



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**EMPLEO DE UN RESIDUO DE LA INDUSTRIA CERVECERA EN EL
DESARROLLO DE RECIPIENTES BIODEGRADABLES
IMPLEMENTANDO RECUBRIMIENTOS PARA MEJORAR SU
IMPERMEABILIDAD**

T E S I S M A N C O M U N A D A

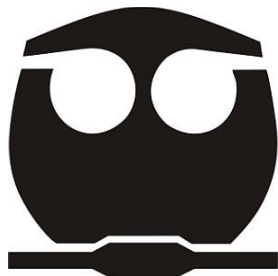
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

QUÍMICA DE ALIMENTOS

PRESENTAN:

AGUIRRE OJEDA MELISSA ANAYANSI

MONTES GUTIÉRREZ SOFÍA GUADALUPE



CD.MX.

2019



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO

Presidente Prof: Agustín Reyo Herrera

Vocal Prof: Landy Irene Ramírez Burgos

Secretario Prof: Rolando Salvador García Gómez

1er. Suplente Prof: Marisela Bernal González

2do. Suplente Prof: María del Carmen Durán Domínguez

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA

LABORATORIOS 301, 302, 303, EDIFICIO E-3 ALIMENTOS Y QUÍMICA AMBIENTAL,
CONJUNTO E, FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM, CIUDAD UNIVERSITARIA

ASESOR DEL TEMA

M. en C. Rolando Salvador García Gómez

SUPERVISOR TÉCNICO

Dra. María del Carmen Durán Domínguez de Bazua

SUSTENTANTES

Aguirre Ojeda Melissa Anayansi

Montes Gutiérrez Sofía Guadalupe

Declaración

“Declaramos conocer el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, plasmado en la Legislación Universitaria. Con base en las definiciones de integridad y honestidad ahí especificadas, aseguramos mediante nuestra firma al calce que el presente trabajo es original y enteramente de nuestra autoría. Todas las citas de, o con referencia a, las obras de otros autores aparecen debida y adecuadamente señaladas, así como acreditadas mediante recursos editoriales convencionales”

Aguirre Ojeda Melissa Anayansi

Montes Gutiérrez Sofía Guadalupe

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	1
1. PROBLEMÁTICA	2
1.1. Introducción	2
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo general	3
1.2.2. Objetivos particulares	3
1.3. Hipótesis	3
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1. Nuevas opciones para contrarrestar el uso de envases derivados del petróleo	4
2.2. México como proveedor de recursos renovables	4
2.2.1. Grano agotado (bagazo de malta)	5
2.2.2. Harina de trigo	5
2.2.3. Harina de yuca	6
2.3. Posibles polímeros aplicados como películas para empaques biodegradables	7
2.3.1. Biopolímeros de quitina-quitosana (Q-Qn)	7
2.3.2. Carboximetilcelulosa (CMC)	8
2.4. Empleo de ceras en la industria de alimentos	9
2.5. Pruebas mecánicas empleadas en los recipientes	10
2.6. Opciones en el proceso de deshidratación (secado) para la obtención de envases biodegradables	11
2.7. Proceso de biodegradación	13
3. METODOLOGÍA	14
3.1. Desarrollo general de la investigación	14
3.2. Adquisición y acondicionamiento de la materia prima (bagazo de malta) para la elaboración de los platos	14
3.3. Elaboración de los platos biodegradables	15
3.4. Elaboración de los diferentes recubrimientos utilizados y su incorporación en los platos biodegradables	16
3.5. Realización de pruebas físicas	20
3.5.1. Prueba de espesor	20
3.5.2. Prueba de resistencia térmica	20
3.5.3. Prueba de ensayo de tracción	20
3.5.4. Prueba de permeabilidad	21
3.5.4.1. Prueba de permeabilidad utilizando dos tipos de alimentos	21
3.5.5. Prueba de biodegradabilidad	22
3.6. Evaluación sensorial de los platos desechables biodegradables elaborados con bagazo de malta y harina de yuca	22
3.6.1. Evaluación sensorial para observar el comportamiento de los platos desechables biodegradables elaborados con bagazo de malta y harina de yuca utilizando dos tipos de alimento	23
3.7. Análisis estadísticos	23

	Página
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
4.1. Prueba de espesor	24
4.2. Prueba de ensayo de tracción	26
4.3. Prueba de resistencia térmica	27
4.4. Prueba de permeabilidad	28
4.5. Prueba de biodegradabilidad	31
4.6. Propuesta de elaboración de platos biodegradables empleando residuos de malta y harina de yuca bajo tres formulaciones diferentes, variando el tipo de secado y el recubrimiento aplicado	34
4.6.1. Prueba de ensayo de tracción	39
4.6.2. Prueba de permeabilidad	42
4.6.3. Prueba de biodegradabilidad	48
4.6.4. Evaluación sensorial de los platos desechables biodegradables elaborados con bagazo de malta y harina de yuca, para evaluar su aceptación por parte del consumidor	52
4.7. Estimación del costo de la elaboración de los recipientes biodegradables	58
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	62
5.1. CONCLUSIONES	62
5.2. RECOMENDACIONES	63
BIBLIOGRAFÍA	65
ANEXOS	76
ANEXO 1. Figuras y tablas complementarias al desarrollo de la investigación	76
ANEXO 2. Acervo fotográfico	83
ANEXO 3. Base de cálculo de los costos indirectos	86
ANEXO 4. Tratamiento de residuos de esta investigación	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	NOMBRE	Página
1	Formulaciones empleadas para la elaboración de los platos biodegradables	15
2	Cantidad de reactivo empleado para la elaboración del compuesto MAC-141®	17
3	Formulación del recubrimiento elaborado con base en cera de candelilla	19
4	Formulación del recubrimiento elaborado con base en cera de carnauba	20
5	Promedio de resultados de la prueba de espesor	25
6	Análisis de varianza (ANDEVA) para la prueba de espesor	25
7	Pruebas de rangos múltiples para la prueba de espesor considerando el tipo de formulación	25
8	Resultados de la prueba de ensayo de tracción	26
9	Análisis de varianza (ANDEVA) para la resistencia a la ruptura considerando el tipo de material	26
10	Prueba de rangos múltiples para la resistencia a la ruptura considerando el tipo de material	27
11	Resultados de la prueba de resistencia térmica	27
12	Promedio de los resultados de la prueba de permeabilidad	28
13	Análisis de varianza (ANDEVA) para la prueba de permeabilidad	28
14	Resultados obtenidos en la prueba de biodegradabilidad	31
15	Análisis de varianza (ANDEVA) para el porcentaje de pérdida de masa	32
16	Formulaciones realizadas para la elaboración de platos biodegradables de residuo de malta (grano agotado) y harina de yuca	35
17	Grosor de los platos elaborados con harina de yuca y grano agotado (bagazo de malta)	36

Tabla	NOMBRE	Página
18	Datos de la resistencia a la ruptura de los platos elaborados con grano agotado y harina de yuca	39
19	Humedad de los platos elaborados con harina de yuca y grano agotado	41
20	Análisis de varianza (ANDEVA) para la resistencia a la ruptura	41
21	Prueba de rangos múltiples para el parámetro de resistencia en los platos	42
22	Datos del tiempo de impermeabilidad de los platos	44
23	Análisis de varianza (ANDEVA) para la impermeabilidad	44
24	Prueba de rangos múltiples para el parámetro de impermeabilidad en los platos referente al factor tipo de recubrimiento	45
25	Prueba de rangos múltiples para el parámetro de impermeabilidad en los platos referente al factor tipo de material	45
26	Análisis de varianza (ANDEVA) para la impermeabilidad de los platos elaborados con base en bagazo de malta y harina de yuca, recubiertos (con dos tipos de recubrimiento) y su blanco, en contacto con dos diferentes alimentos (sopa y helado)	47
27	Valores promedio de 3 repeticiones por cada formulación secada en horno eléctrico y el recubrimiento aplicado	48
28	Valores promedio de 3 repeticiones por cada formulación secada en secador solar y el recubrimiento aplicado	49
29	Análisis de varianza (ANDEVA) para la prueba de biodegradabilidad	51
30	Prueba de rangos múltiples para el parámetro de biodegradabilidad en los platos referente al factor tipo de material	52
31	Análisis de varianza para el atributo de color de los platos	79
32	Diferencia mínima significativa (DMS) para el atributo de color	79
33	Análisis de varianza para el atributo de olor de los platos	80
34	Diferencia mínima significativa (DMS) para el atributo de olor	80

Tabla	NOMBRE	Página
35	Análisis de varianza (ANDEVA) para el atributo de la forma de los platos	81
36	Diferencia mínima significativa (DMS) para el atributo de la forma de los platos	81
37	Análisis de varianza (ANDEVA) para el atributo de textura de los platos	82
38	Diferencia mínima significativa (DMS) para el atributo de textura de los platos	82
39	Resultados obtenidos del ordenamiento de los datos por medio de la escala hedónica de 9 puntos, siendo indicativos de la preferencia del consumidor los datos sombreados	56
40	Costo unitario de la materia prima	59
41	Costo de los gastos indirectos	59
42	Costo del proceso de elaboración de 100 g de recubrimiento de cera de carnauba	59
43	Costo del proceso de elaboración de 100 g de recubrimiento de cera de candelilla	60
44	Costos estimados para un plato de 100 g (chico) por formulación/recubrimiento	60
45	Comparación de precios tomados de una tienda de autoservicio al azar en la Ciudad de México para un paquete de 20 platos elaborados con unigel, platos biodegradables elaborados de bagazo de malta y harina de yuca junto con platos biodegradables comerciales (ecoshell®)	62
46	Base de datos para el cálculo de los costos indirectos	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Nombre	Página
1	Diagrama de flujo general de la investigación	14
2	Diagrama de elaboración de los platos biodegradables de grano agotado y de harina de yuca y/o trigo	16
3	Platos biodegradables de harina de yuca y bagazo de malta secados por horno eléctrico barnizados con recubrimientos de ceras naturales (cera carnauba y cera candelilla) y sin recubrir (blanco) conteniendo diferentes tipos de alimentos: sopa de munición(a) y helado de mamey (b)	76
4	Comportamiento de los platos de bagazo de malta y de harina de yuca en la prueba de biodegradación	76
5	Representación gráfica de la prueba de rangos múltiples para el tiempo de impermeabilidad considerando el tipo de harina (95% de Fisher, <i>LSD</i>)	29
6	Representación gráfica de la prueba de rangos múltiples para el tiempo de impermeabilidad considerando la formulación (95% de Fisher, <i>LSD</i>)	30
7	Representación gráfica de la prueba de rangos múltiples para el tiempo de impermeabilidad considerando el recubrimiento (95% de Fisher, <i>LSD</i>)	30
8	Representación gráfica de la prueba de rangos múltiples sobre el porcentaje de pérdida de masa de los platos durante el tiempo considerando el factor tipo de harina (95% de Fisher, <i>LSD</i>)	33
9	Representación gráfica de la prueba de rangos múltiples sobre el porcentaje de pérdida de masa de los platos durante el tiempo considerando la formulación (95% de Fisher, <i>LSD</i>)	33
10	Representación gráfica de la prueba de rangos múltiples sobre el porcentaje de pérdida de masa de los platos durante el tiempo considerando el recubrimiento (95% de Fisher, <i>LSD</i>)	33
11	Platos biodegradables después de un secado de 160°C durante 3h	35
12	Platos biodegradables después de 24-48h en un secador solar	37
13	Aspecto de los platos de bagazo de malta y de la harina de yuca sometidos a dos tipos de secado (horno y secador solar), barnizados con dos tipos de recubrimiento (carnauba y candelilla)	38

Figura	Nombre	Página
14	Representación gráfica de la permeabilidad de los platos utilizando dos recubrimientos distintos y un blanco (sin recubrimiento)	43
15	Representación gráfica del comportamiento de la permeabilidad de los platos recubiertos (dos tipos de recubrimiento) y su control, en contacto con un alimento líquido (sopa)	46
16	Representación gráfica del comportamiento de la permeabilidad de los platos recubiertos (dos tipos de recubrimiento) y su control, en contacto con un alimento semisólido (helado)	47
17	Representación gráfica de los resultados de la prueba de biodegradabilidad de las muestras blanco sin recubrimiento en un periodo de 21 días, incluyendo al unigel	50
18	Representación gráfica de los resultados de la prueba de biodegradabilidad de las muestras con el recubrimiento elaborado con base en cera de carnauba, en un periodo de 21 días, incluyendo al unigel	50
19	Representación gráfica de los resultados de la prueba de biodegradabilidad de las muestras con el recubrimiento elaborado con base en cera candelilla, en un periodo de 21 días, incluyendo al unigel	51
20	Representación gráfica del rango de edad entre los consumidores	53
21	Representación gráfica del género de los consumidores	53
22	Representación gráfica del uso de platos desechables de unigel y biodegradables comerciales por parte de los consumidores	54
23	Representación gráfica de la frecuencia de uso de platos desechables de unigel y biodegradables comerciales por parte de los consumidores	54
24	Escala hedónica de 9 puntos para la evaluación con consumidores	77
25	Representación del porcentaje de consumidores con respecto a la decisión de su compra por el hecho de conocer el tiempo de degradación del producto	58
26	Relación entre los precios que estaría dispuesto a pagar el consumidor por una presentación de 20 platos chicos	58
27	Comparación del costo por plato por tipo de formulación	61
28	Comparación del costo por plato por recubrimiento	61

Figura	Nombre	Página
29	Ejemplo de cálculo para la obtención del valor de diferencia mínima significativa, DMS	77
30	Cuestionario presentado a los jueces no entrenados para realizar la evaluación sensorial	78

Glosario: Abreviaturas, siglas, unidades, nombres poco comunes

Abreviatura/ Siglas	Significado
ANAPE	Asociación Nacional de Poliestireno Expandido
ANDEVA (ANOVA)	Análisis de varianza (<i>Analysis of variance</i> , por sus siglas en inglés)
ASTM	Método Estadounidense de Prueba Estándar para Propiedades de Tracción de Plásticos (<i>American Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics</i> , por sus siglas en inglés)
CIATEC	Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas
CMC	Carboximetilcelulosa
DMS	Diferencia Mínima Significativa
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (<i>Food and Agriculture Organization</i> , por sus siglas en inglés)
FEDNA	Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal
Agave	Planta de hojas radicales largas, triangulares, carnosas, terminadas en un fuerte aguijón, y flores amarillentas en ramillete sobre un bohordo central; es originaria de México; se emplea en la fabricación de fibras textiles y en la elaboración del pulque, el mezcal y el tequila
FUNIBER	Fundación Universitaria Iberoamericana
LSD	<i>Least Significant Difference</i>
OEIDRUS	Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable de Baja California
PEG	Polietilenglicol
Prueba sensorial "flash"	Método sensorial descriptivo rápido. En este método los evaluadores reciben un conjunto de productos y se les pide que generen individualmente descriptores sensoriales que distingan a los productos. Las ventajas de este método son que

Abreviatura/ Siglas	Significado
	consume menos tiempo y es más rentable en comparación con otros métodos de análisis descriptivos
Q-Qn	Quitina-Quitosa ¹
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SIAP	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera

Unidades	
°C	Grado Celsius
cm	Unidad de longitud en centímetros
g	Unidad de masa en gramos
K	Kelvin
kg	Unidad de masa en kilogramos
L	Unidad de volumen en litros
min	Unidad de tiempo en minutos
mL	Unidad de volumen en mililitros
mm	Unidad de milímetros
MPa	Unidad de megapascals
rpm	Unidad de rapidez por minuto
%	Porcentaje

Nota: Esta tesis usa el punto decimal (DOF, 2009)

¹ Las gomas en química tienen la terminación -ana, dextrana, pululana, etc. Por tanto, debe llamarse quitosa, no quitosano ni quitosán, ni quitosan (nota de la supervisora técnica)

RESUMEN

En los últimos años el incremento del uso de envases elaborados con poliestireno expandido (unicel) ha traído consecuencias ambientales graves, ya que éstos son altamente contaminantes. Por ello, encontrar opciones amigables con el ambiente para su sustitución es un reto en estos días. México ha crecido en el área de la industria cervecera en los últimos años, y con esto también ha aumentado la cantidad de desechos que se producen de este proceso, siendo el más abundante el grano agotado. Se ha encontrado que este residuo, además de ser usado como alimento para ganado puede ser empleado como sustituto de los plásticos, especialmente en la elaboración de envases desechables. Por ello, en este proyecto se utilizó este residuo como parte de la materia prima para la elaboración de platos biodegradables desechables, en combinación con harina de yuca y/o harina de trigo, además de otros aditivos. Para este proyecto de elaboración de recipientes biodegradables, se trabajaron 3 formulaciones diferentes, adicionando 4 tipos de recubrimientos orgánicos e implementando 2 tipos de secado. Inicialmente, en una primera etapa se evaluaron 2 tipos de harina (yuca y trigo integral), con 2 recubrimientos (Quitina-Quitosa, Q-Qn y carboximetilcelulosa, CMC), sometiéndose a diferentes pruebas físicas: espesor, resistencia térmica, ensayo de tracción, permeabilidad y biodegradabilidad. Entre los resultados más sobresalientes de esta parte resultó que los recipientes elaborados con la formulación de harina de yuca y secados en un horno de convección presentaron mejores resultados en cuanto a permeabilidad que los que contenían en su formulación harina de trigo con el recubrimiento de Q-Qn, incrementándose la impermeabilidad del plato al someterse en un ambiente líquido por tan solo 10 minutos. En una segunda etapa y manejando el plato elaborado con harina de yuca y secado tanto en un horno de convección como en un secador solar, se emplearon 2 recubrimientos alternos a la Q-Qn y a la CMC, la cera de carnauba y la cera de candelilla. Al realizarse las pruebas físicas resultó que el grosor del plato, el tipo de secado implementado y la formulación utilizada para elaborar los platos afectó la resistencia y la permeabilidad del mismo. Al realizarse la evaluación sensorial con consumidores no entrenados se obtuvo que prefirieron el plato elaborado con la formulación 1 (secado en horno de convección) por su color y olor, por otra parte, la forma y textura presente en el plato desechable biodegradable comercial fue el que agradó más a los consumidores, además la mayoría de los consumidores evaluados (82%) estarían dispuestos a comprar aquel plato que tuviera un tiempo de degradación entre 20-60 días y que estarían dispuestos a pagar por un paquete de 20 platos alrededor de entre veinte y cincuenta pesos. El análisis de costos de la producción de este tipo de recipientes, se llevó a cabo para evaluar su rentabilidad y aún más importante si podrán sustituir al unicel en su uso cotidiano. Resultó que el plato elaborado con la formulación 2 (harina de yuca/sin recubrimiento), fue el que presentó un mejor costo-beneficio, sobre los demás. Sin embargo, en cuanto a costos no resultó ser tan rentable en comparación con el unicel y lo que estarían dispuestos a pagar los consumidores.

Palabras clave: Grano agotado, envases biodegradables, harina de yuca, recubrimiento, permeabilidad.

1. PROBLEMÁTICA

1.1. Introducción

El uso excesivo de envases desechables elaborados con poliestireno expandido (unicel) es un problema grave que se tiene que abatir. El impacto negativo que provocan en el ambiente las toneladas de desechos a nivel mundial en el mar, ríos, lagunas, tiraderos a cielo abierto y municipales, provocan graves estragos ecológicos (SEMARNAT, 2017). El problema principal que se presenta con este tipo de envases es que son altamente contaminantes y, a diferencia de otros países que reciclan entre el 30 y el 60% de la basura de este tipo, México apenas recupera el 12%, siendo un problema latente y grave para el ambiente (Vega, 2016). Dado el contexto anterior, es necesario encontrar alternativas ecológicas para disminuir el uso de este tipo de recipientes ya que en la actualidad no existen alternativas económicamente viables capaces de competir con los costos de los recipientes elaborados a partir de poliestireno expandido conocido comercialmente como "Unicel" y que además sean amigables con el ambiente. Por ello, lo que se propuso en la presente investigación fue el elaborar platos desechables que fueran atractivos para el consumidor por sus características visuales y ecológico-amigables con el ambiente. Para realizar lo anterior, se empleó un residuo de la industria cervecera (grano agotado), que, al adicionarlo con otros ingredientes alimentarios le confirieron una mayor degradabilidad y dureza en relación con los platos de poliestireno expandido existentes en el mercado. Así mismo, también se probaron recubrimientos naturales a partir de residuos de camarón y con ceras naturales de carnauba y de candelilla con el objetivo de mejorar la impermeabilidad del mismo, aumentando de esta manera su resistencia ante la adición de cualquier tipo de alimento sin afectar su tiempo de degradabilidad. Finalmente se realizó una evaluación sensorial apoyados con 100 jueces no entrenados con la finalidad de evaluar si los recipientes elaborado cumplía con sus expectativas y se hizo un estimado preliminar de costos para compararlos con algunos existentes en el mercado elaborados con otros materiales biodegradables. A continuación, se propondrá el objetivo general de esta investigación dentro del marco de algunos objetivos específicos.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

- ✓ Elaborar platos biodegradables a partir de un residuo de malta (grano agotado) de la industria cervecera empleando recubrimientos naturales para mejorar su impermeabilidad.

1.2.2. Objetivos particulares

- ✓ Evaluar 3 formulaciones elaboradas con harina de yuca y trigo capaces de obtener las mejores propiedades mecánicas y físicas en los platos.
- ✓ Comparar la existencia de diferencias significativa entre las formulaciones realizadas con respecto a la proporción de los ingredientes empleados a partir de un análisis de varianza con un nivel de confianza del 95%.
- ✓ Elaborar 4 recubrimientos naturales a partir de residuos de camarón, un hidrocoloide (CMC), cera de carnauba y cera de candelilla evaluando aquellos que logren en el recipiente una mayor impermeabilidad.
- ✓ Observar la existencia de cambios en el proceso de elaboración de los platos biodegradables variando el tipo de secado (horno eléctrico y un secador solar tipo casero).
- ✓ Establecer con base en los resultados y los costos, cuál o cuáles de las formulación(es) fue(ron) la(s) que resulte(n) con un mejor costo-beneficio.

1.3. HIPÓTESIS

Utilizando un subproducto (bagazo de malta) de la industria cervecera se podrán elaborar platos biodegradables desechables, especialmente al incorporar en ellos un recubrimiento natural que mejore su impermeabilidad.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Nuevas opciones para contrarrestar el uso de envases derivados del petróleo

El consumo frecuente de envases derivados del petróleo se ha convertido en un importante problema ambiental en los últimos años debido al uso de materias primas no renovables y a la no biodegradabilidad del producto, lo que ha causado un gran daño al ambiente. El poliestireno expandido (EPS) es el material comúnmente más utilizado en bandejas para almacenar alimentos debido a su alta resistencia, baja densidad, alta impermeabilidad y bajo costo de producción, sin embargo, este material de empaque es un derivado del petróleo y puede requerir varios cientos de años para su degradación (Chiellini et al., 2009, Glenn et al., 2001, Vercelheze et al., 2013).

Los envases biodegradables producidos a partir de fuentes renovables son una alternativa a los envases de EPS convencionales. El almidón se ha utilizado ampliamente para producir materiales biodegradables debido a su naturaleza abundante y renovable, bajo costo, baja densidad, baja toxicidad y biodegradabilidad (Stevens et al., 2010), sin embargo, los materiales producidos exclusivamente a partir de almidón tienen problemas conocidos, que incluyen propiedades mecánicas pobres y una hidrofiliidad ineficiente, lo cual hace necesario el uso de plastificantes y aditivos para mejorar sus propiedades fisicoquímicas (Ceron, 2013). Recientemente se ha observado que los residuos agroindustriales están surgiendo como sustitutos prometedores para los plásticos convencionales. El uso adecuado de estos desechos puede generar productos relevantes con aplicaciones en la industria alimentaria (Gaxiola, 2017).

2.2 México como proveedor de recursos naturales renovables

Actualmente, México tiene la oportunidad de crear una industria basada en recursos no petroleros a través de la explotación sostenible de sus recursos naturales y de optimizar su agroindustria para enfocarla a la manufactura de productos con propiedades plastificantes sostenibles gracias a la diversidad de sus ecosistemas. Estos recursos naturales incluyen varios tipos de almidones, principalmente almidón de yuca y almidón de maíz, así como materiales lignocelulósicos provenientes de varias fuentes como son el pino, la paulownia, el coco, el agave, etc. (CIATEC, 2018; Departamento de Estudios

Económicos, 1954). También se ha visto que otros materiales, como los residuos agroindustriales, han tenido buenos resultados para la elaboración de estos productos plásticos. Algunos ejemplos de estos residuos son el bagazo de caña, el bagazo de yuca y el bagazo de malta.

2.2.1 Grano agotado (bagazo de malta)

La industria cervecera constituye una de las agroindustrias más grandes y rentables del mundo. México ocupa a nivel mundial el cuarto lugar como productor de una lista de 125 países, siendo el quinceavo como importador (Cerveceros de México, 2017). Debido a que las exportaciones aumentaron un 13% con alrededor de 32 millones de hectolitros, México se encuentra como el principal exportador en el mundo, aumentando de manera proporcional los residuos/subproductos de esta industria en constante crecimiento. Dentro de los principales residuos están: a) restos de malta (conocidos como secos), b) el germen de malta y la raicilla (compuestos que son generados posteriormente al proceso de malteo de la cebada), c) la levadura y d) el bagazo de malta o grano agotado (El Economista, 2018; Guerrero-Rodríguez et al., 2011).

Según Cordeiro et al. (2013), el bagazo de malta es un subproducto de la elaboración de cerveza y es un componente del material sólido producido a partir de la filtración del mosto antes de hervir. Aunque la composición del bagazo varía con la especie de la cebada, así como los procesos de molienda, macerado y clarificación (Ramayo-Cruz, 2018), este subproducto sólido consiste principalmente de cáscaras y pulpa sobrantes de malta y grano, junto con algunos aditivos. Su composición es de 15-26.2% de proteínas y 70% de fibras (Ramayo-Cruz, 2018). La malta triturada conforma el 85% del producto total generado por la industria cervecera y, por lo tanto, es considerado el subproducto más importante de este proceso. Este subproducto puede ser utilizado como sustituto de plásticos, especialmente en la elaboración de envases biodegradables.

2.2.2 Harina de trigo

El trigo es uno de los principales granos para la alimentación humana. La producción nacional de trigo durante 2012-2017 fue de 3.7 millones de toneladas, concentrándose en los estados de Sonora, Baja California, Guanajuato, Sinaloa, Michoacán y Jalisco

(Atlas Agroalimentario, 2018). Este cereal requiere, para su consumo humano un proceso previo de transformación que comienza con la molienda, dando como resultado la producción de harina utilizada como materia prima en algunas industrias como la panificadora entre otras (OEIDRUS, 2018).

De acuerdo con la literatura, los componentes de la harina de trigo son: almidón (70–75%), agua (14%) y proteínas (10-12%), además de polisacáridos (2-3%) y lípidos (2%) (De la Vega-Ruiz, 2009). Por su alto contenido de almidón las harinas de trigo son una materia prima óptima para producir materiales biodegradables. Dada su importancia comercial, sus propiedades de extensibilidad y su fácil adquisición, fue considerada una de las materias primas en la elaboración de los platos desechables elaborados en este proyecto.

2.2.3 Harina de yuca

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es originaria de América Latina, en específico de la zona central, también conocida como guacamote y en Brasil, Argentina y otros países de Sudamérica se conoce como mandioca. Su adaptación a diversos ecosistemas, su potencial de producción, la diversidad de sus mercados y usos finales la han convertido en una de las bases de la alimentación para la población rural y en una alternativa de comercialización en centros urbanos (Ordóñez, 2010).

En 2017, la producción nacional de yuca en México, fue de 18.9 mil toneladas, siendo el estado de Tabasco su principal centro de producción al aportar 13.3 mil toneladas, seguido por Michoacán y Morelos, con 3.3 y 1.8 mil toneladas, respectivamente (SIAP, 2018).

La yuca presenta un gran potencial por el uso que se le da, ya sea como producto comestible o para su uso industrial en la obtención de almidón (Contreras, 1978). De acuerdo con la FAO, la yuca es considerada como la fuente de extracción de almidón más económica (FAO, 2006).

Las raíces de la yuca pueden convertirse en una harina de alta calidad, materia prima de especial interés para numerosas industrias de alimentos debido a su composición. Una composición promedio de la harina obtenida a partir de una variedad comercial de yuca

es: almidón (84–86%), agua (10-12%), proteínas (1-3%) y lípidos (0.5-1%) (Gallego y García, 2015).

En diversos trabajos (Mello y Mali 2014, Navia et al, 2015, Salgado et al., 2008, Vercelheze et al., 2012) se ha demostrado que la harina de yuca es una fuente útil para la elaboración de materiales biodegradables, por lo que en este trabajo dada su fácil adquisición comercial y sus propiedades gelificantes, fue considerada como una de las materias primas para la elaboración de los platos desechables biodegradables empleados en este trabajo.

2.3. Posibles polímeros aplicados como películas para empaques biodegradables

Los polímeros son macromoléculas formadas por la unión repetida de una o varias moléculas unidas por enlaces covalentes utilizados para la elaboración de películas (Beltrán y Marcilla, 2011). Pueden ser de origen sintético (ácido poliláctico (PLA)) o de origen natural (proteínas, almidón, lípidos, quitosana, etc.). Entre los polímeros de origen natural se encuentran el colágeno, el gluten de trigo, la queratina, las ceras, los derivados de la celulosa y el almidón, entre otros (Tharanathan, 2003).

2.3.1. Biopolímeros de quitina-quitosana (Q-Qn)

La quitina es un biopolímero muy abundante, está distribuido ampliamente en la naturaleza y representa la fuente de polímeros más abundante después de la celulosa (García, 2008). Sus fuentes principales son los exoesqueletos (caparzones) de muchos crustáceos, alas de insectos (escarabajos, cucarachas), paredes celulares de hongos, algas, etc. Sin embargo, la producción industrial de este biomaterial prácticamente se basa en el tratamiento de las conchas de diversos tipos de crustáceos (camarones, langostas, langostinos, cangrejos y krill) debido a la facilidad de encontrar estos materiales como desecho de las plantas procesadoras de estas especies (Lárez-Velásquez, 2006). La desacetilación de la quitina da la formación de la quitosana, un poliglúcido más versátil por su solubilidad en agua y con mayor reactividad química. Para poder obtener el biopolímero quitina-quitosana de manera tradicional se debe tratar la quitina con una disolución concentrada de hidróxido de sodio o potasio caliente, ocurriendo la hidrólisis del enlace N-acetil de la quitina (Escobar-Sierra et al., 2013).

Cómo una alternativa ecológica se ha patentado en los Laboratorios 301, 302 y 303 de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental (LIQAYQA) de la Facultad de Química de la UNAM, un disolvente al que se le ha denominado MAC-141[®] debido a que está elaborado bajo las siguientes proporciones de disolventes 1:4:1 (metanol, agua, cloruro de calcio respectivamente) y el cual, ha resultado ser el disolvente adecuado para solubilizar la quitina, teniéndose la ventaja de poder ser recuperado después de haberse utilizado, reduciendo de esta manera, la generación de residuos, además de que no presenta un efecto negativo sobre la masa molecular ni en el grado de acetilación de las moléculas de quitina (Flores-Ortega, 2004).

El biopolímero extraído de los crustáceos (quitina-quitosana), debido a los beneficios que ofrece a la industria alimentaria, es utilizada en numerosas aplicaciones. Las más importantes son la retención de humedad, el aumento de la viscosidad, la neutralización, la formación de emulsiones, geles y espumas, la disminución del crecimiento microbiano, la estabilización de propiedades como consistencia, color y actividad vitamínica, el reforzamiento de la acción de materias primas auxiliares como espesantes, conservantes, componentes albuminosos y en la elaboración de alimentos nutracéuticos entre otros (Escobar-Sierra et al., 2013). También se usa en aplicaciones médicas, farmacéuticas, cosméticas, tratamiento de aguas, agricultura y en la formación de coberturas y películas biodegradables (Nakamatsu, 2012). Dadas las características de solubilidad de la quitosana, el disolvente MAC-141[®] se empleó junto con harina parcialmente desproteinizada de cefalotórax de camarón (CPD) para usarse como recubrimiento interno de los platos y evaluar de esta forma su impermeabilidad frente a diversos tipos de alimentos.

2.3.2 Carboximetilcelulosa (CMC)

La celulosa es el polímero más abundante en la naturaleza. Está constituido por cadenas lineales de glucosa unidas con enlaces β -(1-4). Para reducir su solubilidad en agua, la celulosa es tratada químicamente dando lugar a distintos derivados que son los que se utilizan para la formación de recubrimientos como la metilcelulosa, la carboximetilcelulosa, la hidroxipropilcelulosa o la hidroxipropilmetilcelulosa (Dahall, 2013). Estos derivados presentan una muy buena capacidad para formar películas

flexibles, moderadamente resistentes, transparentes y con impermeabilidad al agua y a la transferencia de gases (O_2 y CO_2) (De Ancos et al., 2015).

La carboximetilcelulosa es un polisacárido aniónico obtenido por la hidrólisis ácida y posterior alcalinización de la celulosa (Bayarri et al., 2009), es considerada una goma semisintética que forma una película al solidificar (Baduí-Dergal, 2006). Actúa como ligante, espesante, estabilizante, emulsificante, mejorador de viscosidad, textura, como agente retenedor de agua y agente suspensor de partículas (Girard et al., 2002); además, produce materiales transparentes, lo que es una cualidad importante en los recubrimientos pues permite mantener la apariencia de los productos. En la industria de los alimentos es uno de los hidrocoloides más utilizados como aditivo debido a sus propiedades, abundancia, accesibilidad y bajo costo. En este trabajo debido a sus propiedades de captar agua y por su transparencia fue utilizada como recubrimiento interno de los platos elaborados con bagazo de malta.

2.4. Empleo de ceras en la industria de alimentos

Las ceras son mezclas de ésteres de alta masa molecular, constituidas por ácidos grasos y alcoholes monohidroxilados, son abundantes en la naturaleza, por lo que las mismas pueden ser obtenidas de fuentes animales y plantas (Gómez, 2017).

a) Cera de candelilla

La cera de candelilla proviene de la planta *Euphorbia antisyphilitica* Zucc, arbusto que mide entre 20 y 110 cm de altura, de tallos verdes y hojas pequeñas y escasas, tiene una capa cerosa que la protege de la desecación (Rojas-Molina, 2011; Villa-Castorena et al., 2010). Se utiliza para la fabricación de cosméticos, crayones, velas, tintas, anticorrosivos, lubricantes, adhesivos, cementos y aislantes (Ascacio-Valdés, 2010). En su forma cruda, la cera de candelilla es de color café y cambia a un color amarillo, una vez refinada. Es de estructura indefinida y su dureza es de un grado intermedio entre la de la cera de carnauba y la de abeja. Presenta varios usos en confitería y en alimentos, también es utilizada en la elaboración de películas comestibles (Alvarado et al., 2013).

b) Cera de carnauba

Se obtiene originariamente de las hojas de la palma *Copernicia prunifera* endémica de Sudamérica. Su alto punto de fusión, su dureza, su capacidad para dar brillo de gran calidad y duración, así como su compatibilidad en las mezclas hacen de la carnauba la cera más importante del grupo vegetal (European Commission, 2014).

Dadas las características de impermeabilidad que poseen ambas ceras, en este estudio se emplearon para evaluar con cuál de las dos ceras se tenía mayor resistencia al paso de alimentos líquidos en los recipientes.

2.5. Pruebas mecánicas empleadas en los recipientes

El experimento básico para determinar las propiedades mecánicas de un material es el denominado ensayo de tracción. Este ensayo consiste en deformar la muestra ensayada (denominada probeta) hasta la rotura incrementando gradualmente la tensión que se le aplica uniaxialmente (en una sola dirección) a lo largo del eje longitudinal de la muestra. La muestra se sostiene a la máquina de tracción por sus extremos a través de mordazas o soportes que, a su vez, la someten a la deformación a una velocidad constante a través de un sistema de palancas, mecánico o hidráulico. La máquina mide simultáneamente la fuerza aplicada (por medio de un dispositivo denominado celda de carga) y la deformación resultante (por medio de un extensómetro) (Duffó, 2011).

Esta prueba se ha convertido en una de las más utilizadas y eficaces para obtener información sobre las propiedades mecánicas de un material. Dentro de estas propiedades se encuentra el esfuerzo de cedencia o punto de cedencia, el cual se define como el punto en el que el material llega a su límite elástico, es decir, el esfuerzo máximo que puede sufrir un cuerpo sin que la deformación sea permanente, generalmente es interpretado como una resistencia a la rotura (Lázaro et al., 2016).

El estudio del comportamiento mecánico de las formulaciones utilizadas para elaborar los recipientes se efectuó de acuerdo con la norma ASTM D638-14 “Método de Prueba Estándar para Propiedades de Tracción de Plásticos” (ASTM, 2014).

2.6. Opciones en el proceso de deshidratación (secado) para la obtención de envases biodegradables

Algunos estudios (Glenn y Orts, 2001; Schmidt, 2006; Shey et al., 2006) han demostrado que es posible obtener recipientes a partir de mezclas de almidón, fibras y agua mediante procesos como el termoprensado, de modo que pueden ser una alternativa a los envases de poliestireno expandido, sin embargo, al aplicar otros procesos de deshidratación como el horneado, se puede conseguir el mismo resultado (Salgado et al., 2008, Shogren et al., 2002). Por lo anteriormente descrito y por cuestiones de accesibilidad de equipo se decidió llevar a cabo este proceso utilizando un horno eléctrico. Además, se tomó en consideración que la deshidratación es un proceso costoso, el cual representa entre el 35 y el 40% del costo total de producción (Bayona, 2011). Por ello, se pensó en utilizar un método alternativo. Entre los procesos de secado alternativos se encuentra el secador solar, el cual, tiene el propósito de reducir el consumo de energía, aprovechar la energía solar y mejorar la calidad del producto (Almada, 2005).

En el proceso de deshidratación es muy importante el flujo de aire, ya que si no se cuenta con la adecuada circulación puede afectarse el secado del producto. Generalmente la temperatura y la corriente de aire decaen conforme avanza el proceso de deshidratación. En un principio, el aire que circula dentro del deshidratador es utilizado para quitar la humedad de evaporación del producto y la circulación se logra por medio de dos métodos; a) circulación por convección natural y b) circulación forzada. En la primera, el aire es movido por las diferencias de temperatura en las distintas partes del equipo lo cual, promueve la convección térmica del aire, mientras que, en la circulación forzada, el flujo de aire es movido por un ventilador que consume energía mecánica o eléctrica (Phule, 2012).

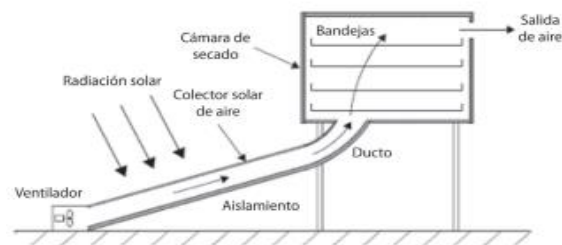
El secado solar es una variable altamente rentable de la explotación de las fuentes renovables de energía, caracterizada por su alto potencial energético, económico, social y ecológico, contribuyendo a la conservación del ambiente pues sustituye al consumo de electricidad y de combustibles fósiles (gasolina, carbón, gas, entre otros) (Bergues-Ricardo, 2013). Un deshidratador o secador solar es un aparato que permite aprovechar la energía solar para secar un producto con resultados de similar o superior calidad a los

obtenidos mediante el secado natural, pero en menor tiempo. Algunos secadores solares se dividen en 2 tipos: el directo e indirecto.

El deshidratador solar directo consta del cuerpo también llamado gabinete o cámara, tiene una entrada de aire y una salida, al igual debe tener un gran orificio o abertura en el cual se coloca un vidrio o plástico transparente para dejar pasar los rayos solares al interior del secador, aquí, el aire que entra al gabinete está siendo calentado por los rayos solares dentro del mismo y, al igual que ocurre naturalmente con los rayos solares, estos quedan directamente sobre el producto a deshidratar, con esto se puede tener una ventaja ya que el tiempo de secado se reduciría, pero también se presenta una desventaja, el producto puede decolorarse al estar expuesto al sol.

El deshidratador solar indirecto cuenta con un gabinete y un colector los cuales van unidos entre sí, y al igual que el secador directo tiene entradas y salidas de aire. En este modelo, el colector es el que tiene el orificio para dejar pasar los rayos solares al interior. En el deshidratador solar indirecto, el aire que va entrando al colector es previamente calentado en el propio sistema. Esto hace que, al llegar al gabinete el aire ya esté caliente. Su efecto puede ser bueno y malo: El secado se acelera pero el producto puede sufrir daño si no se controla. También reduce la decoloración del producto a secar (Guevara y Sabas, 2017).

En este proyecto además de llevar a cabo el proceso de secado por medio de un horno eléctrico se eligió trabajar con una alternativa de secado utilizando un secador solar directo por convección natural para realizar el secado de algunos de los platos elaborados, debido a la accesibilidad y sencillez que conlleva su construcción.



García et al. (2012)

Ilustración 1. Esquema de un deshidratador solar indirecto

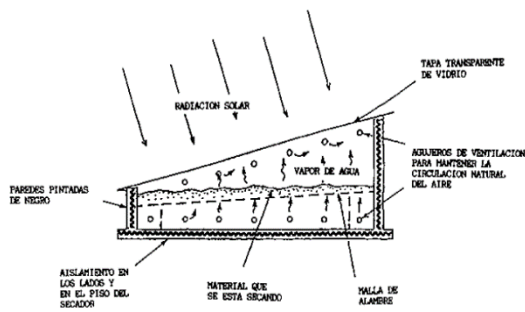


Ilustración 2. Esquema de un deshidratador solar directo

Besora (2017)

Hay otro tipo de secador solar que puede operar con gas lo que hace que trabaje continuamente (Espinosa-Aquino, 2001).

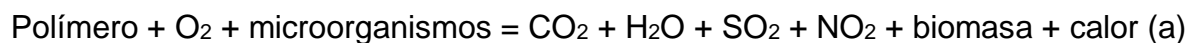
2.7 Proceso de biodegradación

La biodegradación es el resultado de los procesos de digestión, asimilación y metabolización de un compuesto orgánico llevado a cabo por bacterias, hongos y otros organismos, es decir, se trata de procesos que describen la mineralización de las estructuras orgánicas por medio de microorganismos. Estos microorganismos convierten los bioplásticos en dióxido de carbono, metano, agua y biomasa (European Plastics Converters, 2009).

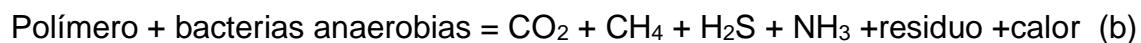
Los procesos de biodegradación comprenden dos categorías: la biodegradación primaria y la biodegradación secundaria o mineralización. Durante la biodegradación primaria se producen alteraciones estructurales en la molécula original, lo que hace que pierda sus propiedades físico-químicas. Durante la biodegradación secundaria, la sustancia química es metabolizada por los microorganismos como fuente de carbono y energía, siendo completamente transformada en compuestos inorgánicos. La descomposición puede llevarse a cabo en presencia de oxígeno (aerobia) o en su ausencia (anaerobia) (Pardo et al., 2011).

En los materiales degradables el proceso biodegradativo puede verificarse en condiciones anaerobias o aerobias como se puede apreciar en las siguientes reacciones:

- *Reacción en medio aerobio*



- *Reacción en medio anaerobio*



Los factores que influyen en el proceso biodegradativo son las condiciones del medio (pH, temperatura, humedad, etc.), las características del polímero (masa molecular, enlaces químicos susceptibles a la hidrólisis, presencia de monómero residual o aditivos, etc.), dimensiones del material y las características de los microorganismos (cantidad, tipo y fuente) (Rodríguez, 2012).

A continuación, se expondrá la metodología seguida durante la fase experimental

3. METODOLOGÍA

3.1. Desarrollo general de la investigación

En la **Figura 1** se describe de manera general cada una de las etapas realizadas durante la investigación.

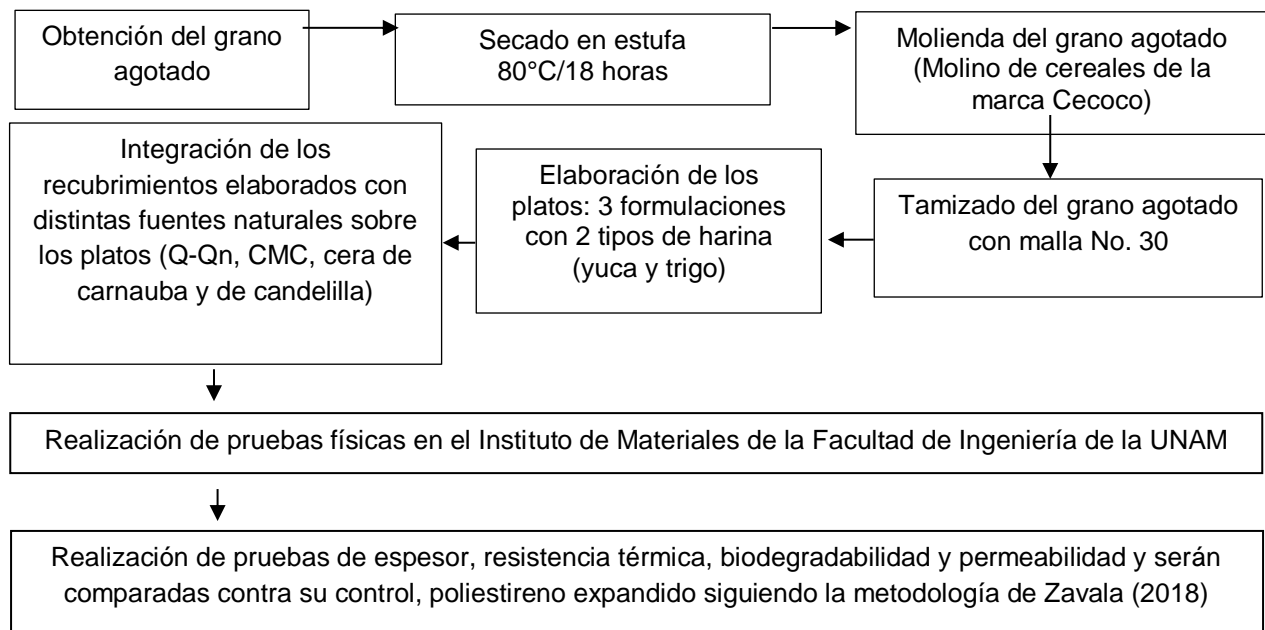


Figura 1. Diagrama de flujo general de la investigación

3.2. Adquisición y acondicionamiento de la materia prima (bagazo de malta) para la elaboración de los platos

El bagazo de malta fue proporcionado por el profesor Agustín Reyo Herrera, quien es el encargado del módulo de cerveza en el Laboratorio de Tecnología de Alimentos en la planta del Laboratorio de Ingeniería Química en la Facultad de Química de la UNAM. La

metodología seguida para el acondicionamiento del grano agotado, fue la seguida por Zavala (2018): Una vez obtenido el grano agotado fue secado en una estufa Felisa modelo F-293D a una temperatura de 80°C por 18h sobre charolas de acero inoxidable moviéndose constantemente con una pala de madera para evitar que la malta se quemara al secarse. Posteriormente, la malta seca fue molida 2 veces en un molino de café de la marca Hamilton Beach hasta conseguir el tamaño de partícula deseado (Tamiz No. 30, tamaño de partícula 0.55mm). La harina de malta fue almacenada en bolsas de plástico oscuro bajo refrigeración para evitar su degradación prematura.

3.3. Elaboración de los platos biodegradables

La metodología para elaborar los platos biodegradables fue realizada con base en los residuos de malta con harina de yuca y/o harina de trigo establecida por Zavala (2018), pero con algunas modificaciones a cantidad íntegras. Para ello, se propuso trabajar con tres harinas con la finalidad de elegir aquellas que presentaran una mejor cohesión con el resto de los ingredientes al elaborar los platos, siguiendo las proporciones de la **Tabla 1**².

Tabla 1. Formulaciones empleadas para la elaboración de los platos biodegradables*

Ingredientes	Formulación		
	1	2	3
Grano agotado	5%	23%	36%
Harina (yuca/trigo)	45%	23%	4%
Goma guar	4%	2%	2%
Glicerina	8%	7%	6%
Agua	38%	45%	52%
TOTAL	100%	100%	100%

*Basadas en Mello y Mali (2014)

² De acuerdo con los asesores y supervisora técnica se sugirieron estas proporciones con objeto de poder comparar los resultados de esta investigación con las previas aunque habría sido mejor evaluar solamente el efecto del uso de grano agotado

De manera concisa en la **Figura 2** se aprecia la secuencia de pasos que se siguieron para la elaboración de los platos biodegradables

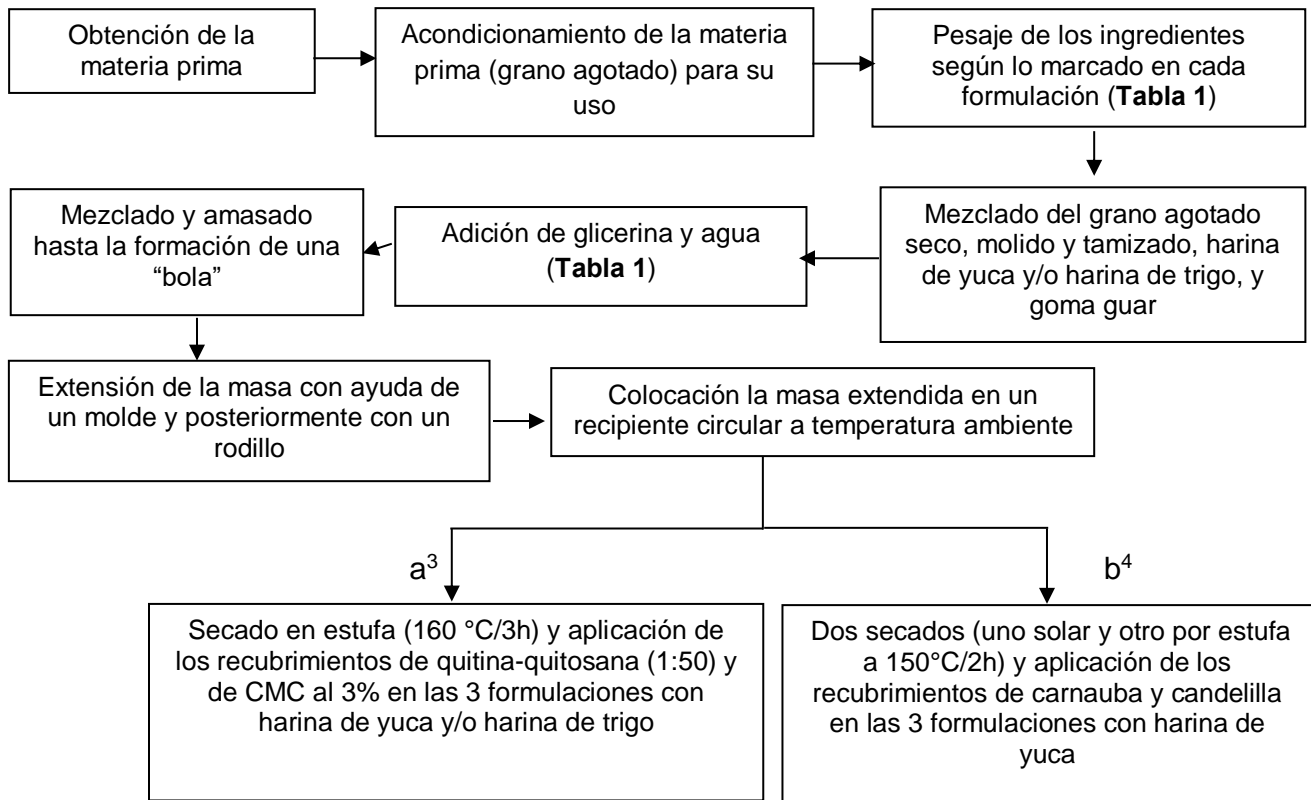


Figura 2. Diagrama de elaboración de los platos biodegradables de grano agotado y harina de yuca y/o trigo

3.4. Elaboración de los diferentes recubrimientos utilizados y su incorporación en los platos biodegradables

A continuación, se hará mención de los pasos que se siguieron para la elaboración del recubrimiento elaborado con la harina de residuos de camarón

1 Recolección de residuos de camarón y limpieza

Para realizar el recubrimiento quitina-quitosana fue necesario adquirir las cabezas y exoesqueletos de camarón frescas en el mercado de “La Nueva Viga” en la Central de Abastos en la Ciudad de México. Una vez adquiridas, fueron llevadas a los Laboratorios

³ Al inicio de la experimentación solo se manejó un tipo de secado (secado en estufa como lo mostraban investigaciones previas

⁴ El segundo experimento llevado a cabo en la investigación involucro dos tipos de secado (secado en estufa y secado en un secador solar). Esto requirió de modificar las condiciones, temperatura y tiempo

301, 302 y 303 del Conjunto E de la Facultad de Química de la UNAM, en donde se limpiaron con una escobilla al chorro de agua, según lo señalado en la metodología de Enríquez y Nava (2016).

II. Obtención de las hojuelas de residuos de camarón

Con la finalidad de obtener las hojuelas de los residuos de camarón se siguió la metodología propuesta por Flores-Ortega (2004), la cual consistió en realizar una molienda de los residuos de camarón en agua en una relación 1:2 en masa. De esta forma se eliminaron algunos de los componentes de los residuos como fueron los pigmentos, los nutrimentos inorgánicos, las grasas y las proteínas. Posteriormente se realizó un secado en estufa a 60°C. Las hojuelas secas de los residuos de camarón se colocaron en una licuadora doméstica marca *Oster*® 10-C y se añadieron a un vaso dos partes de agua, como referencia a la masa inicial del mismo, es decir en una relación 1:2. Se licuó durante 30 segundos a velocidad máxima para que finalmente el producto obtenido después del enjugado fuera el cefalotórax parcialmente desproteinizado (CPD), el cual se extendió sobre charolas metálicas que se colocaron dentro de un horno de convección para secarse durante 20 horas a 60°C.

III. Elaboración del disolvente MAC-141® (metanol, agua, cloruro de calcio)

Este disolvente se elaboró siguiendo la metodología patentada por Flores-Ortega (2004) y de acuerdo con las cantidades especificadas en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Cantidad de reactivo empleado para la elaboración del compuesto MAC-141®

Compuesto	Masa o volumen
Agua	99 mL
Metanol	180 mL
Cloruro de calcio	277.5 g

Una vez proporcionados los reactivos de la Tabla 2, se mezclaron en el siguiente orden en una relación molar 1:4:1 de Agua:Metanol:CaCl₂ en un matraz bola de 500 mL: Cabe mencionar que esta parte se realizó con el matraz de bola dentro de un baño de hielo y

bajo la campana de extracción con la finalidad de controlar las reacciones exotérmicas violentas además de la volatilización del metanol. Una vez obtenida la mezcla de reacción se procedió a montar el equipo de reflujo para dejar la mezcla por un tiempo de 8 horas/64°C de acuerdo con la metodología modificada por Enríquez y Nava (2016). Posteriormente al reflujo, el disolvente fue sedimentado durante 48 h para transcurrido ese tiempo centrifugarse durante 15 minutos a 3600 rpm empleándose sólo el sobrenadante resultante.

IV. Extracción del polímero quitina-quitosana con ayuda del disolvente MAC-141®

La harina obtenida del cefalotórax y los exoesqueletos de camarón fue mezclada con el disolvente MAC-141® en una relación 1:10(m/m) es decir, por cada gramo de CPD se añadieron 10g de disolvente MAC-141© colocándose en un equipo de sonicación durante 10 minutos a una potencia baja (Sarabia-Buñuelos, 2011). Trascurrido este tiempo, el filtrado se recolectó y se almacenó en cajas Petri de plástico destapadas, las cuales se colocaron en un desecador al cual se le retiró la sílice (*silica-gel* en inglés) y se sustituyó por agua con el fin de obtener una completa solubilización del calcio presente en la biopelícula. Dicha solubilización ocurrió en un periodo de 48 horas.

Empleo de la carboximetilcelulosa (CMC) como recubrimiento

Para el recubrimiento de carboximetilcelulosa (CMC) se empleó lo establecido en Acofarma (2010), con una concentración al 3% con el objetivo de que se comportara como película plástica. Se adicionaron 3 g de CMC/97 g de agua caliente en un frasco para su disolución, toda vez que la CMC no es soluble en agua fría. Para la aplicación del recubrimiento de ambos polímeros (Q-Qn y el de la CMC) se utilizó una brocha de cerda blanda tipo “pincel” con la cual se esparció uniformemente por todo el exterior del plato, hasta cubrirlo en su totalidad, para cada plato de cada formulación a probar se dejó secar durante 1 día y se volvió a recubrir nuevamente hasta lograrse un máximo de tres coberturas por plato. El tiempo total de secado fue de tres días a temperatura ambiente.

Recubrimiento empleando cera de carnauba y cera de candelilla

Con la finalidad de mejorar la impermeabilidad en caso de obtener un resultado no favorable con los dos primeros recubrimientos, se optó por formular y utilizar los recubrimientos de cera de carnauba y de candelilla, de manera que fueron preparados de acuerdo con la metodología reportada por Saucedo-Pompa et al. (2007), con algunas modificaciones. Para la elaboración del recubrimiento hecho con base en cera de candelilla se calentó agua destilada a 80°C en un vaso de precipitados, se añadió goma guar y se disolvió con ayuda de un homogeneizador (JANKE KUNKEL ULTRA T25 TURRAX) a 20,500 rpm durante 10 min. A continuación, se añadió la cera de candelilla y se continuó homogeneizando a 20,500 rpm durante 10 min. Finalmente, se añadió el glicerol y se homogeneizó la mezcla 10 min más a la misma velocidad. Posteriormente, la mezcla se dejó enfriar a temperatura ambiente. (**Tabla 3**). Todos los aditivos ayudaron a mejorar la dispersión de la cera de candelilla, ya que en pruebas preliminares no mostraba la textura deseada.

En el caso del recubrimiento hecho con base en cera de carnauba, se preparó calentando agua destilada a 85°C en un vaso de precipitados. Se añadió goma guar, cera de carnauba y polietilenglicol y se disolvieron con ayuda de un homogeneizador (JANKE KUNKEL ULTRA T25 TURRAX) a 20,500 rpm durante 10 min. A continuación, se añadió el ácido esteárico y se continuó homogeneizando durante 5 min más a la misma velocidad. Posteriormente, la mezcla se dejó enfriar a temperatura ambiente (**Tabla 4**). La manera de incorporar los recubrimientos en los platos fue de manera externa, barnizando los platos con ayuda de una brocha común para pintura.

Tabla 3. Formulación del recubrimiento elaborado con base en cera de candelilla*

Recubrimiento de cera de candelilla	Ingredientes			
	Goma guar	Cera de candelilla	Glicerol	Agua
Proporción (%)	1.2	0.4	0.3	98.1

*Basado en la investigación de Oregel (2016)

Tabla 4. Formulación del recubrimiento elaborado con base en cera de carnauba*

Recubrimiento de cera carnauba	Ingredientes				
	Goma guar	Ácido esteárico	Cera de carnauba	Polietilenglicol (PEG)	Agua
Proporción (%)	0.3	0.5	3	1	95.2

*Basado en la investigación de European Commission (2014)

3.5. Realización de las pruebas físicas

3.5.1. Prueba de espesor

La prueba de espesor consistió en tomar medidas por triplicado de la orilla, a tres centímetros del centro y del centro del plato empleando para ello un Vernier que se usa ampliamente. Debido a su versatilidad de aplicación, es posible utilizarlo para medir exteriores, interiores y profundidades dentro de su capacidad de lectura y la legibilidad del mismo (Díaz, 2010).

3.5.2. Prueba de resistencia térmica

La metodología utilizada en esta prueba consistió en utilizar muestras de los platos de 3x3 cm de medida de las 3 formulaciones/2 tipos de harina/2 recubrimientos en un horno de microondas marca Daewoo modelo KOR6M5R. Se calentó a una potencia de 800 Watts por 1 y 2 minutos. Las muestras se compararon de manera visual posterior al calentamiento y se determinó la que resultó más quemada.

3.5.3. Prueba de ensayo de tracción

Este ensayo se realizó bajo la norma ASTM D638-14 en el Departamento de Materiales y Manufactura de la Facultad de Ingeniería con apoyo del M. en C. Jorge Luis Romero Hernández, en una máquina universal de pruebas mecánicas marca INSTRON modelo 4206, con una celda de carga de 50kN y a una velocidad de 15mm/min. En un principio, los platos elaborados con cada formulación de bagazo de malta y harina de yuca y/o trigo fueron cortados en juegos de 3 probetas por cada plato (3 formulaciones/2 tipos de harina) para que la prueba se realizara por triplicado (18 probetas), teniendo tres probetas de poliestireno expandido como control. Una vez definido con qué tipo de harina se

obtendría el mejor plato y variando el tipo de secado, se repitió este ensayo. Para ello, los platos elaborados con cada formulación se cortaron con un “cúter” (navaja) con el objetivo de contar con 3 probetas por cada plato (3 formulaciones/2 tipos de secado) y utilizando 3 probetas de poliestireno expandido como control.

Los resultados obtenidos de este ensayo correspondieron al punto de cedencia (resistencia a la rotura) de los materiales a comparar.

3.5.4. Prueba de permeabilidad

La metodología para realizar la prueba de permeabilidad fue la establecida por Zavala (2018). Esta metodología consistió en determinar el tiempo que tarda el agua en traspasar el plato biodegradable. Para ello, se utilizaron tubos de PVC de 4cm de diámetro: uno de 5 cm de largo y otro de 20 cm, colocándose una de las muestras del plato de 4 cm de diámetro en medio de ambos tubos, los cuales fueron unidos mediante silicón frío. Una vez que se tuvieron los tubos sellados, se les añadieron 200 mL de agua y se determinó el tiempo que tardaba el agua en traspasar la muestra. Los platos recubiertos con CMC, Q-Qn y un control (el cual no tenía recubrimiento), de las tres formulaciones con dos tipos de harina fueron realizados por triplicado y comparados entre sí. Posteriormente, teniendo definido con qué tipo de harina se obtuvo el mejor plato y variando el tipo de recubrimiento y el tipo de secado, con la finalidad de observar una posible mejora en la impermeabilidad del plato, se repitió este ensayo. De igual manera se realizó por triplicado para las 3 formulaciones sometidas a dos tipos de secado (horno eléctrico y secador solar). Una vez terminada esta prueba, se compararon los platos recubiertos con las soluciones elaboradas con base en ceras naturales (carnauba y candelilla) y un blanco el cual no tuvo ningún recubrimiento.

3.5.4.1. Prueba de permeabilidad utilizando dos tipos de alimentos

Una vez que se determinó el tipo de harina y el tipo de secado más conveniente para obtener el plato con mejores características, se realizó esta prueba de permeabilidad. La metodología consistió en determinar el tiempo que tarda un alimento en traspasar el plato biodegradable, para ello se emplearon únicamente platos biodegradables con tratamiento de secado en horno eléctrico y dos tipos de alimentos uno líquido (sopa de municiones) y otro semi-sólido (helado de mamey).

Se colocó una muestra de cada alimento (50 mL) en los diferentes platos elaborados con bagazo de malta y harina de yuca sometidos a un tratamiento de secado en horno y con los recubrimientos de cera de carnauba y cera candelilla junto con un blanco (sin recubrimiento) empezándose a contar el tiempo hasta que hubo ruptura del plato (**Figura 3**, ver **Anexo 1**)

3.5.5. Prueba de biodegradabilidad

La metodología seguida en la realización de la prueba de biodegradabilidad fue la seguida por Zavala (2018). Esta prueba consistió en poner en un recipiente de plástico tipo botella de PET de 3 litros con una composta elaborada con tierra para plantas hasta la mitad de su volumen y colocando residuos orgánicos encima de la tierra (pasto, hojas secas, cáscaras de fruta, etc.) revuelta con las muestras de los platos elaborados bajo 3 formulaciones con dos tipos de harina (yuca y trigo) y dos tipos de recubrimientos (Q-Qn y CMC). Para ello se dejó la composta a la intemperie durante 30 días. Cada 5 días se pesó la muestra del plato y por diferencia de masa se determinó el nivel de biodegradación de cada formulación. Se repitió esta prueba una vez definido el tipo de harina, con las mismas 3 formulaciones utilizando otros 2 recubrimientos (cera de carnauba y de candelilla) y variando el tipo de secado (solar y en horno) (**Figura 4**, ver **Anexo 1**). En esta parte se dejó la composta a la intemperie durante tres semanas (21 días). Cada 8 días se pesó la muestra de plato y por diferencia de masa se determinó el nivel de degradación de cada formulación.

3.6 Evaluación sensorial de los platos desechables biodegradables elaborados con bagazo de malta y harina de yuca

La evaluación sensorial de los platos se realizó en colaboración con el laboratorio de evaluación sensorial junto con la asesoría de la Dra. Patricia Severiano Pérez. (Anexo del laboratorio 4D, Edificio A, cuarto piso de la Facultad de Química de la UNAM). El análisis sensorial propuesto fue mediante 100 jueces no entrenados, (alumnos y académicos de la Facultad de Química), a quienes se les invitó a pasar a evaluar los platos. A cada consumidor se le presentaron 8 muestras y un cuestionario con 9 preguntas las cuales se aprecian en la **Figura 32**, ver **Anexo 1**, posteriormente las

respuestas de los cuestionarios fueron tratados estadísticamente utilizando la paquetería que se describe a continuación.

3.6.1. Evaluación sensorial para observar el comportamiento de los platos desechables biodegradables elaborados con bagazo de malta y harina de yuca utilizando dos tipos de alimento. Para esta prueba se emplearon únicamente platos biodegradables con tratamiento de secado en horno eléctrico aplicándose una prueba sensorial tipo “flash” (Severiano et al., 2014) con la finalidad de observar si los platos lograban modificar alguna característica organoléptica del alimento que fuera perceptible para el consumidor. La prueba fue aplicada a 20 jueces no entrenados y a cada uno se le entregó una charola con 6 muestras donde se colocaron los platos (uno de cada formulación) con una muestra de sopa de munición y una muestra de helado de mamey. Los platos biodegradables se llenaron a la mitad con los alimentos antes mencionados.

3.7. Análisis estadístico aplicado

El diseño experimental que se desarrolló durante el inicio del trabajo de investigación fue de tipo multifactorial ya que inicialmente se contemplaron tres factores: formulaciones, tipo de harina y tipo de recubrimiento. El factor formulación tuvo 3 niveles (**Tabla 1**), el factor harina tuvo 2 niveles (harina de yuca y harina de trigo); finalmente, el factor recubrimiento también presentó 2 niveles (Quitina-quitosana y CMC) y las variables de respuesta fueron el espesor, la permeabilidad y la biodegradabilidad. Posteriormente, al notar el tipo de harina que fue la más conveniente para elaborar los platos y que ninguno de los recubrimientos utilizados alcanzó un resultado del todo favorable se procedió a la nueva elaboración de platos. Se usó un tipo de harina (harina de yuca), aplicando nuevos recubrimientos con base en ceras naturales (cera carnauba y cera candelilla) y modificando el tipo de secado, de tal modo que se realizó otro diseño experimental de tipo multifactorial en donde se involucraron tres factores: tipo de material (formulaciones), tipo de secado y tipo de recubrimiento. El factor tipo de material tuvo 3 niveles (**Tabla 1**), el factor tipo de secado tuvo 2 niveles (secado en horno eléctrico y secador solar), finalmente, el factor recubrimiento también presentó 2 niveles (cera carnauba y cera candelilla), las variables de respuesta fueron, la permeabilidad y la biodegradabilidad. Todos los datos que se obtuvieron en los dos diseños experimentales aplicados fueron

analizados mediante un análisis de varianza (ANDEVA) de 3 vías con un nivel de confianza del 95% empleando el Software estadístico Statgraphics Centurion Versión XVI. El ensayo de tracción se analizó mediante un ANDEVA de una vía, teniéndose como factor el tipo de material. Como pruebas *post hoc* se utilizó la Prueba de Rangos Múltiples (Fisher *LSD*).

Para el caso de los resultados de la evaluación sensorial se analizaron mediante un análisis de varianza (ANDEVA) de una vía y la prueba de comparación de la diferencia mínima significativa (DMS) ($p \leq 0.1$) utilizando Excel versión Office 2010.

A continuación, se expondrán los resultados derivados de esta investigación, así como también se discutirán los resultados.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Prueba de espesor

En la producción de platos lo que se busca es que el espesor sea homogéneo en todos los aspectos ya que, al momento de comercializarlos, el consumidor espera encontrarse con un producto uniforme y atractivo visualmente. Además, la uniformidad de los platos son un índice de estándar de calidad en un producto terminado. Como se puede apreciar en la **Tabla 5**, hubo variabilidad entre los valores de esta prueba debido a que el amasado como se hizo de manera artesanal con un rodillo de panificación no fue uniforme. Además, para verificar si estas diferencias en el espesor eran significativas se realizó un análisis de varianza a un $\alpha=0.05$ (**Tabla 6**). En la Tabla 6 se aprecia que solamente hubo diferencia significativa en cuanto al espesor del plato, dado lo anterior y para corroborar entre qué formulación fueron las diferencias significativas se realizó la prueba de rangos múltiples por el método de diferencias mínimas significativas (*LSD*, por sus siglas en inglés) (**Tabla 7**). En esta Tabla se visualizó que sólo hubo una diferencia significativa entre las formulaciones (1-2 y 1-3), lo cual, fue atribuible a que al trabajar con diferentes porcentajes de cada uno de los ingredientes al momento de ser amasados manualmente se generaron diferentes niveles de dificultad por la cohesión generada por los mismos.

Tabla 5. Promedio de resultados de la prueba de espesor

Formulación	Blanco sin recubrimiento (mm)	CMC (mm)	Q-Qn (mm)
Y1	5.4 ^{±0.7}	5.1 ^{±0.3}	4.4 ^{±0.5}
Y2	4.5 ^{±0.7}	4.3 ^{±0.2}	3.9 ^{±0.2}
Y3	4.8 ^{±0.1}	3.9 ^{±0.1}	4.3 ^{±0.3}
T1	4.9 ^{±0.3}	5.0 ^{±0.1}	6.0 ^{±0.1}
T2	4.6 ^{±0.4}	4.6 ^{±0.2}	5.1 ^{±0.3}
T3	4.3 ^{±0.3}	4.1 ^{±0.4}	3.8 ^{±0.2}

Y1= formulación 1 con harina de yuca, Y2= formulación 2 con harina de yuca, Y3= formulación 3 con harina de yuca-3, T1= formulación 1 con harina de trigo, T2=formulación 2 con harina de trigo, T3=formulación 3 con harina de trigo, CMC=carboximetilcelulosa, Q-Qn=quitina-quitosana

Tabla 6. Análisis de varianza (ANDEVA) para la prueba de espesor

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Formulación	7.77	2	3.89	24.92	0.00
B:Replica	0.45	2	0.23	1.46	0.25
C:Recubrimiento	0.57	2	0.28	1.82	0.18
D:Harina	0.43	1	0.43	2.74	0.11
INTERACCIONES					
AB	0.44	4	0.11	0.70	0.59
AC	0.48	4	0.12	0.76	0.56
AD	1.43	2	0.72	4.60	0.02
BC	0.27	4	0.07	0.44	0.78
BD	0.15	2	0.07	0.47	0.63
CD	2.21	2	1.10	7.08	0.00
RESIDUOS	4.37	28	0.16		
TOTAL (CORREGIDO)	18.56	33			

Donde Gl= grados de libertad

Tabla 7. Pruebas de rangos múltiples para la prueba de espesor considerando el tipo de formulación

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 – 2	*	0.65	0.27
1 – 3	*	0.90	0.27
2 – 3		0.25	0.27

* indica una diferencia significativa.

4.2. Ensayo de tracción

En la **Tabla 8**, se encuentran los datos del punto de cedencia de los platos biodegradables, el cual corresponde al punto en el que el material llega a su límite elástico, es decir, al esfuerzo máximo que puede sufrir un cuerpo sin que la deformación sea permanente. Esto indica que la tensión soportada por el recipiente a pesar de que la fuerza sea aplicada, no se deforma. Este valor es interpretado también como la resistencia a la ruptura. Para realizar el análisis de estos resultados se llevó a cabo un ANDEVA (**Tabla 9**) como se aprecia a continuación.

Tabla 8. Resultados de la prueba de ensayo de tracción

Tipo de material	Resistencia (MPa)			
	1	2	3	Media
Poliestireno expandido (unicel)	1.37	1.29	1.04	1.23 \pm 0.17
Harina de yuca Formulación 1	0.84	0.84	0.84	0.84 \pm 0.01
Harina de yuca Formulación 2	0.37	0.42	0.32	0.37 \pm 0.05
Harina de yuca Formulación 3	0.53	0.47	0.44	0.48 \pm 0.05
Harina de trigo Formulación 1	0.13	0.18	0.14	0.15 \pm 0.05
Harina de trigo Formulación 2	0.35	0.41	0.32	0.36 \pm 0.05
Harina de trigo Formulación 3	0.15	0.15	0.15	0.15 \pm 0.01

Donde: 1, 2 y 3 son las repeticiones de la prueba

En el análisis de varianza (ANDEVA) de la **Tabla 9**, se aprecia que hubieron diferencias significativas entre el tipo de material utilizado, por lo que se procedió a realizar las pruebas de rangos múltiples apoyados con el método de *LSD*, al 95% de confianza (**Tabla 10**) en donde se determinó que la resistencia del unicel fue mayor que todas las formulaciones probadas, seguidas de las 3 formulaciones de harina de yuca y finalmente las 3 formulaciones de harina de trigo, atribuible a que la harina de yuca presenta una mayor cantidad de almidón que el trigo, lo cual favorece la cohesión de los ingredientes en el plato (Zavala, 2018).

Tabla 9. Análisis de varianza ANDEVA para la resistencia a la ruptura considerando el tipo de material

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2.79	6	0.47	89.57	0.0000
Intra grupos	0.07	14	0.01		
Total (Corr.)	2.87	20			

Tabla 10. Prueba de rangos múltiples para la resistencia a la ruptura considerando el tipo de material

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
H. de trigo. Formulación 3	3	0.15	X
H. de trigo. Formulación 2	3	0.15	X
H. de trigo. Formulación 1	3	0.36	X
H. de yuca. Formulación 2	3	0.37	X
H. de yuca. Formulación 3	3	0.48	X
H. de yuca. Formulación 1	3	0.84	X
Unicel	3	1.23	X

Medias con una X común son significativamente iguales (95% de Fisher LSD)

4.3. Prueba de resistencia térmica

En la **Tabla 11** se aprecian los resultados de la prueba de resistencia térmica. En esta Tabla se puede observar que los platos de las 3 formulaciones con los 2 tipos de harina y los 2 recubrimientos, sufrieron daños visibles al calentarse, en especial, si el tiempo fue de 2 minutos. Por lo que no sería confiable para el consumidor un plato que tuviera una apariencia de “quemado”, además de que no se recomendaría usarlos para calentar comida en horno de microondas. Una forma de evitar esto será que, al comercializarse, en el empaque deberá incluirse una leyenda con esta precaución.

Tabla 11. Resultados de la prueba de resistencia térmica

R	H/F	Control			1 min			2 min		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Control	Y									
	T									
Q-Qn	Y									
	T									
CMC	Y									
	T									

Donde: R=recubrimiento, H= harina, F= formulación, Y= yuca, T= trigo, 1,2 y 3= número de formulación

4.4. Prueba de permeabilidad

El análisis de la permeabilidad de los recipientes es fundamental ya que el uso de estos tiene como propósito el sustituir al poliestireno expandido conocido como unicele, por lo cual, es importante saber cómo interactúan los constituyentes del plato con un líquido, pues de ello dependerá el tiempo en el que pueda utilizarse. En las Tablas 12 y 13 se realizó el análisis de cada factor que puede influir en la propiedad evaluada. En la **Tabla 12** se aprecia la media del tiempo en minutos de las 3 formulaciones con 2 tipos de harina y con 2 recubrimientos. En la **Tabla 13** se puede observar el análisis estadístico.

Tabla 12. Promedio de los resultados de la prueba de permeabilidad

Formulación	Blanco sin recubrimiento (min)	CMC (min)	Q-Qn (min)
Y1	2,264.54 ±227.08	2,047.11 ±30.66	2,275.34 ±167.24
Y2	531.61 ±25.19	504.91 ±20.11	419.72 ±25.13
Y3	24.92 ±12.96	25.93 ±1.14	36.14 ±6.56
T1	1,513.96 ±915.59	2,025.87 ±7.82	2,104.27 ±46.79
T2	532.61 ±80.32	403.72 ±73.71	407.91 ±8.15
T3	36.14 ±5.99	38.93 ± 4.87	37.04 ±5.76

Donde: Y1= formulación harina de yuca-1, Y2= formulación harina de yuca-2, Y3= formulación harina de yuca-3, T1= formulación harina de trigo 1, T2=formulación harina de trigo 2, T3=formulación harina de trigo 3, CMC=recubrimiento con carboximetilcelulosa, Q-Qn=recubrimiento con quitina-quitosa

Tabla 13. Análisis de varianza (ANDEVA) para la prueba de permeabilidad

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Harina	295353	1	295353	17.23	0.00
B: Formulación	3.79	2	1.89	1106.79	0.00
C: Recubrimiento	431965	2	215982	12.60	0.00
D: Replica	5226.18	2	2613.09	0.15	0.86
INTERACCIONES					
AB	485411	2	242705	14.16	0.00
AC	180398	2	90198.90	5.26	0.01
AD	27766.30	2	13883.10	0.81	0.45
BC	808165	4	202041	11.78	0.00
BD	7884.87	4	1971.22	0.11	0.98
CD	67474.40	4	16868.60	0.98	0.43
RESIDUOS	480073	28	17145.50		
TOTAL (CORREGIDO)	4.07	53			

Donde Gl= grados de libertad

En la **Tabla 13** se aprecia que el factor harina, el tipo de formulación y el recubrimiento empleado tuvieron diferencias significativas, por lo que se realizó una prueba de rangos múltiples *LSD* de Fisher para determinar estas diferencias. En la **Figura 5** se puede apreciar que la permeabilidad de la harina de yuca fue mayor que la de trigo, esto puede deberse a que el tamaño del almidón de yuca presenta un tamaño un poco mayor (5 a 34 μ m) que el del trigo (2 a 35 μ m) (FAO, 1997; Meneses et al., 2007) lo cual impide por más tiempo el paso del agua.

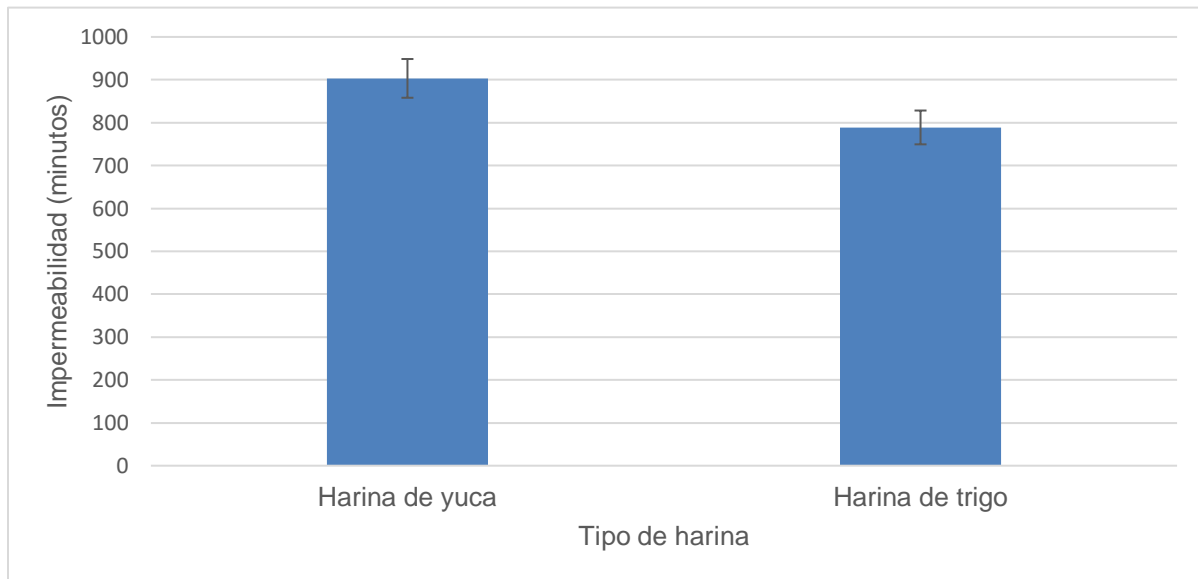


Figura 5. Representación gráfica de la prueba de rangos múltiples para el tiempo de impermeabilidad considerando el tipo de harina (95% de Fisher *LSD*)

En relación con las formulaciones 1, 2 y 3, la formulación 1 fue la que tuvo una mayor resistencia respecto con las demás (**Figura 6**), lo anterior se adjudica a que fue la que contuvo una mayor cantidad de almidón (harina de trigo/yuca). Cabe mencionar, que el almidón es uno de los factores más importantes en este trabajo, pues su propiedad de gelatinización aumenta la cohesión entre los otros componentes del plato (grano agotado, goma guar, agua y glicerina) (Baduí-Dergal, 2006), por lo que le confiere una mayor resistencia. La formulación 3 al tener en una menor proporción de almidón, no fue una opción viable en cuanto a permeabilidad.

Esta prueba fue de vital importancia pues al adicionar un recubrimiento orgánico se esperaba que le proporcionará protección adicional a los platos, a continuación se comprobó si los recubrimientos aumentaron o no la impermeabilidad del plato. Como se puede observar en la **Figura 7**, el control (unicel) fue el que tuvo una mejor permeabilidad

que la CMC, esto es posible atribuirse a que la CMC se ha usado como parte de películas comestibles para retrasar con éxito el proceso de maduración y senescencia de frutos (Díaz et al., 1996), pero en realidad no se habían encontrado referencias bibliográficas de su uso como película protectora de líquidos. Cabe destacar que el control no tuvo diferencia significativa con el recubrimiento de Q-Qn, por lo que se atribuyó que el biopolímero no aportó impermeabilidad pues, aunque la quitina es insoluble en agua, la quitosana es soluble (Nakamatsu, 2012) lo cual disminuye la protección que confiere a los platos. Por ello, en esta parte del proyecto queda claro que estas 2 opciones de recubrimiento no fueron viables al no conferirles una mayor protección a los recipientes.

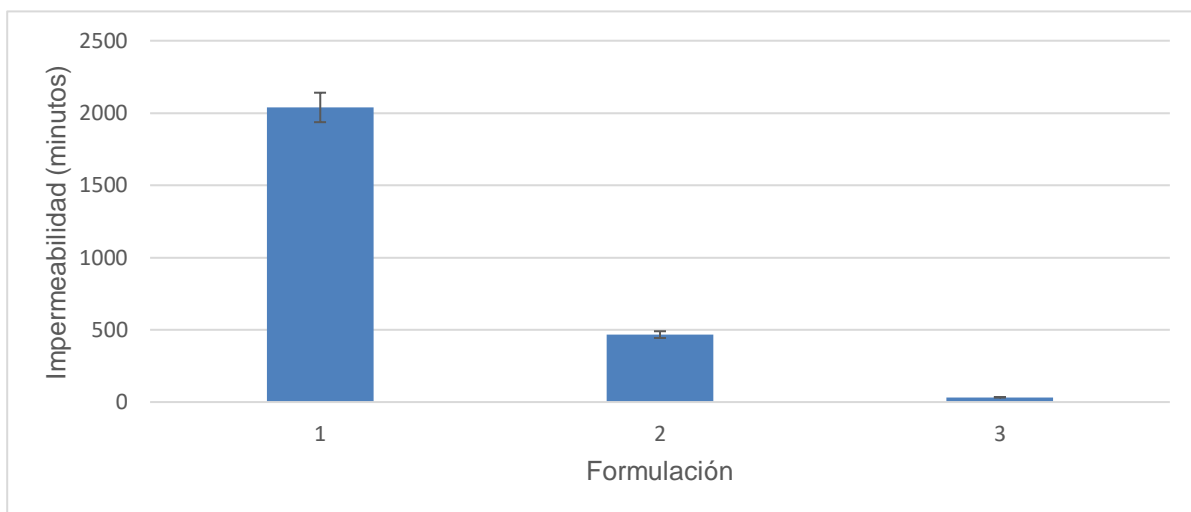


Figura 6. Representación gráfica de la prueba de rangos múltiples para el tiempo de impermeabilidad considerando la formulación (95% de Fisher *LSD*)

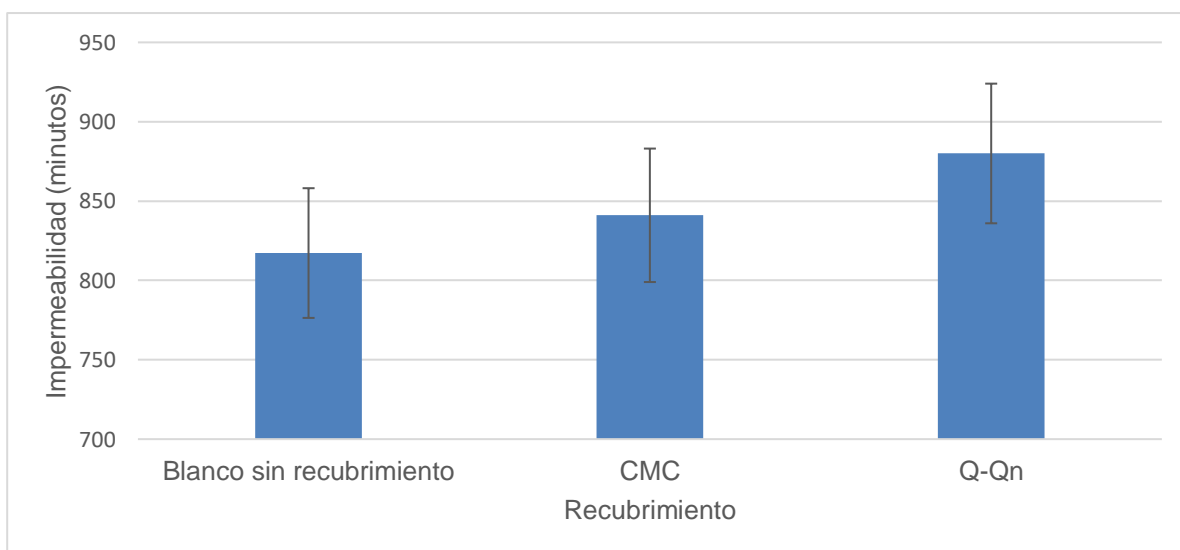


Figura 7. Representación gráfica de la prueba de rangos múltiples para el tiempo de impermeabilidad considerando el recubrimiento (95% de Fisher *LSD*)

4.5. Prueba de biodegradabilidad

La prueba de biodegradabilidad por composta de los platos se llevó a cabo durante 30 días. Esta se llevó a cabo con muestras de los platos, con una masa inicial igual para cada experimento. Cada 5 días se midió la masa en una balanza electrónica marca VELAB modelo VE-500, para determinar por diferencia de masa para las 3 formulaciones por los 2 tipos de harina y los 2 recubrimientos comparándolos con el control (unicel), el grado de biodegradabilidad obtenido en este tiempo.

En la **Tabla 14** se observa que, pasados los 30 días, el unisel siguió con su misma masa, en comparación con los platos hechos con grano agotado. Lo anterior era de esperarse, ya que según la literatura, el unisel puede tardarse en degradar entre 1000 años o más (Vega, 2016), por lo que este es uno de los principales problemas con este material, su retardado nivel de degradación. Por ello, para analizar si existía alguna diferencia significativa con el porcentaje de pérdida de masa de estos platos, se llevó a cabo un ANDEVA multifactorial. Los resultados de dicho análisis se muestran en la **Tabla 15**.

Tabla 14. Resultados obtenidos en la prueba de biodegradabilidad

Recubrimiento	Formulación	Masa inicial (día cero) (g)	Masa final (día 30) (g)	Pérdida de masa en 30 días (g)	% de pérdida en 30 días
Unisel		0.3	0.3	0	0%
Blanco sin recubrimiento	Y1	10.9	6.54	4.36	40.1%
	Y2	9.2	5.69	3.51	38.2%
	Y3	8.4	4.79	3.61	43.5%
	T1	7.9	4.24	3.66	46.3%
	T2	10.3	6.13	4.17	40.5%
	T3	7.3	4.46	2.84	41.8%
Q-Qn	Y1	10.1	6.13	3.97	39.3%
	Y2	8.9	5.62	3.28	36.80%
	Y3	9.7	5.9	3.8	39.2%
	T1	10.5	5.69	4.81	45.8%
	T2	10.7	6.81	3.89	36.4%
	T3	8.4	5.01	3.39	40.30%
CMC	Y1	8.5	4.85	3.65	42.9%
	Y2	10.7	6.22	4.48	41.90%
	Y3	7.3	4.09	3.21	44.1%
	T1	10.6	5.63	4.97	46.9%
	T2	9.1	5.35	3.75	41.3%
	T3	9.2	5.28	3.92	42.6%

Donde: Y1= formulación harina de yuca-1, Y2= formulación harina de yuca-2, Y3= formulación harina de yuca-3, T1= formulación harina de trigo 1, T2=formulación harina de trigo 2, T3=formulación harina de trigo 3, CMC=carboximetilcelulosa, Q-Qn=quitina-quitosana

Tabla 15. Análisis de varianza (ANDEVA) para el porcentaje de pérdida de masa

<i>Fuente</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Harina	14.05	1	14.05	13.96	0.02
B:Formulación	58.41	2	29.21	29.04	0.00
C:Recubrimiento	40.27	2	20.14	20.02	0.01
INTERACCIONES					
AB	33.45	2	16.73	16.63	0.01
AC	2.90	2	1.45	1.44	0.34
BC	5.28	4	1.32	1.31	0.39
RESIDUOS	4.02	4	1.01		
TOTAL (CORREGIDO)	158.39	17			

Donde Gl= grados de libertad

En la **Figura 8** se observa que hubo una diferencia significativa entre los dos tipos de harina (trigo y yuca) siendo las formulaciones de trigo las que se biodegradaron más rápidamente debido a la composición del trigo, el cual posee más nutrientes, ya que por 100 g de harina de trigo contiene 9.30 g de proteínas, 1.20 g de grasas totales y 80 g de carbohidratos, a diferencia de la harina de yuca que por 100 g contiene 1.70 g de proteína, 0.50 g de grasas totales y 80 g de carbohidratos, lo cual, se piensa favoreció la degradación de la harina de trigo (FEDNA, 2016; Funiber, 2017).

A nivel formulación, como se puede observar en la **Figura 9**, la formulación que presentó una mayor pérdida de masa fue la formulación 1 tanto para la harina de yuca como para la harina de trigo.

Finalmente, con respecto al efecto del recubrimiento se puede apreciar en la **Figura 10** que los platos con recubrimiento de CMC son los que perdieron peso con mayor rapidez, pues es un recubrimiento compuesto por agua, lo que favorece su biodegradación. En cambio, los platos blanco sin recubrimiento y los recubiertos con quitina-quitosana no tuvieron diferencia significativa entre ellos, por lo que respecto a la biodegradabilidad la quitina-quitosana a pesar de que el biopolímero tiende a usarse como película antifúngica pero en frutos (Nakamatsu, 2012), no disminuye el tiempo de biodegradabilidad con respecto al control, pero si se biodegradan a menor velocidad que los recubiertos con la CMC.

Cabe mencionar que para que los platos se biodegraden por completo es necesario un tiempo mayor a 30 días.

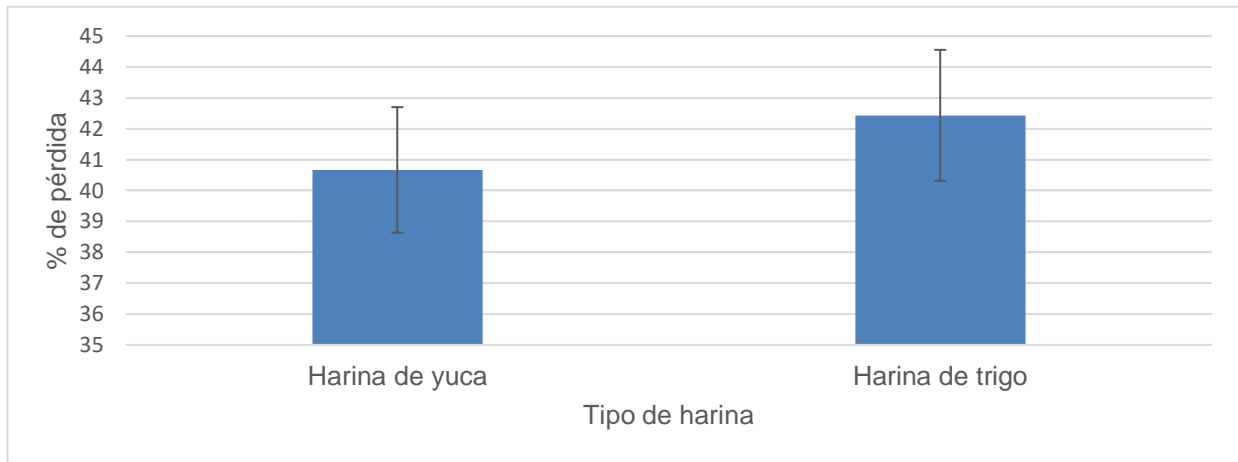


Figura 8. Representación gráfica de la prueba de rangos múltiples para el porcentaje de pérdida de masa de los platos durante el tiempo considerando el factor tipo de harina (95% de Fisher *LSD*)

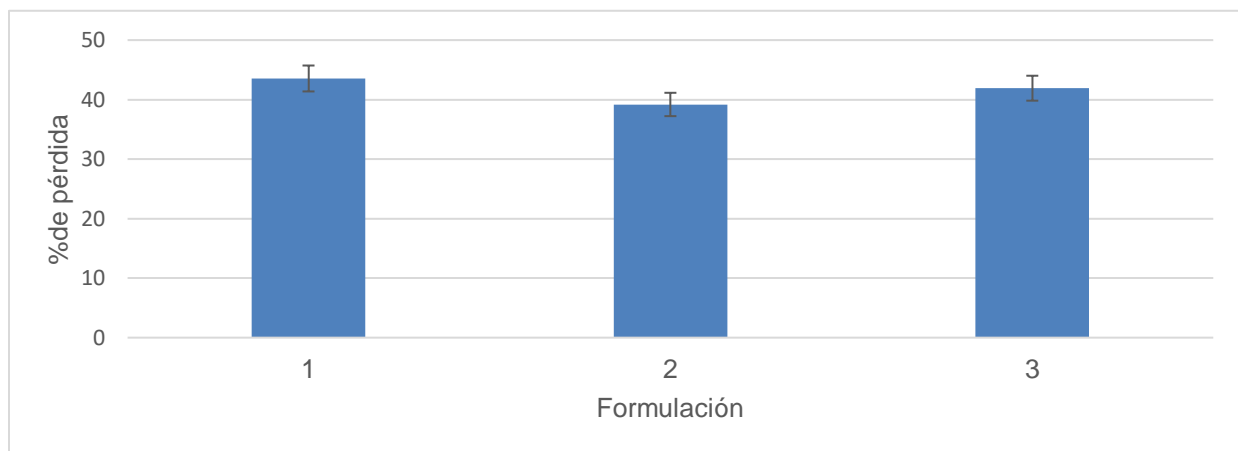


Figura 9. Representación gráfica de la prueba de rangos múltiples para el porcentaje de pérdida de masa de los platos durante el tiempo considerando la formulación (95% de Fisher *LSD*)

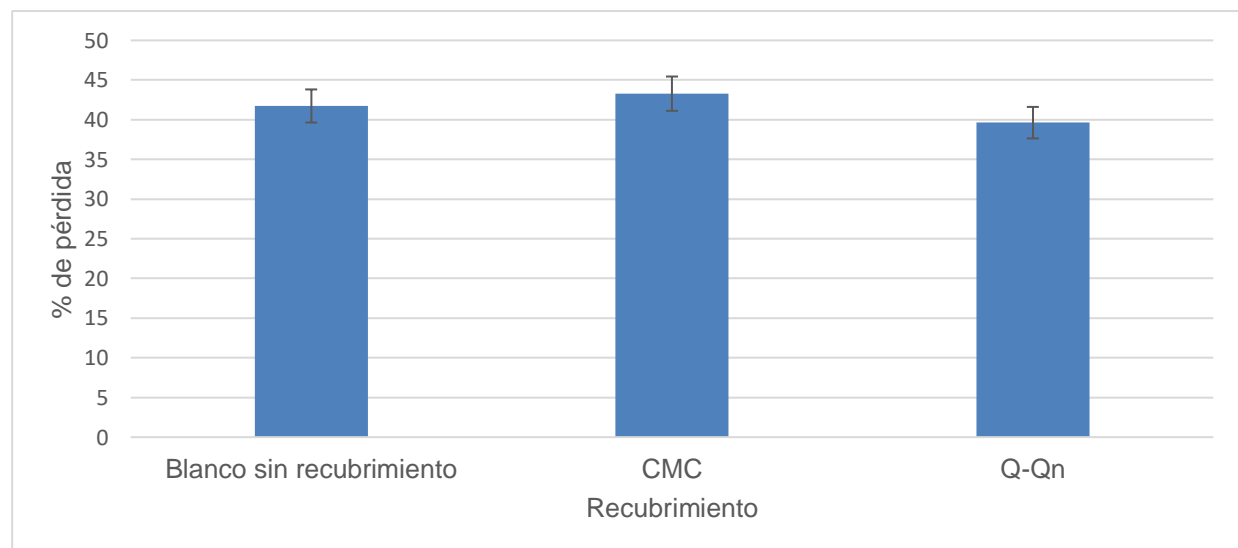


Figura 10. Representación gráfica de la prueba de rangos múltiples para el porcentaje de pérdida de masa de los platos durante el tiempo considerando el recubrimiento (95% de Fisher *LSD*).

Dados los resultados obtenidos en las pruebas realizadas con anterioridad, los recubrimientos empleados con CMC y de Q-Qn en los platos biodegradables no les confirieron protección suficiente para aumentar su impermeabilidad, dado lo anterior se optó por buscar otras alternativas de recubrimientos orgánicos con la finalidad de mejorar tanto el proceso de elaboración de los platos como su recubrimiento.

4.6. Propuesta de elaboración de platos biodegradables empleando residuos de malta y harina de yuca bajo tres formulaciones diferentes, variando el tipo de secado y el recubrimiento aplicado

De acuerdo con los resultados generados en las diferentes pruebas aplicadas para la caracterización de los platos desechables elaborados con bagazo de malta y con harina de trigo o harina de yuca, se pudo observar que los platos elaborados con harina de yuca obtuvieron mejores propiedades que las de trigo, lo cual indicó que con este tipo de harina se obtendría un mejor plato. Por ello, con la finalidad de ahorrar tiempo y materia prima, se continuó el trabajo de investigación únicamente con los platos de esta índole, y una vez elaborados se procedió a realizar, nuevamente, algunas de las pruebas correspondientes para terminar de caracterizar este tipo de envases desechables biodegradables.

La elaboración de los platos desechables se llevó a cabo de la misma forma que los desarrollados al inicio del estudio, es decir, según lo establecido por Mello y Mali, (2014) siguiendo las proporciones mencionadas en las formulaciones estipuladas en la **Tabla 16**⁵.

Siguiendo la línea de investigación del presente estudio y lo descrito por Zavala (2018), se ha comprobado que el uso de bagazo de malta y de harina de yuca para la preparación de los platos biodegradables ha resultado viable. Sin embargo, han quedado algunos detalles que pudieran ser mejorados. Algunos de ellos se basan en la mejora de las condiciones de secado. Por ello, se propusieron dos maneras de secado de los platos biodegradables. La primera fue la estipulada desde el inicio, es decir, el secado se realizó en un horno eléctrico a 160°C durante 3h y la segunda fue utilizando un secador solar

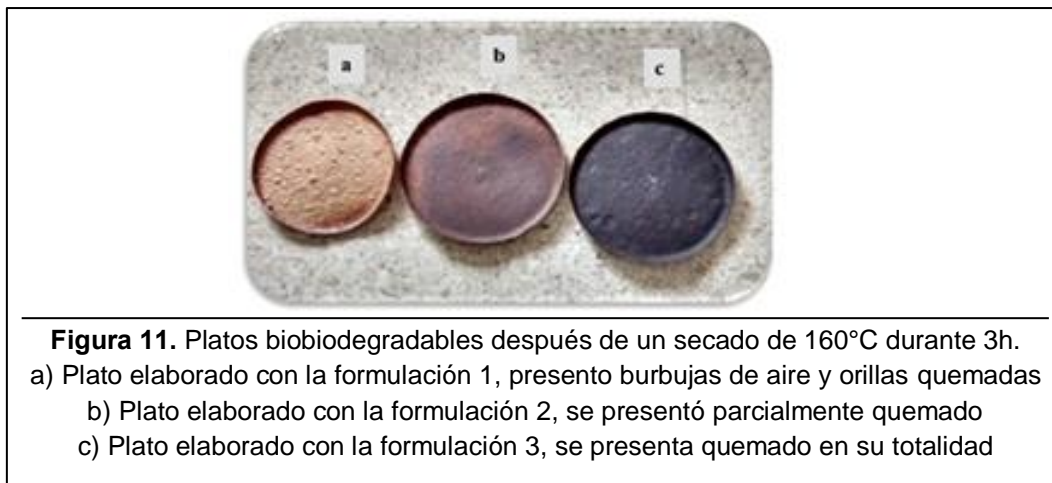
⁵ De acuerdo con los asesores y supervisora técnica se sugirieron estas proporciones con objeto de poder comparar los resultados de esta investigación con las previas, aunque habría sido mejor evaluar solamente el efecto del uso de grano agotado

elaborado de forma casera. Al realizar el secado de los platos en el horno eléctrico se observó que se carbonizaban (**Figura 11**), por ello, se realizó una revisión del horno durante cada hora y se determinó que no era necesario mantener los platos bajo esas condiciones para lograr un secado completo y favorable, ya que al aplicar un secado de dos horas a 150°C era suficiente para obtener un plato seco, semi-flexible y de apariencia resistente, por lo que esta modificación, después de la realización del ensayo de tracción pudo ser comprobada.

Tabla 16 Formulaciones realizadas para la elaboración de platos biodegradables de residuo de malta (grano agotado) y harina de yuca

FORMULACIÓN	Ingredientes				
	Residuo de malta (%)	Harina de yuca (%)	Goma guar (%)	Glicerina (%)	Agua (%)
1	5	45	4	8	38
2	23	23	2	7	45
3	36	4	2	6	52

Basado en la investigación de Mello y Mali (2014)



Sin embargo, es probable que las condiciones de temperatura y tiempo en el proceso de secado dependiera de otras variantes como el grosor inicial de la mezcla que se utilizaba para elaborar los platos, esta variante fue difícil de controlar ya que la elaboración de los platos se realizó de manera artesanal. En la **Tabla 17** se puede apreciar que el grosor de

los platos obtenidos (debido al esponjamiento del material durante el secado), fue menor a los mostrados por los platos elaborados al inicio de la investigación, de tal manera que era probable que el grosor inicial en el “enmoldado” haya sido menor, es decir que la pasta introducida en el molde haya estado más delgada y por esta razón las condiciones de secado adecuadas tuvieron que ser disminuidas.

Tabla 17. Grosor de los platos elaborados con harina de yuca y grano agotado (bagazo de malta)

Tipo de secado	Tipo de material	*Grosor (mm)
Horno eléctrico	F1	3.40
	F2	3.73
	F3	3.0
Secador solar	F1	2.50
	F2	2.43
	F3	2.40
Control	Unicel	0.30

*Valores promedio de 3 repeticiones por cada formulación y tipo de secado. Donde: F1, F2 y F3= Formulación 1, 2 y 3

Por otra parte, se eligió trabajar con un secador solar directo por convección natural, de tipo casero, utilizando para ello materiales de fácil acceso y bajo costo (**Figura 12**). En él se colocaron los platos elaborados con las 3 formulaciones durante 48h aproximadamente. Como resultado, se obtuvieron platos secos y semi-flexibles, (un poco más que los que fueron sometidos al secado en el horno de convección) y con una disminución de olor y color, esto ocurrió debido a que a través del vidrio los rayos solares pasaron al interior del secador con la finalidad de calentar el aire que entraba hacia el gabinete para lograr el secado, sin embargo, y al igual que ocurre naturalmente con los rayos solares en un secado natural, estos quedaron directamente sobre los platos, provocando la decoloración de los mismos. El cambio aparente que resultó más notable entre los dos métodos de secado fue la flexibilidad al momento de su manipulación, ya que los platos que fueron secados en el secador solar, conservaron una mayor flexibilidad parecida a los platos elaborados con poliestireno expandido, además de la disminución de olor y color.

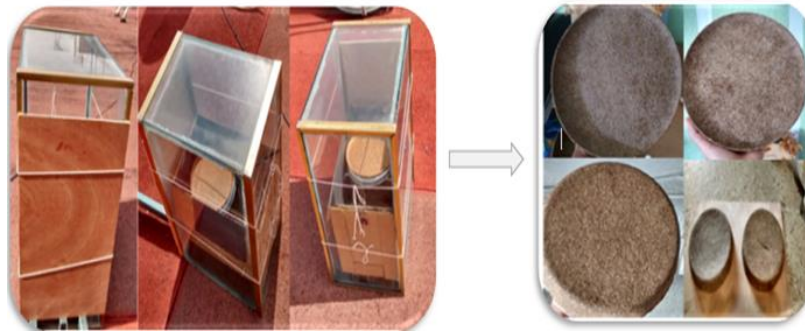


Figura 12. Platos biodegradables después de 24-48h de exposición en un secador solar

Adicional a esta innovación, y con el objetivo de mejorar la impermeabilidad de los recubrimientos utilizados (anteriormente CMC y Q-Qn) en los platos desechables elaborados con bagazo de malta y harina de yuca, se procedió a probar un nuevo recubrimiento natural de origen lipídico para lograr incrementar su impermeabilidad. La razón principal de esto fue la de obstruir el transporte de humedad debido a su baja polaridad. Dentro de este grupo de materiales propuestos se encuentran las ceras naturales, las cuales son uno de los compuestos más eficientes para ser usados como barrera contra la humedad y mejorar la apariencia superficial. Las ceras tienen un conjunto de propiedades que las hace muy útiles en un amplio rango de aplicaciones, ya que por su carácter hidrófobo, repelen el agua, y a nivel orgánico recubren tejidos dándoles consistencia y protección frente a la acción externa, como lubricantes o impermeabilizantes, además su estabilidad química y alto punto de fusión las convierte en un material sumamente útil y aplicable en diferentes industrias (Multiceras, 2006). Entre las ceras naturales más utilizadas se encuentran las de carnauba, de abeja y la cera de candelilla y dentro de las sintéticas están las ceras polietilénicas (Ávila-Rebollar, 2007; Bourtoom, 2008). Siguiendo con la filosofía del proyecto bajo estudio, se eligieron la cera de carnauba y la cera de candelilla. Cabe destacar que otra de las razones por las que se seleccionaron estas ceras fue debido a sus buenas propiedades hidrofóbicas, su facilidad de acceso y su alto rango de utilidad como recubrimientos en diferentes productos (Morales-Hernández, 2015). La elaboración de estos recubrimientos requirió la adición de otros aditivos, según lo estipulado para cada formulación. Su función según la bibliografía, es: a) Goma guar: fungió como el poliglúcido utilizado para la formación

del recubrimiento que junto con los componentes hidrofóbicos, es decir las ceras (candelilla y carnauba), mejora la función como barrera contra la humedad (Campos et al., 2011; Vargas et al., 2008), además de ser un componente de fácil adquisición y bajo costo. b) Glicerol y polietilenglicol: presentan la función de ser plastificantes y de mejorar las propiedades mecánicas de los recubrimientos haciéndolos más flexibles y menos quebradizos, debido a que el plastificante reduce los enlaces intermoleculares entre las cadenas del polímero (Campos et al., 2011), c) Ácido esteárico: utilizado como agente desmoldante para evitar que la mezcla se pegara al recipiente contenedor y, finalmente, el agua se utilizó para la incorporación de los componentes (Silva et al., 2017; Vercelheze et al., 2013).

Una vez elaborados los dos recubrimientos, se pudo observar de manera subjetiva, que uno presentaba un aspecto más viscoso con respecto al otro, siendo el recubrimiento elaborado con base en cera candelilla, el que mostró un aspecto con mayor viscosidad, probablemente debido a la proporción de goma guar utilizada en la formulación (1.2%), ya que esta goma se caracteriza por impartir este efecto (Domínguez-Courtney y Jiménez-Munguía, 2012). Por otra parte, la aplicación de las formulaciones utilizadas como recubrimientos en este estudio dieron como resultado platos con aspecto ligeramente brillante, rígido, semi-flexible y que carecían de olor y color indeseables (**Figura 13**).



Figura 13. Aspecto de los platos de bagazo de malta y harina de yuca sometidos a dos tipos de secado (horno y secador solar), barnizados con dos tipos de recubrimiento (carnauba y candelilla)

4.6.1 Prueba de ensayo de tracción

Los resultados obtenidos de esta prueba se presentan en la **Tabla 18**. Los valores de resistencia a la ruptura para los platos elaborados con la formulaciones 1 y 2 sometidos a un secado en horno eléctrico fueron de 0.759 y 0.776 MPa, respectivamente, estos valores fueron similares a los obtenidos para el plato comercial de poliestireno expandido evaluado en este trabajo como control, el cual presentó un valor de 0.792 MPa, sin embargo, el plato elaborado con poliestireno expandido mostró un valor más alto de resistencia a la ruptura que los platos elaborados bajo las tres formulaciones de bagazo de malta y harina de yuca, y que fueron sometidos a un secado en secador solar, lo cual indicó que el material necesitó un proceso de cocción, como lo es el proceso de horneado.

Tabla 18. Datos de la resistencia a la ruptura de los platos elaborados con grano agotado y harina de yuca

Forma de secado	Tipo de material	Resistencia a la ruptura (MPa)			
		1	2	3	Media
Horno eléctrico	F1: bagazo de malta (5%) y harina de yuca (45%)	0.79	0.75	0.74	0.76±0.02
	F2: bagazo de malta (23%) y harina de yuca (23%)	0.78	0.69	0.85	0.78 ±0.07
	F3: bagazo de malta (36%) y harina de yuca (4%)	0.48	0.39	0.34	0.40±0.07
Secador solar	F1: bagazo de malta (5%) y harina de yuca (45%)	0.21	0.16	0.18	0.18±0.02
	F2: bagazo de malta (23%) y harina de yuca (23%)	0.26	0.75	0.62	0.55±0.02
	F3: bagazo de malta (36%) y harina de yuca (4%)	0.22	0.26	0.25	0.24±0.02
	Control: poliestireno expandido (unicel)	0.73	0.80	0.85	0.79±0.06

En la investigación de Shogren et al. (1998) se fabricaron bandejas espumadas basadas en almidón de yuca, reportándose que en el proceso de cocción ocurre una gelatinización del almidón lo cual ayuda con la expansión de la mezcla favoreciendo la formación de las bandejas espumadas. Por otra parte, en el trabajo de Navia et al. (2015) se evaluó el efecto de la gelatinización sobre las propiedades mecánicas de bioplásticos elaborados a partir de la harina de yuca, evidenciándose que la gelatinización favorece el comportamiento mecánico de los bioplásticos. De acuerdo con lo anterior y con los resultados obtenidos en este trabajo se puede decir que el proceso de horneado al que fueron sometidos los platos permitió la gelatinización del componente amiláceo lo que

favoreció la plastificación del material, incrementando la unión y adhesión entre el grano agotado, la harina de yuca y el glicerol. Consecuentemente, se incrementó su resistencia a la ruptura volviéndose más similar en términos de la resistencia presentada en el poliestireno expandido.

Los resultados obtenidos también mostraron que la resistencia a la ruptura de los platos elaborados con las tres formulaciones diferentes de bagazo de malta y de la harina de yuca, disminuyó significativamente cuando las muestras fueron sometidas al secador solar. De acuerdo con algunos estudios con este tipo de envases elaborados de almidón, fibras naturales (bagazo de caña, bagazo de malta, agave, entre otras), agua y otros aditivos obtienen una humedad final alrededor del 2 al 4% por efecto de la deshidratación que sufre el envase durante el proceso de secado (Carr et al., 2006, Mello y Mali, 2014, Schmidt y Laurindo, 2010, Vercelheze et al., 2012). En el estudio de Lee et al. (2013) se reportó que el incremento de la disponibilidad de agua fue responsable de la disminución de la resistencia mecánica de las láminas bioplásticas, debido a que el agua ganada actuaba como plastificante, aumentando la flexibilidad de las muestras disminuyendo consecuentemente su esfuerzo a la tensión. Por lo anterior, se puede decir que las muestras sometidas a un secado solar no perdieron el agua suficiente para lograr obtener una humedad similar a la reportada por la literatura en este tipo de materiales (**Tabla 19**), quedándose con agua disponible, provocando la obtención de materiales de baja resistencia mecánica, es decir, con una resistencia a la ruptura mucho menor a la que presentaron las muestras que fueron secadas en un horno eléctrico. También es posible que la humedad presente en los platos que fueron secados por medio de este proceso impidiera que el material plástico derivado del almidón (proveniente de la harina de yuca), pudiera contrarrestar los problemas causados por la alta hidrofiliidad de este polímero (Ceron, 2013). La hidrofiliidad de las moléculas de almidón favorecen la formación de puentes de hidrógeno con el agua, la cual actúa como plastificante, reduciendo las interacciones directas y la proximidad entre las cadenas poliméricas (amilosa/amilopectina) del almidón, aumentando el volumen libre entre estas moléculas (Mello y Mali, 2014, Navia et.al. 2015). De esta manera, las fuerzas de tensión y los movimientos de las cadenas de almidón se facilitaron. Esto se reflejó en una disminución

de la resistencia mecánica de las muestras que fueron secadas con un secador solar (Navia et al., 2015).

Tabla 19. Humedad de los platos elaborados con harina de yuca y grano agotado

Tipo de material	*Humedad(%)		
	Muestra húmeda	Muestra seca (horno eléctrico)	Muestra seca (secador solar)
F1	36.73 ^{±1.95}	3.41 ^{±0.25}	5.15 ^{±0.41}
F2	58.17 ^{±7.77}	2.73 ^{±0.04}	6.30 ^{±0.66}
F3	76.27 ^{±6.43}	2.83 ^{±0.21}	6.35 ^{±0.37}

*Valores promedio de 3 repeticiones por cada formulación y tipo de secado. Donde: F1, F2 y F3= Formulaciones

Para corroborar la existencia de una diferencia estadísticamente significativa en la resistencia de los platos se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) simple para el factor tipo de material con un nivel de confianza del 95%. El resultado de este análisis mostró que sí hubo una diferencia significativa con respecto de la formulación y la resistencia que presentaron los platos elaborados (**Tabla 20**).

Tabla 20. Análisis de varianza (ANDEVA) para la resistencia a la ruptura

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Tipo de material	1.29	6	0.21	18.02	0.0000
Intra grupos	0.17	14	0.01		
Total (Corr.)	1.45	20			

Donde: GI= grados de libertad

En la **Tabla 21** se aprecia entre cuales muestras hubo una diferencia significativa. En ella se visualiza que la variación de la formulación no afectó significativamente la resistencia a la ruptura de las muestras de las formulaciones 1 y 2 sometidas a un secado con horno eléctrico y a la resistencia que presentó la muestra “control” elaborada con el unigel. Por otro lado estos resultados mostraron que la muestra elaborada con la formulación 2 sometida a un secado por medio de un secador solar tuvo una diferencia significativa con respecto a todas las muestras elaboradas y al control (unigel). Además de lo anterior se pudo observar que las formulaciones 1 y 3 sometidas a un secado solar y la formulación 3 secada mediante un horno eléctrico no presentaron diferencias significativas entre ellas. Dentro de las tres muestras que fueron sometidas al secado solar, la formulación 2 fue la que mayor resistencia presentó (0.546 MPa). Este comportamiento probablemente se debió a la composición de la mezcla, ya que posee la misma cantidad de bagazo de malta que la de harina de yuca. Esto podría presentar un posible efecto sinérgico donde la

asociación del almidón impartido por la harina y la presencia de fibra del grano agotado, logrará una modificación superficial favoreciendo su resistencia. Lo mismo se observó en las tres formulaciones sometidas al secado en horno, siendo la formulación con las mismas proporciones de harina y bagazo de malta la que tuvo una mayor resistencia (0.776 MPa).

Tabla 21. Prueba de rangos múltiples para el parámetro de resistencia en los platos. Donde F1/H=formulación 1-secado en horno, F2/H=formulación 2-secado en horno, F3/H=formulación 3-secado en horno, F1/S=formulación 1-secado en secador solar, F2/S=formulación 2-secado en secador solar y F3/S=formulación 3-secado en secador solar

<i>Tipo de material</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
F1/S	3	0.184	X
F3/S	3	0.244	X
F3/H	3	0.317	X
F2/S	3	0.546	X
F1/H	3	0.759	X
F2/H	3	0.776	X
Unicel	3	0.793	X

Medias con una X común no son significativamente diferentes (95% de Fisher LSD)

Por otra parte, en ambos casos de secado se observó que las formulaciones con una mayor cantidad de bagazo de malta, en un 36%, afectó significativamente los valores de resistencia respecto del control (unicel). Según Cinelli et al. (2006) y Shogren et al. (1998), la presencia de fibra en las formulaciones para obtener productos plásticos biodegradables a partir del almidón aumentó la viscosidad de la mezcla, lo cual disminuyó la capacidad de formación de espuma de estas pastas afectando o modificando otras propiedades del material. Por lo anterior, pudiera ser posible que el uso del bagazo en concentraciones altas no favoreciera la resistencia de los platos.

4.6.2. Prueba de permeabilidad

Basados en los recubrimientos en donde se empleó la CMC y el recubrimiento de Q-Qn, para esta prueba solamente se emplearon las ceras naturales (carnauba y candelilla) en los platos elaborados con bagazo de malta y harina de yuca. En la **Figura 14** se aprecia un aspecto general del comportamiento de la impermeabilidad de los platos de manera natural (sin recubrimiento) y su comparación con los dos tipos de recubrimientos utilizados para mejorar este comportamiento. La formulación que presentó un mayor tiempo de impermeabilidad, es decir, que soportó por más tiempo el contener al menos 200 mL de agua, en los tres casos (sin recubrimiento, con el recubrimiento de carnauba

y con el recubrimiento de candelilla), fue la formulación 1 en las dos presentaciones del tipo de secado. Esto pudo haberse debido a su composición, ya que al tener una mayor cantidad de harina de yuca (45%) tuvo un contenido mayor de almidón, favoreciendo el proceso de gelatinización y, por consiguiente, confiriendo un mayor tiempo de impermeabilidad al plato. De acuerdo con la literatura, la gelatinización permite la formación de redes con fuertes uniones intermoleculares entre las cadenas poliméricas, lo cual provoca la disminución de espacios internos libres y una menor porosidad en el material, de modo que se presenta una menor velocidad de absorción de agua (Müller et al., 2014; Pérez et al., 2007). Por otro lado, la formulación que tuvo una permeabilidad muy alta, es decir que no soportó por mucho tiempo la contención de agua y se rompió en poco tiempo fue la formulación 3. En este caso, la presentación que fue secada en horno eléctrico presentó un mayor tiempo de impermeabilidad en los tres casos (sin recubrimiento, con el recubrimiento de carnauba y con el recubrimiento de candelilla). En cuanto a la formulación 2, en el caso de la muestra que fue sometida a un secador solar mejoró su impermeabilidad utilizando ambos recubrimientos. Sin embargo, el recubrimiento que contenía la cera de carnauba resultó ser el más favorecido con respecto de la formulación 2 sometida al proceso de secado por medio del horno eléctrico.

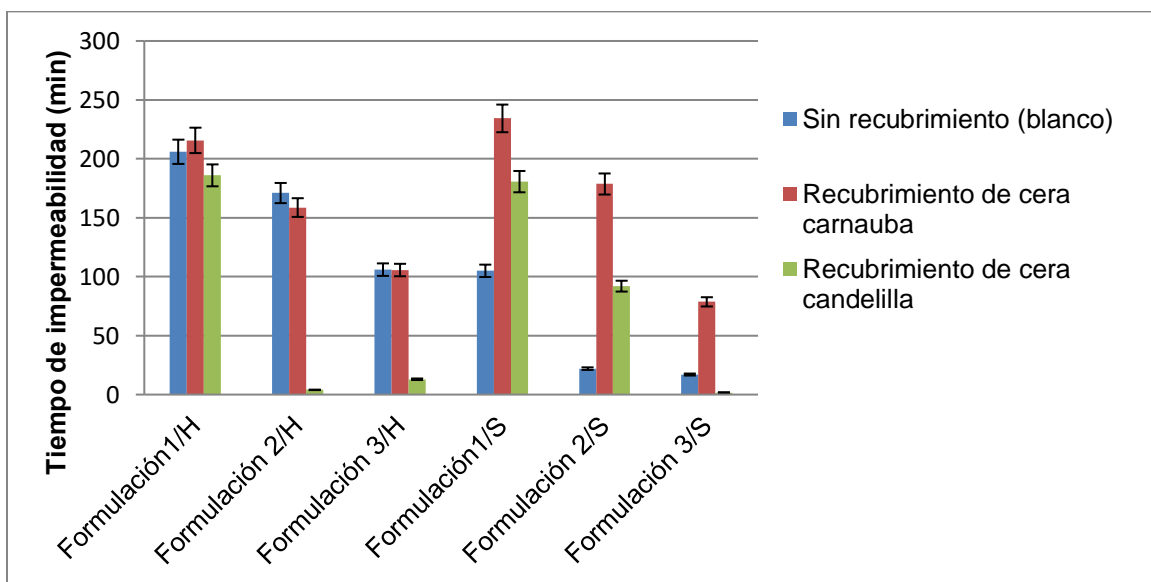


Figura 14. Representación gráfica de la permeabilidad de los platos utilizando dos recubrimientos distintos y un blanco (sin recubrimiento)

Además, se observó que el comportamiento entre la muestra sin recubrir y la recubierta por la cera de carnauba fue similar. La muestra con el recubrimiento de cera de candelilla

no presentó una mejora en la impermeabilidad del plato. Cabe mencionar que, entre los dos recubrimientos, el más adecuado para mejorar la impermeabilidad fue el recubrimiento elaborado con base en la cera de carnauba, especialmente si los platos fueron sometidos a un secado solar.

Para demostrar la existencia de una diferencia estadísticamente significativa en la permeabilidad de los platos (**Tabla 22**), se realizó el análisis de varianza (ANDEVA, **Tabla 23**). El resultado de este análisis estadístico mostró que hubo una diferencia significativa en el factor tipo de recubrimiento y el factor tipo de material, así como en la interacción entre los factores tipo de recubrimiento y tipo de secado, lo cual indicó que estos factores y la interacción mencionada, tuvieron un efecto estadísticamente significativo sobre el tiempo de impermeabilidad de los platos con un 95.0% de nivel de confianza.

Tabla 22. Datos del tiempo de impermeabilidad de los platos

Tipo de secado	Tipo de material	*Tiempo de impermeabilidad (min)		
		Sin recubrimiento (control)	Recubrimiento de cera candelilla	Recubrimiento de cera carnauba
Horno eléctrico	F1: bagazo de malta (5%) y harina de yuca (45%)	206 ^{±75.02}	186 ^{±19.05}	215.67 ^{±39.27}
	F2: bagazo de malta (23%) y harina de yuca (23%)	171 ^{±47.47}	4 ^{±6.08}	158.67 ^{±32.96}
	F3: bagazo de malta (36%) y harina de yuca (4%)	106 ^{±12.12}	13 ^{±8.54}	105.67 ^{±12.42}
Secador solar	F1: bagazo de malta (5%) y harina de yuca (45%)	105 ^{±17.69}	180.67 ^{±87.55}	234.33 ^{±112.88}
	F2: bagazo de malta (23%) y harina de yuca (23%)	22 ^{±8.18}	92 ^{±81.96}	178.67 ^{±39.58}
	F3: bagazo de malta (36%) y harina de yuca (4%)	17 ^{±6.24}	1.67 ^{±1.53}	78.67 ^{±31.66}

*Valores promedio de 3 repeticiones por cada tipo de material y tipo de secado

Tabla 23. Análisis de varianza (ANDEVA) para la impermeabilidad

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Tipo de recubrimiento	21420.80	2	10710.40	10.19	0.027
B: Tipo de material	55168.70	2	27584.30	26.25	0.005
C: Tipo de secado	3640.89	1	3640.89	3.46	0.136
INTERACCIONES					
AB	5602.19	4	1400.55	1.33	0.394
AC	16383.5	2	8191.75	7.79	0.042
BC	622.437	2	311.219	0.30	0.759
RESIDUOS	4203.66	4	1050.91		
TOTAL (CORREGIDO)	107042.00	17			

Donde Gl= grados de libertad

En la **Tabla 24** se observa la prueba de rangos múltiples. Se realizó para conocer aquellas muestras que tenían diferencia significativa. Los resultados mostraron que el tipo de recubrimiento que afectó significativamente la permeabilidad de los platos fue la cera de carnauba. Confirió un efecto hidrófobo mayor, el cual se vio reflejado en el incremento del tiempo de impermeabilidad. Este recubrimiento tuvo un mayor efecto sobre las muestras de los platos que fueron sometidos a un secado solar, ya que el tiempo de impermeabilidad se incrementó 60 minutos más sobre los tiempos presentados por las muestras sin recubrimiento (blanco). En el caso de las muestras que se sometieron a un secado por horno, únicamente en la muestra elaborada con la formulación 1 fue en la que el tiempo de impermeabilidad se incrementó alrededor de 10 min más sobre el tiempo presentado por el blanco (**Tabla 22**).

Con la prueba de rangos múltiples para el parámetro de impermeabilidad referente al factor tipo de material se corroboró que este factor afectó significativamente la impermeabilidad de los platos (**Tabla 25**). La formulación 1 mostró tener una mayor resistencia, probablemente debido a su composición, ya que su contenido de almidón favoreció el proceso de gelatinización. Este proceso pudo producir un efecto favorable en la disminución de la permeabilidad (Flores et al., 2007).

Tabla 24. Prueba de rangos múltiples para el parámetro de impermeabilidad en los platos referente al factor tipo de recubrimiento

<i>Tipo de recubrimiento</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
Candelilla	6	79.557	13.235	X
Sin recubrimiento	6	104.5	13.235	X
Carnauba	6	161.947	13.235	X

Medias con una X común no son significativamente diferentes (95% de Fisher LSD)

Tabla 25. Prueba de rangos múltiples para el parámetro de impermeabilidad en los platos referente al factor tipo de material

<i>Tipo de material</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
F3	6	53.668	13.235	X
F2	6	104.39	13.235	X
F1	6	187.945	13.235	X

Medias con una X común no son significativamente diferentes (95% de Fisher LSD)

Al constatar que los platos con un mayor tiempo de impermeabilidad fueron aquellos que se sometieron a un secado en horno, se procedió a repetir esta misma prueba de permeabilidad únicamente utilizando este tipo de platos. En ellos se colocaron muestras

de dos alimentos (sopa y helado) en lugar de agua, con el fin de evaluar el comportamiento del plato en contacto con un alimento. Los resultados indicaron que los platos donde se colocó helado presentaron un mayor tiempo de impermeabilidad (oscilando entre 2h y 4 días en refrigeración), es decir, que el plato soportó contener por más tiempo este tipo de alimento, lo cual era de esperarse por las propias características del alimento. Por otra parte, los tiempos de impermeabilidad mostrados en los platos que contuvieron sopa no fueron tan altos como en los platos que contenían helado. Sin embargo, el tiempo de impermeabilidad en los tres tipos de material (F1, F2, F3) recubiertos y sin recubrir sobrepasaron las tres horas de contención del alimento sin presentar daño, por lo que se piensa que este tiempo resulta suficiente para que un plato desechable cumpla su función (**Figuras 15 y 16**).

El análisis estadístico (**Tabla 26**) mostró que el factor tipo de alimento tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre el tiempo de impermeabilidad con un 95.0% de nivel de confianza, esto corrobora que fue más favorable hacer uso de estos platos con alimentos sólidos o semisólidos que con alimentos líquidos, ya que como se observó en alimentos calientes y líquidos como la sopa poseen una menor durabilidad (entre 3 y 5h) que en alimentos sólidos o semi-sólidos (más de 24h), ya que éstos últimos pueden permanecer por tiempo prolongado en los platos sin que éstos se rompan.

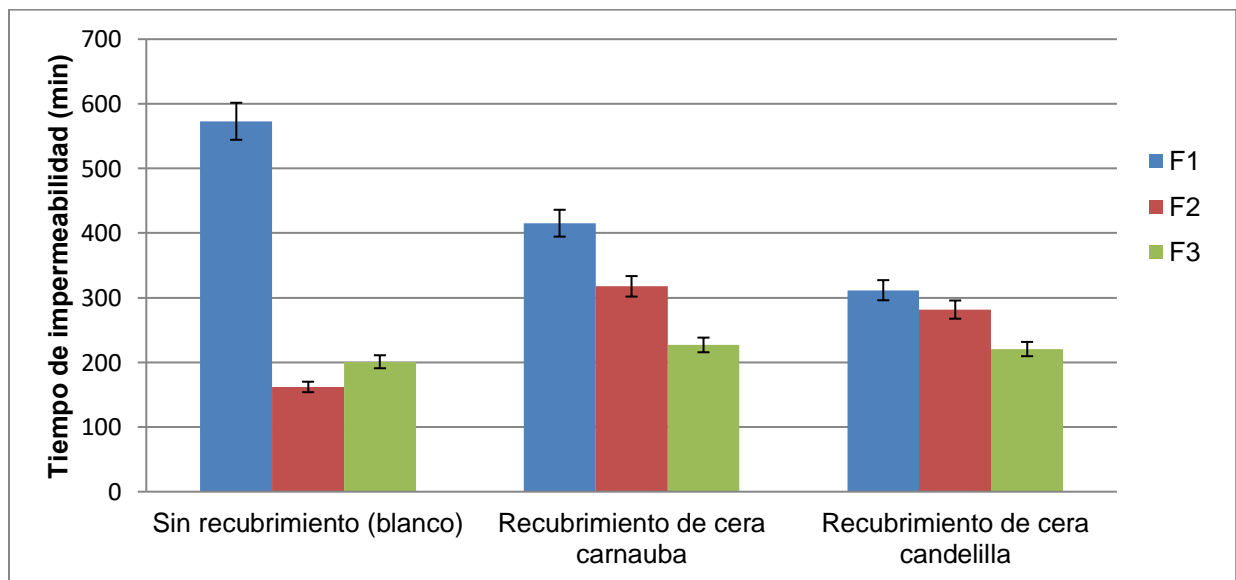


Figura 15. Representación gráfica del comportamiento de la permeabilidad de los platos recubiertos (dos tipos de recubrimiento) y su blanco, en contacto con un alimento líquido (sopa). Donde F1=Formulación 1, F2= Formulación 2 y F3= Formulación 3

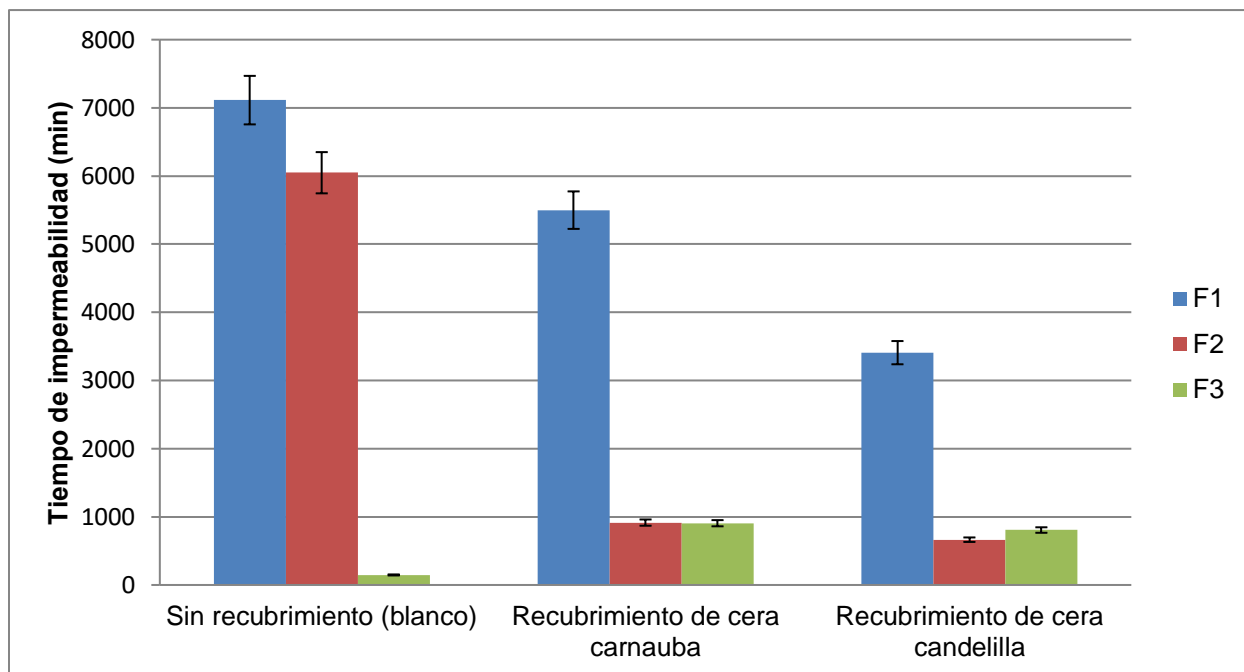


Figura 16. Representación gráfica del comportamiento de la permeabilidad de los platos recubiertos (dos tipos de recubrimiento) y su blanco, en contacto con un alimento semisólido (helado). Donde F1=Formulación 1, F2= Formulación 2 y F3= Formulación 3

Tabla 26. Análisis de varianza (ANDEVA) para la impermeabilidad de los platos con base en bagazo de malta y harina de yuca, recubiertos (dos tipos de recubrimiento) y su blanco, en contacto con dos diferentes alimentos (sopa y helado)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>GI</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tipo de recubrimiento	6.411	2	3.206	1.91	0.262
B:Formulación	1.854	2	9.271	5.51	0.071
C:Tipo de alimento	2.887	1	2.887	17.16	0.014
INTERACCIONES					
AB	6.479	4	1.619	0.96	0.514
AC	6.135	2	3.068	1.82	0.274
BC	1.534	2	7.672	4.56	0.093
RESIDUOS	6.729	4	1.682		
TOTAL (CORREGIDO)	8.851	17			

Donde GI= grados de libertad

4.6.3. Prueba de biodegradabilidad

Esta prueba se realizó durante tres semanas, es decir 21 días, periodo en el cual se obtuvieron los resultados presentados de manera sintetizada en las **Tablas 27 y 28**. De acuerdo con los resultados, se observó que todas las formulaciones de bagazo de malta y de harina de yuca utilizadas para elaborar los platos, presentaron un porcentaje mayor de pérdida de masa conforme transcurrieron los días, mostrando valores de entre un 40-57% de pérdida después de los 21 días. De igual forma, se observó que el poliestireno expandido se mantuvo sin pérdida aún después de haber transcurrido las tres semanas. Lo anterior era de esperarse ya que, según la literatura, el unicel tarda alrededor de 1000 años o más en degradarse en condiciones ambientales (Sosa-Olivier et al., 2017; ANAPE, 2018). Esto lo convierte en un material con bajo-nulo nivel de degradación. Hoy en día existen proyectos, como el proyecto ECO EPS, que pretende aumentar de forma significativa la tasa de recuperación y reciclado de los envases de poliestireno expandido (ANAPE, 2018), sin embargo y pese a estos proyectos, que cada día toman una mayor importancia, el poliestireno expandido sigue siendo un material no biodegradable y, tristemente, de amplio uso en establecimientos de comidas y bebidas.

Tabla 27. Valores promedio de 3 repeticiones por cada formulación secada en horno eléctrico y el recubrimiento aplicado

Tiempo (días)	Tipo de recubrimiento	Formulación 1 /Secado en horno eléctrico		Formulación 2/Secado en horno eléctrico		Formulación 3/Secado en horno eléctrico	
		Promedio	% Pérdida de masa	Promedio	% Pérdida de masa	Promedio	% Pérdida de masa
7	sin recubrimiento	1	9.00	0.8	5.8	0.6	4.4
	carnauba	0.9	8.0	0.4	3.0	2.5	18.3
	candelilla	1.3	13.3	1.0	10.3	3.8	29.5
14	sin recubrimiento	1.5	14.9	3.2	25.5	2.7	20.6
	carnauba	2.3	21.9	0.5	3.8	0.17	1.5
	candelilla	2.7	31.4	4.2	35.5	3.0	32.7
21	sin recubrimiento	3.4	37.3	4.3	46.6	3.2	31.5
	carnauba	3.0	36.6	3.8	29.6	2.6	23.6
	candelilla	2.8	46.9	4.0	52.0	2.5	40.5
Poliestireno expandido(unicel)		Promedio	% Pérdida de masa				
		1.4	0				

Tabla 28. Valores promedio de 3 repeticiones por cada formulación secada en secador solar y el recubrimiento aplicado

Tiempo (días)	Tipo de recubrimiento	Formulación 1/ secado en secador solar		Formulación 2/ secado en secador solar		Formulación 3/ secado en secador solar	
		Promedio	% Pérdida de masa	Promedio	% Pérdida de masa	Promedio	% Pérdida de masa
7	sin recubrimiento	1.2	11.8	1.1	11.5	0.8	5.5
	carnauba	0.9	8.7	1.3	13.1	1.1	8.3
	candelilla	1.3	12.5	2.2	22.9	1.6	18.3
14	sin recubrimiento	1.7	19.0	2.2	26.3	3.5	26.4
	carnauba	2.8	29.4	2.5	29.5	1.9	15.6
	candelilla	2.7	29.7	1.7	22.5	1.9	27.1
21	sin recubrimiento	2.8	38.2	2.1	34.6	2.9	30.1
	carnauba	2.7	40.7	1.9	32.2	3.2	30.8
	candelilla	1.9	29.7	1.5	26.2	2.9	56.9
Poliestireno expandido(unicel)		Promedio	% Pérdida de masa				
		1.4	0				

En las **Figuras 17, 18 y 19** se puede observar el porcentaje de masa que fue perdiendo cada uno de los platos elaborados con las 3 formulaciones, dos secados diferentes y utilizando dos tipos de recubrimientos con base en ceras naturales. Conforme transcurrió el tiempo, incluyendo muestras sin recubrir y otra muestra de unicel, utilizadas como blanco y control, respectivamente, se aprecia que la mayoría de las muestras presentaron un porcentaje de pérdida de masa similar, excepto la muestra elaborada con la formulación 2-secado en horno (F2/H). Esta fue la muestra que más pérdida de masa presentó a los 21 días y al encontrarse expuesta bajo condiciones ambientales que propiciaron su degradación, por lo anterior se decidió tomar esta muestra como ejemplo de estudio más significativo y realizar comparaciones con las muestras recubiertas para poder observar si el tipo de recubrimiento favoreció o no el tiempo de degradación, esto no quiso decir que las demás formulaciones no fueran a degradarse, sino que el tiempo de degradación pudiera ser más prolongado.

En la **Figura 18** se observan todas las muestras que fueron recubiertas con la solución elaborada con base en la cera de carnauba, de tal modo, que el resultado presentado para la formulación 2-secado en horno (F2/H) mostró una disminución en el porcentaje de pérdida de masa, (alrededor de un 17%), lo cual indicó que el recubrimiento pudiese

afectar el retraso de la degradación, lo que pudiese ser de utilidad para la vida de anaquel de los platos. Por otro lado, en la **Figura 19** se visualiza como la formulación 2-secado en horno, con un recubrimiento elaborado con base en cera de candelilla, presento un porcentaje de pérdida de masa muy similar a la presentada en la muestra sin recubrimiento, esto indicó que el uso de este tipo de recubrimiento afectó de manera mínima la degradación.

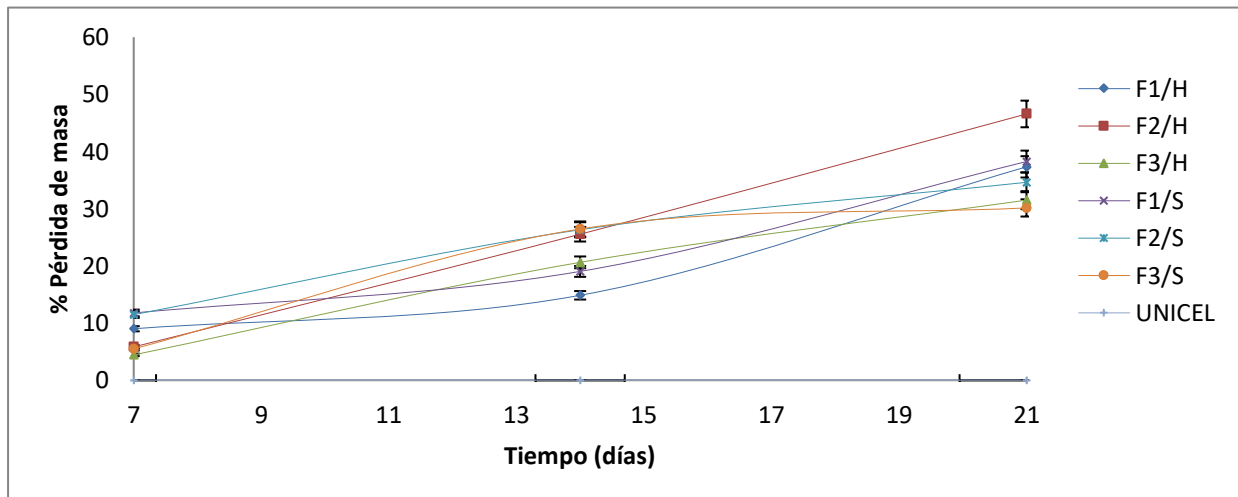


Figura 17. Representación gráfica de los resultados de la prueba de biodegradabilidad de las muestras blanco sin recubrimiento en un periodo de 21 días, incluyendo al unicel. Donde F1/H=formulación 1-secado en horno, F2/H=formulación 2-secado en horno, F3/H=formulación 3-secado en horno, F1/S=formulación 1-secado en secador solar, F2/S=formulación 2-secado en secador solar y F3/S=formulación 3-secado en secador solar

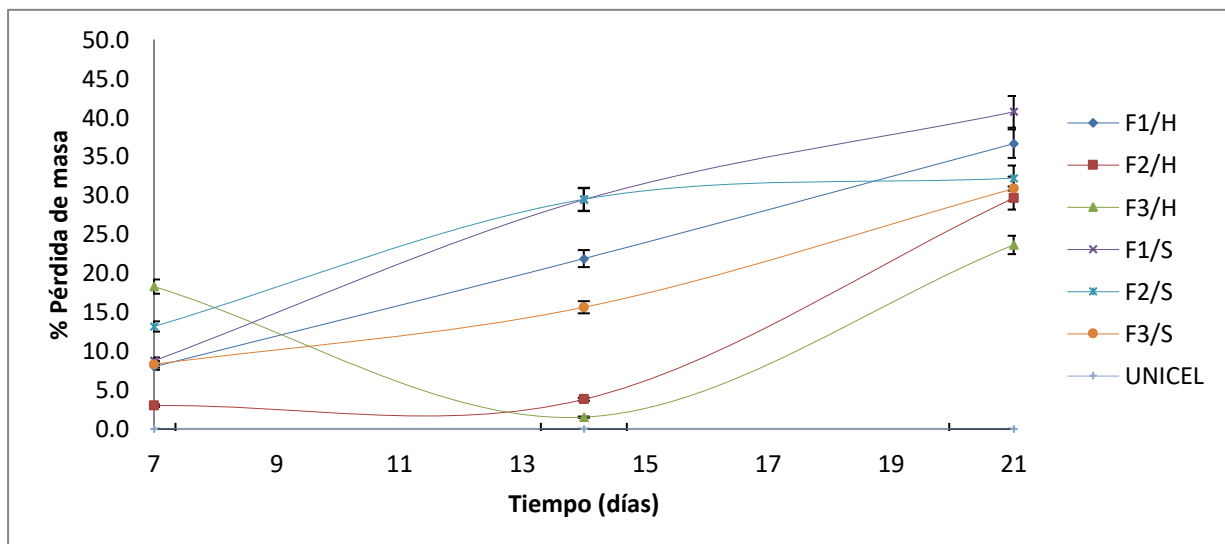


Figura 18. Representación gráfica de los resultados de la prueba de biodegradabilidad de las muestras con el recubrimiento elaborado con base en cera carnauba, en un periodo de 21 días, incluyendo al unicel. Donde F1/H=formulación 1-secado en horno, F2/H=formulación 2-secado en horno, F3/H=formulación 3-secado en horno, F1/S=formulación 1-secado en secador solar, F2/S=formulación 2-secado en secador solar F3/S=formulación 3-secado en secador solar

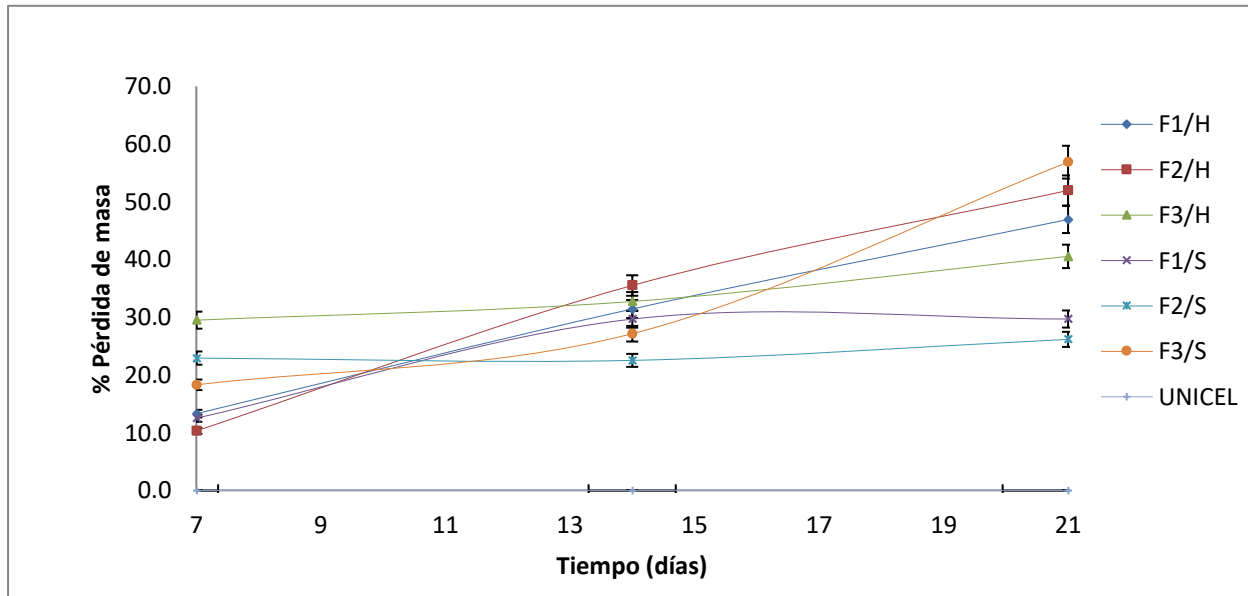


Figura 19. Representación gráfica de los resultados de la prueba de biodegradabilidad de las muestras con el recubrimiento elaborado con base en cera candelilla, en un periodo de 21 días, incluyendo al unicel. Donde F1/H=formulación 1-secado en horno, F2/H=formulación 2-secado en horno, F3/H=formulación 3-secado en horno, F1/S=formulación 1-secado en secador solar, F2/S=formulación 2-secado en secador solar y F3/S=formulación 3-secado en secador solar

Con la finalidad de corroborar la existencia de una diferencia estadísticamente significativa en el porcentaje de pérdida de masa de la muestra, se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) de dos factores: tipo de material y tipo de recubrimiento, con un nivel de confianza del 95%. Los resultados indicaron que sí hubo una diferencia en el factor tipo de material (**Tabla 29**). Esto quiere decir que el tipo de material afectó significativamente el porcentaje de pérdida de masa, es decir, su degradación.

La prueba de rangos múltiples (**Tabla 30**) se realizó para conocer si hubieron diferencias significativas entre muestras. Los resultados mostraron que no hubo diferencias entre las formulaciones elaboradas con bagazo de malta y la harina de yuca; sin embargo, sí hubo diferencia significativa entre éstas con el control (unicel).

Tabla 29. Análisis de varianza (ANDEVA) para la prueba de biodegradabilidad

Fuente	Suma de cuadrados	GI	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tipo de recubrimiento	1.722	2	0.861	0.74	0.485
B:Tipo de material	38.295	6	6.383	5.46	0.000
INTERACCIONES					
AB	5.300	12	0.442	0.38	0.964
RESIDUOS	49.100	42	1.169		
TOTAL (CORREGIDO)	94.418	62			

Donde GI= grados de libertad

Tabla 30. Prueba de rangos múltiples para el parámetro de biodegradabilidad en los platos referente al factor tipo de material. Donde F1/H=formulación 1-secado en horno, F2/H=formulación 2-secado en horno, F3/H=formulación 3-secado en horno, F1/S=formulación 1-secado en secador solar, F2/S=formulación 2-secado en secador solar y F3/S=formulación 3-secado en secador solar

<i>Tipo de material</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
unicel	9	0	0.360408	X
F2/S	9	1.83333	0.360408	X
F1/S	9	2.0	0.360408	X
F1/H	9	2.1	0.360408	X
F3/S	9	2.2	0.360408	X
F3/H	9	2.34444	0.360408	X
F2/H	9	2.46667	0.360408	X

Medias con una X común no son significativamente diferentes (95% de Fisher LSD)

Lo anterior era de esperarse ya que el material utilizado para la elaboración de platos fue hecho con base en materia orgánica, la cual es susceptible a la descomposición por microorganismos como los hongos o las bacterias presentes en el ambiente, ya que son capaces de metabolizar y biodegradar la fracción orgánica (almidón y fibra) que conforma el material (Torres-Rodríguez, 2003), lo que favorece su pérdida de masa, es decir, su biodegradación, a diferencia del uncel el cual es un material elaborado con sustancias químicas sintéticas. Existen en el mercado platos biodegradables como los platos de la marca ecoshell[®], elaborados con base en biopolímeros de plantas (almidones y celulosa), cuyo tiempo de biodegradación es de 90 a 240 días (Ecoshell, 2018). De modo que, al comparar el tiempo de biodegradación de los platos comerciales con el tiempo estimado de los platos elaborados con grano agotado y harina de yuca (21-30 días), se notó que los platos elaborados en la investigación presentaron un menor tiempo en degradarse, esto es atribuible a la misma composición del material (materia orgánica en descomposición), mientras que los platos marca ecoshell[®] al ser elaborados con una mezcla de biopolímeros, almidones y celulosa, los cuales son moléculas orgánicas más complejas y difíciles de degradar tomarán un mayor tiempo en su biodegradación.

4.6.4. Evaluación sensorial de los platos biodegradables elaborados con bagazo de malta y harina de yuca, para evaluar su aceptación por parte del consumidor

El análisis de los resultados obtenidos de la evaluación sensorial realizada constó de tres partes. La primera de ellas fue para identificar al consumidor, por lo que se le preguntó

su edad y género, los resultados se muestran en la **Figuras 20 y 21**. La edad de los consumidores que evaluaron los platos desechables biodegradables elaborados con base en bagazo de malta y harina de yuca se encontraron entre los 18 a los 65 años. Se observó una frecuencia mayor entre los 22- 24 años debido a que el estudio se realizó en la Facultad de Química y este rango de edades coincidió con la edad promedio de los universitarios y sus académicos. Por otro lado, los resultados de género mostraron que más evaluadores fueron mujeres obteniendo un total de 55 frente a 45 hombres, dando un total de 100 evaluadores.

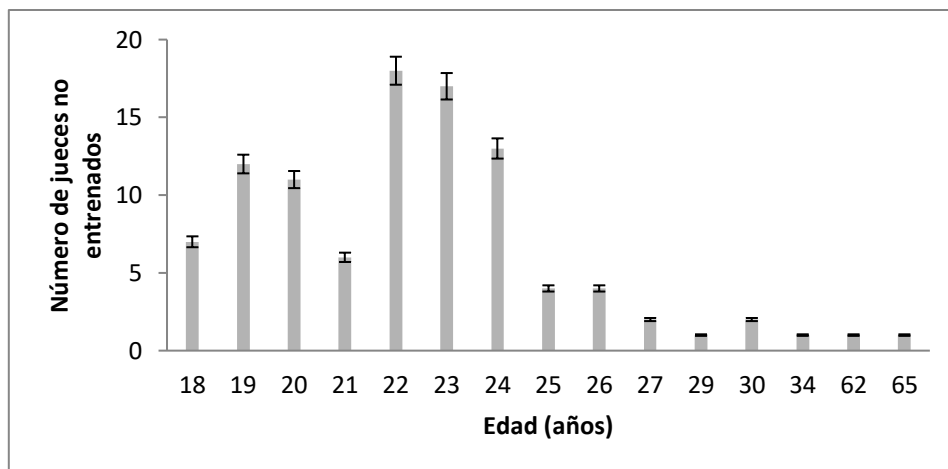


Figura 20. Representación gráfica del rango de edad entre los consumidores

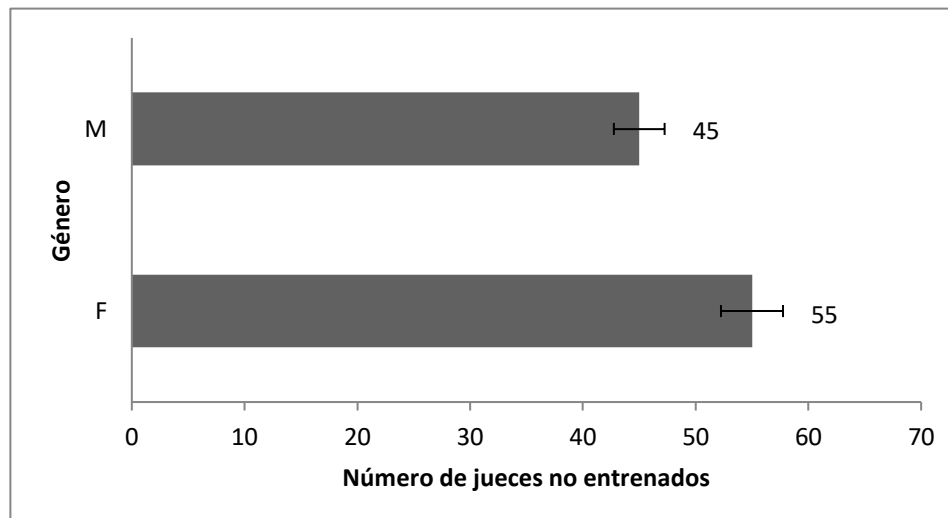


Figura 21. Representación gráfica del género de los consumidores

La segunda parte de la evaluación buscó obtener información acerca de la utilización y frecuencia del empleo de los platos de poliestireno expandido y por otro lado, también se

buscó obtener información sobre el conocimiento por parte del consumidor de las nuevas opciones que se tienen ante este tipo de envases. Los resultados mostrados en las **Figuras 22 y 23** indicaron que el 82% de la población evaluada hace uso de platos desechables de unigel por lo menos una vez al mes (64 personas) o una vez por semana (23 personas), y solo el 18% no hace uso de estos platos.

Por otra parte, el 56% de las personas evaluadas no conocieron algún tipo de platos desechables biodegradables, lo cual justifica la respuesta de frecuencia de uso, 79 personas nunca habían usado un plato desechable biodegradable. El 44% de las personas evaluadas sí conocieron los platos desechables biodegradables pero la frecuencia de uso resultó muy baja. Solamente 19 personas usaron este tipo de platos por lo menos una vez al mes. Esto puede deberse tanto a la falta de promoción como a su costo, ya que el precio de los platos de unigel son mucho más económicos (\$10-15 por un paquete con 20 platos) comparado con los platos desechables biodegradables (\$22 a \$50 por un paquete con 20 platos chicos).

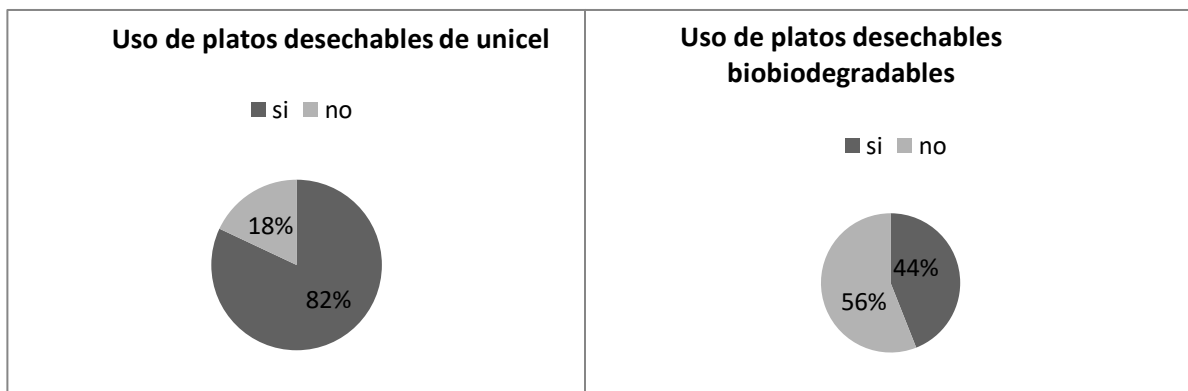


Figura 22. Representación gráfica del uso de platos desechables de unigel y platos biodegradables comerciales por parte de los consumidores

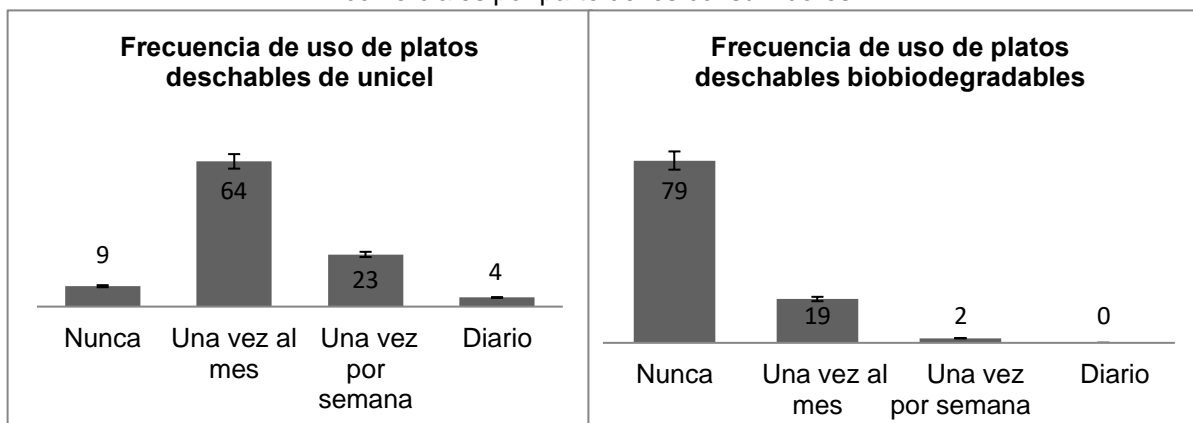


Figura 23. Representación gráfica de la frecuencia de uso de platos desechables de unigel y platos biodegradables comerciales por parte de los consumidores

La tercera parte consistió en evaluar los platos desechables biodegradables elaborados incluyendo un plato desechable de unicel y un plato desechable biodegradable comercial, con la finalidad de conocer la existencia de diferencias significativas en los cuatro atributos de los platos: color, olor, forma y textura y la percepción de ellos ante los consumidores. Para evaluar los cuatro atributos y obtener respuesta del consumidor se utilizó una escala hedónica de nueve puntos (**Figura 24**, ver **Anexo 1**). Para el tratamiento de los datos se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) simple para cada uno de los factores. Los atributos fueron color, olor, forma y textura con un nivel de confianza del 10% (**Tablas 31, 33, 35 y 37**, ver **Anexo 1**). En los cuatro análisis de varianza realizados para cada atributo se presentó una gran diferencia entre la F calculada y la F crítica, siendo la calculada mayor que la segunda. Por lo tanto, sí hubo una diferencia significativa muy notable. Hubo diferencia en cuanto al color, olor, forma y textura de los platos para los consumidores utilizando la escala de 9 puntos entre 8 platos diferentes (6 platos de harina de yuca y bagazo de malta, el plato de unicel y el plato biodegradable comercial). Por lo anterior, se realizó una prueba de DMS (diferencia mínima significativa) para cada uno de los atributos (**Tablas 32, 34, 36 y 38**, ver **Anexo 1**) con el objetivo de evaluar entre qué platos hubo una mayor diferencia percibida por los consumidores. En cuanto al atributo de color, los consumidores notaron diferencias significativas entre los platos elaborados con la formulación 1-secado en horno (F1/H), formulación 2-secado en horno (F2/H), formulación 1-secado en secador solar (F1/S) y el control de unicel lo cuales presentaron los valores de 1.58, 1.0 y 1.24, respectivamente. Las muestras formulación 1-secado en horno (F1/H) y formulación 3-secado en horno (F3/H) tuvieron un valor de 0.96. Entre la formulación 1-secado en horno (F1/H) y formulación 2-secado en secador solar (F2/S) mostraron un valor de 0.87. Estas diferencias fueron las más marcadas al compararse contra el valor obtenido de DMS (0.31). Entre las diferencias de medias donde el consumidor no logró notar alguna diferencia con respecto del color fue entre los platos elaborados con la formulaciones (F2/H) contra (F1/S), (F2/S) y (F3/S), (F3/H) con (F2/S) y el plato comercial. También en (F3/S) con (F1/S) y (F2/S) y, finalmente, (F2/S) y el plato comercial, hubieron diferencias, ya que en todas éstas el valor de diferencia fue menor a 0.31. Las diferencias más notorias por los consumidores para el atributo de olor fueron entre los platos elaborados

con (F1/H) y (F2/H) teniendo un valor de 1.27, para (F1/H) y (F3/S) presentando un valor de 1.37, para (F1/H) y el plato comercial con un valor de 1.44 y para (F1/H). El plato de unigel mostró un valor de 1.53.

Para el caso de la forma del plato, los consumidores identificaron una diferencia significativa entre los platos elaborados con la formulación (F2/H) y el plato comercial con un valor de 0.64. También entre el plato de unigel y los platos elaborados con (F1/S) y (F3/S) presentaron valores mayores (0.54 y 0.56, respectivamente) al obtenido de DMS (0.27). En los casos donde no hubo diferencia por parte de los consumidores fue entre los platos elaborados con (F1/H) y (F2/H) junto con el plato comercial, seguido de los elaborados con F1/S y F3/S.

Para el caso de la textura, los consumidores marcaron diferencia para la textura, entre los platos elaborados con (F1/H) y (F3/H),(F3/S), (F2/S) y el plato de unigel, así como los elaborados con (F1/S) y (F2/S), el plato de unigel y (F1/S). Todos mostraron valores de diferencias más marcadas que la DMS, a diferencia de las siguientes que mostraron diferencias menores a la DMS. Esto indicó que los consumidores no marcaron una diferencia en la textura entre los platos elaborados con (F3/S) y (F2/S), (F3/H), incluyendo el plato de unigel y (F3/H).

Continuando con el estudio sensorial y mediante un ordenamiento de los datos por medio de la escala hedónica de 9 puntos (**Tabla 39**) se muestra que el plato que más les gustó a los consumidores en cuanto al color y olor fue el elaborado con la formulación (F1/H). En el caso de la forma y la textura los consumidores prefirieron el plato desechable biodegradable de marca comercial.

Tabla 39. Resultados obtenidos del ordenamiento de los datos por medio de la escala hedónica de 9 puntos, siendo indicativos de la preferencia del consumidor los datos sombreados

Atributo	Muestra							
	F1/H	F2/H	F3/H	F1/S	F2/S	F3/S	comercial biodegradable	Unigel
Color	712	654	616	678	625	650	622	554
Olor	684	621	599	619	557	547	540	531
Forma	1388	857	840	1124	1255	1627	1613	672
Textura	1449	828	770	1163	1186	1526	1592	617

Donde: F1/H=formulación 1-secado en horno, F2/H=formulación 2-secado en horno, F3/H=formulación 3-secado en horno, F1/S=formulación 1-secado en secador solar, F2/S=formulación 2-secado en secador solar y F3/S=formulación 3-secado en secador solar

Es importante conocer si al consumidor le interesaría comprar el producto que se está evaluando o qué es lo que le importaría saber del producto para adquirirlo. También es

de importancia saber cuánto estarían dispuestos a pagar por el producto. Por lo anterior y para empezar a contar con un margen de interés por parte del consumidor se les preguntó a los evaluadores si comprarían los platos si conocieran el tiempo de biodegradación de los mismos. Se les presentaron tres rangos de tiempos de degradación y se les cuestionó cuál plato comprarían, los resultados mostraron que la mayoría de los consumidores evaluados (82%) estarían dispuestos a comprar aquel plato que tuviera un tiempo de degradación más corto, entre 20-60 días (**Figura 25**). La respuesta obtenida ayudó a tener un punto importante de vista para la estrategia de venta de los platos, de tal modo que lo haga sentirse bien con su compra y adquiera el producto. Por otra parte también se les dio un intervalo de costos y se les preguntó cuánto estarían dispuestos a pagar por un paquete de 20 platos. La mayoría de los consumidores respondieron que pagarían alrededor de \$20 y \$50 (**Figura 26**). Esto fue un indicativo de que el consumidor busca o espera precios no tan elevados para un producto de esta índole, por lo que se deben buscar opciones para la reducción de gastos y competir en un mercado. Posterior a la evaluación sensorial aplicada para observar la aceptación por el consumidor sobre el producto, se realizó una prueba sensorial “flash” con el fin de evaluar si los platos conferían algún tipo de cambio organoléptico en los alimentos. Para ello se realizó esta prueba con 20 jueces no entrenados (9 hombres y 11 mujeres) entre 14 y 60 años de edad. En la prueba se presentaron muestras de los dos tipos de alimentos servidos en los diferentes platos bajo estudio. Los jueces no entrenados probaron las muestras y describieron si percibían algún tipo de cambio de sabor u olor en el alimento. El único cambio que los jueces notaron fue para el plato elaborado con la formulación 2 recubierto con la solución de cera candelilla, ya que aportó un cambio perceptible en el sabor del alimento. Al momento de consumir el alimento (sopa y helado) se desprendía una nota de sabor salado, mientras que en el resto de las formulaciones no se observó ningún cambio.

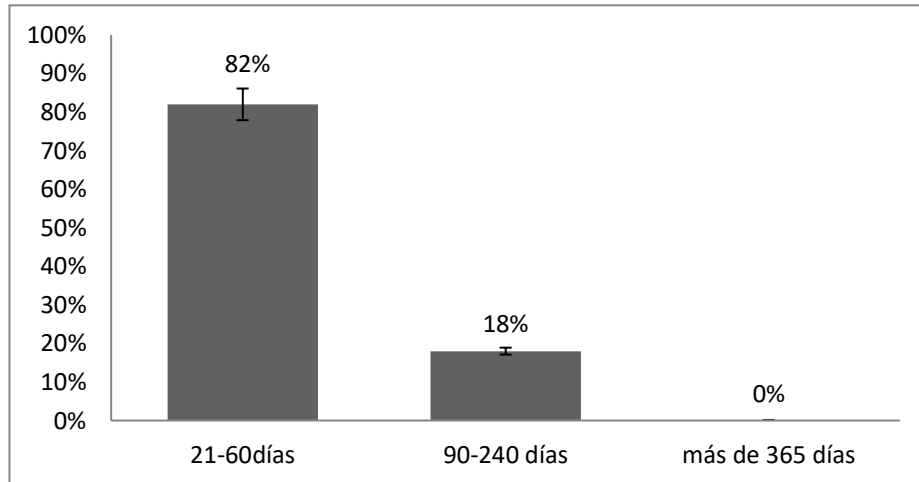


Figura 25. Representación del porcentaje de consumidores con respecto a la decisión de su compra por el hecho de conocer el tiempo de degradación del producto

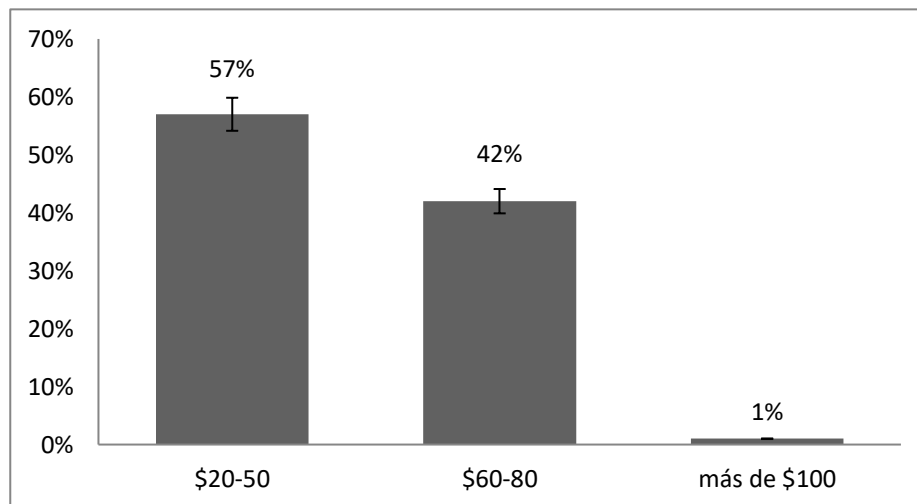


Figura 26. Relación entre los precios que estaría dispuesto a pagar el consumidor por una presentación de 20 platos chicos

4.7. Estimación del costo de la elaboración de los recipientes biodegradables

Para evaluar este parámetro fue necesario realizar un análisis de costos de la materia prima y de los gastos indirectos (**Tabla 40 y 41**), con el propósito de conocer los costos de elaboración de los platos biodegradables. Cabe señalar que la malta fue donada, por lo que no tiene costo unitario para este análisis. Los gastos indirectos son los costos de producción. Aunque no se pueden identificar de forma precisa en el producto final, presentan un impacto importante en el costo final del plato. En el Anexo 3 se dan las bases del cálculo de los costos indirectos.

Tabla 40. Costo unitario de la materia prima

MATERIA PRIMA	Cantidad	Unidad de medida	Costo unitario
Malta	1	kg	-----
Harina de yuca	1	kg	\$ 25.00
Goma guar	1	kg	\$ 400.00
Glicerina	1	L	\$ 194.56
Carnauba	1	kg	\$ 616.00
Candelilla	1	kg	\$ 554.00
Ac. esteárico	1	kg	\$ 726.00
Polietilenglicol	1	kg	\$ 2,155.00
Agua	1	L	\$ 0.03

*Los costos no incluyen el precio del impuesto al valor agregado (I.V.A.)

Tabla 41. Costo de los gastos indirectos

GASTOS INDIRECTOS	Cantidad	Unidad de medida	Precio (MXN)
Empaque	2000	bolsas (1 rollo)	\$ 2,340.00
Luz	1	kWh	\$ 0.802
Horno	1	Pza	\$ 73,798.20
Moldes	3	Pza	\$ 594.83
Guantes	1	Pza	\$ 28.50
Espátula	1	Pza	\$ 17.24
Báscula	1	Pza	\$ 258.62
Molino	1	Pza	\$ 954.45
Tamices	3	1 juego	\$ 4,290.00

*Los costos no incluyen el precio del impuesto al valor agregado (I.V.A.)

El cálculo de los costos de elaboración de los recubrimientos de cera de candelilla y de la cera de carnauba, se muestran en las **Tablas 42 y 43**. El cálculo se realizó para preparar 100 g de recubrimiento.

Tabla 42. Costo del proceso de elaboración de 100 g de recubrimiento de cera de carnauba

Recubrimiento p/100g	Cantidad	Unidad de medida	COSTO
Carnauba	3	G	\$ 1.85
Goma guar	0.3	G	\$ 0.12
Ac. esteárico	0.5	G	\$ 0.36
Polietilenglicol	1	G	\$ 0.73
Agua	95.2	G	\$ 0.00
Total			\$ 3.06
Costo por plato			\$ 0.01

*Los costos no incluyen el precio del impuesto al valor agregado (I.V.A.)

Tabla 43. Costo del proceso de elaboración de 100 g de recubrimiento de cera de candelilla

Recubrimiento p/100g	Cantidad	Unidad de medida	COSTO
Candelilla	0.4	g	\$ 0.22
Goma guar	1.2	g	\$ 0.48
Glicerol	0.3	g	\$ 0.06
Agua	98.1	g	\$ 0.00
Total			\$ 0.76
Costo por plato			\$ 0.002

*Los costos no incluyen el precio del impuesto al valor agregado (I.V.A.)

Se consideró un tamaño de plato chico de 100 g, para poder realizar el cálculo de los costos (**Tabla 44**). A partir de la cantidad de materia prima y sumando los gastos indirectos, se llegó al costo por plato dependiendo de la formulación y el recubrimiento.

Tabla 44. Costos estimados para un plato de 100g (chico) por formulación/recubrimiento

Concepto	Formulación 1			Formulación 2			Formulación 3		
	Cantidad	Unidad de medida	Costo 1 plato	Cantidad	Unidad de medida	Costo 1 plato	Cantidad	Unidad de medida	Costo 1 plato
Harina de malta	5	g	-----	23	g	-----	36	g	-----
Harina de yuca	45	g	\$1.13	23	g	\$ 0.58	4	g	\$ 0.10
Goma guar	4	g	\$ 1.60	2	g	\$ 0.80	2	g	\$ 0.80
Glicerina	8	g	\$ 1.56	7	g	\$ 1.36	6	g	\$ 1.17
Agua	38	g	\$ 0.00	45	g	\$ 0.00	52	g	\$ 0.00
Indirectos			\$ 1.00			\$ 1.00			\$ 1.00
Total			\$ 5.28			\$ 3.73			\$ 3.07
Total Carnauba			\$ 5.30			\$ 3.75			\$ 3.08
Total Candelilla			\$ 5.29			\$ 3.74			\$ 3.07

*Los costos no incluyen el precio del impuesto al valor agregado (I.V.A.)

En la **Figura 27**, se aprecia que de todas las formulaciones la 3, fue la que resultó más económica, y la 1 la más costosa. Esto fue debido a la proporción de los ingredientes, en especial, la harina de yuca que fue una de las materias primas con un mayor precio. A pesar de que la formulación 1 presentó en todas las pruebas una mayor resistencia sobre las demás, la formulación 2 tuvo un costo más bajo que la formulación 1, presentando buenos resultados a las pruebas realizadas en comparación con la formulación 3.

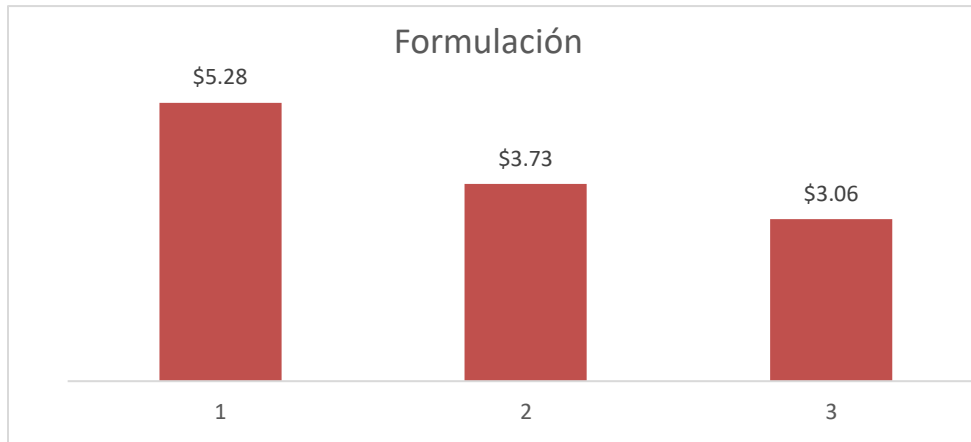


Figura 27. Comparación del costo por plato por formulación

Utilizando los costos de la formulación 2, ahora en la **Figura 28**, se comparan los costos de los 2 recubrimientos con el blanco. A pesar de que la diferencia de los costos es por centavos, al ser la intención de este proyecto el comercializar los recipientes, se busca disminuir costos, por lo que a largo plazo el implementar al menos esos dos recubrimientos, sería redituable ambientalmente hablando.

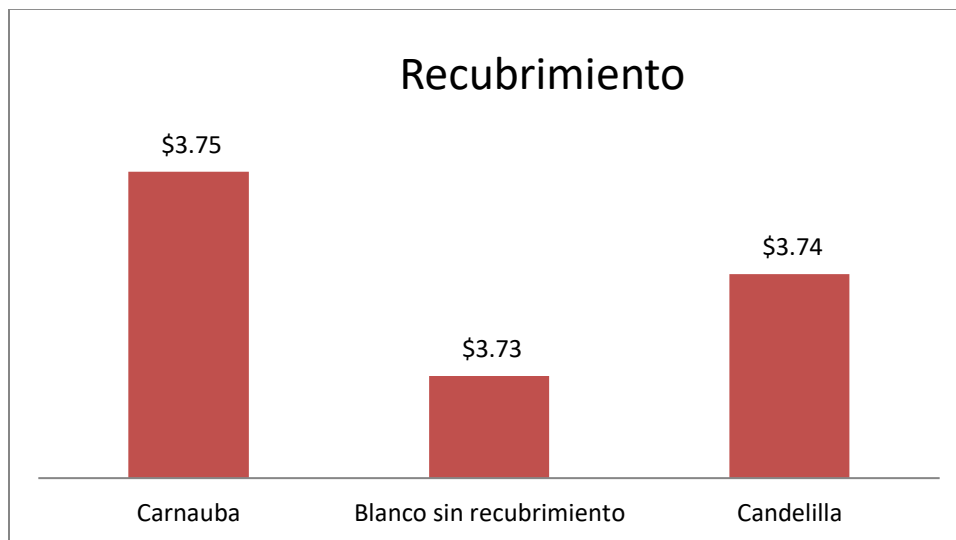


Figura 28. Comparación del costo por plato por recubrimiento

En la **Tabla 45**, la diferencia entre el precio del paquete de 20 piezas de unigel contra los costos de los que están hechos con bagazo de malta por el momento resultan elevados. Los platos de unigel por mucho resultan más baratos; sin embargo, el costo ambiental que se tiene es muy elevado y a la larga resulta más caro el empleo de este tipo de recipientes. De igual manera, los platos biodegradables ecoshell® tiene un precio mucho menor que lo elaborados con malta; sin embargo, su degradación no es tan rápida como

los elaborados en este proyecto. Cabe señalar que en el análisis de costos no se tomaron en cuenta sueldos, costos de distribución, publicidad y almacenamiento para realizar el cálculo de los costos de los platos desechables.

Tabla 45. Comparación de precios tomados de una tienda de autoservicio al azar en la Ciudad de México para un paquete de 20 platos elaborados con unigel, platos biodegradables elaborados de bagazo de malta y harina de yuca junto con platos biodegradables comerciales (ecosshell®)

Malta	Unigel	Ecosshell
\$74.76	\$8.00	\$24.50

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Con base en el objetivo general de este estudio el cual era el elaborar platos biodegradables a partir de un residuo de malta (grano agotado) de la industria cervecera empleando recubrimientos naturales para mejorar su impermeabilidad y contemplando los objetivos particulares es posible concluir lo siguiente:

- Fue posible elaborar platos con residuos de malta empleando 3 formulaciones diferentes, 2 tipos de harina (yuca/trigo integral) y 4 recubrimientos (CMC, Quitina-Quitosa, cera de carnauba y cera de candelilla).
- La harina que le confirió mejores propiedades mecánicas y físicas a los platos elaborados fue la harina de yuca.
- La prueba de resistencia térmica demostró que una vez elaborados los platos es necesario que reciban un calentamiento ya sea por medio de un horno de convección o un secador solar.
- El grosor que presentó cada plato influyó en las condiciones del proceso de secado, en su impermeabilidad y en su degradación.
- Los platos que presentaron mejores propiedades de resistencia, impermeabilidad y que, al ser desechados, tuvieron una mayor pérdida en el porcentaje de masa fueron los platos elaborados con las formulaciones 1 y 2.

- Entre los cuatro recubrimientos probados, los que lograron incrementar la impermeabilidad natural propia del plato fue el recubrimiento de quitina-quitosana y el recubrimiento con la cera carnauba.
- El uso de secadores solares fue una idea viable para ahorrar energía; sin embargo, se comprobó que este tipo de secado afectó la resistencia e impermeabilidad de los platos.
- El tiempo de biodegradación de los platos chicos de bagazo de malta y harina de yuca fue de alrededor de 21 días.
- El plato que más gustó a los consumidores fue el plato elaborado con la formulación 1 (45% harina de yuca y 5% de bagazo de malta)-secado en horno, debido a su color y olor; sin embargo, en la forma y textura el plato desechable biodegradable comercial fue el que gustó más a los evaluadores.
- El secado en horno eléctrico preservó la coloración y el aroma de los platos elaborados con las tres formulaciones diferentes de harina de yuca y bagazo de malta
- El plato elaborado con la formulación 2/harina de yuca/sin recubrimiento, fue el presentó un mejor costo-beneficio.
- Un plato chico elaborado con la formulación 2/harina de yuca/sin recubrimiento cuesta aproximadamente \$3.7 MXN, por lo que un paquete de 20 platos chicos cuesta \$74.8 MXN que, al compararse con el unigel (\$8.00 MXN) resultó mucho más elevado.
- La elaboración de platos de bagazo de malta y de harina de yuca resultaron ser una propuesta interesante para sustituir los envases de poliestireno expandido (unicel); sin embargo, en cuanto a costos se debe profundizar más en las variaciones para comprobar la factibilidad económica del proyecto.

5.2. RECOMENDACIONES

- Utilizar una prensa termohidráulica para homogeneizar el espesor de los platos
- Implementar un diagrama de buenas prácticas de manufactura en todo el proceso de elaboración hasta empaque y almacenamiento, para evitar la contaminación en el producto

- Realizar pruebas de vida de anaquel del producto
- Realizar una evaluación sensorial de los platos tras cierto tiempo de almacenamiento para evaluar si no hay cambios físicos en ellos.
- Buscar alternativas de recubrimientos naturales con un precio más accesible.
- Establecer un diseño experimental que permita evaluar el efecto de los otros componentes de las mezclas en estudio para, desde el punto de vista de la química de alimentos, se pueda comprender su impacto.

BIBLIOGRAFÍA

- ✓ Acofarma (2010a). FICHAS DE INFORMACIÓN TÉCNICA CARBOXIMETILCELULOSA SODICA. Consultado en: http://www.acofarma.com/admin/uploads/descarga/4202d2fa20f6ffb1f7c5e800e786e4720c4ce163fe5f/main/files/Carboximetilcelulosa_s__dica.pdf. Fecha de consulta: 23/05/18.
- ✓ Acofarma. (2010b). FICHAS DE INFORMACIÓN TÉCNICA HIDROXIPROPIL GOMA GUAR. Consultado en: http://www.acofarma.comadmin/uploads/descarga/4550822760bcb308c88099591ebddd69dbb59c222860/main/files/Hidroxipropil_goma_guar.pdf. Fecha de consulta: 20/05/18.
- ✓ Almada, M., Cáceres, M.S., Machaín, M., Pulfer, J.C. (2005). Guía de uso de secadores solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes. Fundación Celestina Pérez de Almada. Asunción, Paraguay. Pp. 7-11.
- ✓ Alvarado, C.J.C., Galindo, A. S., Bermúdez, L.B., Berumen, C.P., Orta, C.A., Garza, J.A.V. (2013). Cera de candelilla y sus aplicaciones. *Avances en Química*, 8(2), 105-110.
- ✓ ANAPE. Asociación Nacional de Poliestireno Expandido. 2014. El poliestireno expandido y el medio ambiente. [En línea]. (Actualizado al 24 de noviembre de 2018). Disponible en: <http://www.anape.es/> [último acceso el 27 de noviembre de 2018]
- ✓ Ascacio-Valdés, J. A., Aguilera-Carbó, A., Martínez-Hernández, J. L., Rodríguez-Herrera, R., Aguilar, C. N. (2010). *Euphorbia antisyphilitica* residues as a new source of ellagic acid. *Chemical Papers*, 64 (4), 528-532.
- ✓ ASTM (2014). ASTM D638-14, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org
- ✓ Atlas Agroalimentario. (2018) Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera. [En línea]. Disponible en: https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2018/Atlas-Agroalimentario-2018 [último acceso 20 de abril de 2019]

- ✓ Ávila-Rebollar, F., (2007). La candelilla (*Euphorbia antisiphilitica* Zucc.) en el norte de Zacatecas. Tesis profesional. División de Ciencia Animal. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/6024/T16513%20%20%20AVILA%20REBOLLAR%2c%20FRANCISCO%20%20TESIS.pdf?squence=1&isAllowed=y>
- ✓ Baduí-Dergal, S. (2006). Química de los alimentos (4ta). Pearson Educación. México D.F. México
- ✓ Bayarri, S. González-Tomás, L. y Costell, E. (2009). Viscoelastic properties of aqueous and milk systems with carboxymethyl cellulose. *Food Hydrocolloids*, 23(2), 441-450.
- ✓ Bayona, A. (2011). Modelamiento matemático de un secador solar de plantas aromáticas. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, Ciudad de Bogotá, Colombia.
- ✓ Beltrán M., Marcilla, A. (2011). Estructura y propiedades de los polímeros. *Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante*, 3-8. https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/16883/1/Tema_1._Estructura_y_propiedades_de_los_polimeros.pdf
- ✓ Bergues-Ricardo, C.C., Bérriez-Pérez, L., Griñán-Villafañe, P. (2013). Secadores solares directos: Una experiencia para su extensión y generalización en la zona oriental de Cuba. *Tecnología Química*, 33(1), 31-40.
- ✓ Bourtoom, T. (2008). Edible films and coatings: Characteristics and properties. *International Food Research Journal*, 15(3), 237-248.
- ✓ Carr, L.G., Ponce, P., Parra, A., Lugao, A.B., Buchler, P.M. (2006) Influencia de las fibras en las propiedades mecánicas de las espumas de almidón basadas en productos prensados térmicamente *Journal of Polymers and the Environment* 14, 179–183.
- ✓ Campos, C.A., Gerschenson, L.N., Flores, S.K. (2011). Development of edible films and coatings with antimicrobial activity. *Food and Bioprocess Technology* 4, 849-875.

- ✓ Ceron, M.A.R. (2013). El problema de la hidrofiliidad en materiales plásticos derivados del almidón. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 11, 41-48.
- ✓ Cerveceros de México. (2016). La cerveza desde el origen. [En línea]. (Actualizado al 11 de septiembre del 2018). Disponible en: <http://www.cervecerosdemexico.org.mx/la-cerveza-desde-el-origen/> [último acceso 28 de noviembre de 2018].
- ✓ Chiellini, E., Cinelli, P., Iliava, V.I., Imam, S.H., Lawton, J.W. (2009). Environmentally compatible foamed articles based on potato starch, corn fiber, and poly (vinyl alcohol) *J. Cell. Plast.* 45, 17-32.
- ✓ CIATEC. (2018) Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas. México con oportunidad de crear una nueva industria basada en recursos renovables. [En línea] (Actualizado el 28 de noviembre del 2018) Disponible en: <https://centrosconacyt.mx/objeto/manufplastico/> [último acceso el 29 de noviembre de 2018]
- ✓ Cinelli, P., Chiellini, E., Lawton, J.W., Imam, S.H. (2006). Foamed articles based on potato starch, corn fibers and poly (vinyl alcohol) *Polym. Degrad. Stabil.* 91, 1114-1155.
- ✓ Contreras-G, J. (1978). El cultivo de la yuca en la zona central de Veracruz, Veracruz, México. Centro de Investigación Agrícola del Golfo Centro, CIAGOC, INIA-SARH. Circular No. 65, 8 pags.
- ✓ Cordeiro, L.G., El-Aouar, A.A., Araújo, C.V.B. (2015). Energetic characterization of malt bagasse by calorimetry and thermal analysis. *J. Therm. Anal. Calorim.*, 112, 713-717.
- ✓ Dahall, R.K. (2013). Advances in edible coatings for fresh fruits and vegetables: a review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 53(5), 435-45.
- ✓ De Ancos, B., González-Peña, D., Colina-Coca, C., Sánchez-Moreno, C. (2015). Uso de películas/recubrimientos comestibles en los productos de iv y v gama. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(1), 8-17.
- ✓ De-la-Vega-Ruiz, G., (2009). Proteínas de la harina de trigo: clasificación y propiedades funcionales. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 13 (38), 27-32.

- ✓ Departamento de Estudios Económicos. (1954). Mercados y Productos. Almidon. Revista Banco Nacional de Comercio Exterior, S. A. Pp. 364-367.
- ✓ Díaz-Sobac, R., Vázquez-Luna, A., Beristain, C.I., De La Cruz, J., García, H.S. (1996). Emulsion coating to extend postharvest life of mango (*Mangifera indica* cv. Manila). *Journal of Food Processing and Preservation*, 20(3), 191-202.
- ✓ Díaz, F. (2010). LECTURAS DE INGENIERÍA 16. METROLOGÍA DIMENSIONAL. Laboratorio de Ingeniería de Materiales. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM, Cuautitlán, Edo. de México, México.
- ✓ DOF. (2009). NOM-008-SCFI-2002. "Sistema general de unidades de medida". Dirección General de Normas. Poder Ejecutivo Federal. Diario Oficial de la Federación. Ciudad de México, México.
- ✓ Domínguez-Courtney, M.F., Jiménez-Munguía, M.T. (2012). Películas comestibles formuladas con polisacáridos: propiedades y aplicaciones. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 6(2), 110-121. <http://web.udlap.mx/tsia/files/2013/12/TSIA-62Dominguez-Courtney-et-al-2012.pdf>
- ✓ Duffó G, D. (2011). Biomateriales: una mejor calidad de vida. Eudeba. Buenos Aires. Argentina
- ✓ El Economista (2018). Las cerveceras seguirán apostando por México en 2018. Fecha de consulta: 13 de septiembre de 2018. Disponible en: <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Las-cerveceras-seguiran-apostando-por-Mexico-en-2018-20180101-0017.html>
- ✓ Enríquez, R., Nava, J. (2016). Estudios de vida de anaquel en productos hortofrutícolas empleando recubrimientos obtenidos de exoesqueletos y cefalotórax de camarón. Tesis profesional. UNAM, Facultad de Química, Ciudad de México, México
- ✓ Escobar-Sierra, D.M., Ossa-Orozco, C.P., Quintana, M.A., Ospina-Wilton, A. (2013). Optimización de un protocolo de extracción de quitina y "quitosano" desde caparazones de crustáceos. *Scientia et Technica* Universidad Tecnológica de Pereira, 18(1), 260-266.

- ✓ Ecoshell. 2018. Desechables biodegradables ecoshell, desarrollados para cuidar el medio ambiente. [En línea] (Actualizado el 28 de noviembre del 2018). Disponible en: <https://www.ecoshell.com.mx/> [último acceso el 29 de noviembre de 2018].
- ✓ Espinosa-Aquino, B. 2001. Diseño, construcción y arranque de un sistema aerotérmico solar/gas para el tratamiento de materiales biológicos [mango (*Mangifera indica* L.)] Tesis de maestría en ciencias ambientales. Instituto de ciencias. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla BUAP. Deferida. julio 5. Puebla, Puebla.México
- ✓ European Commission. (2014). Desarrollo de una formulación de ceras más biodegradable. [En línea] (Actualizado el 17 de septiembre del 2018). Disponible en: http://www.minaqua.org/wp5/wp-content/uploads/2012/12/B2_Formulacion-cera_vf.pdf [último acceso el 18 de septiembre del 2018].
- ✓ European Plastics Converters (EUPC). (2009). Inst. Arg. de Env. (IAE)., 24(1), 60-67.
- ✓ FAO (1997). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Consultado en: <http://www.fao.org/3/a-a1028s.pdf> Fecha de consulta: 20/05/18
- ✓ FAO (2006). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Obtenido de: El mercado de almidón añade valor a la yuca: <http://www.fao.org/ag/esp/revista/0610sp1.htm> Fecha de consulta: 10/02/19
- ✓ FEDNA (2016). Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Consultado en: http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/mandioca-625. Fecha de consulta: 29/05/18 a las 23:40h.
- ✓ Flores-Ortega, R.A. (2004). Bioplástico de quitina: Formación de películas de quitina a partir de desechos de camarón por métodos ecológicos. Tesis de Maestría, Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Químicas UNAM. México, D.F. México.

- ✓ Flores, S., Famá, L., Rojas, A.M., Goyanes, S., Gerschenson, L. (2007). Physical properties of tapioca-starch edible films: Influence of filmmaking and potassium sorbate. *Food Research International*, 40 (2) 257-265.
- ✓ Funiber (2017). Fundación Universitaria Iberoamericana. Consultado en: <https://www.composicionnutricional.com/alimentos/HARINA-DE-TRIGO-INTEGRAL-1>. Fecha de consulta: 30/05/18 a las 18:09 h.
- ✓ Gallego, S., García, J.A. (2015). Producción y usos de harina refinada de yuca. Fundación Promotora del Canal del Dique. Palmira, Colombia. Pp. 1-9
- ✓ García, M.A. (2008). Películas y cubiertas de quitosana en la conservación de vegetales. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 18(1), 72-76.
- ✓ Gaxiola, A. (2017). Bioplásticos fabricados con residuos agroindustriales desde Saltillo. *Mundo plástico*. Editorial FASS, S.C. Pp. 90-95. <https://mundoplastico.net/2017/10/18/bioplasticos-fabricados-con-residuos-agroindustriales-desde-saltillo/>
- ✓ Girard, M., Turgeon, S.L., Paquin, P. (2002). Emulsifying properties of whey protein-carboxymethylcellulose complexes. *Journal of Food Science*, 67(1), 13-119.
- ✓ Glenn, G.M., Orts, W.J. (2001). Properties of starch-based foam formed by compression/explosion processing. *Industrial Crops and Products* 13, 135-143.
- ✓ Glenn, G.M., Orts, W.J., Nobes, G.A.R. (2001). Starch, fiber and CaCO₃ effects on the physical properties of foams made by a baking process *Ind. Crops Prod.* 14, 201-212.
- ✓ Gómez, E. (2017). *Decco post harvest*. Obtenido de Recubrimientos para frutas y hortalizas. : https://www.deccopostharvest.com/website/wp-content/uploads/2017/11/recubrimientos_frutas_hortalizas.pdf
- ✓ Guerrero-Rodríguez, A., Fuentes-Rodríguez, J.M., García-Martínez, J.E., López-Trujillo, R. (2011). Subproductos de Cervecería en la Suplementación Alimenticia de Torettes Charolais. *Revista Agraria*, 8(3), 31-35.
- ✓ Guevara-Blanco, A R., Sabas-Segura, J. (2017). Diseño y construcción de un deshidratador solar para fresa. *Jóvenes en la Ciencia*, 3(2), 114-119.

- ✓ Lárez-Velásquez., C. (2006). Quitosana y quitosano: materiales del pasado para el presente y el futuro. *Avances en Química*, 1(2), 15-21.
- ✓ Lázaro-León, K.C., Gonzales-Mora, H.E., Cárdenas-Oscanoa, A.J. (2016). Propiedades mecánicas del material compuesto elaborado con bambú (*Guadua angustifolia* Kunth) y polipropileno. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(38), 95-110.
- ✓ Lee, R., Pranata, M., Ustunol, Z., Almenar, E. (2013). Influence of glycerol and water activity on the properties of compressed egg white-based bioplastics. *Journal of Food Engineering*, 118(1), 132-140.
- ✓ Mello, L.R.P.F., Mali, S. (2014) Use of malt bagasse to produce biodegradable baked foams made from cassava starch. *Industrial Crops and Products*. 55, 187-193.
- ✓ Meneses, J., Corrales, C.M., Valencia, M. (2007). Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir de almidón de yuca. *Revista Escuela de Ingeniería de Antioquia* (8), 57-67.
- ✓ Morales-Hernández, S. (2015). Evaluación de las propiedades de candelilla y carnauba para su aplicación en emulsiones ceras de uso comercial. Tesis profesional IPN, Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas, Ciudad de México, México.
- ✓ Müller, P., Renner, K., Móczó, J., Fekete, K., Pukánszky, K. (2014). Thermoplastic starch/wood composites: Interfacial interactions and functional properties. *Carbohydrate Polymers*, 102(5), 821-829.
- ✓ Multiceras S.A de C.V. 2006. Informe de Cotejo industrial de cera de candelilla en Cuatro Ciénegas, Coahuila, México. <http://multiceras.com/candelilla-real/>
- ✓ Nakamatsu, J. (2012). La quitosana. *Revista de Química PUCP*, 26 (1), 1-2.
- ✓ Navia, D.P., Ayala, A.A., Villada, H.S. (2015). Biocompuestos de harina de yuca obtenidos por termocompresión. Efecto de las condiciones de proceso. *Información Tecnológica*, 26(5), 55-62.
- ✓ OEIDRUS (2018) (Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable de Baja California). Trigo situación nacional. [En línea] (Actualizado el 30 de octubre del 2018). Disponible en:<http://www.oeidrus->

bc.gob.mx/sispro/trigobc/Produccion/Mundial/Nacional2.pdf [último acceso 14 de Abril del 2019]

- ✓ Ordoñez, N. (2010). Un cultivo muy competitivo: la yuca. *TecnoAgro. Avances tecnológicos y agrícolas*, (62) [En línea] Disponible en: <https://tecnoagro.com.mx/no.-62/un-cultivo-muy-competitivo-la-yuca>
- ✓ Oregel-Zamudio, E., Aguilar, C.N., Oyoque-Salcedo, G., Angoa-Pérez, M. Mena-Violante, H. (201). Caracterización fisicoquímica de películas comestibles a base de cera de candelilla. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 17(1), 1-7.
- ✓ Pardo, L., Menéndez, J., Giraudo, M. (2011). Envases biodegradables: una necesidad de compromiso. *La Alimentación. Latinoamericana* (292), 42-44
- ✓ Pérez, E.E., Lares, M., Gonzalez, Z., Tovar, J. (2007). Production and characterization of Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) flour using different thermal treatments, *Interciencia*, 32 (9), 615-619.
- ✓ Phule, M. (2012). Osmotic dehydration process for preservation of fruits and vegetables. *Journal of Food Research*, 1(2), 202-209.
- ✓ Ramayo-Cruz, P. (2018). Aprovechamiento de subproductos derivados de la elaboración de cerveza artesanal. Trabajo para obtener el Máster Universitario en Gestión de Calidad y Trazabilidad en Alimentos de Origen Vegetal. Escuela de Ingenierías Agrarias. Universidad de Extremadura, España. http://dehesa.unex.es/bitstream/handle/10662/8081/TFMUEX_2018_Ramayo_Cruz.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- ✓ Rodríguez, A. (2012). Biodegradabilidad de materiales bioplásticos. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 22(3), 69-72.
- ✓ Rojas-Molina, R., Saucedo-Pompa, S., De-León-Zapata, M. A., Jasso-Cantú, D., Aguilar, C. N. (2011). Pasado, presente y futuro de la candelilla. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(6), 7-18.
- ✓ Salgado, P.R., Schmidt, V.C., Ortiz, S.E., Mauri, A.N., Laurindo J.B. (2008) Biodegradable foams based on cassava starch, sunflower proteins and cellulose fibers obtained by a baking process. *J. Food Eng.*, 85, 435-443.

- ✓ Sarabia-Bañuelos, P., (2011). Aprovechamiento integral de residuos de crustáceos: Obtención de quitina y quitosana del cefalotórax de camarón por métodos ecológicos. UNAM, Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Químicas. Ciudad de México, México.
- ✓ Saucedo-Pompa, S., Jasso-Cantu, D., Ventura-Sobrevilla, J., Saenz-Galindo, A., Rodríguez Herrera, R., Aguilar, C.N. (2007). Effect of candelilla wax with natural antioxidants on the shelf life quality of fresh-cut fruits. *Journal of Food Quality* 30, 823-836.
- ✓ Schmidt, V.C.R. (2006). Desarrollo de envases biodegradables a partir de la fécula de cassava, cal y fibra de celulosa. Disertación de Maestría en Ingeniería de Alimentos. Universidad Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, Brasil.
- ✓ Schmidt, V.C.R., Laurindo, J.B. (2010). Characterization of foams obtained from cassava starch, cellulose fibres and dolomitic limestone by a thermopressing process. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 53(1), 185-192.
- ✓ SEMARNAT (2017). Residuos sólidos urbanos y de manejo especial. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) [En línea] (Actualizado el 3 de junio del 2018). Disponible en: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/residuos-solidos-urbanos-y-de-manejo-especial> [último acceso 10 de febrero del 2019]
- ✓ Severiano-Pérez, P., Gómez-Andrade, D.M., Méndez-Gallardo, C.I., Pedrero-Fuehrer, D.L., Gómez-Corona, C., Ríos-Díaz, S.T., Escamilla-Loeza, A., Utrera-Andrade, M. (2014). *Manual de evaluación sensorial*. Pub. UNAM, pp. 113-114. Ciudad de México.
- ✓ Shey, J., Imam, S.H., Glenn, G.M., Orts, W.J. (2006). Properties of baked starch foam with natural rubber latex *Industrial Crops and Products*, 24, 34-40.
- ✓ Shogren, R.L., Lawton, J.W., Doanne, W.M., Tiefenbacher, F.K. (1998). Estructura y morfología de las espumas de almidón horneadas *Polymer*, 39, 6649–6655.
- ✓ Shogren, R.L., Lawton, J.W., Tiefenbacher, F.K. (2002) Baked starch foams: Starch modifications and additives improve process parameters, structure and properties. *Industrial Crops and Products*, 16, 69-79.

- ✓ SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera).2018. Artículos. Yuca, mandioca o guacamote ¿Cómo la llaman donde radicas? <https://www.gob.mx/siap/articulos/yuca-mandioca-o-guacamote-como-lo-llaman-donde-radicas>
- ✓ SIAP (2018). Artículos. Yuca, mandioca o guacamote ¿Cómo la llaman donde radicas? (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). <https://www.gob.mx/siap/articulos/yuca-mandioca-o-guacamote-como-lo-llaman-donde-radicas>
- ✓ Silva, M., Encalada, K., Valle, V. (2017). Estudio de la cera carnauba como compatibilizante en mezclas poli (ácido láctico)-almidón de achira (*Canna edulis*). *Revista Politécnica*, 39(1) 13-18
- ✓ Sosa-Olivier, J.R., Laines-Canepa, J.R., González-Díaz, A., Martínez-Bautista, L., Sánchez-Pedrero, L., Ávila-Lázaro, I. (2017). Poliestireno expandido: potencial para su reciclado como aislante térmico. *Revista de divulgación científica y tecnológica de la Universidad Autónoma de Nuevo León*, 20(86) 87-93.
- ✓ Stevens, E.S., Klamczynsk, A., Glenn, G.M. (2010). Starch–lignin foams. *Express Polym. Lett.*, 4 311-320.
- ✓ Tharanathan, R. (2003). Biodegradable films and composite coatings: Past, present and future. *Food Science and Technology*,14, 71-78.
- ✓ Torres-Rodríguez, D. (2003). El papel de los microorganismos en la biodegradación de compuestos tóxicos. *Ecosistemas*, XII(2) 1-5.
- ✓ Vargas, M., Pastor, C., Chiralt, A., McClements, D., Gonzalez, C. (2008). Recent advances in edible coatings for fresh and minimally processed fruits. *Critical Reviews In Food Science & Nutrition*, 48(6) 496-511.
- ✓ Vega, S. (2016). ¿Cuánto unicel se consume en México? Teorema ambiental. Consultado en: http://www.teorema.com.mx/contaminacion_/cuanto-unicel-se-consume-mexico/. Fecha de consulta: 17/05/2018 a las 19:02 horas.
- ✓ Vercelheze, A.E.S., Fakhouri, F.M., Dall’antônia, L.H., Urbano, A., Youssef, A.E., Yamashita, F Mali, S. (2012). Properties of baked foams based on cassava starch, sugarcane bagasse fibers and montmorillonite *Carbohydr. Polym.*, 87 1302-1310.

- ✓ Vercelheze, A.E.S., Oliveira, A.M.O., Rezende, M.I., Muller, C.M.O., Yamashita, F., Mali, S. (2013). Physical properties, photo and biodegradation of baked foams based on cassava starch, sugarcane bagasse fibers and montmorillonite. *J. Polym. Environ.*, 21, 266-274.
- ✓ Villa-Castorena, M., Catalán-Valencia, E., Inzunza-Ibarra, M., González-López, M. d. L., Arreola-Ávila, J. (2010). Producción de plántulas de candelilla (*Euphorbia antisyphilitica* Zucc.) mediante estacas. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 16, 37-47.
- ✓ Zavala, D. (2018). Elaboración de platos biodegradables utilizando un residuo de la industria cervecera. Tesis profesional. Facultad de Química, UNAM, Ciudad de México, México.

ANEXO 1. Figuras y tablas complementarias al desarrollo de la investigación

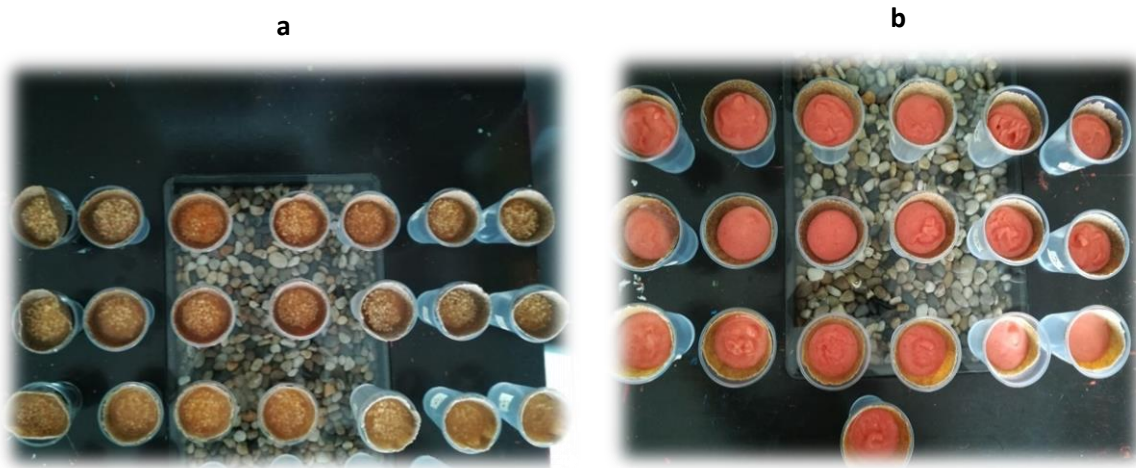


Figura 3. Platos biodegradables de harina de yuca y bagazo de malta secados por horno eléctrico barnizados con recubrimientos de ceras naturales (cera carnauba y cera candelilla) y sin recubrir (blanco) conteniendo diferentes tipos de alimentos: sopa de munición(a) y helado de mamey (b)



Figura 4. Comportamiento de los platos de bagazo de malta y harina de yuca en la prueba de biodegradación

Me gusta muchísimo	9
Me gusta mucho	8
Me gusta	7
Me gusta poco	6
Ni me gusta, ni me disgusta	5
Me disgusta poco	4
Me disgusta	3
Me disgusta mucho	2
Me disgusta muchísimo	1

Figura 24. Escala hedónica de 9 puntos, para la evaluación con consumidor

$$DMS = t_{student} \sqrt{\frac{2(C_{me})}{n}} = 1.4149 \sqrt{\frac{2(2.36)}{100}} = 0.31$$

DMS: diferencia mínima significativa

C_{me} = promedio de los cuadrados del error

n = número de repeticiones

Figura 29. Ejemplo de cálculo para la obtención del valor de diferencia mínima significativa, DMS

Cuestionario. Prueba afectiva para platos desechables biodegradables.

Género: F M Edad:

Por favor, responde a las preguntas que se te hacen a continuación

1. ¿Utilizas platos desechables de unicel?

Sí No

2. ¿Con qué frecuencia usas envases desechables de unicel?

Nunca Una vez al mes Una vez por semana Diario

3. ¿Conoces envases desechables biodegradables?

Sí No

4. ¿Con qué frecuencia usas envases desechables biodegradables?

Nunca Una vez al mes Una vez por semana Diario

A continuación, se presentan ocho muestras de envases desechables, evalúe de izquierda a derecha y conteste de manera consecutiva marcando con una "X" que tanto te gusta cada muestra.

5. El color de este envase desechable

	716	064	180	441	586	942	952	056
Me gusta muchísimo								
Me gusta mucho								
Me gusta								
Me gusta poco								
Ni me gusta, ni me disgusta								
Me disgusta poco								
Me disgusta								
Me disgusta mucho								
Me disgusta muchísimo								

6. El olor de este envase desechable

	716	064	180	441	586	942	952	056
Me gusta muchísimo								
Me gusta mucho								
Me gusta								
Me gusta poco								
Ni me gusta, ni me disgusta								
Me disgusta poco								
Me disgusta								
Me disgusta mucho								
Me disgusta muchísimo								

7. La forma de este envase desechable

	716	064	180	441	586	942	952	056
Me gusta muchísimo								
Me gusta mucho								
Me gusta								
Me gusta poco								
Ni me gusta, ni me disgusta								
Me disgusta poco								
Me disgusta								
Me disgusta mucho								
Me disgusta muchísimo								

8. La textura de este envase desechable

	716	064	180	441	586	942	952	056
Me gusta muchísimo								
Me gusta mucho								
Me gusta								
Me gusta poco								
Ni me gusta, ni me disgusta								
Me disgusta poco								
Me disgusta								
Me disgusta mucho								
Me disgusta muchísimo								

9. Si conocieras el tiempo de degradación del envase desechable, ¿cuál comprarías?

Tiempo de degradación	
21-60 días	
90-240 días	
más de 365 días	

10. ¿Cuánto estarías dispuesto a pagar por un paquete de 20 platos chicos desechables biodegradables?

Costo	
\$20-50	
\$60-80	
más de \$100	

Figura 30. Cuestionario presentado a los jueces no entrenados para realizar la evaluación sensorial

Tabla 31. Análisis de varianza para el atributo de color

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	154.34	7	22.05	9.36	3.5397E-11	1.72
Dentro de los grupos	1865.75	792	2.36			
Total	2020.09	799				

Tabla 32. Diferencia mínima significativa (DMS) para el atributo de color de los platos

Tipo de plato	Formulación 1/H (A)	Formulación 2/H (B)	Formulación 3/H (C)	Formulación 1/S (D)	Formulación 2/S (E)	Formulación 3/S (F)	Plato comercial (G)	Unicel (H)
Media	7.12	6.54	6.16	6.78	6.25	6.5	6.22	5.54
DMS=0.31								
	A-B					0.58		
	A-C					0.96		
	A-D					0.34		
	A-E					0.87		
	A-F					0.62		
	A-G					0.9		
	A-H					1.58		
	B-C					0.38		
	B-D					0.24		
	B-E					0.29		
	B-F					0.04		
	B-G					0.32		
	B-H					1.00		
	C-D					0.62		
	C-E					0.09		
	C-F					0.34		
	C-G					0.06		
	C-H					0.62		
	D-E					0.53		
	D-F					0.28		
	D-G					0.56		
	D-H					1.24		
	E-F					0.25		
	E-G					0.03		
	E-H					0.71		
	F-G					0.28		
	F-H					0.96		
	G-H					0.68		

Tabla 33. Análisis de varianza para el atributo de olor

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	195.775	7	27.97	11.25	1.2458E-13	1.72
Dentro de los grupos	1969.22	792	2.49			
Total	2164.995	799				

Tabla 34. Diferencia mínima significativa (DMS) para el atributo de olor de los platos

Tipo de plato	Formulación 1/H (A)	Formulación 2/H (B)	Formulación 3/H (C)	Formulación 1/S (D)	Formulación 2/S (E)	Formulación 3/S (F)	Plato comercial (G)	Unicel (H)
Media	6.84	6.21	5.99	6.19	5.57	5.47	5.4	5.31
DMS= 0.32								
	A-B					0.63		
	A-C					0.85		
	A-D					0.65		
	A-E					1.27		
	A-F					1.37		
	A-G					1.44		
	A-H					1.53		
	B-C					0.22		
	B-D					0.02		
	B-E					0.64		
	B-F					0.74		
	B-G					0.81		
	B-H					0.9		
	C-D					0.2		
	C-E					0.42		
	C-F					0.52		
	C-G					0.59		
	C-H					0.68		
	D-E					0.62		
	D-F					0.72		
	D-G					0.79		
	D-H					0.88		
	E-F					0.1		
	E-G					0.17		
	E-H					0.26		
	F-G					0.07		
	F-H					0.16		
	G-H					0.09		

Tabla 35. Análisis de varianza para el atributo de la forma de los platos.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	27.152418	7	3.88	2.07	0.045	1.72
Dentro de los grupos	1480.57657	789	1.88			
Total	1507.72898	796				

Tabla 36. Diferencia mínima significativa (DMS) para el atributo de la forma de los platos

Tipo de plato	Formulación 1/H(A)	Formulación 2/H(B)	Formulación 3/H(C)	Formulación 1/S (D)	Formulación 2/S (E)	Formulación 3/S (F)	Plato comercial (G)	Unicel (H)
Media	6.72	6.93	6.6	6.83	6.69	6.85	6.68	6.29
DMS=0.27								
	A-B					0.21		
	A-C					0.12		
	A-D					0.11		
	A-E					0.03		
	A-F					0.13		
	A-G					0.04		
	A-H					0.43		
	B-C					0.33		
	B-D					0.10		
	B-E					0.24		
	B-F					0.08		
	B-G					0.25		
	B-H					0.64		
	C-D					0.23		
	C-E					0.09		
	C-F					0.25		
	C-G					0.08		
	C-H					0.31		
	D-E					0.14		
	D-F					0.02		
	D-G					0.15		
	D-H					0.54		
	E-F					0.16		
	E-G					0.01		
	E-H					0.4		
	F-G					0.17		
	F-H					0.56		
	G-H					0.39		

Tabla 37. Análisis de varianza para el atributo de textura de los platos.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	285.2853915	7	40.76	18.22	1.50927E-22	1.72
Dentro de los grupos	1767.376263	790	2.24			
Total	2052.661654	797				

Tabla 38. Diferencia mínima significativa (DMS) para el atributo de textura de los platos

Tipo de plato	Formulación 1/H (A)	Formulación 2/H(B)	Formulación3/H (C)	Formulación 1/S (D)	Formulación 2/S (E)	Formulación 3/S (F)	Plato comercial (G)	Unicel (H)
Media	7.33	6.64	5.9	7.22	6	5.84	6.46	5.67
DMS=0.30								
A-B		0.69						
A-C		1.43						
A-D		0.11						
A-E		1.33						
A-F		1.49						
A-G		0.87						
A-H		1.66						
B-C		0.74						
B-D		0.58						
B-E		0.64						
B-F		0.8						
B-G		0.18						
B-H		0.97						
C-D		1.32						
C-E		0.10						
C-F		0.06						
C-G		0.56						
C-H		0.23						
D-E		1.22						
D-F		1.38						
D-G		0.76						
D-H		1.55						
E-F		0.16						
E-G		0.46						
E-H		0.33						
F-G		0.62						
F-H		0.17						
G-H		0.79						

ANEXO 2. Acervo fotográfico



Fotografía 1. Grano agotado aún húmedo



Fotografía 2. Secado en estufa del grano agotado



Fotografía 3. Molienda del grano agotado previamente secado



Fotografía 4. Tamizado de la harina de malta



Yuca 1 Yuca 2 Yuca 3

Fotografía 5. Primer lote de platos con las 6 formulaciones



Fotografía 6. Exoesqueletos limpios de camarón



Fotografía 7. Secado del cefalotórax parcialmente desproteínizado (CPD)



Fotografía 8. Elaboración de disolvente MAC (Metanol:Agua:Cloruro de Calcio) en una relación 1:4:1



Fotografía 9. Máquina universal de pruebas mecánicas marca INSTRON



Fotografía 10. Probetas para ensayo de tracción



Fotografía 11. Muestras para realizar prueba de permeabilidad



Fotografía 12. Prueba de permeabilidad



Fotografía 13. Platos elaborados de malta con recubrimiento

ANEXO 3. Base de cálculo de los costos indirectos

Tabla 46. Base de datos para el cálculo de los costos indirectos

GASTOS INDIRECTOS	Costos indirectos	Vida útil (años)**
Empaque	\$ 0.12	No aplica
Luz	\$ 0.034	No aplica
Horno*	\$ 0.70	5
Moldes*	\$ 0.010	2
Guantes de asbesto*	\$ 0.001	2
Espátula*	\$ 0.001	2
Báscula*	\$ 0.03	5
Molino*	\$ 0.02	5
Tamices*	\$ 0.08	5
TOTAL	\$ 1.00	

*Activos

**La vida útil depende de la estimación del porcentaje de depreciación de los activos, que a su vez depende del mercado, la obsolescencia y uso del activo. En un escenario conservador se estima que el porcentaje de depreciación sea 20%.

No. de platos al año = ((Platos por lote) (Horas que tarda cada lote/día)) (Días laborables al año)

$$\text{Costos indirectos} = \frac{(\text{No. de platos al año})(\text{Vida útil (años)})}{\text{Precio (MXN)}}$$

ANEXO 4. Tratamiento de residuos de esta investigación

A.3.1. Disposición de las muestras de platos de bagazo de malta y harina de yuca o harina de trigo sobrantes a lo largo del trabajo

Se desecharon en el contenedor de los residuos orgánicos por ser residuos sólidos orgánicos no peligrosos ni contaminantes.

A.3.2. Disposición de las muestras de platos desechables de unigel sobrantes a lo largo del trabajo

Se desecharon en el contenedor de los residuos inorgánicos por ser considerado como residuo sólido contaminantes.

A.3.3. Disposición de la tierra y desechos orgánicos utilizados como composta en la prueba de biodegradabilidad

Se incorporaron en el suelo de un jardín como abono

A.3.4. Disposición de las botellas de plástico utilizadas en la prueba de biodegradabilidad

Se desecharon en el contenedor de los residuos inorgánicos por ser considerado como residuo sólido contaminantes.

A.3.5. Disposición del cloruro de calcio (CaCl_2) (Residuo del uso del disolvente MAC[®])

El tratamiento consiste en calentarlo en un horno a 100°C, el tiempo varía según la cantidad de agua presente en el disolvente, hasta observar una apariencia cristalina y blanca que indica la máxima evaporación del agua. Se recupera en frascos de vidrio y reutiliza en la preparación de más disolvente.

A.3.5. Disposición del residuo CPD (Camarón Parcialmente Desproteínizado)

El producto de extracción, al ser materia orgánica se desecha en los residuos orgánicos.