obtenidos.

De las ocho pruebas realizadas, los vasos con mejor adherencia y acabado fueron el vaso 3, vaso 5, vaso 6 y vaso 7. Esto fue bueno porque todas las hojas se sostenían, sin embargo, algunos de ellos se pegaron al molde, como el vaso 3 que tenía un buen acabado y su aspecto era favorable, pero se adhirió al molde y se cortó para desprenderlo; de igual forma, el grosor del vaso no fue favorable debido a la cantidad de capas. El vaso 5 tuvo un aspecto agradable pero no fue favorable la cantidad de capas utilizadas. El vaso 6 fue el mejor de todos, tuvo un aspecto favorable, mayor rigidez y firmeza en la base; en este método se utilizó un número de capas adecuado.

Mejorando los métodos de elaboración, el vaso 7 obtuvo un terminado interior liso y favorable, ya que no había ningún borde o grumo, su textura fue suave en la parte interior y con una fuerte adherencia; sin embargo, la adherencia de las hojas en la base no fue adecuada. La desventaja del vaso 7 fue que durante el secado se desprendió cada hora, debió haber sido cada 30 minutos para evitar la adherencia de las hojas al aluminio y de esta manera al finalizar el secado no se hubiera roto de la orilla al desprenderse.

Por lo tanto, al volverse a elaborar los 4 métodos seleccionados: vaso 3, vaso 5, vaso 6 y vaso 7, se concluyó que el vaso 6 fue el mejor por su apariencia.

3.2 Caracterización físico-mecánica de los vasos

3.2.1 Caracterización física

3.2.1.1 Dimensiones

En la tabla 3 se muestran las medidas de los vasos obtenidos, el espesor de los vasos y el color de cada vaso el cual se obtuvo con la figura 14.

Tabla 3. Medidas de los vasos obtenidos.

VASO	PESO (g)	ALTURA (cm)	DIÁMETRO SUPERIOR (cm)	DIÁMETRO INFERIOR (cm)	ESPESOR (mm)	COLOR
1	14.34	9.47	6.70	4.76	1.97	#cfd98f
2	16.23	10.02	7.60	4.73	1.98	#a1917c
3	15.78	9.80	7.30	4.45	1.97	#c2a94f
4	17. 69	9.44	8.05	5.22	2.69	#c4ae95
5	18.57	9.40	7.40	4.70	2.30	#b58d48
6	14.77	9.47	7.30	4.85	1.30	#cca85c
7	18. 48	9.32	7. 36	4.67	2.40	#e8c76f
8	15.47	9.40	7.50	4.60	2.00	#c9ba32

De acuerdo con los datos de la tabla 3, se puede observar que los espesores obtenidos oscilaron de 14.34 mm a 18.57 mm, esto se debió al diferente número de capas de hojas de elote que se ocuparon. El vaso 6 fue el que presentó un mejor espesor, con 1.30 mm, y se consiguió con 7 capas de hojas.

Cuando el número de capas fue menor o mayor a 7 se obtuvieron espesores mayores; cuando las capas fueron menores a 7, al momento de embonar el molde, éste no hacía presión y por consiguiente el vaso se deformaba, los puntos medidos daban diferentes valores y se obtenía un promedio de espesor alto. Cuando el vaso excedía las 7 capas de hojas se dificultó embonar el molde, por lo tanto, la presión para formar el vaso no fue la adecuado, obteniendo espesores altos.

El vaso 6 obtenido tiene un espesor mayor al que se menciona en la norma venezolana Covenin 1311-88 (1988), que indica que los vasos deben de tener un espesor promedio mínimo de 0.14 mm, por lo tanto, el vaso 6 sobrepasa la medida, pero se debe al tipo de material ya que una hoja de elote mide aproximadamente lo del espesor de un vaso de plástico.

La medida de la altura esperada de la mayoría de los vasos quedó dentro del rango deseado, 9.0 cm a 9.60 cm, excepto para los vasos 2 y 3, que obtuvieron una medida arriba de la deseada. Esto fue debido a que, al momento de embonar el molde, las hojas se resbalaban, prolongando la altura del vaso.

Bio products (GT, 2023) es una fábrica de vasos de papel que contienen una cubierta de PLA y que son 100% compostables; en la elaboración de sus vasos manejan medidas de diámetro inferior de 5.3 cm, diámetro superior 7.5 cm y una altura de 9 cm.

Tomando en cuenta los datos anteriores, el vaso 6 tuvo unas medidas similares, el diámetro inferior fue de 4.85 cm, diámetro superior 7.30 cm y la altura 9.47 cm.

De acuerdo con la tabla 3 todos los vasos obtuvieron distintos colores, la mayoría de vasos tuvieron tendencia a tonalidades cafés, el color del vaso depende del tono que adquiere cada hoja con el tratamiento térmico, el color de cada hoja no es uniforme y por ende varían los colores.

3.2.1.2 Pruebas de retención de agua

Tabla 4. Resultados de pruebas de retención de agua.

VARIABLES	AGUA A TEMPERATURA AMBIENTE	AGUA CALIENTE	AGUA FRÍA
Temperatura (°C)	23	80	8
Tiempo de inicio de filtración (s)	58	20	68
Agua filtrada (ml)	77	100	59
Tiempo de filtración (min)	15	4	15
Agua no filtrada (ml)	23	0	41
Peso inicial del vaso (g)	18.57	18.48	18.55
Peso final del vaso (g)	64	58	69

Para las tres pruebas realizadas, se estimó un tiempo de 15 minutos el cual era el lapso máximo para la filtración del agua.

De acuerdo a la tabla 4 se puede observar que se utilizó agua a temperatura ambiente a 23°C. Colocando como inicio 100 ml de agua dentro del vaso. La filtración del agua inicio a los 58 segundos y se fue dando por goteo. Llegando al tiempo estimado, se detuvo y como resultado se filtraron 77 ml durante los 15 minutos, con un sobrante de agua de 23 ml (agua no filtrada).

El vaso inició con un peso de 18.5735 g y finalizó con un peso de 64 g. La textura final del vaso quedó, de la mitad hacia arriba húmedo, y de la mitad hacia abajo completamente mojado, lo que sugiere que la hoja de elote es permeable (Figura 24 a).

Para la prueba de retención con agua caliente, se utilizó agua a una temperatura de 80°C. La filtración del agua inició a los 20 segundos y se fue dando por goteo. La filtración se realizó en 4 minutos, filtrando los 100 ml de prueba. No hubo sobrante de agua ya que se filtró todo antes del tiempo estimado.

El vaso inició con un peso de 18.4858 g y finalizó con un peso de 58 g. La textura final del vaso quedo de arriba a la mitad húmedo y de la mitad hacia abajo completamente mojado, el vaso perdió fuerza y se deformato (Figura 24 b).

En la prueba de retención con agua fría se utilizó agua a 8°C (Figura Xc). La filtración del agua inició a los 68 segundos y se dio por goteo. Llegando al tiempo estimado, se detuvo y como resultado se filtraron 59 ml en 15 minutos, con un sobrante de agua de 41 ml (agua no filtrada).

El vaso inició con un peso de 18.5542 g y finalizó en 69 g. La textura final del vaso quedó, de arriba a la mitad húmedo, y de la mitad hacia abajo completamente mojado, pero sin perder su forma, aun se mantenía firme (Figura 24 c).

Esta última prueba fue la de los mejores resultados, ya que tuvo menor filtración de agua, se determinó que el vaso es más resistente para bebidas o alimentos a temperatura fría.

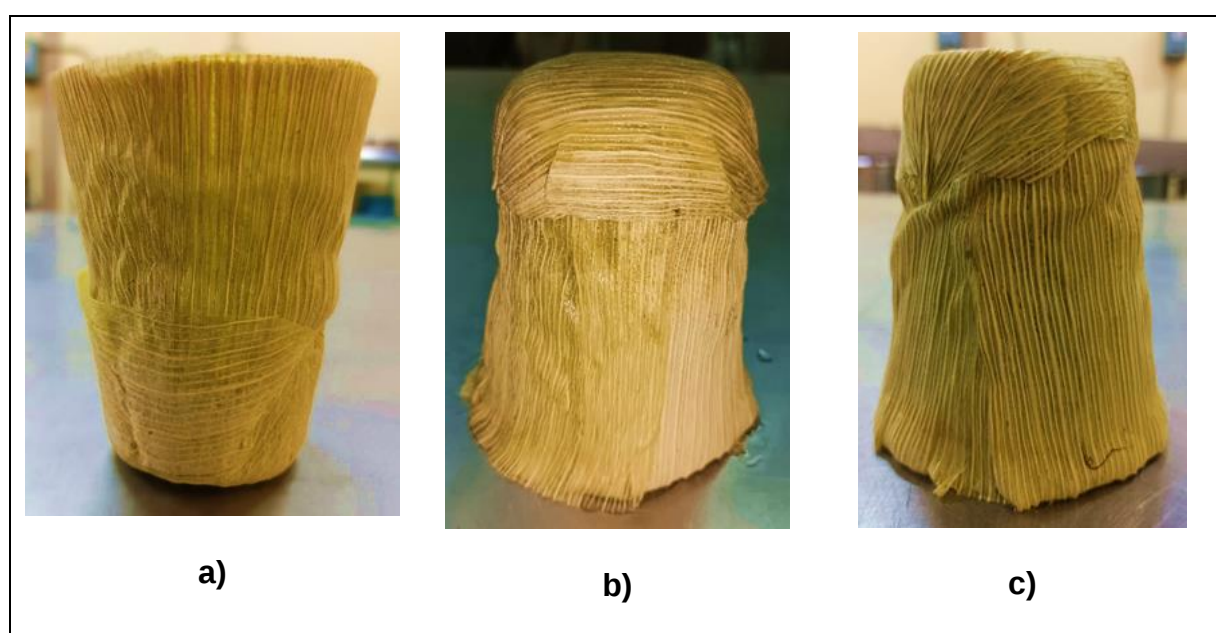


Figura 24. Prueba de retención de agua en vasos de hoja de elote: a) Agua a temperatura ambiente, b) Agua caliente y c) Agua fría.

En la figura 24 se muestran los vasos finales después de las pruebas de retención de agua. Se puede observar el vaso figura 24 c, que correspondiente a la prueba de agua fría, el cual no perdió su forma a diferencia del vaso figura 24 a y figura 24 b, su última

capa de hoja está adherida a diferencia del vaso figura 16 b que se ve húmedo, con la hoja desprendida y la base en forma cóncava la cual no permite que el vaso se sostenga.

La empresa We Care Desechables Biodegradables (2023) elabora vasos de ácido poliláctico (PLA), los cuales son resistente a líquidos fríos, pero no son aptos para bebidas calientes, por lo tanto, no resisten temperaturas de más de 40 ° C.

Altes Envases ecopackaging fabrica envases de papel y carton, lo vasos de papel soportan entre -40°C y +180°C mientras que los de cartón son resistentes a temperaturas entre -40°C y 80° C. Ambos son aptos para horno y microondas y pueden ser congelados si son encerados o laminados.

Los vasos de hoja de elote obtenidos tienen un mejor desempeño con líquidos fríos, sin embargo, es necesario encontrar un adhesivo que disminuya la permeabilidad de las hojas para aumentar el tiempo de retención y disminuir la deformación que sufrió el vaso; a su vez, se requiere un adhesivo que permita que el vaso pueda usarse para contener bebidas a mayor temperatura.

3.2.2 Caracterización mecánica

3.2.2.2 Pruebas de resistencia en el INSTRON

3.2.2.2.1 Hojas de Elote con Tratamiento Térmico (HETT)

Para las muestras con nervaduras horizontales, se obtuvo una máxima rotura de 1.128 KN en 0.43 segundos. Aunque la prueba se realizó por 10 minutos, se observó que la muestra se rompía por la presión que ejercieron las mordazas en los extremos,

después de 0.43 s, la carga de fuerza tuvo tendencia a cantidades negativas. Por tal motivo, no fue posible graficar los datos (Figura 25 a).

En cuanto a las muestras con las nervaduras orientadas de forma vertical, la máxima rotura no se logró obtener. Las mordazas no lograron sujetar correctamente las muestras, deslizándose al momento de hacer la prueba y por consiguiente no marcó lectura alguna (Figura 25 b).

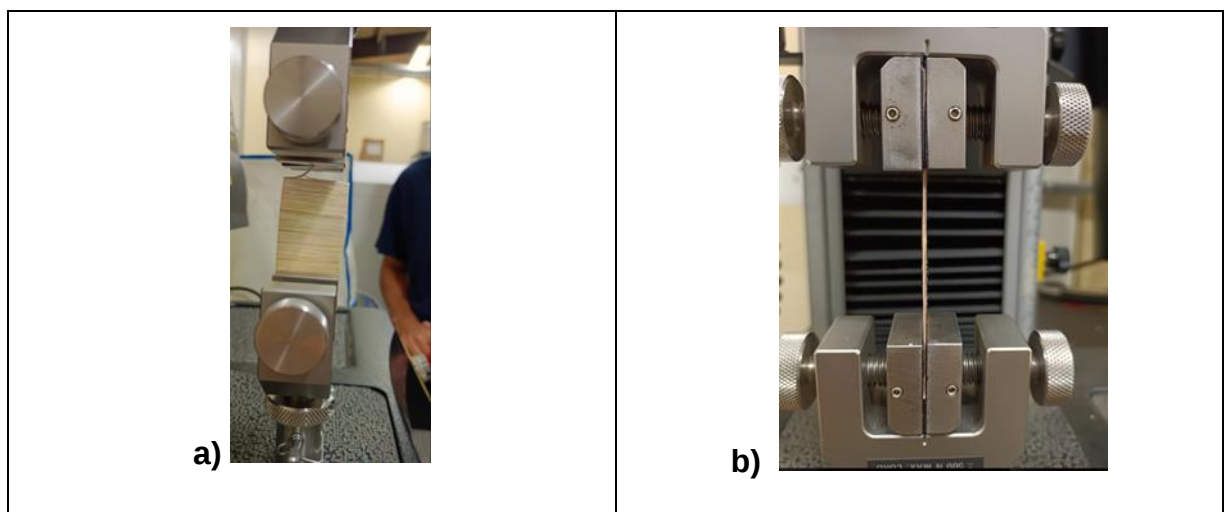


Figura 25. Pruebas de HETT, a) Muestra con nervaduras horizontales y b) Muestra con nervaduras verticales.

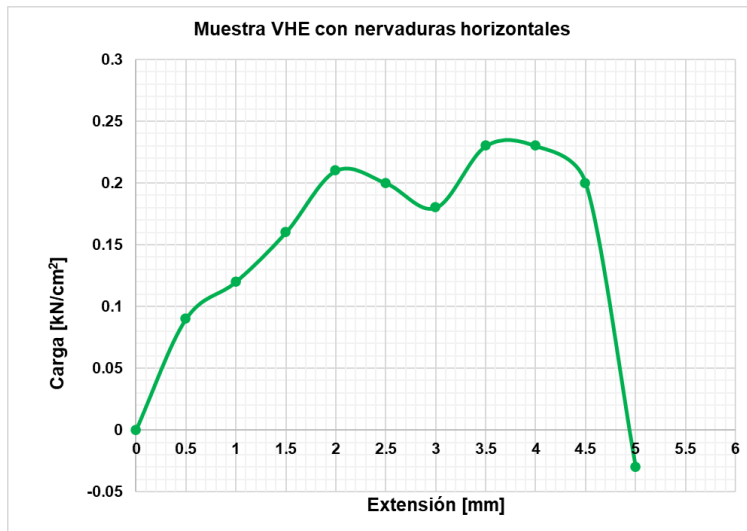
3.2.2.2.2 Muestra de los Vasos obtenidos con Hoja de Elote (VHE)

Para la muestra con nervaduras horizontales se obtuvo una máxima rotura de 25.58 KN a los 0.53 mm avanzados en 2.02 minutos (Figura 26).

Se observó que al cortar las muestras de los rectángulos obtenidos de VHE, se despegan las capas, ya que éstas tuvieron una ligera curvatura cóncava (por el moldeo

del vaso) y al estirarse se desprendieron las hojas (Figura 26). Las mordazas no lograron sujetarlas completamente, por lo que las muestras se resbalaron al hacer la medición en el INSTRON.

En la gráfica 1 se puede observar que, al rebasar los 4 mm de extensión, la línea de carga comienza a tender hacia los números negativos ya que se había perdido la fuerza sobre la muestra, esto debido a las hojas despegadas de la lámina.



Gráfica 1. Carga vs extensión VHE nervaduras horizontales.

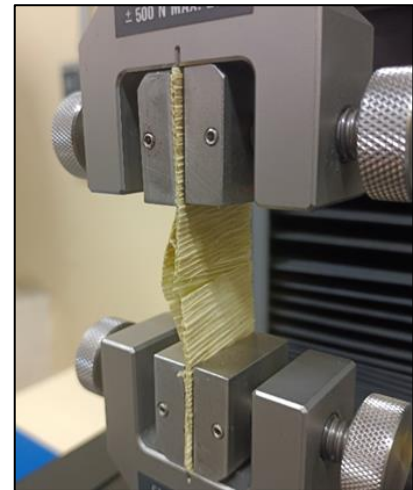


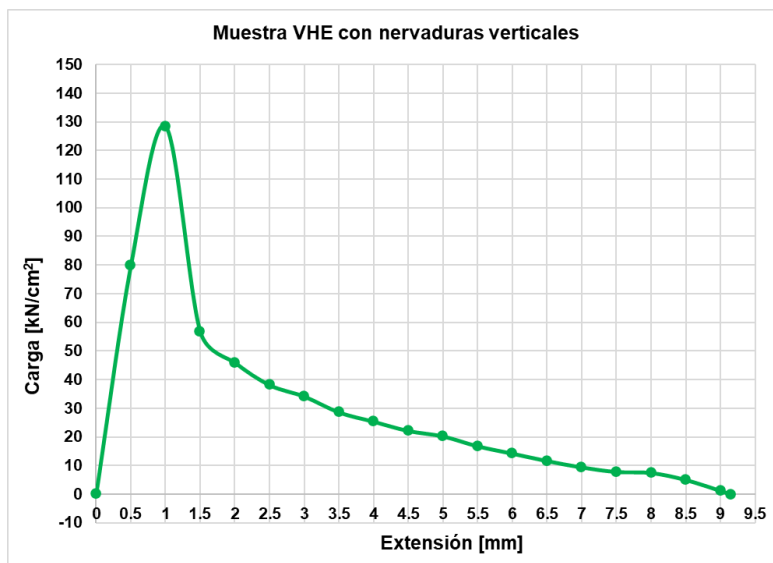
Figura 26. Muestra VHE con nervaduras horizontales.

En la muestra con nervaduras verticales se alcanzó una máxima rotura de 129.3 KN a los 9.13 mm avanzados, durante un tiempo de 9.11 minutos.

Al igual que la muestra con nervaduras horizontales, se observó que, al cortar las muestras de los rectángulos obtenidos del vaso, se desprenden las capas ya que tuvieron una ligera curvatura cóncava (por el moldeo del vaso). Esta muestra no

funcionó correctamente porque hubo desprendimiento de las capas y las mordazas no lograron sujetarlas de manera adecuada (Figura 27).

Es necesario mencionar que la orientación de las nervaduras fue un factor determinante para la lectura de máxima rotura, presentando mejores resultados las muestras con las nervaduras de forma horizontal.



Gráfica 2. Carga vs extensión VHE nervaduras verticales.

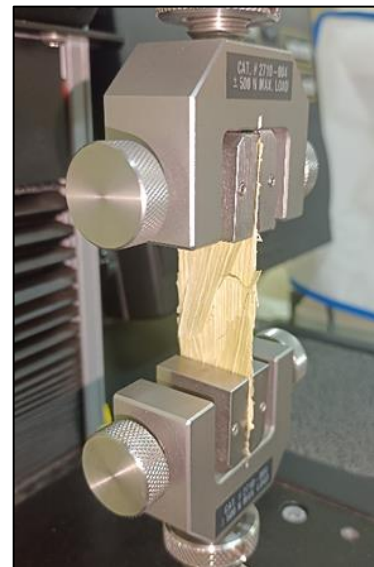


Figura 27. Muestra VHE con nervaduras verticales.

En la gráfica 2 se observa que la fuerza ejercida sobre la muestra se perdió después de 1 mm de extensión, haciendo tender la línea de carga hacia números menores, esto se debe a que la muestra se resbaló de las mordazas y por ende ya no se estaba aplicando una fuerza a la muestra. Solo se logró la ruptura de las primeras capas de la parte de enfrente como se muestra en la figura 27.

3.2.2.2.3 Láminas de capas de Hoja de Elote (LHE)

Este tipo de muestras fue más factible para aplicar las pruebas con el equipo INSTRON, ya que las láminas que se hicieron tenían una forma plana a diferencia de las muestras VHE, que tenían una forma cóncava. Todas las capas de las láminas estuvieron perfectamente adheridas.

En la muestra con nervaduras horizontales se obtuvo una máxima rotura de 34.24 KN a los 1.42 mm. Esta prueba se realizó en un tiempo de 7.47 min. En la gráfica 3 a se puede observar que después del 1.5 mm de extensión, la carga comenzó a decrecer, debido a que la muestra ya se había trozado y sólo quedó una mínima parte por desprenderse. En la figura 28 se puede observar que la muestra se rompió a la mitad.

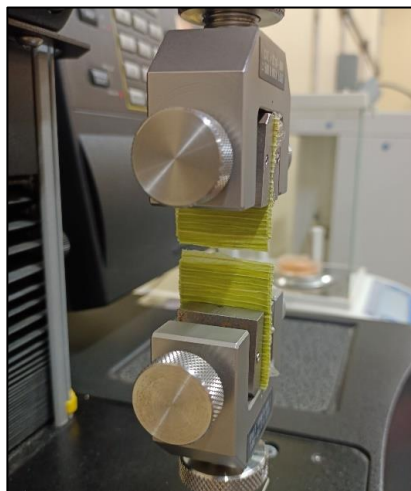
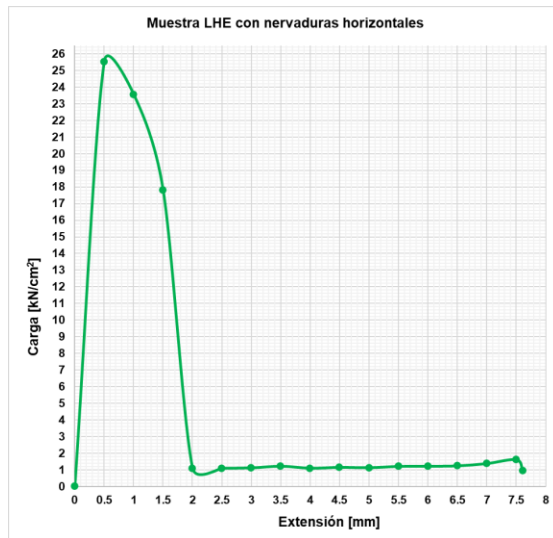
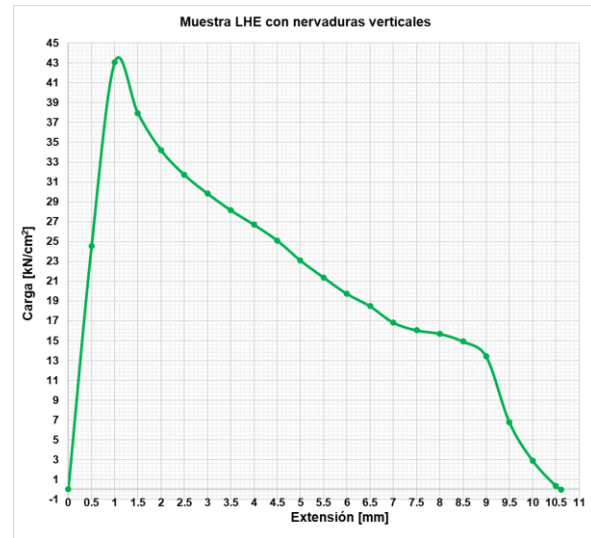


Figura 28. Muestra LHE con nervaduras en sentido horizontal.



a)



b)

Gráfica 3. a) Carga vs extensión LHE nervaduras horizontales y b) Carga vs extensión LHE nervaduras verticales.

Para la muestra con nervaduras verticales se obtuvo una máxima rotura de 30 KN, pero no se rompió, solo se midió la fuerza que se ejerció sobre la muestra, en la gráfica 3 b se puede observar que después de la fuerza aplicada, la línea tiende a bajar ya que la lámina se comenzó a resbalar y las mordazas ya no la sujetaron correctamente. Esta prueba se realizó en 10.39 min.

No se logró una prueba efectiva porque la muestra no logró mantenerse en posición correcta en las mordazas (Figura 29) debido al sentido vertical de las nervaduras.

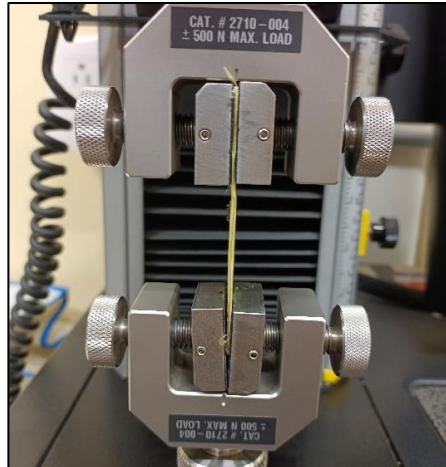


Figura 29. Muestra LHE con nervaduras en sentido vertical.

Carmen Corbella Pardo (2018) realizó ECOPLATOS: Platos desechables fabricados con residuos vegetales. En donde menciona que las muestras de los platos las sometió a ensayos de tracción y flexión utilizando la Máquina Universal Shimadzu Autograph AG-IS 50kN.

Para los ensayos de tracción se utilizó un extensómetro y las muestras fueron sometidas a una fuerza uniaxial en el sentido del eje de las mismas (Figura 30 b); obtuvo los resultados de la siguiente tabla:

Tabla 5. Resultados obtenidos en los ensayos de tracción (Pardo, 2018).

Material	Resistencia a tracción	Elongación
	N/mm ²	%
4 capas de badana (5 Agua : 1 Almidón)	10,31	2,69
4 capas de badana (5 Agua : 2 Almidón)	10,33	2,36
5 capas de badana (5 Agua : 1 Almidón)	8,82	1,33
5 capas de badana (5 Agua : 2 Almidón)	8,17	2,98
Platos comerciales de hojas de palma	16,09	1,00
Platos comerciales de polipropileno	6,75	16,60

Para los ensayos de flexión se apoyaron las muestras por los dos extremos en el puente de flexión y se aplicó una fuerza en el centro, así como se muestra en la figura 30 a. En estos ensayos obtuvo los datos de la siguiente tabla:

Tabla 6. Resultados obtenidos en los ensayos de flexión (Pardo, 2018).

Resultados de los ensayos de flexión de los distintos materiales				
Material	Carga máxima	Resistencia a la flexión	Deformación de flexión	Módulo en flexión
	N	MPa	%	MPa
4 capas de badana (5 Agua : 1 Almidón)	11,00	3,521	4,21	167,93
4 capas de badana (5 Agua : 2 Almidón)	4,78	1,508	9,95	65,50
5 capas de badana (5 Agua : 1 Almidón)	11,05	1,709	9,40	47,04
5 capas de badana (5 Agua : 2 Almidón)	12,02	1,005	21,45	23,40
Platos comerciales de hojas de palma	18,23	16,318	1,90	1461,04



Figura 30. a) Ensayo de flexión y b) ensayo de tracción (Pardo, 2018).

3.3 Resultados de la biodegradabilidad de los vasos

En la tabla 7, se presentan las medidas promedio de las muestras del vaso de hoja de elote que se utilizaron para la prueba de biodegradabilidad.

Tabla 7. Prueba 1, medidas promedio de las muestras degradadas.

Medidas de 1/4 de vaso						
Día	Tierra	Peso (g)	% de degradación	Altura (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)
0	Sin	3.381	0	98.150	36.125	1.300
7	Con	2.725	19.39	85.020	32.694	1.158
	Sin	2.386	29.42	87.080	30.735	1.397
14	Con	1.504	55.52	74.241	28.104	0.980
	Sin	1.274	62.31	74.684	25.803	0.920
21	Con	0.863	74.47	65.020	23.859	0.759
	Sin	0.773	77.15	67.080	21.036	0.726
28	Con	0.374	88.93	49.175	19.560	0.635
	Sin	0.291	91.39	50.120	15.620	0.617

En la prueba donde se colocaron 4 muestras y se extrajeron del abono cada 7 días, durante un mes, los resultados presentados en los días 7 y 14 son el promedio de cuatro lecturas; los resultados presentados en los días 21 y 28, solamente son el promedio de dos lecturas, puesto dos muestras ya no se lograron recuperar del abono. Lo que sugiere una degradación de las muestras a partir de la tercera semana de prueba.

Con las dos muestras recuperadas, se obtuvo un promedio para determinar los datos de la tabla 7.



Figura 31. Muestras de 1/4 de vaso, a) Muestra 1 y b) Muestra 2.

En la figura 31 a se observa la muestra 1 y en la figura 31 b, la muestra 2. En la tabla 7 se muestran los resultados promedio de las muestras que se pudieron recuperar, se puede observar que las medidas de las muestras sin tierra fueron menores en comparación con las medidas de las muestras con tierra. Respecto a la altura fue lo contrario ya que al lavar la muestra se unieron todos los trozos de forma inexacta, no se podía manipular bien la muestra ya que se desmoronaba.

De acuerdo con la figura 31 se puede observar que la muestra final del vaso (1/4), se degradó un 91.39% de acuerdo con la tabla 7.

En la última prueba en donde se utilizaron tres vasos para la degradación, se eligió el que obtuvo mejores resultados. En esta prueba se extrajeron las muestras cada dos días hasta completar el mes.

Las muestras se iniciaron con las medidas que se observan en la tabla 8, la cual se obtuvo con el promedio de las cuatro muestras degradadas por día (Ver anexo tabla

9). Se determino porcentaje del peso sin tierra en donde se obtuvo que del 100% inicial, se degrado un 93.27% de las muestras, obteniendo como residuo un 6.73%.

La altura de la muestra disminuyo aproximadamente la mitad y así mismo el espesor. Estos datos fueron favorables ya que se degrado la mayor parte de las muestras.

Tabla 8. Medidas promedio de las muestras degradadas.

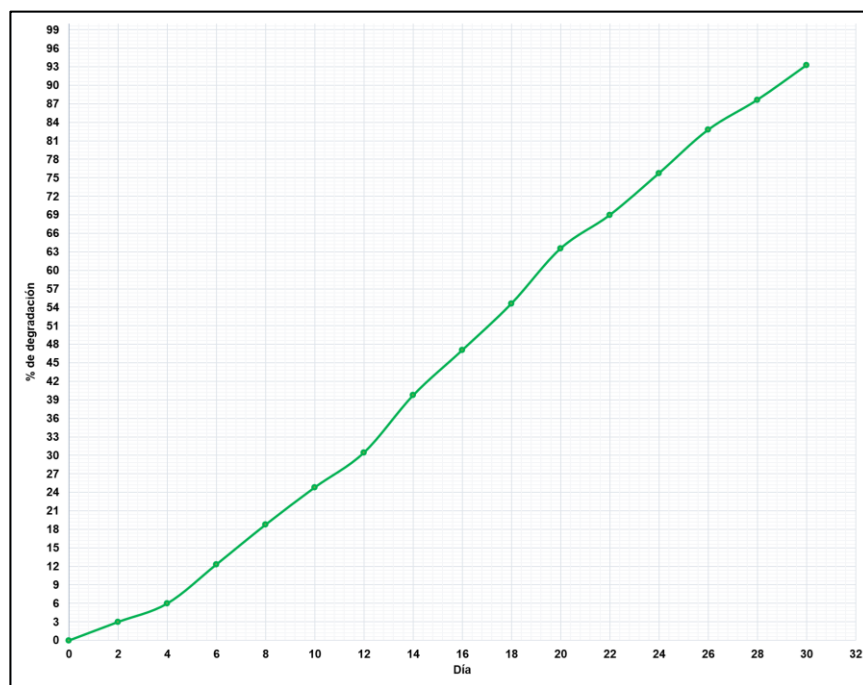
Día	Peso			% de degradación	Medidas		
	Inicial (g)	Con tierra (g)	Sin tierra (g)		Altura (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)
0	3.3279	/	/	0	85.8500	43.8563	1.5181
2	3.3279	14.1038	12.4651	3.01	83.0792	42.6268	1.4579
4	3.3279	13.1230	11.7172	6.00	80.1554	40.9011	1.3556
6	3.3279	12.2657	10.9281	12.33	76.8167	39.5992	1.2678
8	3.3279	11.6574	10.1242	18.78	74.0195	38.0360	1.2191
10	3.3279	10.5655	9.3711	24.82	71.1176	36.5934	1.1343
12	3.3279	9.5716	8.6683	30.46	67.9581	35.0510	1.0431
14	3.3279	8.8279	7.5115	39.74	65.0674	33.4377	0.9703
16	3.3279	7.8963	6.5969	47.08	61.9499	31.9064	0.9703
18	3.3279	7.0639	5.6557	54.63	59.1199	30.5244	0.8179
20	3.3279	5.8624	4.5425	63.56	56.2121	28.8245	0.7382
22	3.3279	4.7696	3.8660	68.99	52.8766	27.3454	0.6455
24	3.3279	4.2139	3.0213	75.76	50.0679	25.9125	0.5554
26	3.3279	3.5114	2.1439	82.80	46.8429	24.4418	0.4858
28	3.3279	2.3896	1.5385	87.66	44.0549	22.6782	0.4120
30	3.3279	1.4575	0.8384	93.27	39.9313	20.6316	0.3510

La textura de las muestras degradadas fue parecida a la de una hoja seca, pero con humedad por el abono, en la muestra lo que más se distinguía eran las nervaduras de las hojas, se interpreta que son las más difíciles de degradar por su grosor y es por eso que quedan como residuo, en la figura 32 día 30 se puede observar lo anterior.

En la figura 32, se puede ver la diferencia entre las muestras, la figura 32 día 6 muestra la evidencia de los primeros días la cual se tomó en la primera semana, la figura 32 día 14 fue captura en la segunda semana, para entonces la muestra ya era un 60.26%

del 100% inicial, en ella la forma de la muestra ya se iba desprendiendo en tiras verticales con respecto al sentido de la nervaduras y comenzaban a despegarse las capas, en la figura 32 día 22 se puede ver como la muestra ya había perdido por completo su forma inicial, y finalmente en la última semana se capturo la figura 32 día 30 en donde se observa como a diferencia de la figura 32 día 02, está ya se había reducido a más de la mitad, en este punto ya solo quedaban las nervaduras secas de la hoja.

En la gráfica 4 se interpreta el porcentaje de degradación respecto a cada día, en donde la línea tiende a subir ya que fue aumentando la cantidad de muestra degradada.



Gráfica 4. Prueba 2 de degradación.



Figura 32. Proceso de biodegradación.

Ambas pruebas se degradaron más de la mitad en un mes, esto fue favorable porque únicamente se utilizó abono sin apoyo de algún acelerador de degradación, por lo tanto, se concluyó que el vaso de hoja de elote es una buena opción para contrarrestar el uso de plásticos ya que su degradación es acelerada, no contamina al medio ambiente y está hecho a base de residuos del maíz.

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES

Se logró obtener un molde de PLA que sirvió para mejorar el secado de los vasos elaborados.

El vaso con las mejores características se formó con 7 capas de hoja de elote, con un tiempo y temperatura de secado de 130 °C y 4 h, respectivamente. El vaso tuvo un espesor de 1.30 mm y 9.47 cm de altura.

Los vasos no resultaron adecuados para contener bebidas calientes; sin embargo, conteniendo agua fría, el líquido puede ser retenido por más de 15 minutos.

La orientación de las nervaduras de la hoja de elote determinó las lecturas obtenidas con el texturómetro INSTRON 4442. Para romper el vaso con las nervaduras en sentido horizontal se requiere una fuerza de 34.24KN. Las mediciones con las nervaduras orientadas verticalmente no fueron adecuadas.

La biodegradabilidad de los vasos obtenidos, en un lapso de 30 días, fue mayor al 90%.

CAPÍTULO V. RECOMENDACIONES / SUGERENCIAS

La impresión del molde de PLA diseñado fue fácil de imprimir, pero se debe considerar el aumento de relleno del molde en su impresión, para que tenga más peso y esto ayude a hacer presión en el vaso al momento de embonar las dos partes del molde.

En la obtención de los vasos de hoja de elote, es importante aumentar el diámetro de la parte A (A_{AL}) del molde de aluminio para que al introducir la parte B (B_{AL}) las hojas no se desprendan y entren completas para que el molde pueda embonar. Así mismo, esto ayudara para obtener un espesor más pequeño de los vasos y un mejor acabado.

La caracterización mecánica de los vasos obtenidos no fue favorable, esto se debe al tipo de material con el que se trabajó, las hojas se resbalaron en la mayoría de pruebas, se considera que se puedan aplicar otro tipo de pruebas en donde la muestra se pueda manipular mejor, como por ejemplo una prueba de punción, dureza o compresión.

CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Actual, D. (Agosto de 2016). *Diccionario Actual* . Obtenido de ¿Qué es vaso descartable?: <https://diccionarioactual.com/vaso-descartable/>
- AEN/CTN49, C. t. (Marzo de 2001). *Normalización española (UNE)*. Obtenido de Envases y embalajes. Requisitos de los envases y embalajes valorizables mediante compostaje y biodegradación. Programa de ensayo y criterios de evaluación para la aceptación final del envase o embalaje: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0024465>
- Aimplas. (2020). *Aimplas*. Obtenido de Propiedades mecánicas: <https://www.aimplas.es/tipos-ensayos/propiedades-mecanicas-de-los-materiales-plasticos/>
- Aizaki, J. (2018). *Moldes para fabricar vasos de calabaza*. Brooklyn.
- Amico, S. (05 de Julio de 2021). *Limepack*. Obtenido de El mundo entorno a los vasos de plástico: <https://www.limepack.es/blog/el-mundo-entorno-a-los-vasos-de-plastico/#:~:text=Los%20vasos>
- Anónimo. (1988). *Vasos desechable de plastico*. Venezuela: Comision venezolana de normas industriales.
- Anónimo. (20 de Diciembre de 2007). *Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura*. Obtenido de .: https://www.fao.org/index_es.htm

- BCN3D. (13 de Diciembre de 2021). *BCN3D*. Obtenido de Cómo imprimir silicona en 3D y los beneficios que puede aportarte: <https://www.bcn3d.com/es/como-imprimir-silicona-en-3d-y-los-beneficios-que-puede-aportarte/>
- Beckwith, V. K. (2018). *icroplastic at nesting grounds used by the northern Gulf of Mexico loggerhead recovery unit*. .: Marine Pollution Bulletin.
- Beltran, J. (2017). *Materiales biodegradables*. Lima.
- Benítez, T. T. (2008). *Caracterización morfológica y térmica del almidón de maíz (Zea mays) obtenido por diferentes métodos de aislamiento*. Pachuca de Soto, Hidalgo: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Biodegradables, W. C. (. de . de 2023). *We care*. Obtenido de Vaso Transparente Desechable y Biodegradable: <https://www.wecareproducts.com.mx/products/copia-de-copia-de-copia-de-copia-de-copia-de-vaso-clear-de-7-oz>
- Boots, B., Rusell, C. W., & Green, D. S. (2019). *Effects of Microplastics in Soil Ecosystems: Above and Below Ground*. Environmental Science & Technology.
- Bucher, J. B. (2017). *Vasos biodegradables hechos de algas*. Argentina.
- Castro, M. I. (2015). *Ciencia y desarrollo* . Obtenido de Envases plásticos para alimentos y sus efectos sobre la salud: <https://www.cyd.conacyt.gob.mx/?p=articulo&id=477#>

Colin, T. d., Jimenez, R. R., Corral, M. A., Hernandez, E. R., & Wakida, F. T. (2018). *Microplastics on sandy beaches of the Baja California Peninsula, México.* . México: Marine Pollution Bulletin.

Contreras, L. (11 de Febrero de 2023). *3D natives el sitio web de la impresión 3D.* Obtenido de Guía completa: El filamento de PLA en la impresión 3D: <https://www.3dnatives.com/es/guia-filamento-pla-en-la-impresion-3d-190820192/#!>

Ecoembes. (04 de Junio de 2021). *Ecoembes cómo reciclar.* Obtenido de ¿Por qué usar vasos reutilizables?: <https://ecoembesdudasreciclaje.es/por-que-usar-vasos-reutilizables/#:~:text=Es%20un%20producto%20lavable.,se%20deformen%20ni%20pierdan%20calidad.>

Ecoembes. (21 de Noviembre de 2022). *Ecoembes cómo reciclar.* Obtenido de: <https://ecoembesdudasreciclaje.es/cuanto-tarda-en-degradar-el-plastico/#:~:text=Los%20vasos%20de%20pl%C3%A1stico%20reutilizables,y%20no%20permiten%20su%20reutilizaci%C3%B3n.>

Envapro. (17 de Agosto de 2022). *Envapro.* Obtenido de Vasos de cartón para bebidas frías, una alternativa sostenible: <https://www.envaproblog.com/post/vasos-de-cart%C3%B3n-para-bebidas-fr%C3%ADas-una-alternativa-sostenible>

Envases, A. *Altes Envases ecopackaging.* Obtenido de: <https://www.altesenvases.com/content/6->

materiales#:~:text=Los%20envases%20de%20papel%20soportan,entre%20-40%C2%BAC%20y%2080%C2%BA%20C

Fussell, B. (1992). *The story of corn*. New York, NY, USA: Alfred A. Knopp.

García-Vásquez, L. P. (2023). *Diseño de moldes, para elaborar vasos a base de hoja de elote (Zea mays)*. Marzo: Instituto Tecnológico de Oaxaca.

Gómez, A. S. (2018). *Procesos de producción de vasos desechables biodegradables*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Greenvase. (2021). *Greenvase. Tienda online de envases*. Obtenido de Conoce los datos y beneficios de utilizar envases de cartón Kraft: <https://greenvase.es/beneficios-de-utilizar-envases-de-carton-kraft/#:~:text=Los%20envases%20de%20cart%C3%B3n%20Kraft%20son%20elaborados%20a%20partir%20de,ambiente%20est%C3%A1n%20siendo%20una%20tendencia.>

Greenvase. (2022). *Greenvase tienda online de envases*. Obtenido de Vasos de plástico: <https://greenvase.es/vasos-de-plastico/>

GT, B. p. (2023). *Bio products GT*. Obtenido de Vaso Biodegradable para Bebida Caliente 8 oz: <https://www.bioproductsgt.com/product/vaso-biodegradable-para-bebida-caliente-8-oz/>

Hods. (11 de Febrero de 2021). *Hods*. Obtenido de El Vaso de papel PLA. Vaso fabricado en celulosa con capa de PLA totalmente biodegradable y compostable: <https://www.hods.eu/productos/vaso-de-papel-pla/>

KFC, K. F. (2015). *Vasos comestibles: Scoff-ee cupy*. Reino Unido.

Law, C. f. (2019). *Plastic & Health: The Hidden Costs of a Plastic Planet*.

Maíz, D. (15 de Mayo de 2023). *Del Maíz*. Obtenido de 15 Principales Usos del Maíz y sus derivados: <https://delmaiz.info/usos/>

Maldonado, A. T. (2012). *La complejidad de la problemática ambiental de los residuos*. Bogotá: Universidad nacional. Facultad ciencias económicas.

Manía, P. (23 de Marzo de 2021). *Plástico manía biodegradables y reutilizables*. Obtenido de Tipos de envases biodegradables: <https://www.plasticomania.com/blog/tipos-de-envases-biodegradables/>

Mediterráneo, E. d. (23 de Noviembre de 2020). *Envases del Mediterráneo*. Obtenido de Descubre la mejor guía de los diferentes tipos de vasos de plástico desechables: <https://www.envasesdelmediterraneo.com/blog/tipos-de-vasos-de-plastico/>

Monouso. (2023). *Monouso*. Obtenido de Guía de vasos desechables y reutilizables: <https://www.monouso.es/academy/tipos-de-vasos/>

Net. (23 de Julio de 2022). *Go4mould*. Obtenido de Injection molding process - A complete guide: <https://go4mould.com/injection-molding-process>

Ortega, A. R., & Serrano, B. A. (2021). *Los herederos del maíz*. Ciudad de México: Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas. Obtenido de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/658352/Libro-Los-herederos-del-maiz-INPI.pdf>

Oviedo, A. (12 de Enero de 2021). *Food & Wine en Español*. Obtenido de ¿Cómo afecta el plástico a los alimentos?: <https://foodandwineespanol.com/como-afecta-el-plastico-a-los-alimentos/>

Paliwal, R. L. (2001 a). *Introducción al maíz y su importancia*. Roma: Dirección de Producción y Protección Vegetal de la FAO.

Pandey, S. (1998). *Maize seed industries in developing*. Colorado: Morris ML.

Pardo, C. C. (2018). *ECOPLATOS. Platos desechables fabricados con residuos vegetales*. Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología de la Universidad de la Laguna.

Prime. (17 de Mayo de 2022). *Prime Biopolymers*. Obtenido de Todo lo que debes saber sobre los envases biodegradables para alimentos: <https://primebiopol.com/todo-lo-que-debes-saber-sobre-los-envases-biodegradables-para->

alimentos/#:~:text=Se%20conoce%20como%20envase%20biodegradable,con
diciones%20ambientales%20sin%20generar%20residuos.

PROFECO. (02 de Junio de 2021). *Procuraduría Federal del Consumidor*. Obtenido de: <https://www.gob.mx/profeco/es/articulos/contaminacion-por-plastico?idiom=es>

Quilosa. (25 de Noviembre de 2021). *Quilosa*. Obtenido de Tipos, requisitos y regulación de un adhesivo en el sector alimentario: <https://quilosa.com/industria/adhesivo-alimentario/#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20tipo%20de%20adhesivos%20encontramos,resistencia%20a%20temperaturas%20en%20fr%C3%ADo.>

Ramírez, A. S. (1995). *Procesos de transformación de plásticos por inyección; aplicaciones en materiales de ingeniería*. Cali: Informador tecnico.

Renovapack. (2023). *Renovapack*. Obtenido de Desechables biodegradables, ¿cómo se fabrican?: <https://renovapack.com/fabricacion-desechables-biodegradables/>

Reyes, C. (1990). *El maíz y su cultivo*. México, DF. AGT Editor S.A.

Rivas, M., & Garelli, O. (10 de Marzo de 2021). *Heinrich Boll Stiftung*. Obtenido de Impacto de la contaminación por plásticos en la biodiversidad y patrimonio biocultural de México: <https://mx.boell.org/es/2021/03/10/impacto-de-la-contaminacion-por-plasticos-en-la-biodiversidad-y-patrimonio-biocultural>

Robotics, I. (2023). *IJ Robotics*. Obtenido de Diseño y fabricación de moldes: <https://ij-robotics.com/disenio-fabricacion-moldes/>

Rural, S. d. (14 de Marzo de 2023). *Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural* . Obtenido de Razas de maíz, riqueza del campo mexicano: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/razas-de-maiz-riqueza-del-campo-mexicano#:~:text=Las%20razas%20de%20ma%C3%ADces%20mexicanos,Ja%20lisco%2C%20Palomero%20Toluque%C3%B1o%20y%20Uruape%C3%B1o.>

Salcido, G. H. (2021). *Los herederos del maíz*. Ciudad de México: Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas. Obtenido de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/658352/Libro-Los-herederos-del-maiz-INPI.pdf>

Sicnova. (12 de Mayo de 2022). *Sicnova*. Obtenido de ¿Qué es el PLA en impresión 3D y para qué se utiliza?: <https://sicnova3d.com/blog/experiencias-3d/que-es-el-pla-en-impresion-3d-y-para-que-se-utiliza/>

Soletigroup, L. F. (Julio de 2013). *Label Food*. Obtenido de <https://www.labelfood.es/materiales-etiquetas-y-tipos-de-adhesivo/>

Tech, H. (2013). *Humin Tech. German technology*. Obtenido de Mucílago.

Thecircularcampus. (02 de Noviemnre de 2022). *The circular campus*. Obtenido de Norma UNE-EN 13432:2001 envases y embalajes: <https://www.ecoembesthecircularcampus.com/norma-une-en-134322001->

embalajes/#:~:text=La%20norma%20UNE%2DEN%2013432%3A2001%20ma
rca%20los%20requisitos%20necesarios,Desintegraci%C3%B3n%20durante%
20el%20tratamiento%20biol%C3%B3gico.

Watson, S. (1988). Corn marketing, processing, and utilization. En e. G.F. Sprague & J.W. Dudley, *Corn and corn improvement* (págs. 882-940). Madison, WI, USA: American Society of Agronomy.

ANEXO

Tabla 9. Datos de la prueba 2 de degradación.

Día	Muestra	Peso			Medidas			
		Inicial (g)	Con tierra (g)	Sin tierra (g)	Altura (mm)	Ancho superior (mm)	Ancho Inferior (mm)	Espesor (mm)
0	1	3.3759	/	/	86.9300	55.9700	33.0000	1.5200
	2	3.4485	/	/	86.0800	55.2000	33.2200	1.5190
	3	3.1305	/	/	85.0200	54.6300	32.9100	1.5289
	4	3.3565	/	/	85.3700	53.9200	32.0000	1.5043
2	1	3.3759	14.5788	12.9757	83.7253	53.6214	32.9423	1.4489
	2	3.4485	14.9812	12.2102	83.6282	53.5324	32.5321	1.4742
	3	3.1305	13.3518	12.4269	82.2312	54.4113	31.3213	1.4589
	4	3.3565	13.5035	12.2474	82.7319	51.5223	31.1310	1.4493
4	1	3.3759	13.6580	11.5435	80.6732	51.2422	31.5463	1.3698
	2	3.4485	13.3652	11.5438	80.7327	51.5242	31.4231	1.3295
	3	3.1305	12.7943	12.4363	79.3224	50.5442	30.6321	1.3599
	4	3.3565	12.6743	11.3453	79.8934	49.6534	30.6432	1.3632
6	1	3.3759	13.3797	10.7536	77.3409	49.6342	30.7643	1.2873
	2	3.4485	12.2745	10.7854	77.2345	49.5352	30.6645	1.2594
	3	3.1305	11.6548	11.4695	76.3429	48.8923	29.6453	1.2742
	4	3.3565	11.7538	10.7039	76.3485	47.8922	29.7654	1.2503
8	1	3.3759	12.9550	10.0125	74.8925	47.6432	29.6432	1.2075
	2	3.4485	11.5035	10.2858	74.4392	47.7425	29.6543	1.2094
	3	3.1305	11.0427	10.6544	73.4232	46.7553	28.6430	1.2302
	4	3.3565	11.1282	9.5439	73.3232	45.7532	28.4533	1.2293
10	1	3.3759	11.4923	9.3507	71.8922	45.7453	28.6543	1.1285
	2	3.4485	10.2429	9.7539	71.3248	45.8564	28.5342	1.1493
	3	3.1305	10.1646	9.6438	70.8322	44.7577	27.6700	1.1104
	4	3.3565	10.3621	8.7358	70.4213	43.8540	27.6753	1.1490
12	1	3.3759	10.2103	8.8546	68.8232	43.7564	27.7853	1.0489
	2	3.4485	9.9243	8.8364	68.2380	43.7453	27.7560	1.0482
	3	3.1305	9.1263	8.7326	67.5372	42.7453	26.6420	1.0284
	4	3.3565	9.0253	8.2494	67.2341	41.3345	26.6430	1.0466
14	1	3.3759	9.5431	7.6727	65.8131	41.2411	26.5111	0.9649
	2	3.4485	9.2351	7.2346	65.0212	41.4222	26.6535	0.9733
	3	3.1305	8.5201	7.8934	64.8921	40.7453	25.5323	0.9764
	4	3.3565	8.0132	7.2452	64.5430	39.6542	25.7420	0.9667
16	1	3.3759	8.2047	6.3595	62.8221	39.8959	25.6440	0.8875
	2	3.4485	8.3081	6.8435	62.2424	39.6532	25.3300	0.8862
	3	3.1305	7.7598	6.8785	61.3241	38.6324	24.4310	0.8764
	4	3.3565	7.3126	6.3059	61.4111	37.4326	24.2320	0.8573
18	1	3.3759	7.3251	5.7845	59.5647	37.6553	24.6453	0.8074
	2	3.4485	7.8345	5.7824	59.7473	37.7852	24.6535	0.8173
	3	3.1305	6.8922	5.8202	58.7321	36.8723	23.5300	0.8094
	4	3.3565	6.2039	5.2356	58.4355	35.6232	23.4300	0.8375
20	1	3.3759	6.2394	4.7284	56.7328	35.6521	23.4253	0.7278
	2	3.4485	6.9546	4.2343	56.4320	35.1314	23.3210	0.7392
	3	3.1305	5.2246	4.9242	55.7530	34.5230	22.3321	0.7265
	4	3.3565	5.0310	4.2830	55.9304	33.2353	22.9760	0.7593
22	1	3.3759	5.2458	3.8524	53.2311	33.5322	22.8850	0.6484
	2	3.4485	5.4238	3.9548	53.1312	33.2131	22.0877	0.6431
	3	3.1305	4.3842	3.8238	52.5231	32.4133	21.6543	0.6752
	4	3.3565	4.0245	3.8328	52.6211	31.2230	21.7543	0.6153
24	1	3.3759	4.3149	3.8543	50.5432	31.2131	21.7486	0.5689
	2	3.4485	4.8641	2.9342	50.7430	31.2213	21.4748	0.5374
	3	3.1305	4.0251	2.9544	49.9473	30.6534	20.5231	0.5582
	4	3.3565	3.6514	2.3424	49.0382	29.9419	20.5235	0.5572
26	1	3.3759	3.6437	2.9834	47.7279	29.4242	20.7833	0.4867
	2	3.4485	3.7452	2.1032	47.2590	29.5421	20.7837	0.4972
	3	3.1305	3.6433	1.8459	46.2847	28.5310	19.3267	0.4862
	4	3.3565	3.0132	1.6432	46.1001	27.4110	19.7322	0.4732
28	1	3.3759	2.5352	1.7328	44.4272	27.4334	19.7633	0.4078
	2	3.4485	2.6352	1.0310	44.8329	27.7320	19.6736	0.4273
	3	3.1305	2.4341	1.7700	43.4272	26.1131	17.7549	0.4092
	4	3.3565	1.9539	1.6200	43.5321	25.5330	17.4220	0.4037
30	1	3.3759	1.9500	0.9582	41.3000	25.0100	17.3230	0.3674
	2	3.4485	1.8000	0.7850	40.9952	24.2300	17.0000	0.3272
	3	3.1305	1.1100	0.9028	40.8600	25.4500	16.6500	0.3700
	4	3.3565	0.9700	0.7075	36.5700	23.0900	16.3000	0.3394