



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA

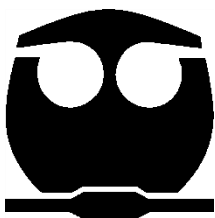
**ELABORACIÓN DE PLATOS BIODEGRADABLES UTILIZANDO UN RESIDUO
DE LA INDUSTRIA CERVECERA**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
QUÍMICA DE ALIMENTOS**

PRESENTA

DANIELA BELÉN ZAVALA BAHENA



CD.MX.

2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



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	M. en C. Lucía Cornejo Barrera
Vocal	M. en A. I. Landy Irene Ramírez Burgos
Secretario	M. en C. Rolando Salvador García Gómez
1er. Suplente	Ing. Arturo Enríquez Peña
2do. Suplente	Dra. Marisela Bernal González

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. Marisela Bernal González

SUSTENTANTE

Daniela Belén Zavala Bahena

Declaración

“Declaro 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, aseguro mediante mi firma al calce que el presente trabajo es original y enteramente de mi autoría. Todas las citas de, o en referencia a, las obras de otros autores aparecen debida y adecuadamente señaladas, así como acreditadas mediante recursos editoriales convencionales”

Daniela Belén Zavala Bahena

Reconocimientos

Al Colegio de Profesores de la Facultad de Química de la UNAM y a la Sección 024 de AAPAUNAM, por el apoyo financiero proporcionado por medio de la Cátedra: Javier Padilla Olivares.

Al Laboratorio de Bromatología del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM, por el apoyo y los servicios brindados a esta investigación.

Al Departamento de Manufactura y Materiales de la Facultad de Ingeniería, UNAM, por el apoyo y los servicios brindados a esta investigación.

Al Departamento de Alimentos y Biotecnología de la Facultad de Química, UNAM, por el apoyo y los servicios brindados a esta investigación.

A los laboratorios 301, 302 y 303 de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental, por el apoyo y permitirme realizar esta investigación.

Al jurado revisor por los comentarios realizados a este trabajo.

Te llevaré siempre en mi corazón y sé que
en cada uno de mis logros tú estarás ahí.

Gracias a todos por brindarme el apoyo y
amor para seguir adelante.

ÍNDICE

	Página
Resumen	1
Introducción	2
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
Capítulo 1. Marco teórico	4
1.1 Cebada	4
1.1.1 Proceso de malteo	9
1.1.2 Cerveza	14
1.1.3 Elaboración de cerveza	16
1.1.4 Residuo de malta o grano agotado	20
1.1.4.1 Composición del grano agotado	21
1.1.4.2 Posibles aplicaciones del residuo de cerveza	22
1.2 Trigo	26
1.3 Yuca	28
1.4 Almidón	29
1.5 Goma guar	31
1.6 Glicerina	32
1.7 Ensayo de tracción	33
1.8 Análisis de perfil de textura (<i>TPA</i> , en inglés)	33
1.9 Biodegradabilidad	35
1.9.1 Composta y compostaje	35
Capítulo 2. Diseño de experimentos y metodología	37
2.1 Diseño de experimentos	37
2.2 Obtención de la materia prima que se utilizó para desarrollar este proyecto	37
2.3 Elaboración de platos	38
2.4 Prueba de espesor	40
2.5 Ensayo de tracción	40
2.6 Análisis de perfil de textura (<i>TPA</i> , en inglés)	40
2.7 Prueba de permeabilidad	40
2.8 Prueba de resistencia térmica	41
2.9 Prueba de biodegradabilidad	41
2.10 Disposición controlada de los residuos de esta investigación	41
Capítulo 3. Resultados y discusión	43
3.1 Composición del residuo de malta	43
3.2 Prueba de espesor	43
3.3 Análisis de perfil de textura (<i>TPA</i> , en inglés)	46
3.4 Ensayo de tracción	51
3.5 Prueba de permeabilidad	53
3.6 Prueba de resistencia térmica	55
3.7 Prueba de biodegradabilidad	57
3.8 Estimación del precio del plato obtenido	60
Capítulo 4. Conclusiones y recomendaciones	65
4.1 Conclusiones	65
4.2 Recomendaciones	66
Fuentes de consulta	67
Anexos	72
A1. Determinación de humedad	72
A2. Ensayo de tracción	73
A3. Matriz de decisión	76
A4. Acervo fotográfico	77
A5. Disposición de los residuos generados en esta investigación	80

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	NOMBRE	Página
1	Diferencias entre las variedades de cebada. Los signos + y – indican un nivel alto y bajo. (Camacho de la Rosa <i>et al.</i> , 2007)	6
2	Composición química del residuo de malta proveniente del proceso cervecero	22
3	Propiedades de la harina de grano agotado en los alimentos (Adaptado de Mussatto <i>et al.</i> , 2006)	23
4	Características fisicoquímicas de las harinas de trigo y de yuca (Henaó y Aristizábal, 2009)	29
5	Tiempo y condiciones de degradación de productos biodegradables (Hernández, 2013)	35
6	Diseño de experimentos propuesto para la elaboración de platos biodegradables con harina de yuca y con harina de trigo integral	37
7	Resultados de la composición del residuo de malta	43
8	Resultados de la medición del espesor en los platos	44
9	Análisis de varianza (ANDEVA) para el espesor	45
10	Análisis de varianza (ANDEVA) para el espesor (cm) por formulación en la harina de trigo	45
11	Análisis de varianza (ANDEVA) para el espesor (cm) por formulación en la harina de yuca	45
12	Prueba de rangos múltiples para el espesor (cm) por formulación en la harina de trigo	46
13	Prueba de rangos múltiples para el espesor (cm) por formulación en la harina de yuca	46
14	Resultados de las mediciones de los parámetros de dureza, elasticidad y cohesividad en los diferentes tipos de materiales	47
15	Análisis de varianza (ANDEVA) para la dureza	50
16	Análisis de varianza (ANDEVA) para la elasticidad	50
17	Análisis de varianza (ANDEVA) para la cohesividad	50
18	Prueba de rangos múltiples para la dureza por tipo de material	50
19	Prueba de rangos múltiples para la cohesividad por tipo de material	50
20	Resultados de las mediciones del parámetro de resistencia en los platos	52
21	Análisis de varianza (ANDEVA) para la resistencia	53
22	Prueba de rangos múltiples para la resistencia por tipo de material	53
23	Resultados del tiempo para el parámetro de permeabilidad en los platos	54
24	Análisis de varianza (ANDEVA) para la permeabilidad	55
25	Prueba de rangos múltiples para la permeabilidad por tipo de material	55
26	Prueba de resistencia térmica en la estufa a 100°C y 200°C	56
27	Prueba de resistencia térmica en el horno de microondas	57
28	Datos obtenidos en la prueba de biodegradabilidad para la harina de yuca	58
29	Datos obtenidos en la prueba de biodegradabilidad para la harina de trigo	58
30	Datos obtenidos en la prueba de biodegradabilidad para el unicef	59
31	Análisis de varianza (ANDEVA) para la pérdida de masa	60
32	Prueba de rangos múltiples para la pérdida de masa por tipo de material	60
33	Costo de materia prima	61
34	Costo de mano de obra operativa, publicidad y empaque por día	62
35	Mano de obra administrativa y servicios	63
36	Precio final para cada formulación por plato	63
37	Precio comercial de los platos elaborados con diferentes materiales	64

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica	Nombre	Página
Gráfica 1	Espesor (cm) de los platos elaborados con harina de trigo y con harina de yuca con las diferentes formulaciones.	44
Gráfica 2	Dureza (N) de los diferentes tipos de materiales (harina de yuca, harina de trigo y unicel)	48
Gráfica 3	Elasticidad (mm) de los diferentes tipos de materiales (harina de yuca, harina de trigo y unicel)	48
Gráfica 4	Cohesividad (Adimensional) de los diferentes tipos de materiales (harina de yuca, harina de trigo y unicel)	49
Gráfica 5	Resistencia (MPa) de los diferentes tipos de materiales (harina de yuca, harina de trigo y unicel)	52
Gráfica 6	Permeabilidad (min) de los diferentes tipos de materiales (harina de yuca, harina de trigo y unicel)	54
Gráfica 7	Prueba de biodegradabilidad (periodo 48 días) de los platos en estudio, incluyendo al unicel como control	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Nombre	Página
Figura 1	Espiga de cebada de seis hileras y de dos hileras (Cerveza de Argentina, 2010)	5
Figura 2	Estructura del grano de cebada (Modificado de Cerveza de Argentina, 2010)	7
Figura 3	Imagen de microscopía electrónica a las secciones transversales de un grano de cebada con barrido de 100 μm (Adaptado de Delcuor y Hosenev, 2010). Cáscara (H), pericarpio (P) y capas de aleurona (A)	7
Figura 4	Estructura de las capas externas del grano de cebada (Adaptado de Delcuor y Hosenev, 2010)	9
Figura 5	Diagrama de proceso industrial de la transformación de cebada a malta (Ramos, 2006)	11
Figura 6	Proceso de malteo de la cebada: desarrollo de la plántula y puntos de muestreo (Adaptado de Gorzalka <i>et al.</i> , 2016)	13
Figura 7	Gráfico que da un aspecto del color aportado por las cantidades variables de diferentes tipos de malta en las recetas de cerveza (Adaptado de Nuttall, 2016)	14
Figura 8	Entidades federativas productoras de cerveza (producción bruta total) (Cerveceros de México, 2017)	15
Figura 9	Ingredientes principales en la elaboración de cerveza	17
Figura 10	Secuencia del proceso de la producción de cerveza (Magdaleno, 2016)	18
Figura 11	Estructura del grano de trigo (Juárez <i>et al.</i> , 2014)	27
Figura 12	Raíz de yuca (El Sol, 2016)	28
Figura 13 A	Estructura de molécula de amilosa (Meneses <i>et al.</i> , 2007)	30
Figura 13 B	Estructura de molécula de la amilopectina (Meneses <i>et al.</i> , 2007)	30
Figura 14	Estructura química de la goma guar (Carrascal <i>et al.</i> , 2013)	32
Figura 15	Gráfico esquemático del ensayo de tracción (Área tecnológica, 2017)	33
Figura 16	Gráfica general del análisis del perfil de textura (Hleap y Velasco, 2010)	34
Figura 17	Temperatura, oxígeno y pH en el proceso de compostaje (FAO, 2013)	36
Figura 18	Molde de madera	39
Figura 19	Diagrama de la elaboración de los platos biodegradables	39
Figura 20	Determinación del tiempo de degradación de los platos en composta,	42

	simulando su descomposición en basura o residuos sólidos urbanos	
Figuras 21A y 21B	Análisis de perfil de textura de los platos en un TA.XT2 plus (Stable Micro System). Prueba realizada en el Departamento de Alimentos y Biotecnología de la Facultad de Química, UNAM	47
Figura 22	Ensayo de tracción en una máquina universal de pruebas mecánicas marca INSTRON. Prueba realizada en el Departamento de Materiales y Manufactura de la Facultad de Ingeniería, UNAM	51
Figura 23	Ensayo de permeabilidad empleando dos tubos de PVC de 4 cm de diámetro	54
Figura 24	Prueba microbiológica realizada a la composta madura en agar cuenta estándar	58

ABREVIATURAS, SIGLAS Y UNIDADES

Abreviatura/ Siglas	Significado
AOAC	Asociación de Químicos Analíticos Estadounidenses, quienes desarrollaron los Métodos Oficiales que llevan su nombre (<i>Association of Official Analytical Chemists</i> , por sus siglas en inglés)
ANDEVA (ANOVA)	Análisis de varianza (<i>Analysis of variance</i> , por sus siglas en inglés)
ESP	Poliestireno expandido
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (<i>Food and Agriculture Organization</i> , por sus siglas en inglés)
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
TPA	Perfil de análisis de textura (<i>Texture Profile Analysis</i> , por sus siglas en inglés)

Unidades	
°C	Grado Celsius
g	Unidad de masa en gramos
mg	Unidad de masa en miligramos
mL	Unidad de volumen en mililitros
cm	Unidad de longitud en centímetros
ppm	Partes por millón

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

Resumen

El bagazo de malta (grano agotado) es un residuo que se genera en gran cantidad en la industria cervecera. Este residuo junto con la harina de yuca o la harina de trigo integral y otros aditivos alimentarios, fueron utilizados para la elaboración de platos biodegradables. Estos platos fueron elaborados bajo 3 diferentes formulaciones. El bagazo de malta se obtuvo de la planta Ciudad de México del Grupo Modelo, al cual se le realizó un análisis bromatológico. Posteriormente, se caracterizaron los platos de acuerdo con sus propiedades físicas y mecánicas. La prueba física que se realizó fue la medición del espesor del plato con un vernier. Por otra lado, las pruebas mecánicas realizadas fueron: análisis de perfil de textura por medio de un texturómetro TA.XT2 plus, con el cual se obtuvieron las propiedades de dureza, fracturabilidad, elasticidad y cohesividad. También, se realizó un ensayo de tracción en una máquina universal de pruebas mecánicas marca INSTRON. Con esta prueba se obtuvo la resistencia mecánica de las diferentes formulaciones. Así mismo, se realizó una prueba de permeabilidad en la cual se emplearon dos tubos de PVC de 4 cm de diámetro. Además, se hizo una prueba de resistencia térmica del plato utilizando un horno de microondas marca General Electric con una potencia en espera menor o igual a 2.50 W y en una estufa marca Arsa a 100°C y a 200°C. Por otro lado, se determinó el proceso de biodegradabilidad del plato cuantificando la pérdida de masa en composta madura durante 48 días. Por último, se determinó el precio del plato, considerando que una empresa PYME lo produjera y que la producción se realizara con una prensa termohidráulica. Con la finalidad de conocer cuál de las formulaciones manejadas fue la mejor, se realizó una matriz de decisión, en la cual a cada prueba realizada se le dio un porcentaje de importancia. El resultado obtenido fue que la formulación 1 elaborada con harina de trigo integral presentó las características más sobresalientes con respecto a los parámetros de espesor, dureza, elasticidad, cohesividad, fracturabilidad, permeabilidad, resistencia y biodegradabilidad, por lo cual se considera como la mejor formulación para elaborar platos sustitutos al plástico. El objetivo de estos platos es ser amigables con el planeta, por lo que este producto se emplearía para almacenar alimentos y así sustituir a los envases de plástico elaborados a base de petróleo como es el poliestireno expandido (*EPS*, en inglés), conocido en México como *unicel*, el cual se ha convertido en un material dañino para el planeta, ya que puede requerir alrededor de 1000 años para degradarse.

Palabras clave: Bagazo de malta, harina de yuca, harina de trigo integral

Introducción

En los últimos años, se ha registrado en México un importante incremento en el consumo de envases de plástico elaborados con materiales derivados del petróleo, como es el caso del poliestireno expandido (*EPS*, en inglés), mejor conocido como *unicel* en México. El empleo de este producto se ha convertido en algo cotidiano ya que, debido a su alta resistencia, baja densidad y costo accesible, es muy común utilizarlo para almacenar alimentos. Sin embargo, su gran desventaja es que se convierte en material dañino para el planeta, ya que puede requerir alrededor de 1000 años para degradarse. A pesar de lo anterior, se estima que en nuestro país se consumen anualmente más de 13,000 millones de piezas de *unicel* entre vasos, platos y placas dedicadas a la construcción (Senado de la República LXIII Legislatura, 2016).

Actualmente, diversas instituciones e industrias, preocupadas por el daño ambiental, están buscando diferentes alternativas para reducir la contaminación generada por múltiples desechos. Una de las medidas que se están tomando en consideración es reutilizar los residuos de las empresas como materia prima para otros procesos. Por ejemplo, los residuos agroindustriales (que constituyen un serio problema a nivel mundial, pues su disposición final se realiza en tiraderos a cielo abierto o en cuerpos de agua), pueden aprovecharse y tener un valor económico, además de impedir que contaminen el ambiente.

La industria cervecera constituye una de las agroindustrias más grandes y rentables en el mundo. En el 2014, México tuvo en ese rubro una producción bruta total de 78,403 millones de pesos (INEGI, 2014). México ocupa, a nivel internacional, el séptimo lugar como productor de una lista de 125 países, el primer lugar como exportador y el quinceavo como importador. En 2016, la producción de cerveza en México fue de 105 millones de hectolitros (Cerveceros de México, 2017). Debido a la alta demanda de cerveza se generan grandes cantidades de residuos, como el grano agotado, que constituye el subproducto más abundante y corresponde al 85% del total de subproductos generados (Mussatto *et al.*, 2006). Este residuo puede ser usado en la producción de

alimento para el ser humano y para el ganado, lo mismo que en la generación de energía y en la fabricación de papel. También puede emplearse como sustrato en el cultivo de microorganismos y en la producción de enzimas, entre otros usos. Por otra parte, los residuos agroindustriales están siendo utilizados como sustitutos de los plásticos, especialmente en la elaboración de platos biodegradables, los cuales, al ser desechados, no afectan al medio ambiente y tienen una versatilidad de uso.

Objetivo general

Producir platos biodegradables a partir del residuo de malta de la industria cervecera con la adición de harina de yuca o de trigo.

Objetivos específicos

- Comparar si existe una diferencia significativa entre las dos harinas empleadas (yuca y trigo), a partir de un análisis de varianza con un nivel de confianza del 95%.
- Conocer cuál de las formulaciones empleadas produce el plato con las mejores propiedades mecánicas y físicas.
- Evaluar con base en los resultados y costos obtenidos, cuál formulación fue la que resultó con un mejor costo-beneficio.

Capítulo 1. Marco teórico

1.1 Cebada

La cebada es un cereal muy antiguo, originario del Medio Oriente, donde fue domesticado aproximadamente hace 10,000 años. Este cereal generalmente crece en climas templados, aunque crece mejor en los climas frescos y moderadamente secos. Tolera las bajas temperaturas y resiste bien las altas temperaturas en clima seco o la elevada humedad en clima fresco. La temperatura óptima de crecimiento durante el período vegetativo es de 15°C, y de 17 a 18°C en el espigado (Mateo, 2005). Puede desarrollarse bien en suelos pedregosos y poco profundos.

Todos los tipos de cebada cultivados se agrupan en una sola especie *Hordeum vulgare* L. Las variedades pueden clasificarse de acuerdo con su ciclo como cebadas de invierno o de primavera y también, atendiendo a la morfología de la espiga, como cebadas de 6 carreras y cebadas de 2 carreras (**Tabla 1**) (**Figura 1**) (Mateo, 2005; Vera, 2012):

- a) *H. distichum* (cebada dística) de dos hileras de grano, tiene un mayor tamaño, uniformidad y mayor cantidad de almidón. Puede crecer en otoño o primavera, sólo es fértil la flor de la espiguilla central, ya que las dos laterales permanecen estériles. Se utiliza comúnmente para el malteado.
- b) *H. vulgare* (cebada hexística) de seis hileras de grano. posee una mayor cantidad de cáscara y produce mayores niveles de enzima. Coexiste en otoño o primavera y presenta las tres espiguillas con flor fértil.

El tiempo que tarda la cebada en completar su ciclo desde la nacencia hasta su madurez es variable, puede ser de unos 90 hasta 120 días (Mateo, 2005).

La cebada es el segundo cereal en importancia en la zona templada-fría después del trigo y el cuarto en importancia a nivel mundial después del trigo, maíz y arroz. En México, la cebada es el quinto cereal en producción nacional, después del maíz, sorgo, frijol y trigo. En el 2016, México produjo 965,000 toneladas de cebada

maltera y se cosecharon en promedio 3.1 toneladas por hectárea, de las cuales se consumieron 999 mil toneladas (Cerveceros de México, 2017). De acuerdo con información de la Asociación de Cerveceros de México, se cosechan alrededor de 2.7 toneladas de cebada por hectárea al año, mientras que en los Estados Unidos (EE.UU.) se cosechan cerca de 3.5 toneladas por hectárea, en Argentina 3.5 y en China 7 toneladas por hectárea (Expansión, 2016).

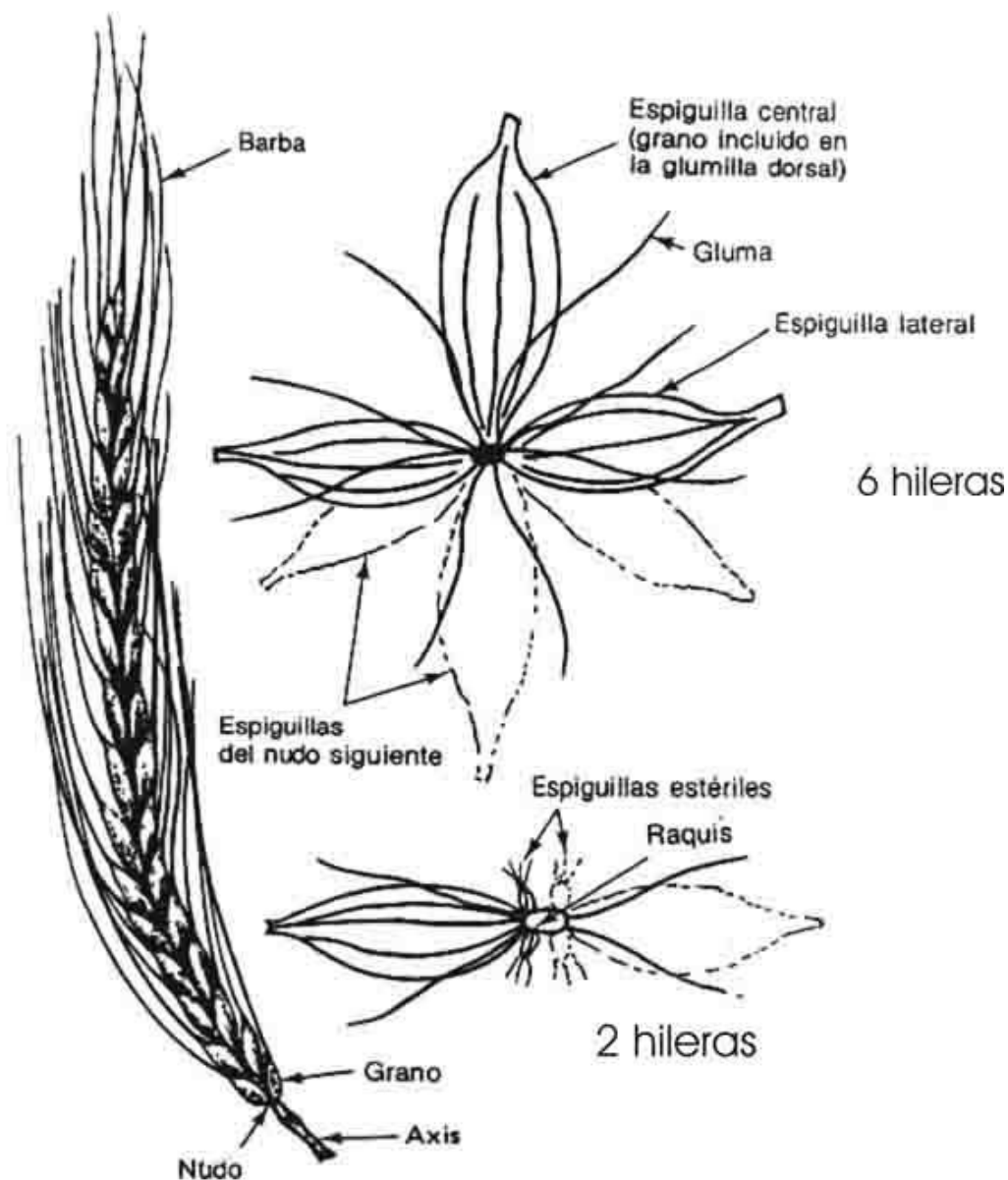


Figura 1. Espiga de cebada de seis hileras y de dos hileras (Cerveza de Argentina, 2010)

Tabla 1. Diferencias entre las variedades de cebada. Los signos + y – indican un nivel alto y bajo (Camacho de la Rosa et al., 2007)

Variedad	Hexística	Dística
Nombre	Hordeum vulgare	Hordeum distichum
Granos: Tamaño	Diferente	Uniforme
Forma	Ahusados, aproximadamente 2/3 de los granos torcidos	No ahusados, son rectos y uniformes
Granos/ espiga	25 a 60	15 a 20
Cascarilla	+	-
Nitrógeno	+	-
Extracto	-	+
Poder diastásico	+	-
Polifenoles	+	-

Las principales zonas productoras se encuentran en el centro del país, principalmente en los estados de Hidalgo, Tlaxcala, Puebla, Estado de México, Guanajuato, Michoacán, Querétaro y Zacatecas (SAGARPA, 2015) y son estos los que proveen cierta cantidad a las cervecías mexicanas. Además, México también es importador de cebada y malta.

La producción de cebada se destina principalmente a dos tipos de mercado: como alimento para ganado y para la producción de malta. Particularmente en México, aproximadamente el 70% de la cebada que se produce es específica para ser utilizada por la industria maltera, mientras que el 30% se utiliza fundamentalmente para la alimentación de ganado (Caballero, 2010).

El grano de cereal consta de tres grandes partes cuya proporción varía según la especie: pericarpio (7 a 10%), endospermo (80 a 85%) y germen (3 a 8%). Estas partes están protegidas con una cáscara (**Figura 2**) (Ospina, 2001). La **cáscara** está fuertemente unida al pericarpio y ésta se elimina por medio de la trilla o molienda, dejando así disponible la cariósida.

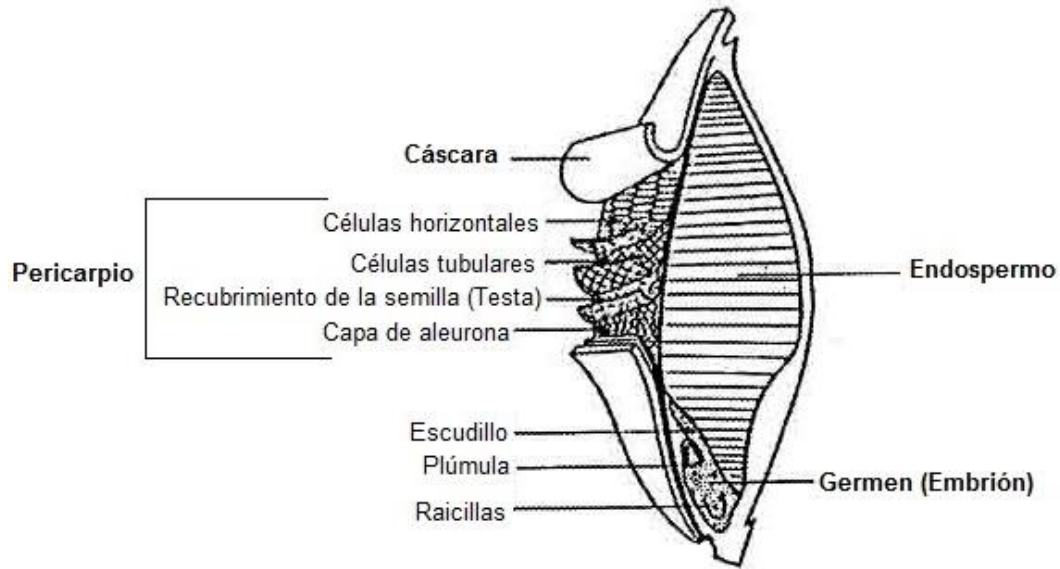


Figura 2. Estructura del grano de cebada (Modificado de Cervecería Argentina, 2010)

El pericarpio encierra a la semilla y está constituido por varias capas; su función primordial es la de proteger al grano contra agentes bióticos externos (insectos y microorganismos), impedir la pérdida de humedad, lo mismo que conducir y distribuir el agua y otros nutrientes al grano durante la germinación (**Figura 3**) (Serna, 1996).

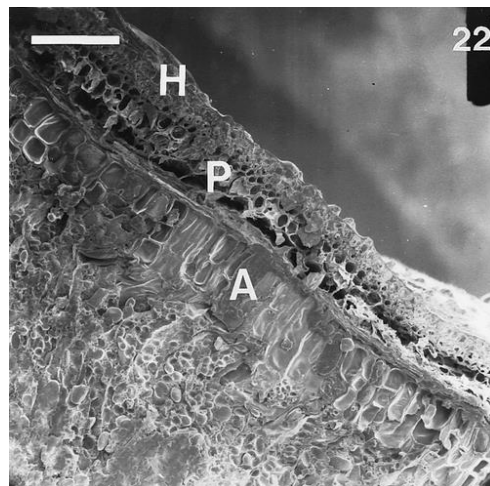


Figura 3. Imagen de microscopía electrónica a las secciones transversales de un grano de cebada con barrido de 100 μm (Adaptado de Delcuor y Hosenev, 2010): Cáscara (H), pericarpio (P) y capas de aleurona (A)

Esta estructura consta de dos partes (Ospina, 2001):

Parte externa. Constituida por tres tipos de capas

- **Epicarpio o epidermis.** Es la capa más externa del pericarpio y forma una película constituida por una pared de células rectangulares, delgadas y largas.
- **Mesocarpio.** Formado por células alargadas en el sentido transversal del grano.
- **Endocarpio.** Capa constituida por células de paredes delgadas.

Parte interna. Está conformada por dos tipos de células:

- **Células cruzadas.** Agrupadas en capas de dos a cuatro células de paredes delgadas y ramificadas, con varios espacios intercelulares. Su función es evitar que el grano pierda masa; es decir, actúan como un protector de la humedad.
- **Células tubulares.** Son células largas paralelas, no ramificadas. Poseen un gran espacio intercelular. Sirven de medio de conducción y distribución del agua que se absorbe a través del embrión durante el proceso de germinación.

La testa es la capa delgada que cubre la semilla. Está tan adherida al pericarpio que es difícil separarlos. El color depende en parte de la existencia de pigmentos de estas capas celulares (Ospina, 2001).

El endospermo está compuesto principalmente por almidón y en menor escala por proteínas. Las paredes celulares del endospermo están formadas por pentosas, hemicelulosa y β -glucanas, pero no por celulosa. El espesor de las paredes celulares varía con la posición del grano (**Figura 4**).

De acuerdo con Ospina (2001), el endospermo está formado por:

- **Capa de aleurona.** Rodea generalmente sólo la parte almidonosa del endospermo; en la cebada tiene de dos a cuatro capas celulares gruesas.
- **Endospermo córneo.** Constituido por proteínas y gránulos de almidón.

- **Endospermo vítreo.** Compuesto por paredes celulares, gránulos de almidón y proteínas.
- **Endospermo harinoso.** Se encuentra en la parte central del grano; su constitución es similar al endospermo vítreo, con gránulos de almidón más grandes.

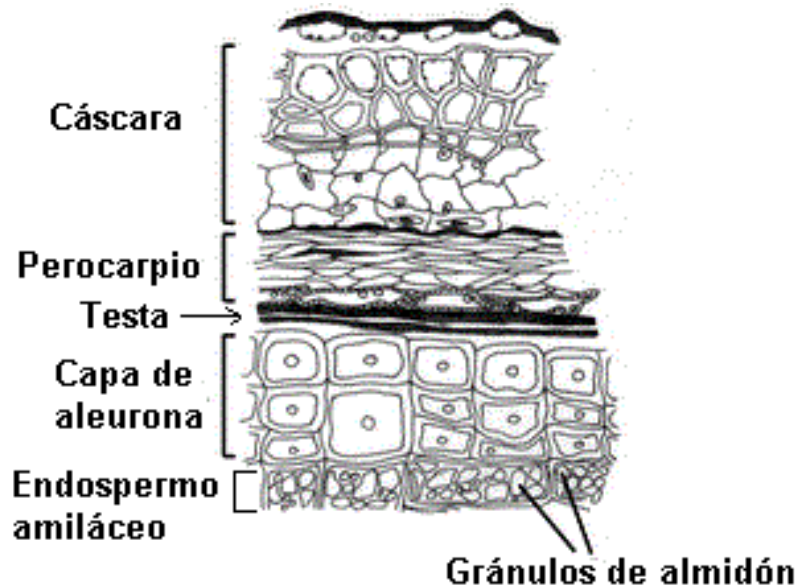


Figura 4. Estructura de las capas externas del grano de cebada (Adaptado de Delcuor y Hosenev, 2010)

El embrión o germen es relativamente rico en proteínas, de las cuales posee el 25%; mientras que de glúcidos tiene el 18% (principalmente sacarosa y rafinosa), de aceite 48% y de cenizas 5%. Además, es rico en vitaminas B y E. Es la parte más susceptible del grano al ataque de microorganismos e insectos que afectan la calidad del producto. Está conformado por el escutelo y el eje embrionario, el cual está integrado por la radícula y la plúmula, que forman las raíces y la parte vegetativa de la planta (Ospina, 2001), además de que genera la mayoría de las enzimas que dan inicio al proceso de germinación.

1.1.1 Proceso de malteo

El malteo es el primer paso para la elaboración de cerveza. Es el proceso de germinación controlada de un cereal. Este proceso se interrumpe con el secado de

los granos y al resultado final se le conoce como malta. El malteado es indispensable, ya que transforma los almidones de los cereales en glúcidos, especialmente la glucosa, la cual gracias a la acción de las levaduras se convertirá en alcohol y dióxido de carbono. En el 2016, en México se produjeron 471 mil toneladas de malta y se consumieron 886 mil toneladas (Cerveceros de México, 2017).

Antes del malteo, al recibir la cebada, se deben realizar las siguientes operaciones (Caballero, 2010):

- Análisis físico del lote: cumplir con la norma NMX-FF-043-SCFI-2003, (DOF, 2003).
- Limpieza por medio de cribas, corrientes de aire y/o bandas vibratorias.
- Calibración; es decir, separación del grano en grande, regular y delgado.
- Almacenamiento final, con una humedad de 13.5% como máximo.

Para el malteo se usan granos de cebada de 2 y 6 hileras que cumplan con la norma NMX-FF-043-SCFI-2003, (DOF, 2003). Otro factor importante es la dureza del grano. La estructura e interacciones determinan la permeabilidad durante el proceso de remojo, ya que el propósito principal del malteo es lograr un incremento en la actividad enzimática. Por estas razones es preferible usar granos de cebada con cáscara para lograr una degradación de la pared celular, proteínas y almidón y así modificar sus enlaces para aumentar la cantidad de glúcidos simples y proteínas solubles, ya que estos sustratos afectan la calidad de la cerveza. Además, la presencia de la cáscara ayuda en el proceso de filtrado después de la maceración (Magdaleno, 2016).

La cebada preferida para maltear es la de más baja proteína con capas que germinen entre 15 y 30°C. Deben tener un poder germinativo mayor al 85%. Deben contener pocas sustancias amargas y agrias (polifenoles). El proceso de malteo consta de tres etapas: el remojo, la germinación y el secado (**Figuras 5 y 6**).

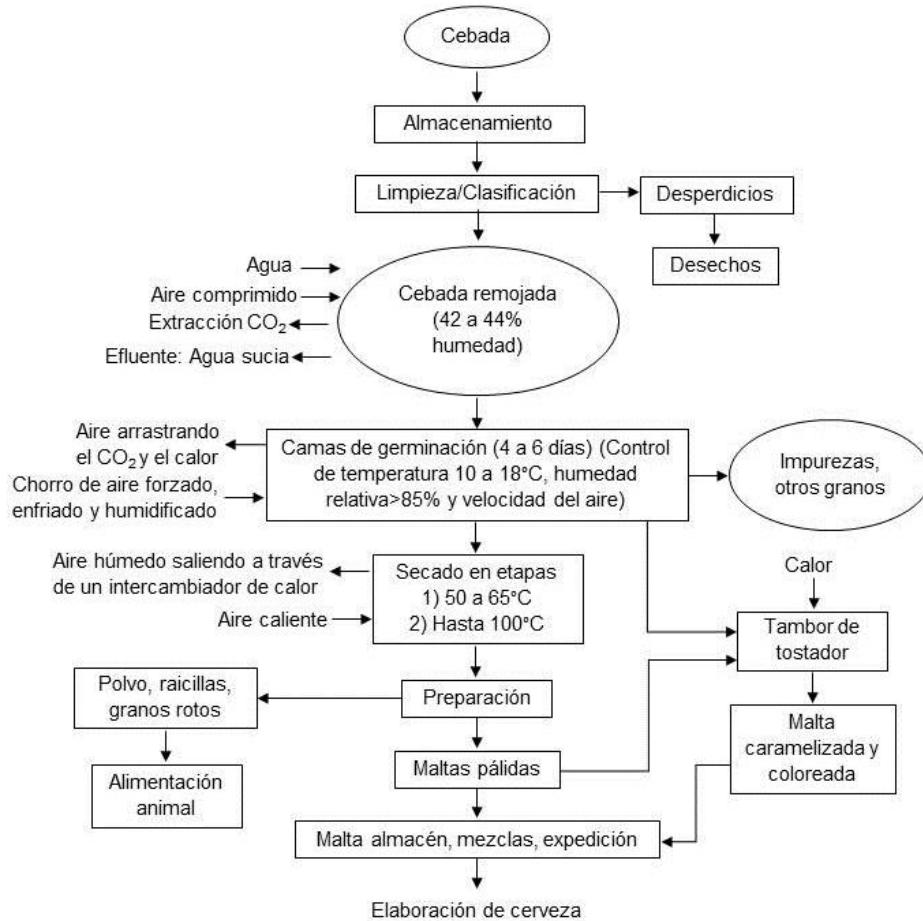


Figura 5. Diagrama de proceso industrial de la transformación de cebada a malta (Ramos, 2006)

Remojo. La operación tiene como objetivo primordial hidratar el grano bajo condiciones aerobias, de tal manera que la humedad absorbida propicie la generación de fitohormonas giberelinas que desencadenan el suceso fisiológico de la germinación. La temperatura del agua juega un papel crítico en la tasa de absorción y microbiología asociada con el proceso. El intervalo de temperatura normal del agua de remojo es de 10 a 20°C, aunque generalmente se emplea una temperatura de 15°C. El contenido del tanque se airea intensamente, insuflando aire a presión y la aireación es continua. Esta operación tiene un papel fundamental en la eficiencia del proceso debido a que los ciclos de aireación tienen como propósito impedir el crecimiento de hongos, y dispersar el calor y el CO₂ generado durante la respiración (Ramos, 2006). Para iniciar la germinación,

la cebada requiere una humedad del 38 a 42%. El remojo se detiene cuando el grano ha comenzado a “puntear”, es decir, cuando las raicillas empiezan a aparecer (Caballero, 2010).

Germinación. Es el proceso donde empieza a tomar forma la nueva planta. Se forman raicillas y una acróspira (plúmula) (Ramos, 2006). La germinación se lleva a cabo generalmente en un tiempo de 4 a 5 días, durante los cuales se hace atravesar por la cama de germinación una corriente de aire húmedo que puede ser continua o intermitente. La humedad ambiental debe ser de 92% y es necesario mover el grano del fondo a la superficie para oxigenarlo (Caballero, 2010). La temperatura a la que se lleva a cabo es de 12°C. El objetivo es conseguir la mínima cantidad de crecimiento, que produzca el máximo rendimiento de malta con alta actividad enzimática. Durante la germinación se producen una serie de enzimas, principalmente α y β amilasas (Vera, 2012). Por el extremo opuesto a las raicillas (lado dorsal), sale la acróspira. Como regla aproximada, el proceso de germinación se termina cuando la acróspira alcanza 3/4 de la longitud del grano (Ramos, 2006). Es entonces cuando se ha obtenido la “malta verde”.

Secado. El objetivo del secado es detener la germinación y conservar la actividad enzimática. En el secado se reduce la humedad del grano del 45% hasta 4 a 5%, mediante un proceso que consta de 2 etapas: La primera se lleva a cabo a temperaturas de 55 a 60°C, hasta llegar a 12% de humedad. En la segunda etapa se utilizan temperaturas entre 65 y 75°C para poder alcanzar la humedad de 4 a 5% (Caballero, 2010). Las maltas “lager” típicas se secan hasta una humedad del 4 a 5%, pero las maltas “ale” se deshidratan hasta un contenido en agua de un 2 a 3% (Ramos, 2006). Este control de la temperatura es muy importante para poder conservar la actividad enzimática. Después del secado, la malta es enfriada con aire fresco y muestreada para determinar su actividad diastásica y grado de color, entre otros (Ramos, 2006). Además, se realiza una limpieza para eliminar raicillas, plúmulas y fragmentos.

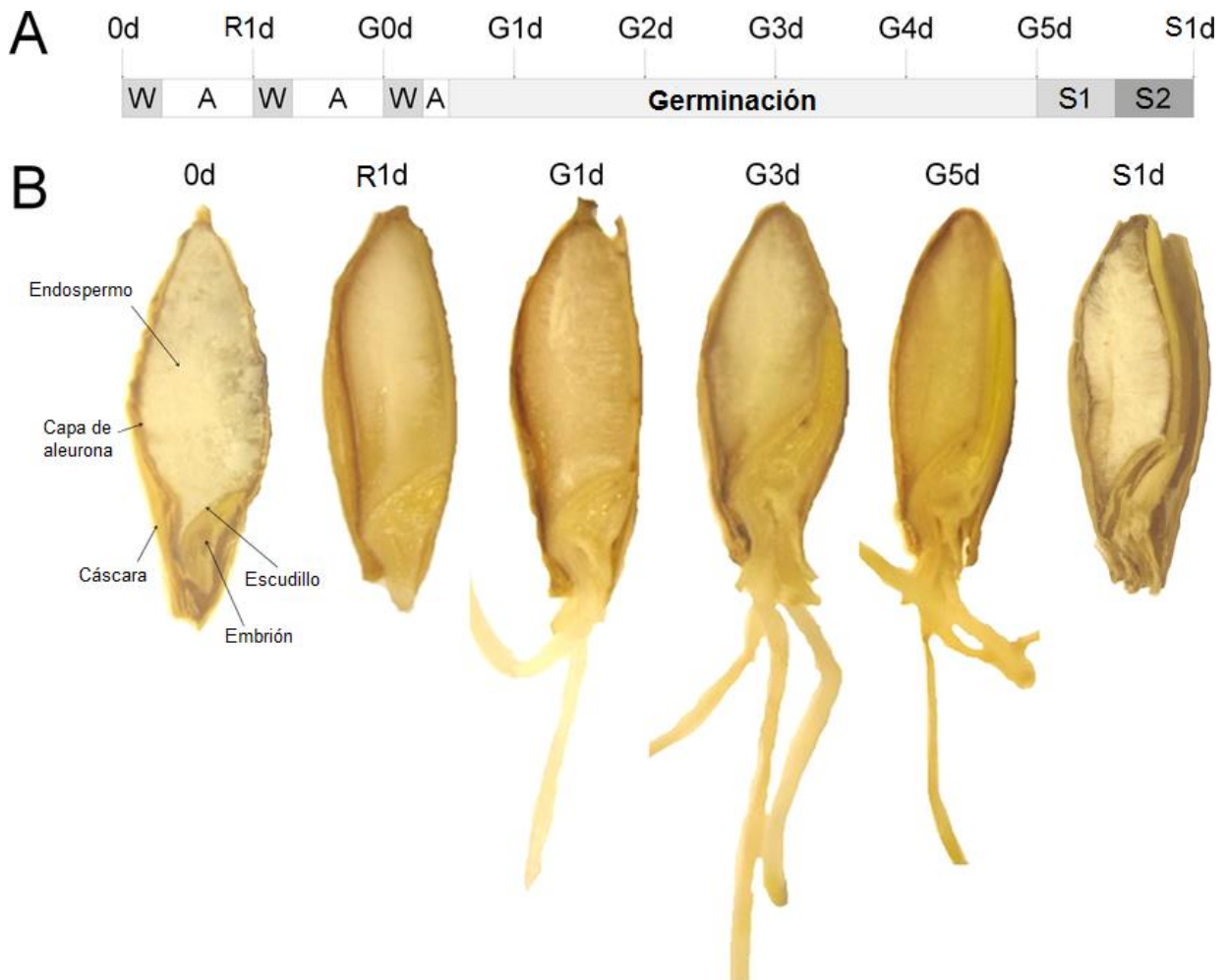


Figura 6. Proceso de malteo de la cebada: desarrollo de la plántula y puntos de muestreo. A) Esquema de tiempo de la cebada a 16°C para la recolección de muestras. Se indican los puntos de muestreo con su nombre de muestra. 0d: cebada cruda, R: remojo, G: germinación, S: secado. W: agua, A: sin aireación, S1: secado a 45°C (7h), S2: secado a 65°C (17 h). B) Crecimiento del grano de cebada durante el malteado. Cebada cruda (0d, T = 1), cebada remojada (R1d, T = 2), tres de los cinco puntos de tiempo durante la germinación (G1d, G3d, G5d (T = 4,6,8) y malta final (S1d). Compartimentos y principales órganos del grano se indican en el grano de cebada cruda (Adaptado de Gorzolka *et al.*, 2016)

La producción de diferentes tipos de malta, permite elaborar cervezas que presenten características específicas de coloración, sabor, aroma, pero sobre todo cuerpo, pues la mezcla de diferentes maltas y el tipo de levadura determinan el tipo de cerveza que se producirá (**Figura 7**) (Magdaleno, 2016).

TIPO DE MALTA Y COLOR DE CERVEZA

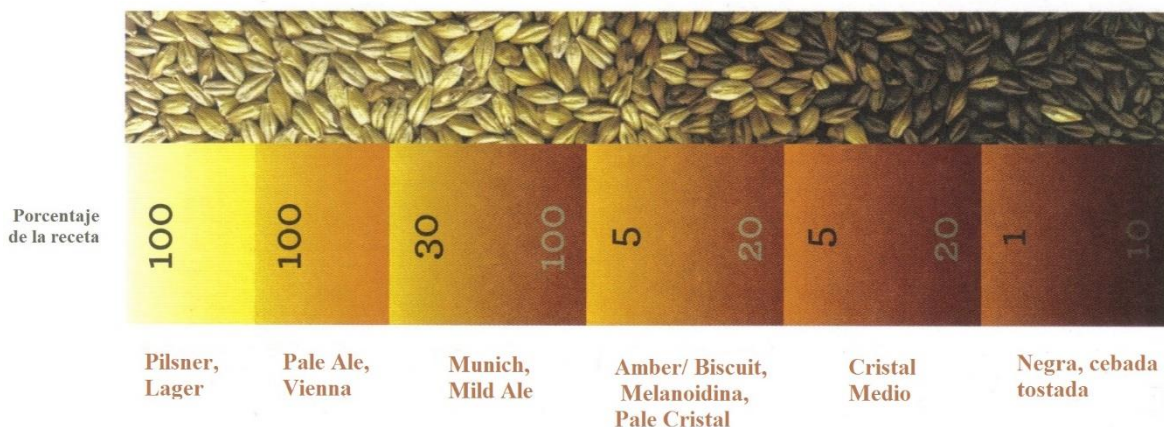


Figura 7. Gráfico que da un aspecto del color aportado por las cantidades variables de diferentes tipos de malta en las recetas de cerveza (Adaptado de Nuttall, 2016)

1.1.2 Cerveza

La cerveza es una de las bebidas más antiguas de la humanidad. Es una bebida alcohólica no destilada, con un sabor y aroma específicos. Se produce a partir de malta, agua, levadura, lúpulo y con la posible adición de “adjuntos”. La cerveza es una bebida resultante de un proceso de fermentación controlado, por medio de levadura cervecera proveniente de un cultivo puro, de un mosto elaborado con agua potable, malta 100% o mezclada con adjuntos, adicionando lúpulo o sus extractos o concentrados.

Una cerveza se caracteriza por varios factores: su amargor producido por los taninos y el lúpulo; su brillo y transparencia, resultante de la filtración; su espuma, dependiente del contenido de gas carbónico y de las proteínas y su color, producido por el tipo de malta que se utilizó. Al ser la cerveza una de las bebidas alcohólicas más consumida en el mundo, se le reconoce como una de las agroindustrias más rentables. El sector de la cerveza es el más importante dentro de la actividad agroindustrial en México. Su exportación representa alrededor del 20% de las exportaciones agroindustriales del país, con un valor de 2,814.3 millones de dólares en el 2016 que, desafortunadamente, ya son de empresas

transnacionales. También en ese año, México fue el cuarto lugar en producción de cerveza con 105 millones de hectolitros. (Cerveceros de México, 2017).

Las entidades federativas con mayor porcentaje de producción bruta total fueron: Zacatecas, Coahuila, Ciudad de México y Nuevo León, como se muestra en la imagen (Figura 8).

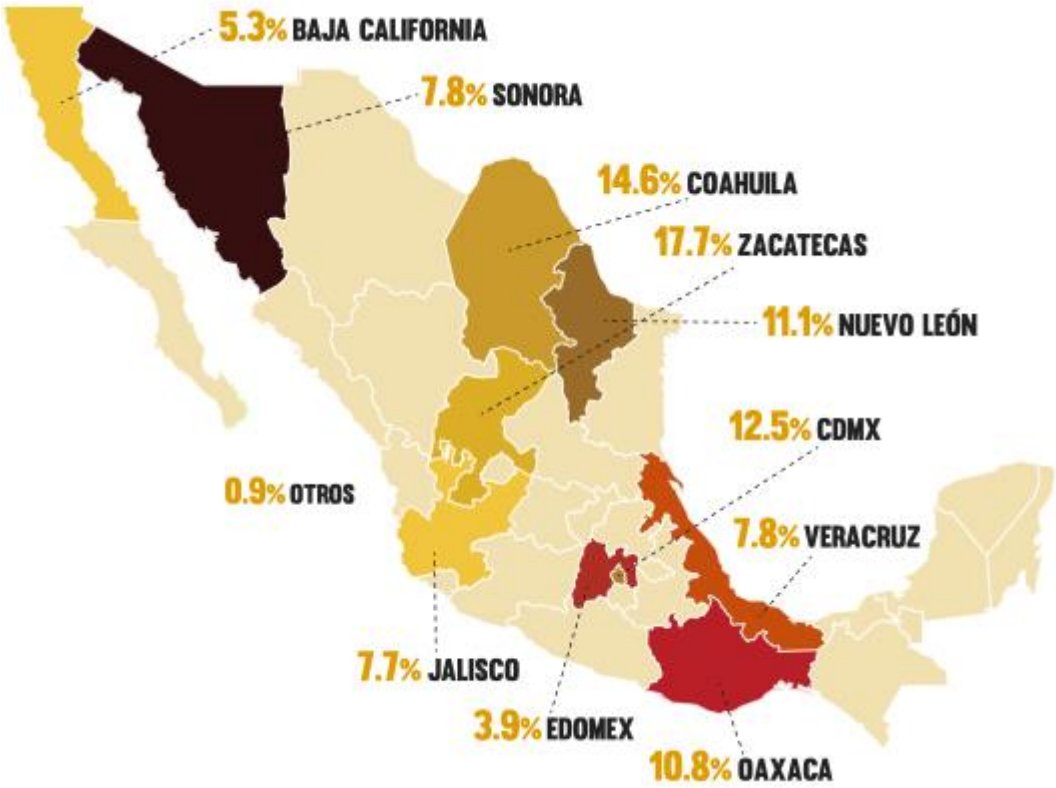


Figura 8. Entidades federativas productoras de cerveza (producción bruta total) (Cerveceros de México, 2017)

En general, los consumidores de cerveza reconocen y clasifican la cerveza según su color: rubia, rojiza, ámbar u oscura. Sin embargo, la cerveza tiene varias formas de clasificarse. La más usual es por su tipo de fermentación, pero también, de acuerdo con la Asociación de Cerveceros de México (2016), se puede clasificar con base en su contenido, su producción y su filosofía, como se explica a continuación:

- Cerveza industrial: además de utilizar agua, lúpulo, malta y levadura, puede llegar a incluir materiales denominados adjuntos como el maíz, arroz o la cebada sin maltear.
- Cerveza casera: se elabora en pequeñas cantidades para consumo personal y sin fines de comercialización. Utilizan los cuatro ingredientes principales y pueden o no incluirse otros.
- Cerveza artesanal: utiliza los mismos cuatro principales ingredientes, además de un mayor número de maltas de especialidad y cualquier otro ingrediente que enaltezca el sabor de la cerveza.

Por el tipo de fermentación se pueden distinguir tres tipos básicos (Castillo, 2014):

- Fermentación espontánea. Se diferencia de las otras, debido a que no fermenta en tanques y se utilizan levaduras naturales presentes en el aire, por lo que cada lote de cerveza que se fabrica es diferente, aunque se utilicen los mismos ingredientes con las mismas cantidades.
- Fermentación alta (fermentación en superficie). La fermentación alta es debido a que las levaduras que se han aportado, trabajan a temperatura alta (18 a 26°C) en la parte alta del tanque de fermentación, transformando la glucosa del mosto en cerveza. El tipo de la cerveza Ale es la típica de esta fermentación.
- Fermentación baja (fermentación en el fondo). Son cervezas ligeras obtenidas cuando la levadura aportada ha trabajado en la parte baja del tanque y que se desarrolla mejor a temperaturas más bajas, entre 1 a 5°C. La cerveza *Lager*, es la típica de esta fermentación.

1.1.3 Elaboración de cerveza

Antes de hablar de tipos y estilos de cerveza, debe decirse nuevamente que esta bebida tiene como base cuatro ingredientes: agua, malta, lúpulo y levadura (**Figura 9**). Un sucedáneo de cerveza es el que contiene otros granos diferentes a la cebada, conocidos como ya se dijo como adjuntos, los cuales pueden ser maíz, arroz y sorgo, entre otros.



Agua: Representa hasta el 90% del contenido de una cerveza; por lo tanto, se considera el ingrediente principal en esta bebida (Cerveceros de México, 2016). Ésta debe cumplir con las legislaciones vigentes sobre los criterios básicos para el consumo humano; los establecidos en México se encuentran en la NOM-127-SSA1-1994 (DOF, 1994). Además, las características del agua en el proceso de elaboración de cerveza influyen sobremanera en la calidad de la misma; es por esto que se debe tener una menor concentración de metales pesados, ya que estos afectan la calidad de la cerveza (Ramos, 2006).



Lúpulo: Planta trepadora silvestre (*Humulus lupulus*), pertenece a la familia *Cannabaceas*; le brinda a la cerveza el sabor amargo característico y un aroma agradable; además, mejora la espuma de la cerveza y tiene propiedades antisépticas.



Levadura: Microorganismo unicelular que se añade en la elaboración de cerveza para realizar el proceso de fermentación, utilizando la glucosa presente; con esto se produce alcohol etílico y bióxido de carbono. En la elaboración de cerveza de fermentación alta (tipo **Ale**), se utiliza la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, que es levadura flotante. En cambio, la cerveza de baja fermentación (tipo **Lager**), se elabora con la ayuda de la levadura *Saccharomyces pastorianus*, la cual se va al fondo durante la fermentación (Fermun *et al.*, 2013).



Malta: Producto final del proceso de malteado de los granos de cebada.

Figura 9. Ingredientes principales en la elaboración de cerveza (Elaboración propia)

El proceso para elaborar cerveza consta de varios pasos; en su transcurso, la cerveza adquiere sus cualidades específicas (**Figura 10**):

a) Malteo. El proceso de malteo consta de tres etapas: el remojo, la germinación y el secado

b) Molienda del grano. El primer paso consiste en el pesado y la molienda de la malta, que se realiza con un molino. Este paso es de gran importancia, debido a que con la molienda se abre el grano sin romper su cáscara, de forma que esta sirva después como filtro. Esto permite que el agua del macerado pueda disolver el almidón con facilidad y que las enzimas se propaguen libremente por el empaste, degradando el almidón a glucosa, su monómero. Una correcta molienda del grano es uno de los aspectos más importantes para conseguir una buena cerveza, ya que cuanto más se muele el grano más difícil será filtrarla (El Cantero, 2014).

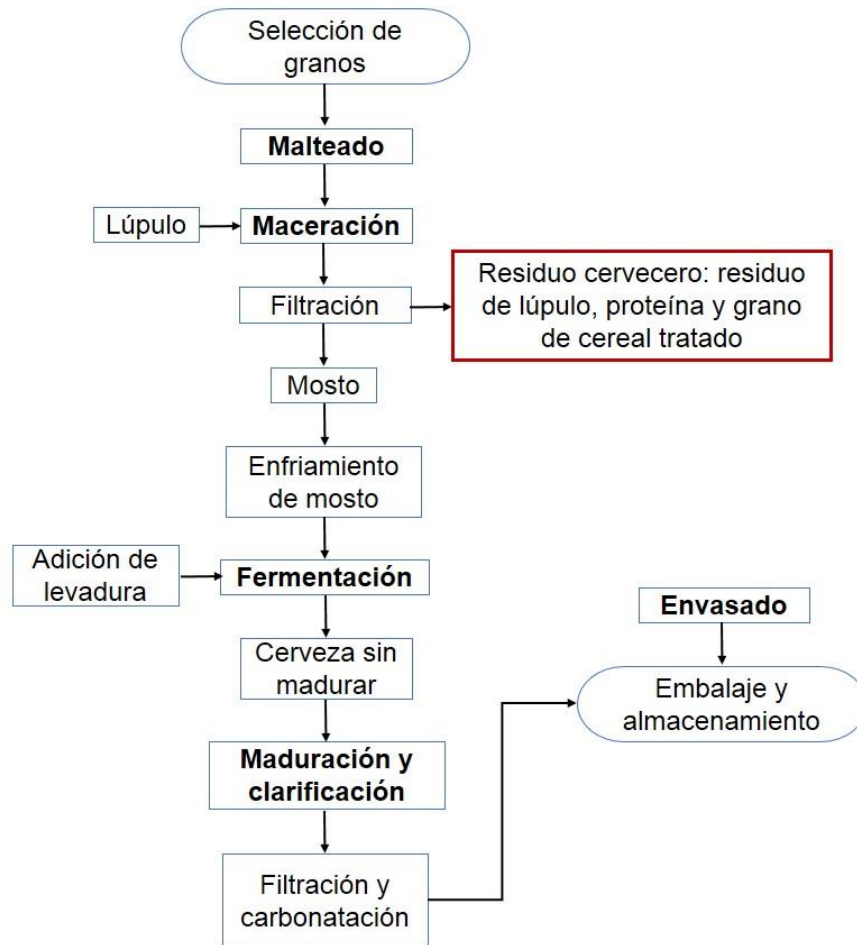


Figura 10. Secuencia del proceso de la producción de cerveza (Magdaleno, 2016)

c) Maceración. Consiste fundamentalmente en el proceso de someter una mezcla de agua y harina de malta a una temperatura determinada y durante un tiempo específico, con el objetivo de lograr que las enzimas alfa y beta amilasas (diastasas) presentes en la malta, transformen el almidón en glucosa. Una acción adicional que se consigue con la maceración es activar las enzimas que degradan las proteínas de alta masa molecular, como son las proteasas a aminoácidos y oligopéptidos. Esto permite obtener una cerveza más transparente y una mejor retención de la espuma (González, 2017).

Posteriormente, se realiza un incremento de temperatura de manera gradual (37 a 78°C) que se da con la finalidad de promover la hidrólisis enzimática, debido a que las enzimas β -amilasas tienen una termo-estabilidad que decrece rápidamente a

55°C, pero se ha observado que permanecen activas hasta una temperatura de 60°C. La α -amilasa tiene una actividad óptima alrededor de 65°C presentando también actividad a 75°C y las enzimas proteolíticas tiene temperaturas óptimas de 50 a 55°C (Magdaleno, 2016).

La maceración puede ser realizada de dos maneras diferentes: maceración simple, aplicando sólo un rango de temperatura o maceración escalonada, aplicando varios rangos de forma selectiva. Por otro lado, las reacciones enzimáticas son dependientes del pH; las enzimas involucradas en la maceración poseen un rango de pH muy estrecho. Las proteasas actúan mejor entre 5.0 y 5.5. Las beta-amilasas lo hacen entre 5.2 y 5.8, mientras que las alfa-amilasas entre 4.5 y 5.5. Debido a ello, para simplificar el proceso de maceración, puede establecerse un rango promedio de 4.5 a 5.8 para cualquier procedimiento de elaboración de cerveza (González, 2017). Finalmente, se obtiene el líquido llamado mosto y un residuo sólido proveniente de la cascarilla del grano al que se llama bagazo o grano agotado.

d) Cocción. Una vez que se obtiene el mosto se lleva a una olla de cocimiento para que hierva vigorosamente (entre 92 y 100°C) junto con el lúpulo; éste le proporciona amargor y aroma, además de ayudar a la clarificación y conservación de la cerveza, ya que contiene alfa-ácidos o humulonas, los cuales poseen propiedades antisépticas y le confieren amargor a la cerveza. Otros compuestos son los taninos que ayudan a clarificar la cerveza, ya que estos reaccionan con las proteínas y forman complejos, los cuales se precipitan (Craft Beer & Brewing Magazine, 2017).

e) Enfriamiento. Una vez finalizada la cocción, por medio de movimiento dentro del tanque, se busca que las partículas sólidas que se colaron durante la ebullición vayan al centro y al fondo. Posteriormente se realiza una filtración. Se debe enfriar el mosto debido a que, si el mosto descansa mucho tiempo entre 30 y 50°C, podría haber contaminación microbiana; se podrían producir compuestos azufrados indeseables en el mosto caliente y se puede producir una oxidación. Un enfriamiento correcto y rápido fomenta la precipitación.

f) Fermentación y maduración. Se agrega la levadura al mosto frío; la temperatura del mosto variará en función de la levadura a utilizar. La fermentación es el proceso que permitirá convertir a la glucosa en alcohol y puede durar entre 5 y 7 días. Se sigue con la maduración donde se produce una segunda fermentación. Una vez finalizada la fermentación, el mosto se somete a un proceso de filtración que tiene como objetivo eliminar todas las levaduras, a lo cual se le da el nombre de clarificación. Cuando la cerveza alcanza los parámetros de calidad determinados por el cervecero se da por terminada la clarificación (El Cantero, 2014).

g) Envasado. La cerveza puede envasarse en barriles, botellas y latas.

1.1.4 Residuo de malta o grano agotado

En la industria cervecera, el grano agotado se obtiene a partir de una mezcla preparada a base de agua, malta e hidratos de carbono de materiales adjuntos como maíz o arroz. El grano agotado de cervecería es uno de los mayores subproductos de la industria cervecera y su desecho llega a ocasionar problemas (González, 1996). Por otra parte, el requerimiento de oxígeno para la degradación de estos residuos es de aproximadamente del 30 al 60% (Magdaleno, 2016). Es por eso que, en los últimos años, las industrias en general han mostrado una preocupación y/o se ven comprometidas a detener la contaminación que sus procesos industriales provocan en el ambiente.

En la industria cervecera se producen desechos de residuos de malta o grano agotado, además de residuos de líquidos turbios y otros productos sólidos como la tierra de diatomeas, que sirven para clarificar y purificar el mosto (Magdaleno, 2016). Tradicionalmente, el residuo de malta ha recibido poca atención para su comercialización. Este residuo lignocelulósico representa alrededor del 85% del subproducto total generado (Mussatto *et al.*, 2006); por ello es necesario reutilizarlo o tratarlo de manera diferente para la obtención de un producto secundario. La producción continua de este subproducto, su gran disponibilidad, su costo nulo o relativamente bajo, así como su valor nutricional, hacen que

resulte atractivo para darle un uso secundario; por ejemplo, en la elaboración de platos biodegradables.

1.1.4.1 Composición del grano agotado

El residuo de malta consta principalmente de la cáscara, el pericarpio y la testa, los cuales están constituidos principalmente por celulosa, polisacáridos no celulósicos, lignina, proteínas, la presencia de algunos lípidos y minerales. Este residuo puede variar dependiendo de la variedad de malta y de las condiciones de malteado y de maceración, ya que pueden quedar residuos del endospermo amiláceo adheridos a las paredes de la aleurona (Mussatto *et al.*, 2006). Además, la composición química de este residuo varía debido a que puede ser solamente malta de cebada o la mezcla de ésta con algún(os) adjunto(s) (Magdaleno, 2016). Este residuo es una fuente potencial de proteína y fibra, de los cuales contiene alrededor del 20 y 70% de estos componentes, respectivamente (**Tabla 2**). Los componentes principales en los tejidos fibrosos son: arabinosilanos, lignina (macromolécula polifenólica) y celulosa (homopolímero de unidades de glucosa). Además, el residuo de malta tiene minerales, vitaminas y aminoácidos. Los elementos minerales incluyen calcio, cobalto, cobre, hierro, magnesio, manganeso, fósforo, potasio, selenio, sodio y azufre; todos en concentraciones inferiores al 0.5%. Las vitaminas incluyen (ppm): biotina (0.1), colina (1800), ácido fólico (0.2), niacina (44), ácido pantoténico (8.5), riboflavina (1.5), tiamina (0.7) y piridoxina (0.7). Los aminoácidos incluyen leucina, valina, alanina, serina, glicina, ácido glutámico y ácido aspártico en cantidades mayores y tirosina, prolina, treonina, arginina y lisina en cantidades menores. También pueden estar presentes cistina, histidina, isoleucina, metionina, fenilalanina y triptófano (Mussatto *et al.*, 2006). Para esta investigación se utilizó como materia prima el residuo de malta (grano agotado) con acompañamiento de adjuntos. Este residuo proviene de la planta Ciudad de México de Grupo Modelo, ubicada en Lago Alberto 156, Col. Granada, Ciudad de México.

Tabla 2. Composición química del residuo de malta proveniente del proceso cervecero

Composición (porcentaje en masa seca)	Kanauchi <i>et al.</i> (2001)	Mussatto <i>et al.</i> (2006)	Mello y Mali (2014)
Proteína	24.0	15.2	13.60
Lípidos	10.6	No determinado	4.44
Cenizas	2.4	4.6	2.78
Fibra dietética	No determinado	No determinado	63.84
Celulosa	25.4	16.8	12.29
Lignina	11.9	27.8	26.13
Hemicelulosa	No determinado	No determinado	23.41
Arabinoxilanos	21.8	28.4	No determinado

1.1.4.2 Posibles aplicaciones del residuo de cerveza

Este subproducto ha recibido poca atención como un producto comercializable y su eliminación es un problema ambiental. Sin embargo, debido a la composición química que presenta, puede ser de gran valor como materia prima para diversos productos. A continuación, se describen brevemente algunas posibles aplicaciones que investigadores como Aliyu y Bala (2011) y Mussatto *et al.* (2006) han mencionado sobre este residuo de la agroindustria.

a) Ingrediente alimenticio

- *Nutrición animal*

Debido a su alto contenido en proteínas y fibras se puede emplear como alimento para animales, ya sea como un residuo húmedo o seco. Es un alimento excelente para los rumiantes ya que puede combinarse con fuentes de nitrógeno económicas, como la urea, para proporcionar todos los aminoácidos esenciales. Además, promueve en los animales el incremento de producción de leche después del proceso de fertilidad (Aliyu y Bala, 2011; Mussatto *et al.*, 2006).

Por otro lado, se ha evaluado el residuo de malta en la dieta de los peces, donde se observa que la combinación de salvado de arroz y un 30% de

residuo de malta (grano agotado) produce que el pez adquiera una mayor masa, comparado con aquellos que solamente fueron alimentados con salvado de arroz (Aliyu y Bala, 2011; Mussatto *et al.*, 2006).

- *Nutrición humana*

Debido a que el residuo de malta tiene un costo bajo y un alto contenido de fibra puede ser adicionado a panes, galletas, tortillas, pastas o como cereal. Sin embargo, este residuo es demasiado granular para su adición directa en los alimentos y debe ser convertido en harina (**Tabla 3**). No obstante, existen algunas limitaciones en el uso de la harina como aditivo proteico o como sustituto parcial de harinas, debido a su color y sabor; es por esto que sólo se pueden incorporar cantidades relativamente pequeñas (5-10%). El consumo del residuo de malta puede aportar beneficios a la salud al disminuir el riesgo de padecer ciertas enfermedades como cáncer de colon, desórdenes gastrointestinales, constipación o diarrea y puede ayudar a los enfermos con problemas de diabetes y también a quienes sufren enfermedades cardiovasculares (Mussatto *et al.*, 2006).

Tabla 3. Propiedades de la harina de grano agotado en los alimentos (Adaptado de Mussatto *et al.*, 2006)

Fácil de mezclar
El contenido calórico es aproximadamente la mitad de la mayoría de las harinas de cereales
Alta capacidad de absorción de agua
Provee minerales valiosos como calcio, fósforo, hierro, cobre, zinc y magnesio
Baja absorción de grasa (beneficioso para pastas y revestimientos)
Color café uniforme, sabor suave y aroma ligeramente tostado
Alto contenido de fibra
Alto contenido de proteína

b) Producción de energía

Se puede emplear en la producción de energía, ya sea por combustión directa o por biotransformación para producir biogás. Esta última puede realizarse por medio de una transformación bioquímica realizada en dos partes: La primera consta de una hidrólisis, la cual se lleva a cabo utilizando tratamientos alcalinos; la segunda parte consiste en una degradación metanogénica que involucra la presencia de microorganismos acidogénicos y metanogénicos para producir una mezcla de metano y bióxido de carbono 60 a 70%, además de que produce un porcentaje pequeño de hidrógeno, nitrógeno, monóxido de carbono y ácido sulfhídrico (Mussatto *et al.*, 2006).

c) Componente de ladrillos

Debido a que el residuo de malta tiene un bajo contenido de cenizas y una gran cantidad de material fibroso (celulosa, polisacáridos no celulósicos y lignina), es adecuado su uso en materiales de construcción. Los ladrillos fabricados con grano agotado presentaron una mayor porosidad; este residuo mejoró sus características secas y no influyó en el color, ni comprometió la calidad del ladrillo (Aliyu y Bala, 2011).

d) Manufactura de papel

La naturaleza fibrosa del residuo de malta permite ser una materia prima para la producción de papel, toallas de papel, tarjetas, portavasos; además, confiere textura de alto grado en los productos (Mussatto *et al.*, 2006).

e) Producción de carbón

Recientemente, se desarrollaron “ladrillos de carbón” con residuo de malta, los cuales contienen varios minerales como calcio, magnesio y fósforo, y tuvieron un alto valor calorífico (27 MJ/kg). El análisis térmico mostró que el carbón del grano agotado tiene una temperatura de ignición mayor y el período de combustión es más largo que el carbón de aserrín (Mussatto *et al.*, 2006).

f) Absorbente

Debido a su bajo costo y su fácil disponibilidad, se ha probado el residuo de malta como un absorbente para varios tipos de compuestos. El grano agotado pirolizado se puede utilizar como un absorbente para eliminar compuestos orgánicos volátiles de gases residuales. Además, el residuo de malta adsorbe cadmio y plomo de soluciones acuosas con capacidades máximas de absorción del 17.3 y 35.5 mg/g, respectivamente. En el caso de los colorantes, el grano agotado se probó como un absorbente del colorante Naranja Ácido 7 (AO7), un ácido monoazo utilizado en las industrias papelera y textil. La capacidad máxima de absorción fue de 30.5 mg AO7/g grano agotado, a 30°C (Mussatto *et al.*, 2006).

g) Producción de xilitol y pululana

El xilitol es un compuesto poco común que existe en pequeñas cantidades en la naturaleza. Se pueden utilizar varios residuos agroindustriales para producir xilitol, pero el grano agotado tiene ventaja porque no requiere etapas preliminares de “destoxificación”. Su producción se ve favorecida por altas concentraciones iniciales de xilosa, limitación de oxígeno, alta densidad de inóculo y suplementación de medio apropiado. En cambio, la pululana es un polisacárido extracelular soluble en agua producido por cepas de *Aureobasidium pullulans*. El mayor problema en el uso de la pululana parece ser su precio; sin embargo, el uso del residuo de malta disminuye su costo (Aliyu y Bala, 2011).

h) Productos obtenidos de procesos biotecnológicos

- *Desarrollo de microorganismos*

El grano agotado favorece el desarrollo de microorganismos, no sólo por el contenido de glúcidos, proteínas y su alta humedad, sino también por sus propiedades físicas como el tamaño de partícula, la masa volumétrica o densidad específica, la porosidad y la capacidad de retención de agua (Aliyu y Bala, 2011; Mussatto *et al.*, 2006).

- **Producción de enzimas**

Este residuo cervecero es una fuente adecuada de nitrógeno y de energía, lo cual hace que este residuo sea un sustrato potencial para la proliferación de microorganismos amilolíticos que pueden producir β -amilasas y amiloglucosidasas, xilanasas y α -L-arabinofuranosidasas (Aliyu y Bala, 2011; Mussatto *et al.*, 2006).

- **Producción de ácido láctico**

Se han encontrado muchas aplicaciones para el ácido láctico en relación con los alimentos, los productos farmacéuticos y la industria química, entre otros. Uno de los principales retos en la producción a gran escala de ácido láctico es el costo de la materia prima, es por esto que los residuos agroindustriales son una alternativa atractiva para sustituir las costosas materias primas como glucosa, sacarosa y almidón (Aliyu y Bala, 2011; Magdaleno, 2016; Mussatto *et al.*, 2006)

1.2 Trigo

El trigo pertenece a la familia de las gramíneas y al género *Triticum spp.* En el 2016, se cosecharon 220,107,551 hectáreas en el mundo (FAO, 2017). Es el cereal más importante en el comercio internacional. El trigo está formado por tres partes principales: endospermo, salvado y germen (**Figura 11**). La temperatura óptima para su crecimiento está entre 10 y 25°C, pero puede llegar a crecer a temperaturas entre 3 y 33°C. En cuanto a la humedad, es deseable que ésta sea alta durante el espigado, mientras que durante la maduración se espera que sea baja para facilitar el secado del grano, evitar su germinación y el crecimiento de microorganismos (Juárez *et al.*, 2014).

En México, el trigo se produce en 23 entidades del país, los cinco principales son: Sonora, Baja California, Sinaloa, Guanajuato y Michoacán. La producción total de México en el 2016 fue de tres millones 841 mil toneladas de trigo (SAGARPA, 2017).

En el trigo, el almidón constituye dos terceras partes de la masa del grano seco. Éste, por lo general, es transformado en harina, la cual se destina a la elaboración de pan, galletas, pasteles, pastas para sopas, entre otros. El trigo contiene hidratos de carbono (almidón), proteína (gluten), fibra, lípidos (**Tabla 4**), vitaminas B1, B2, B3, B6 y E; minerales como el potasio, magnesio, zinc, hierro y fósforo.

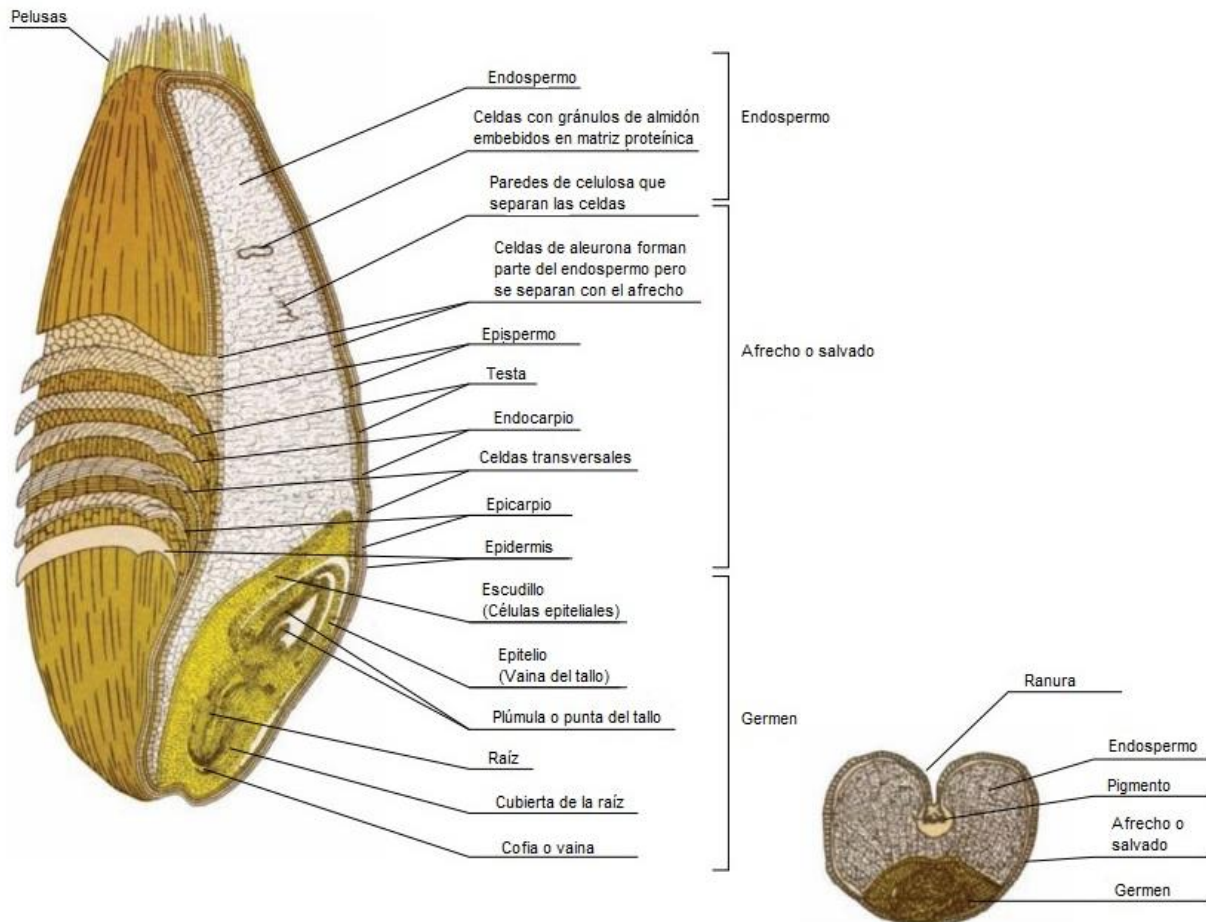


Figura 11. Estructura del grano de trigo (Juárez *et al.*, 2014)

En esta investigación, el trigo fue utilizado debido a su contenido de almidón (**Tabla 4**), a su gran disponibilidad y su bajo costo en comparación con otros cereales.

1.3 Yuca

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es una planta originaria de América del Sur y crece en una variada gama de condiciones tropicales. Aunque la yuca prospera en suelos fértiles, su ventaja comparativa con otros cultivos más rentables es su capacidad para crecer en suelos ácidos, de escasa fertilidad, con precipitaciones esporádicas o largos períodos de sequía. Sin embargo, no tolera encharcamientos ni condiciones salinas del suelo (FAO, 2007). Nigeria, Indonesia, Brasil y Tailandia son los principales productores de yuca a nivel mundial. En México se siembra en siete estados (Chiapas, Tabasco, Campeche, Yucatán, Oaxaca, Michoacán y Jalisco). La producción de México en el 2013 fue de 24,302 toneladas de yuca (SINAREFI, 2015).

El uso de esta planta se caracteriza por el consumo de su raíz (**Figura 12**), en la que se acumulan gran cantidad de componentes, entre ellos el almidón. Ésta es la forma natural en que la planta almacena energía por asimilación del carbono atmosférico, mediante la clorofila presente en las hojas (Meneses et al., 2007).

El almidón de yuca puede clasificarse como agrio y nativo o dulce. El almidón agrio sufre un proceso de biotransformación que le otorga propiedades deseables para los alimentos, mientras que el almidón dulce no es sometido a un proceso biotecnológico y es el que se usa generalmente en la industria (Meneses et al., 2007).



Figura 12. Raíz de yuca (El Sol, 2016)

La yuca también es un alimento rico en hidratos de carbono (almidón) (**Tabla 4**), fibra, proteína vegetal, vitaminas A, B2, B3, B6, B9 o ácido fólico, C, K y minerales como el potasio, magnesio, fósforo, calcio, hierro y sodio (El Sol, 2016).

La yuca se utilizó en esta investigación debido a su gran contenido de almidón. El almidón aumenta la cohesión entre los componentes del plato (residuo de malta, glicerina, goma guar y agua), debido al fenómeno de gelatinización.

Tabla 4. Características fisicoquímicas de las harinas de trigo y de yuca (Henao y Aristizábal, 2009)

ANÁLISIS	YUCA 1	YUCA 2	YUCA 3	TRIGO
MATERIA SECA (%BH)	89.20	92.03	91.61	89.02
HUMEDAD (%BH)	10.80	7.97	8.39	10.98
PROTEÍNA (%BS)	1.78	2.32	1.34	14.01
FIBRA CRUDA (%BS)	3.45	3.14	2.96	0.86
EXTRACTO ETÉREO (%BS)	1.26	1.31	0.60	2.36
CONTENIDO DE ALMIDÓN (%BS)	86.0	87.0	88.25	69.0
CENIZAS (%BS)	2.06	1.26	2.25	0.72
GLÚCIDOS REDUCTORES (%BS)	1.73	2.30	1.37	0.94
AMILOSA (%BS)	12.02	12.15	12.31	13.87
AMILOPECTINA (%BS)	87.98	87.85	87.69	86.13

*BH: base húmeda; *BS: base seca

1.4 Almidón

El almidón es el polisacárido alimentario digerible más importante y abundante. Se forma como poliglúcido de reserva en las hojas, tallo (médula), raíces (tubérculos), semillas, fruta y polen de muchas plantas superiores. Se encuentra en forma de

gránulos simples, parcialmente cristalino, cuyo tamaño, forma y temperatura de gelatinización dependen de la procedencia botánica del almidón. El almidón es un homopoliglúcido compuesto sólo de unidades de glucosa y está formado por dos tipos de moléculas: amilosa y amilopectina (**Figuras 13A y 13B**), cuyas unidades de glucopiranosilo están casi totalmente enlazadas entre sí por unidades α -D-(1 \rightarrow 4) glucosídicas. Las proporciones en las que están presentes esos dos polisacáridos en el almidón son variables. En algunos granos, como el maíz criollo, el 20% aproximadamente es amilosa y el resto es amilopectina, mientras que en el maíz cacahuazintle es justamente al revés. La amilosa contiene pocas ramificaciones, pero la amilopectina, por el contrario, es un polímero altamente ramificado que contiene aproximadamente un 5 a 6% de uniones α -D-(1 \rightarrow 6) glucosídicas en los puntos de ramificación (FAO,1997). La amilopectina es el componente dominante de la cristalización en la mayoría de los almidones.

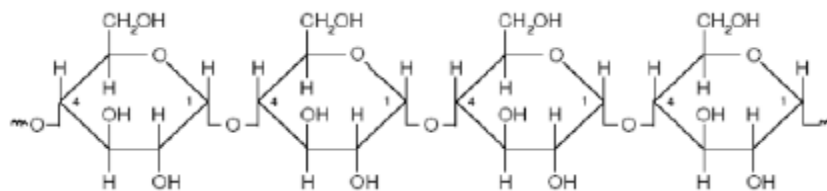


Figura 13A. Estructura de molécula de amilosa (Meneses *et al.*, 2007)

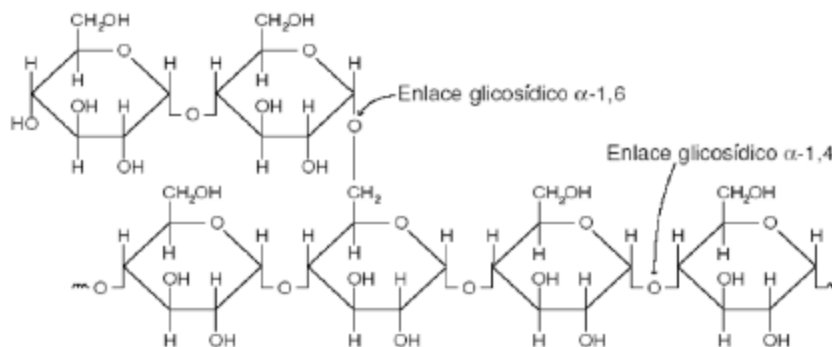


Figura 13B. Estructura de molécula de la amilopectina (Meneses *et al.*, 2007)

El almidón constituye una fuente de energía esencial para muchos organismos como las bacterias y los hongos, debido a que poseen amilasas y pueden descomponer el almidón. Además, el almidón es la principal reserva de energía en el mundo vegetal y, desde el punto de vista nutricional, constituye la fuente

primordial de hidratos de carbono en la dieta humana. Se encuentra presente en un gran número de productos agrícolas, de los cuales destacan los cereales (maíz, trigo, arroz), leguminosas (frijol, chícharo, haba) y tubérculos (papa, yuca), donde representa del 60 al 90% de la materia seca (Tomás, 2014).

El almidón de yuca puede variar en su tamaño de 5 a 35 μm ; su forma es entre redonda y achatada, y su contenido de amilosa es alrededor del 17% (Meneses *et al.*, 2007). En el caso del almidón de trigo, su tamaño puede variar de 2 a 35 μm ; su forma es redonda o lenticular y su contenido de amilosa es entre 23 y 27% (FAO, 1997).

Una de las principales propiedades del almidón es la gelatinización, la cual se define como la pérdida de la semicristalinidad de los gránulos de almidón en presencia de calor y de altas cantidades de agua, con o muy poca o ninguna ocurrencia de despolimerización (Meneses *et al.*, 2007).

1.5 Goma guar

La goma guar es una galactomanana en forma de gel que se obtiene del endospermo de la leguminosa *Cyamopsis tetragonolobus* L. (Cantón *et al.*, 2017), mediante la molienda de los endospermios seguida de una hidrólisis parcial (Acofarma, 2010). Su estructura química se basa en una larga cadena de moléculas α -D-manopiranosilo, unidas mediante enlaces glucosídicos tipo β -D-(1 \rightarrow 4). La hexosa ligada a esta cadena es la α -D-galactopiranososa (**Figura 14**) (Cantón *et al.*, 2017). Las ramificaciones de galactosa en la goma guar favorecen la solubilidad de ésta en agua y, además, son vitales para su empleo como agente gelificante (Carrascal *et al.*, 2013).

Respecto a sus propiedades físicas, la goma guar es un polisacárido no absorbible, de cadena larga, de naturaleza aniónica, y de elevada masa molecular (Acofarma, 2010). Su viscosidad es estable con los cambios de pH (Cantón *et al.*, 2017).

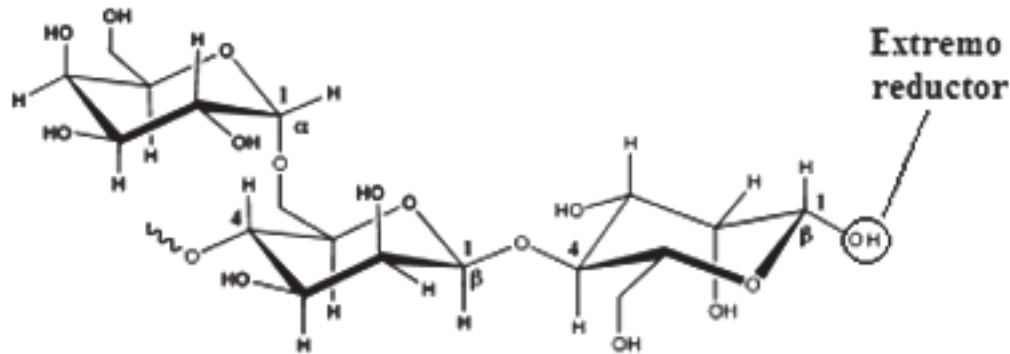


Figura 14. Estructura química de la goma guar (Carrascal *et al.*, 2013)

Los geles que forma normalmente son de baja consistencia. Se utiliza como agente suspensor en formulaciones orales y tópicas; como espesante para estabilizar emulsiones, y como aglutinante y disgregante en comprimidos (Acofarma, 2010).

1.6 Glicerina

“La glicerina o glicerol es un producto proveniente de las grasas y/o aceites que han sido saponificados, hidrolizados o transesterificados. Se obtiene en forma bruta y después se lleva a cabo un proceso de purificación a través de destilación, intercambio de iones o de sintetización a partir del propileno. También es posible producir glicerina a través de la fermentación o hidrogénesis de hidratos de carbono; sin embargo, estos procesos de obtención no son utilizados industrialmente. Ya sea que la glicerina se obtenga por medio de triglicéridos o se sintetice, será siempre utilizada como una sustancia refinada o purificada” (Tei, 2010).

La glicerina tiene numerosas aplicaciones: como agente humectante, espesante y estabilizante en la industria de alimentos. También es utilizada en la fabricación de productos cosméticos, en la composición de medicamentos y en la fabricación de anticongelantes, entre otras (Tei, 2010).

1.7 Ensayo de tracción

El ensayo de tracción tiene por objetivo definir la resistencia elástica, la resistencia última y la plasticidad del material al someterlo a fuerzas uniaxiales, que estiran el material hasta lograr su fractura. Por lo tanto, ésta es una relación esfuerzo-deformación que puede clasificarse en dos regiones: elástica y plástica (**Figura 15**). Este ensayo es el más importante de todas las pruebas mecánicas que se le pueden realizar a un material. Para estos ensayos se utilizan trozos de material llamados probetas, las cuales tienen dimensiones normalizadas para realizar este ensayo de tracción (Área tecnológica, 2017).

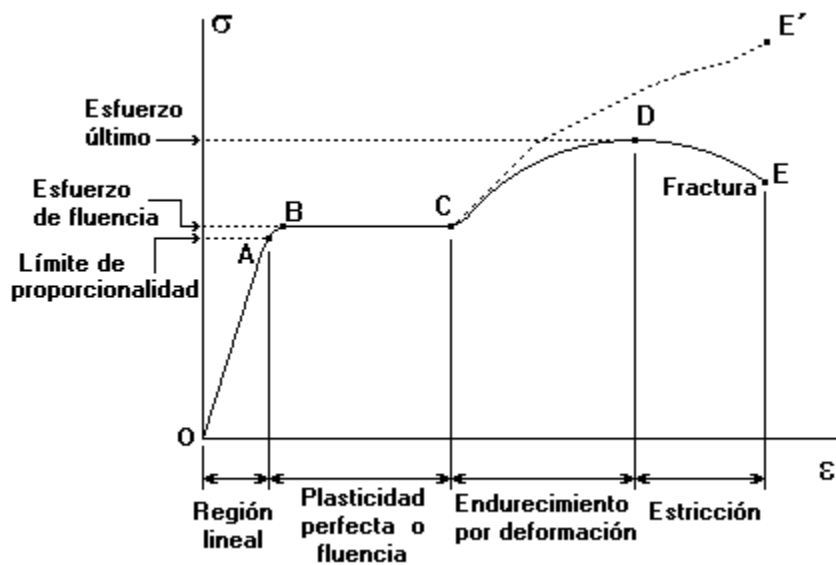


Figura 15. Gráfico esquemático del ensayo de tracción (Área tecnológica, 2017)

1.8 Análisis de perfil de textura (TPA, en inglés)

El análisis de perfil de textura implica la compresión de la muestra de ensayo al menos dos veces y la cuantificación de los parámetros mecánicos de las curvas de esfuerzo-deformación (**Figura 16**). De acuerdo con Torres *et al.* (2015), los parámetros son:

- **Fracturabilidad:** fuerza necesaria para fracturar la muestra. Se expresa en unidades de fuerza (Newtons).

- **Dureza:** fuerza necesaria para lograr una deformación determinada. Se expresa en unidades de fuerza (Newtons).
- **Cohesividad:** representa la fuerza con la que están unidas las partículas; es el límite hasta el cual se puede deformar antes de romperse. Sus unidades son adimensionales.
- **Adhesividad:** trabajo necesario para vencer la fuerza de atracción entre la muestra y una superficie. Se mide en (Joules).
- **Elasticidad:** capacidad que tiene una muestra deformada para recuperar su forma o longitud inicial, después de que la fuerza ha impactado en ella. Sus unidades son adimensionales.
- **Gomosidad:** fuerza necesaria para desintegrar un alimento semisólido a un estado tal que facilite su ingesta. Se expresa en unidades de fuerza (Newtons).
- **Maleabilidad:** fuerza necesaria para masticar un alimento sólido hasta un estado tal que permita su ingesta. Se expresa en unidades de fuerza (Newtons).

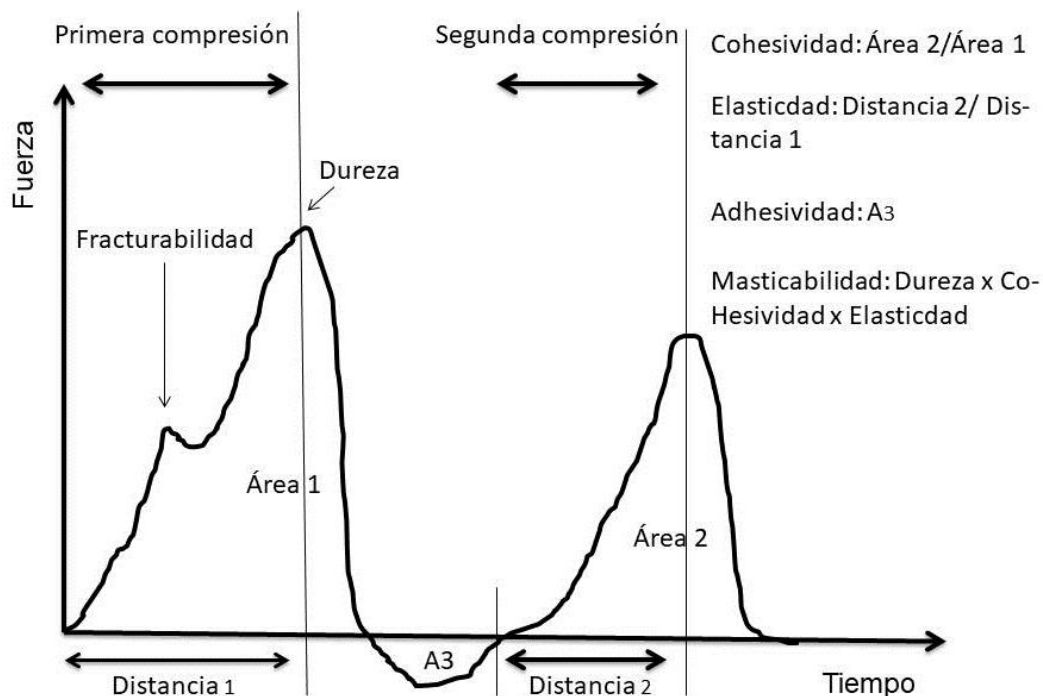


Figura 16. Gráfica general del análisis del perfil de textura (Hleap y Velasco, 2010)

1.9 Biodegradabilidad

El método ASTM D´5488-944 (ASTM, 2003) define la biodegradabilidad como la capacidad de un material para descomponerse en dióxido de carbono, metano, agua y componentes orgánicos o biomasa, en la que el mecanismo predominante es la acción enzimática de microorganismos. En general, un material es biodegradable si su degradación resulta de la acción natural de microorganismos como bacterias, hongos y algas (**Tabla 5**).

Tabla 5. Tiempo y condiciones de degradación de productos biodegradables (Hernández, 2013)

Producto	Tiempo de degradación	Condiciones
Plato, caña de azúcar	90 días	Ambiente
Vaso, fécula de maíz	180 días	Composta
Bolsa, fécula de maíz	180 días	Composta
Cubiertos, maíz y caña de azúcar	180 días	Composta

La presencia de microorganismos, así como la existencia de aire (en caso de que se requiera), humedad y minerales, lo mismo que una temperatura adecuada, dependiendo del tipo de microorganismo (entre 20 y 60°C) y pH adecuado (entre 5 y 8) son factores requeridos para el proceso de biodegradación (Meneses *et al.*, 2007). La conversión de la materia por acción de microorganismos a CO₂ y agua en condiciones aerobias, es denominada biodegradabilidad aerobia. Dicho proceso inicia con la difusión del agua al material, seguido de la hidrólisis de los enlaces primarios y la producción de moléculas pequeñas de fácil asimilación microbiana o alta solubilidad (Tomás, 2014).

1.9.1 Composta¹ y compostaje

El compostaje es un proceso biológico que ocurre en condiciones aerobias (presencia de oxígeno). Con la adecuada humedad y temperatura, se asegura una transformación higiénica de los restos orgánicos en un material homogéneo y asimilable por las plantas. “Es posible interpretar el compostaje como el sumatorio

¹ La palabra que aparece en el diccionario de la lengua española es compost; sin embargo, en México se emplea la palabra composta. Es ésta la que se usará en este documento

de procesos metabólicos complejos realizados por parte de diferentes microorganismos que, en presencia de oxígeno, aprovechan el nitrógeno y el carbono presentes para producir su propia biomasa” (FAO, 2013).

En este proceso, adicionalmente, los microorganismos generan calor y un sustrato sólido, con menos carbono y nitrógeno, pero más estable, que es llamado composta. Al descomponer el carbono, el nitrógeno y toda la materia orgánica inicial, los microorganismos desprenden calor medible a través de las variaciones de temperatura a lo largo del tiempo. Según la temperatura generada durante el proceso, se reconocen tres etapas principales en un compostaje, además de una etapa de maduración de duración variable (**Figura 17**) (FAO, 2013). Una composta madura debe poseer ciertas características fisicoquímicas como son: humedad (40 a 60%), relación carbono-nitrógeno (25-30:1), pH (6 a 9), temperatura (40°C) y microbiota (Tomás, 2014).

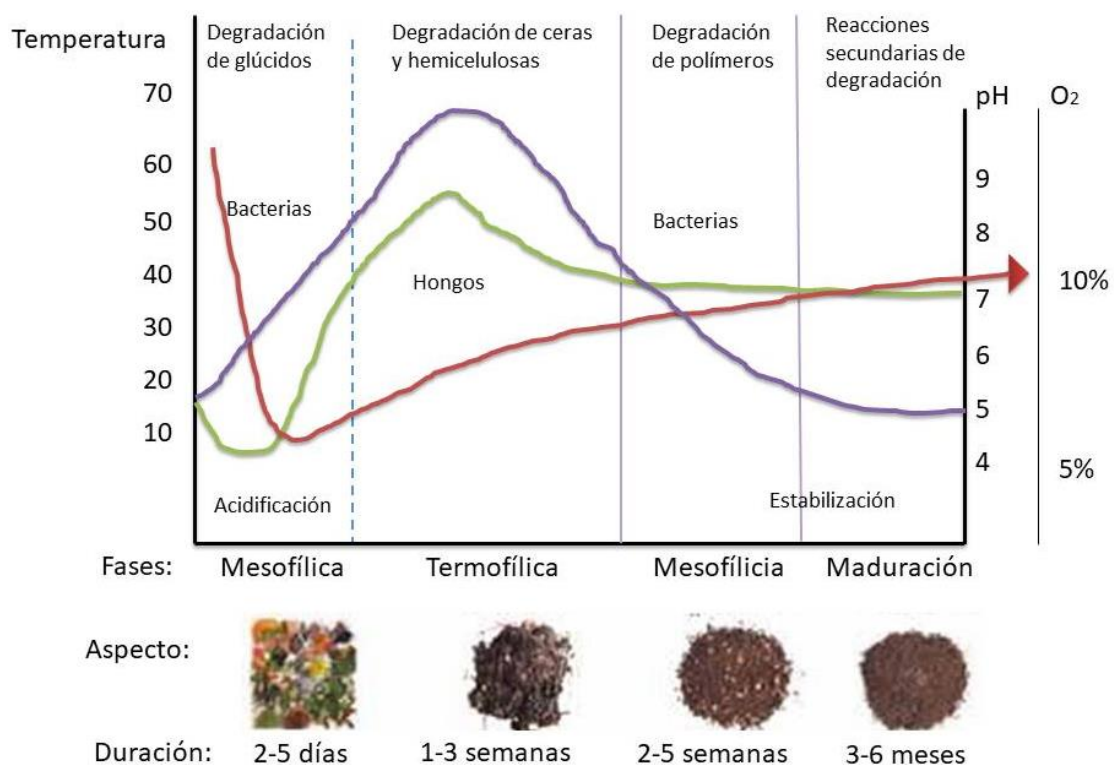


Figura 17. Temperatura, oxígeno y pH en el proceso de compostaje (Modificado de FAO, 2013)

Capítulo 2. Diseño de experimentos y metodología

2.1 Diseño de experimentos

El diseño experimental realizado fue de tipo multifactorial; se involucraron 2 factores: las formulaciones y el tipo de harina. El factor tipo de harina tuvo 2 niveles: harina de yuca y harina de trigo integral. Por otro lado, el factor formulación tuvo 3 niveles, en los cuales se variaron las proporciones de harina y malta: formulaciones 1, 2 y 3. Permanecieron constantes las cantidades de goma guar y glicerina, así como la temperatura. La variable de respuesta fue el comportamiento mecánico de los platos obtenidos. Se realizó un análisis de varianza utilizando un nivel de significancia de $\alpha=0.05$. Los resultados obtenidos se analizaron por medio de un paquete estadístico (Statgraphics Centurion Versión XVI.I). Los factores, así como los niveles de cada factor se muestran en la **Tabla 6**.

Tabla 6. Diseño de experimentos propuesto para la elaboración de platos biodegradables con harina de yuca y con harina de trigo integral

Formulación	Malta (%)	Harina (%)	Goma guar (%)	Glicerina (%)	Agua (%)
1 (1:9)	5.13	46.15	~2.0	~7.0	~50.0
2 (1:1)	22.73	22.73	~2.0	~7.0	~50.0
3 (9:1)	36.0	4.0	~2.0	~7.0	~50.0

Esta tesis se basó en la investigación de Mello y Mali (2014)

2.2 Obtención de la materia prima que se utilizó para desarrollar este proyecto

El residuo de malta (grano agotado) fue adquirido después del proceso de maceración donde fue filtrado el mosto, en la elaboración de cerveza que se llevó a cabo en la planta Ciudad de México del Grupo Modelo, ubicada en Lago Alberto 156, Col. Granada, Ciudad de México. No se le realizó un lavado con agua al grano agotado, ya que en el lavado se perdería parte de la materia.

Posteriormente, el residuo de malta se secó en la estufa a una temperatura entre 70 a 75°C durante 5 horas. Finalmente se molió y se tamizó en una malla No. 30.

La composición del residuo de malta (proteína, lípidos, humedad y cenizas) se determinó siguiendo los métodos de la Asociación de Químicos Analíticos Oficiales (AOAC). El contenido de proteína cruda se determinó usando el método de Kjeldahl (AOAC 954.01, 1990). El contenido de lípidos se determinó por el método de Soxhlet y la extracción se realizó con éter etílico (AOAC 920.39,1990). El contenido de humedad se determinó en un horno, secando a 80°C hasta obtener una masa constante y calculando la pérdida de masa como porcentaje de humedad (AOAC 934.01,1990). El contenido de ceniza se determinó por combustión oxidativa en una mufla a 550 a 600°C y el residuo inorgánico restante se calculó como porcentaje de cenizas (AOAC 942.05,1990). Se calcularon por diferencia los hidratos de carbono totales. El contenido de lignina y celulosa se determinó por medio del método de permanganato (AOAC 973.18d, 1990). Como la fracción de fibra dietética insoluble en los cereales está compuesta por celulosa, hemicelulosa y lignina, la hemicelulosa se calculó a partir de la diferencia de la fibra neutra detergente (FND) (Goering y Van Soest, 1970) y la fibra detergente ácida (FAD) (AOAC 973.18c,1990). Todas las determinaciones se realizaron por duplicado. Estas pruebas se realizaron en el Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM.

Por otro lado, la harina de yuca se compró en la Central de Abastos de la Ciudad de México y la harina de trigo integral fue de la marca Tres Estrellas con el No. de lote: H17126-1260838 y H17126-1261026. La glicerina y la goma guar se compraron en la farmacia “Paris”. La goma guar, las harinas de yuca y de trigo integral se tamizaron en una malla No. 30.

2.3 Elaboración de platos

Con la finalidad de que los platos tuvieran un espesor similar, se elaboró un molde de madera con una profundidad de 0.2 cm y un largo de 26 cm (**Figura 18**). En la **Figura 19** se muestra el diagrama que se siguió para la elaboración de los platos.



Figura 18. Molde de madera

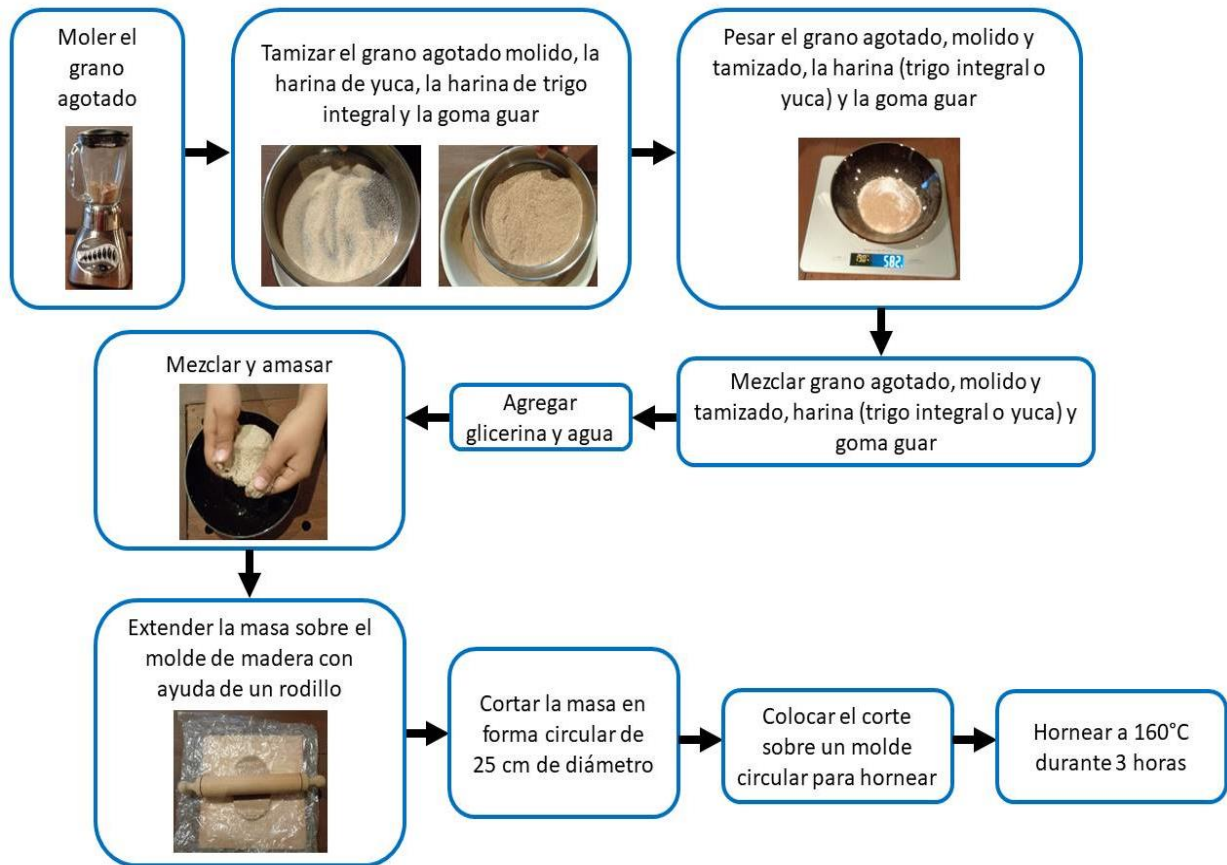


Figura 19. Diagrama de la elaboración de los platos biodegradables

2.4 Prueba de espesor

El espesor de los platos elaborados con el residuo de malta y la harina (trigo o yuca), en sus diferentes formulaciones, se midió con un vernier manual. Para cada formulación, el espesor es el promedio de 30 valores (3 medidas tomadas de cada una de las 10 muestras).

2.5 Ensayo de tracción

El ensayo de tracción se realizó en una máquina universal de pruebas mecánicas marca INSTRON con celda de carga de 50 kN y una velocidad de 5 mm/min, siendo 7 el número de réplicas por prueba mecánica; además se utilizó como control un plato de “unicel” (pruebas realizadas con el apoyo del Departamento de Materiales y Manufactura de la Facultad de Ingeniería, UNAM). El valor reportado es el promedio de cinco mediciones por formulación.

2.6 Análisis de perfil de textura (TPA, en inglés)

El análisis de perfil de textura (TPA, en inglés) se realizó en un texturómetro TA.XT2 plus (Stable Micro System) con una celda de carga de 100N y una geometría cilíndrica de aluminio de 25 mm de diámetro. La velocidad de compresión fue de 1 mm/s y tuvo una deformación del 50% en relación con la altura original de la muestra. Esta fue una prueba realizada en el Departamento de Alimentos y Biotecnología de la Facultad de Química, UNAM. Cada muestra se comprimió dos veces. El valor reportado es el promedio de diez mediciones por formulación, tomando la medida del centro de los platos.

2.7 Prueba de permeabilidad

La permeabilidad se determinó empleando dos tubos de PVC de 4 cm de diámetro: el más pequeño (5 cm de largo) sirvió como soporte y el más grande (35 cm de largo) sirvió como depósito para el agua. Entre los tubos se colocó un círculo de 4 cm de diámetro, cortado de la base del plato elaborado con el residuo de malta y la harina (trigo o yuca) en sus diferentes formulaciones, pegando los bordes con silicón frío. Posteriormente, se agregaron 200 mL de agua al tubo y se empezó a contar el tiempo hasta que se rompió el círculo del plato y comenzó a salir el agua del tubo.

2.8 Prueba de resistencia térmica

La resistencia térmica se realizó en un horno de microondas marca General Electric con una potencia en espera menor o igual a 2.50 W y en una estufa marca Arsa a 100°C y a 200°C. Se tomaron muestras de cada formulación (3x3 cm para un área de 9 cm²) por triplicado.

En la estufa, se dejaron las muestras durante 24 horas a 100°C y por 4 horas a 200°C; después se observaron las muestras y se determinó cuales se calcinaron. En el horno de microondas, las muestras se sometieron a un tiempo de 1 y 2 minutos, posteriormente se observaron las muestras y se determinó cuales se habían quemado.

2.9 Prueba de biodegradabilidad

Para determinar el tiempo de degradación de los platos de malta adicionados con harina de yuca o de trigo, se empleó composta madura, para la cual fue necesario determinar la presencia de microorganismos (cuenta en placa) de acuerdo con la metodología descrita en la normativa NMX-F-253-1977 (NORMA MEXICANA,1977). Para determinar el tiempo de degradación se siguió la metodología descrita en la **Figura 20** y se usó como control un plato de “unicel”. Se tomaron muestras de cada formulación y del control (3x3 cm para un área de 9 cm²) por duplicado y se registró su masa en una balanza. El valor reportado es el promedio de tres mediciones por formulación. Este estudio se realizó durante 48 días.

2.10 Disposición controlada de los residuos de esta investigación

Todos los residuos que se produjeron en esta investigación se dispusieron de acuerdo con lo señalado en el **Anexo A5**.

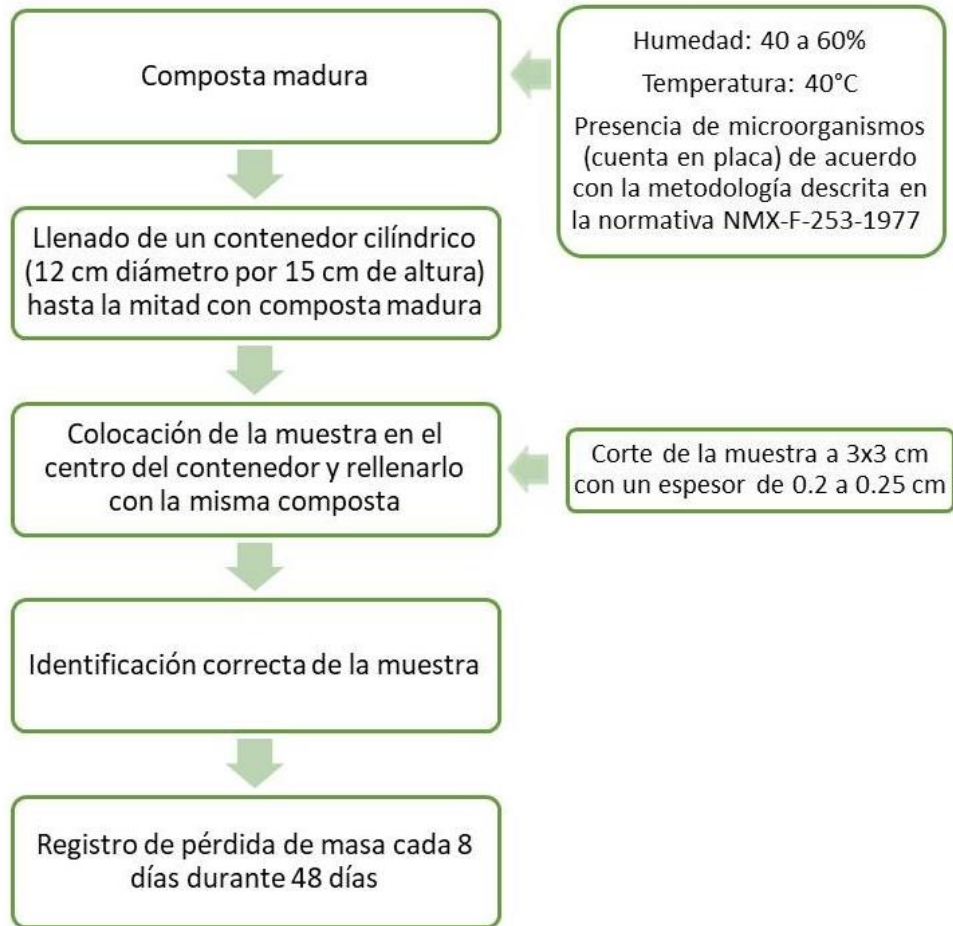


Figura 20. Determinación del tiempo de degradación de los platos en composta, simulando su descomposición en basura o residuos sólidos urbanos

Capítulo 3. Resultados y discusión

3.1 Composición del residuo de malta

La composición del residuo de malta utilizado en este trabajo se muestra en la **Tabla 7**. Estos resultados no son similares a los reportados en diversos artículos (Kanauchi *et al.*, 2001; Mussatto *et al.*, 2006; Mello y Mali, 2014). De acuerdo con Mello y Mali (2014), la variación de la composición del residuo de malta se debe a la variedad, tiempo de cosecha y condiciones de la malta, así como a la calidad y tipo de adjuntos añadidos durante el proceso de maceración, que es único en cada cervecería. Los datos de humedad están en el **Anexo A1**.

Tabla 7. Resultados de la composición del residuo de malta*

		Base seca
Humedad	80.96%	0
Proteína cruda	3.89%	4.80%
Lípidos	2.28%	2.82%
Cenizas	1.87%	2.31%
Fibra cruda	2.97%	3.67
Hidratos de carbono totales	8.03%	9.92%
Fracciones de la fibra		
Celulosa	16.30%	
Hemicelulosa	47.90%	
Lignina	7.10%	

*Los resultados expresados son el promedio de 2 determinaciones

3.2 Prueba de espesor

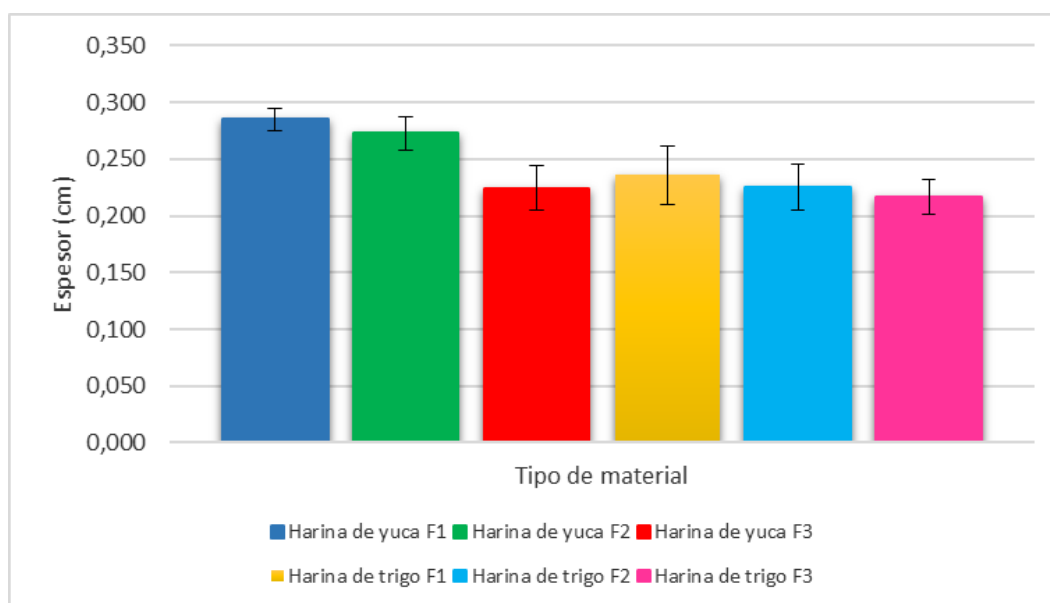
En los platos elaborados con el residuo de malta y la harina (trigo o yuca) con diferentes formulaciones, como se mencionó en la metodología, se realizó la medición del espesor por medio de un vernier. Para ello, se efectuaron 3 mediciones para cada plato, las mediciones fueron establecidas en el borde, en el centro y a 3 cm alrededor del centro. En la **Gráfica 1** se muestra que la

formulación 1 realizada con harina de yuca presentó un mayor espesor; en cambio, el espesor de la formulación 3 elaborada con harina de trigo, resultó menor. Esto se debe a que el método empleado para la elaboración de los platos se realizó de manera artesanal y la fuerza manual aplicada para extender la masa sobre el molde, fue variable.

Tabla 8. Resultados de la medición de espesor en los platos

Tipo de harina empleada/ No. de formulación	Espesor (cm)*
Trigo, 1	0.236 ± 0.026
Trigo, 2	0.225 ± 0.020
Trigo, 3	0.216 ± 0.015
Yuca, 1	0.285 ± 0.009
Yuca, 2	0.273 ± 0.014
Yuca, 3	0.224 ± 0.019

*Valores promedio de 30 repeticiones



Gráfica 1. Espesor (cm) de los platos elaborados con harina de trigo y con harina de yuca con las diferentes formulaciones

Para corroborar si existió una diferencia estadísticamente significativa en el espesor de los platos, se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) con el programa estadístico Statgraphics Centurion Versión XVI.I con un nivel de confianza del 95%. Como se muestra en la **Tabla 9**, sí hubo diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$) entre las formulaciones y el tipo de harina (trigo y yuca), así como en la interacción de la harina con las formulaciones empleadas.

Tabla 9. Análisis de varianza (ANDEVA) para el espesor

<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: Formulación	0.0492011	2	0.0246006	70.64	0.0000
B: Tipo de harina	0.053045	1	0.053045	152.31	0.0000
INTERACCIONES					
AB	0.0156033	2	0.00780167	22.40	0.0000
RESIDUOS	0.0605983	174	0.000348266		
TOTAL (CORREGIDO)	0.178448	179			

Gl, grados de libertad

Los resultados se analizaron por medio de un ANDEVA simple para el factor de formulación en las dos harinas empleadas (trigo y yuca). Se observa en las **Tablas 10 y 11** que sí existió una diferencia entre ambas formulaciones, ya que el valor P fue menor a $P < 0.05$.

Tabla 10. Análisis de varianza (ANDEVA) para el espesor (cm) por formulación con la harina de trigo

<i>Fuente</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.00572722	2	0.00286361	6.50	0.0023
Intra grupos	0.0383508	87	0.000440814		
Total (Corr.)	0.0440781	89			

Gl, grados de libertad

Tabla 11. Análisis de varianza (ANDEVA) para el espesor (cm) por formulación con la harina de yuca

<i>Fuente</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.0610879	2	0.030544	135.94	0.0000
Intra grupos	0.0193233	86	0.00022469		
Total (Corr.)	0.0804112	88			

Gl, grados de libertad

Se efectuó una prueba de rangos múltiples (**Tablas 12 y 13**) para establecer cuál o cuáles formulaciones presentaron una diferencia significativa, tanto con la harina de trigo como con la de yuca. A partir de los resultados se determinó que la formulación 1 con la harina de trigo presentó una diferencia significativa. En cambio, todas las formulaciones de la harina de yuca resultaron estadísticamente diferentes.

Tabla 12. Prueba de rangos múltiples para el espesor (cm) por formulación con la harina de trigo

<i>Formulación</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
3	30	0.216333	X
2	30	0.225	X
1	30	0.235833	X

Tabla 13. Prueba de rangos múltiples para el espesor (cm) por formulación con la harina de yuca

<i>Formulación</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
3	30	0.224333	X
2	30	0.272667	X
1	29	0.285	X

3.3 Análisis de perfil de textura (TPA, en inglés)

Las propiedades que proporcionan información acerca del comportamiento de los platos elaborados con el residuo de malta y la harina (trigo o yuca) con diferentes formulaciones, son: la dureza, la fracturabilidad, la cohesividad y la elasticidad. Es por esto que se realizó la medición de los parámetros antes mencionados (**Tabla 14**) con la ayuda de un análisis de textura (**Figuras 21A y 21B**). En cada uno de los 10 platos elaborados con las 3 diferentes formulaciones de cada harina (trigo y yuca), se realizó la medición en el centro de cada plato. En la **Gráfica 2** se muestra que la formulación 2 elaborada con la harina de trigo presentó mayor dureza, aunque ésta fue menor que la del control (unicel). En el caso de la fracturabilidad, no se muestran valores, debido a que los platos elaborados con los dos tipos de harina tienen un espesor adecuado, por lo cual no se quebraron. En

cambio, la formulación 3 realizada con la harina de trigo presentó la menor dureza. Por otro lado, en la **Gráfica 3** se muestra que la formulación 3 con harina de trigo presentó la mayor elasticidad, incluso aún más que la del control (unicel), mientras que las demás formulaciones presentaron una elasticidad similar a la del control (unicel). Por otra parte, en la **Gráfica 4** se muestra que la formulación 1 elaborada con la harina de yuca presentó la mayor cohesividad; las demás formulaciones tuvieron, incluso, una cohesividad mayor que la del control (unicel).

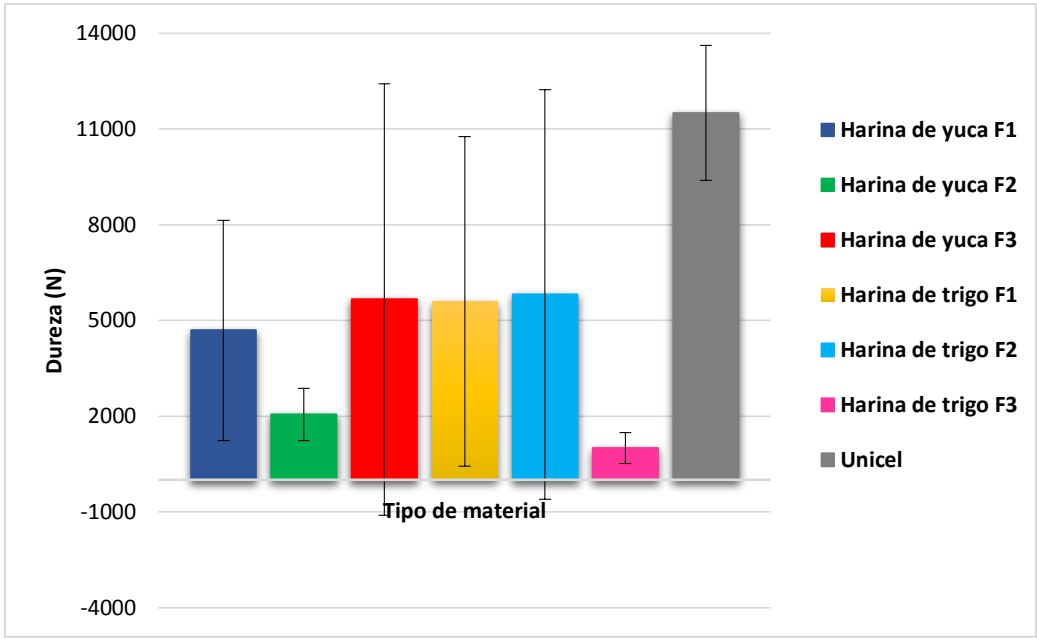
Tabla 14. Resultados de las mediciones de los parámetros de dureza, elasticidad y cohesividad en los diferentes tipos de materiales*

Tipo de material	Dureza (N)	Elasticidad (mm)	Cohesividad (Adimensional)
Unicel	11500.73 ± 2114.18	0.975 ± 0.077	0.843 ± 0.019
Trigo Formulación 1	5595.49 ± 5165.72	0.984 ± 0.010	0.961 ± 0.013
Trigo Formulación 2	5817.87 ± 6418.00	0.973 ± 0.017	0.961 ± 0.011
Trigo Formulación 3	1000.32 ± 480.81	0.989 ± 0.027	0.950 ± 0.025
Yuca Formulación 1	4685.76 ± 3454.65	0.981 ± 0.013	0.972 ± 0.003
Yuca Formulación 2	2057.72 ± 820.46	0.977 ± 0.004	0.957 ± 0.006
Yuca Formulación 3	5658.98 ± 6759.88	0.966 ± 0.010	0.947 ± 0.012

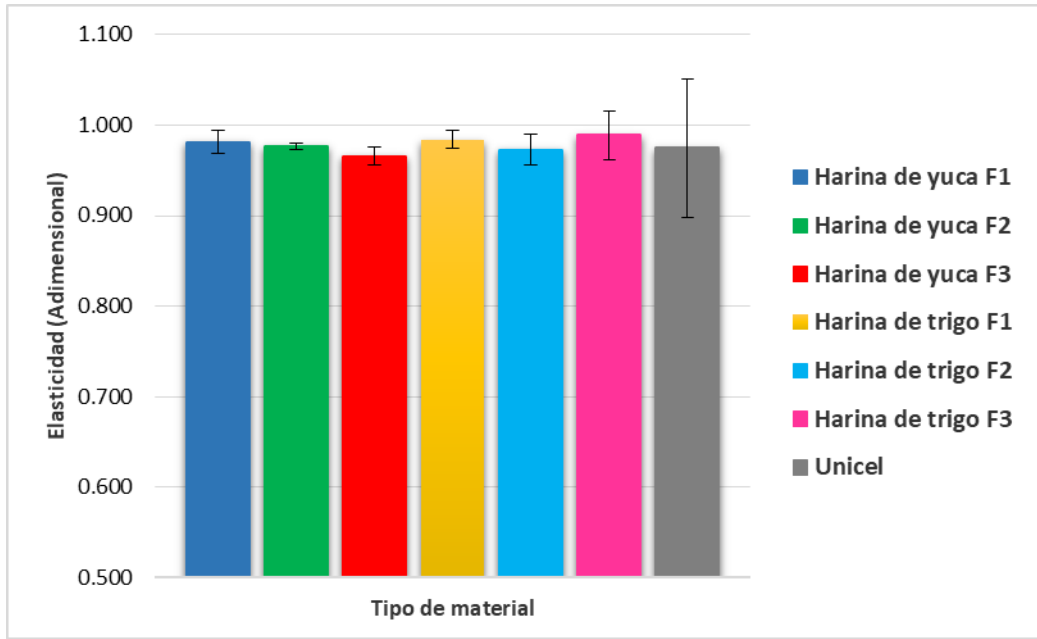
*Valores promedio de 10 repeticiones por formulación y 3 repeticiones para el control (unicel)



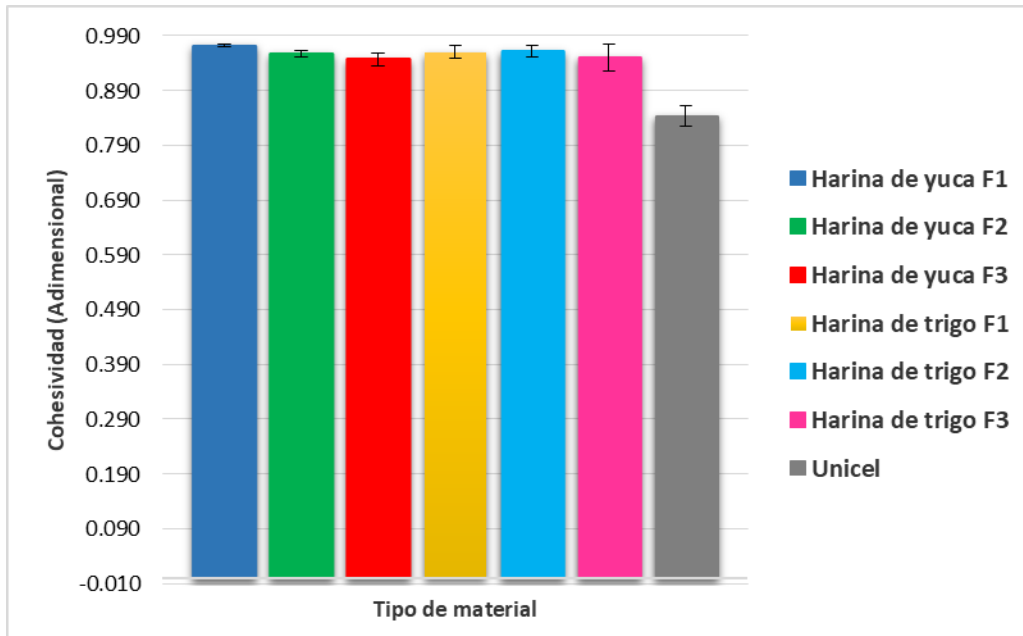
Figuras 21A y 21B. Análisis de perfil de textura de los platos en un TA.XT2 plus (Stable Micro System). Prueba realizada en el Departamento de Alimentos y Biotecnología de la Facultad de Química, UNAM



Gráfica 2. Dureza (N) de los diferentes tipos de materiales (residuo de malta con harina de yuca o harina de trigo y unicel)



Gráfica 3. Elasticidad (adimensional) de los diferentes tipos de materiales (residuo de malta con harina de yuca o harina de trigo y unicel)



Gráfica 4. Cohesividad (adimensional) de los diferentes tipos de materiales (residuo de malta con harina de yuca o harina de trigo y unicel)

Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) simple para el factor de tipo de material, empleando un nivel de confianza del 95% para corroborar que existe diferencia significativa ($P < 0.05$) entre las pruebas de dureza, elasticidad y cohesividad. En la **Tabla 15** se observa la existencia de diferencia significativa en la dureza de los tipos de material. En cambio, en la **Tabla 16** se muestra que no hubo diferencia significativa con respecto de la elasticidad en los diversos tipos de material. Por otro lado, en la **Tabla 17** se observa que existió diferencia en la cohesividad de los tipos de material. Para conocer cuál o cuáles formulaciones presentaron una diferencia significativa en el tipo de material, se hizo una prueba de rangos múltiples. En la **Tabla 18**, se aprecia cómo el control (unicel) presenta una diferencia significativa con relación a la dureza y en la **Tabla 19**, se observa que este mismo material presenta una diferencia significativa con respecto a la cohesividad.

Tabla 15. Análisis de varianza (ANDEVA) para la dureza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	3.40608E8	6	5.67679E7	2.63	0.0265
Intra grupos	1.1455E9	53	2.16131E7		
Total (Corr.)	1.4861E9	59			

Gl, grados de libertad

Tabla 16. Análisis de varianza (ANDEVA) para la elasticidad

<i>Fuente</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.00324153	6	0.000540254	1.25	0.2950
Intra grupos	0.0233022	54	0.000431522		
Total (Corr.)	0.0265437	60			

Gl, grados de libertad

Tabla 17. Análisis de varianza (ANDEVA) para la cohesividad

<i>Fuente</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.0409679	6	0.00682798	35.48	0.0000
Intra grupos	0.010391	54	0.000192425		
Total (Corr.)	0.0513589	60			

Gl: grados de libertad

Tabla 18. Prueba de rangos múltiples para la dureza por tipo de material

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
Trigo F3	8	1000.32	X
Yuca F2	9	2057.72	X
Yuca F1	10	4685.76	X
Trigo F1	10	5595.49	X
Yuca F3	10	5658.98	X
Trigo F2	10	5817.87	X
Unicel	3	11500.7	X

Tabla 19. Prueba de rangos múltiples para la cohesividad por tipo de material

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
Unicel	3	0.843	X
Yuca F3	10	0.947	X
Trigo F3	10	0.9504	X
Yuca F2	10	0.957	XX
Trigo F1	10	0.9608	XX
Trigo F2	10	0.9613	XX
Yuca F1	8	0.971875	X

3.4 Ensayo de tracción

Los platos elaborados con el residuo de malta y la harina (trigo o yuca) con diferentes formulaciones, y el plato de unicel como control, se sometieron a un ensayo de tracción (**Figura 22**) para conocer su resistencia (**Tabla 20**). Es por esto que se realizó una curva de esfuerzo-deformación para cada formulación, realizando 7 repeticiones (**Anexo A2**). En la **Gráfica 5** se muestra que la formulación 3 con harina de yuca y la formulación 2 de harina de trigo presentaron mayor resistencia, incluso aún más que la del control (unicel), mientras que las demás formulaciones presentaron una resistencia menor. Sin embargo, la formulación 3 con harina de yuca tuvo una gran variabilidad en sus valores; debido a que el material no es homogéneo y, en consecuencia, el resultado no se puede considerar fidedigno.

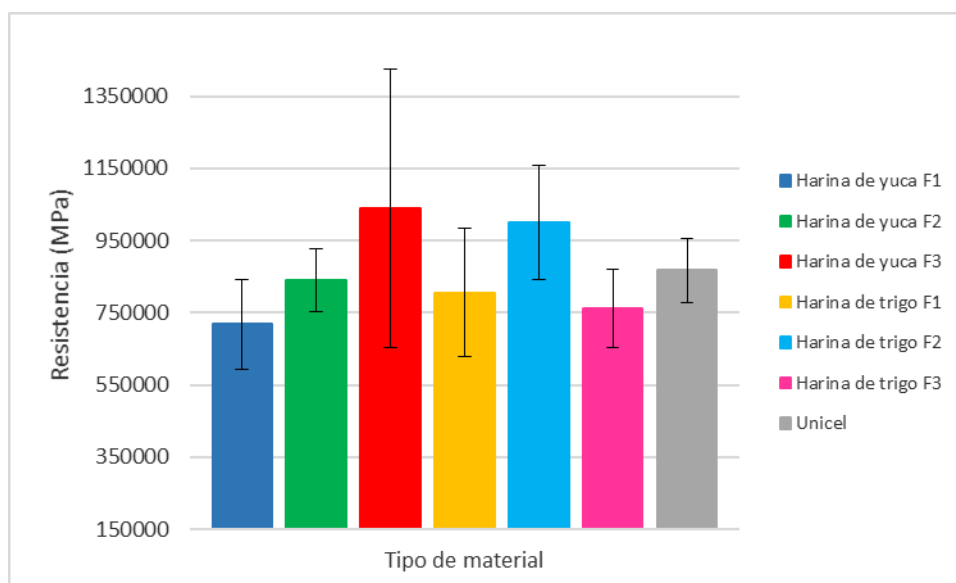


Figura 22. Ensayo de tracción en una máquina universal de pruebas mecánicas marca INSTRON. Prueba realizada en el Departamento de Materiales y Manufactura de la Facultad de Ingeniería, UNAM

Tabla 20. Resultados de las mediciones del parámetro de resistencia en los platos

Tipo de material	Resistencia (MPa)*
Unicel	867642.057 ± 88701.7842
Trigo Formulación 1	806260.211 ± 178128.559
Trigo Formulación 2	999550.725 ± 158789.985
Trigo Formulación 3	762599.215 ± 109511.982
Yuca Formulación 1	718173.579 ± 124911.433
Yuca Formulación 2	840510.676 ± 88001.654
Yuca Formulación 3	1038628.404 ± 385352.919

*Valores promedio de 7 repeticiones



Gráfica 5. Resistencia (MPa) de los diferentes tipos de materiales (residuo de malta con harina de yuca o harina de trigo y unicel)

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 de tipo de material con un nivel de confianza del 95%. Como se muestra en la **Tabla 21**, sí hubo diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$) entre el tipo de material. Para conocer cuál o cuáles formulaciones presentaron una diferencia significativa con respecto del tipo de material, se hizo una prueba de rangos múltiples (**Tabla 22**). Se puede observar que el control (unicel) no presentó

una diferencia significativa con respecto a todas las formulaciones de la harina de trigo, ni con las formulaciones 3 y 2 de la harina de yuca.

Tabla 21. Análisis de varianza (ANDEVA) para la resistencia

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	8.27447E11	6	1.37908E11	2.49	0.0347
Intra grupos	2.82837E12	51	5.54581E10		
Total (Corr.)	3.65581E12	57			

Gl, grados de libertad

Tabla 22. Prueba de rangos múltiples para la resistencia por tipo de material

Nivel	Casos	Media	Grupos homogéneos
Yuca F1	7	718174.	X
Trigo F3	7	762599.	XX
Trigo F1	7	806260.	XXX
Yuca F2	7	840511.	XXX
Unicel	7	867642.	XXX
Trigo F2	7	999551.	XX
Yuca F3	16	1.03863E6	X

3.5 Prueba de permeabilidad

Los platos elaborados con el residuo de malta y harina (trigo o yuca), con diferentes formulaciones, se sometieron a un ensayo de permeabilidad (**Figura 23**), para conocer cuánto tiempo resisten antes de ser atravesados por el agua. Los resultados se pueden observar en la **Tabla 23**.

En la **Gráfica 6** se muestra que la formulación 1 con harina de yuca tuvo un mayor tiempo de permeabilidad; en cambio, la formulación 3 con harina de trigo presentó el menor tiempo. La permeabilidad está ligada al espesor, ya que la formulación 1 con harina de yuca presentó el mayor espesor y la formulación 3 con harina de trigo tuvo el menor.

Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) simple para el factor de tipo de material, usando un nivel de confianza del 95% para corroborar que existe diferencia significativa ($P < 0.05$) en la permeabilidad.

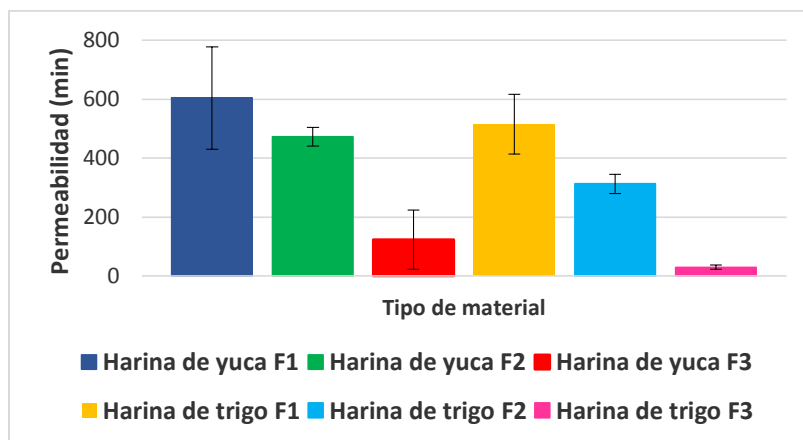


Figura 23. Ensayo de permeabilidad empleando dos tubos de PVC de 4 cm de diámetro

Tabla 23. Resultados del tiempo para el parámetro de permeabilidad en los platos

Tipo de harina empleada/ No. de formulación	Permeabilidad (min)*
Trigo, 1	515.50 ± 101.72
Trigo, 2	312.71 ± 111.62
Trigo, 3	30.11 ± 6.81
Yuca, 1	603.88 ± 173.80
Yuca, 2	473.00 ± 32.02
Yuca, 3	123.78 ± 100.69

*Valores promedio de 8 repeticiones



Gráfica 6. Permeabilidad (min) de los diferentes tipos de materiales (residuo de malta con harina de yuca o harina de trigo y unicel)

En la **Tabla 24** se observa esta diferencia en la permeabilidad de los diversos tipos de material. Para conocer cuál o cuáles formulaciones presentaron una diferencia significativa en el tipo de material, se hizo una prueba de rangos múltiples (**Tabla 25**). En ella se observa que la formulación 2 con harina de trigo fue diferente a las demás formulaciones; en cambio, la formulación 3, tanto con harina de trigo como con la de yuca fueron iguales. Las formulaciones 2 y 1 con harina de yuca y trigo respectivamente, también fueron iguales; lo mismo ocurrió en la formulación 1 con harina de trigo y de yuca.

Tabla 24. Análisis de varianza (ANDEVA) para la permeabilidad

<i>Fuente</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	2.23276E6	5	446551.	43.87	0.0000
Intra grupos	437711.	43	10179.3		
Total (Corr.)	2.67047E6	48			

Gl, grados de libertad









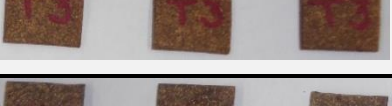






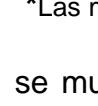
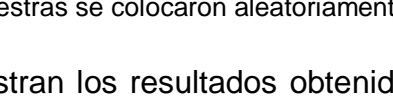
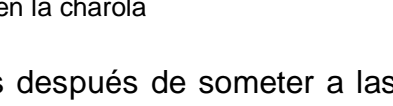
Tabla 25. Prueba de rangos múltiples para la permeabilidad por tipo de material

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
Trigo F3	9	30.1111	X
Yuca F3	9	123.778	X
Trigo F2	7	312.714	X
Yuca F2	8	473.0	X
Trigo F1	8	515.5	XX
Yuca F1	8	603.875	X

3.6 Prueba de resistencia térmica

Esta prueba se realizó para conocer si el material puede resistir temperaturas elevadas en un determinado tiempo. La realización de la prueba fue cualitativa, ya que por medio de la vista se determinó cuál formulación fue la que se quemó. Para ello, se realizaron tres réplicas. En la **Tabla 26**, se muestran los resultados que se obtuvieron a 100°C por 24 horas y a 200°C por 4 horas. Tanto a 100°C como a 200°C, las formulaciones 1 de trigo y de yuca fueron las que más se quemaron. En cambio, las formulaciones 3 de trigo y de yuca fueron las que menos se quemaron. Esto se debe a la cantidad de harina (almidón) presente en cada formulación.



















Tabla 26. Prueba de resistencia térmica en la estufa a 100°C y 200°C*

Harina	Control	Estufa a 100°C	Estufa a 200°C
Trigo Formulación 1			
Trigo Formulación 2			
Trigo Formulación 3			
Yuca Formulación 1			
Yuca Formulación 2			
Yuca Formulación 3			

*Las muestras se colocaron aleatoriamente en la charola

En la **Tabla 27**, se muestran los resultados obtenidos después de someter a las muestras en un horno de microondas bajo una potencia en espera menor o igual a 2.50 W por 1 minuto y 2 minutos. Durante 1 minuto, las muestras de la formulación 1 con harina de trigo y de yuca, así como la formulación 2 con harina de trigo se quemaron más. El resto de las formulaciones no presentaron cambio de color. Durante 2 minutos, se observa que las formulaciones 1 con harina de trigo y de yuca, así como la formulación 2 con harina de yuca fueron las que se quemaron más. En cambio, las formulaciones 3 con harina de trigo y de yuca fueron las que se quemaron menos. Esto se debe a la cantidad de harina (almidón) presente en cada formulación, así como a la posición de la muestra en la charola del microondas, ya que se observó que las muestras colocadas en el centro de la charola, se quemaban más que las muestras que estaban en las orillas de la charola.

Tabla 27. Prueba de resistencia térmica en el horno de microondas*

Harina	Control	Microondas por 1 min	Microondas por 2 min
Trigo Formulación 1			
Trigo Formulación 2			
Trigo Formulación 3			
Yuca Formulación 1			
Yuca Formulación 2			
Yuca Formulación 3			

*Las muestras se colocaron aleatoriamente en la charola

3.7 Prueba de biodegradabilidad

En esta prueba se empleó composta madura a la cual se le realizó un análisis microbiológico de conteo de microorganismos (dilución y vaciado en placa), obteniéndose como resultado una población de 1.73×10^6 UFC/g de composta madura (**Figura 24**), la cual indicaba una presencia microbiana capaz de degradar los platos de malta adicionados con harina de yuca o trigo. Esta prueba se realizó durante 48 días, periodo en el cual se obtuvieron los resultados presentados en las **Tablas 28, 29 y 30**.



Figura 24. Prueba microbiológica realizada a la composta madura en agar cuenta estándar

Tabla 28. Datos obtenidos en la prueba de biodegradabilidad para la harina de yuca

Tiempo (días)	Yuca Formulación 1				Yuca Formulación 2				Masa inicial (g)
	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Pérdida de masa (g)	Promedio (g)	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Pérdida de masa (g)	Promedio (g)	
8	3.1758	2.2733	0.9025	0.4892	2.2872	1.8515	0.4357	0.3166	1.5079
	2.8981	2.8222	0.0759		2.1482	1.9507	0.1975		1.5049
16	2.9793	2.0767	0.9026	0.8134	2.2047	2.3018	-0.0971	0.4797	1.4672
	2.8419	2.1178	0.7241		1.9578	0.9013	1.0565		1.3486
24	2.9107	2.005	0.9057	0.9396	2.1631	1.4226	0.7405	0.6958	1.518
	2.5631	1.5897	0.9734		1.9804	1.3293	0.6511		1.4352
32	2.3954	1.4169	0.9785	1.1534	2.1759	1.3976	0.7783	0.7666	1.4107
	2.8764	1.5481	1.3283		2.0677	1.3129	0.7548		1.4352
40	2.9588	1.5258	1.433	1.2879	2.0895	1.239	0.8505	0.8169	1.595
	3.11	1.9672	1.1428		2.065	1.2817	0.7833		1.5015
48	2.8653	1.5371	1.3282	1.3993	2.2127	0.6473	1.5654	1.3345	1.5323
	2.5247	1.0543	1.4704		2.1816	1.0781	1.1035		1.6236

Tabla 29. Datos obtenidos en la prueba de biodegradabilidad para la harina de trigo integral

Tiempo (días)	Trigo Formulación 1				Trigo Formulación 2				Masa inicial (g)
	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Pérdida de masa (g)	Promedio (g)	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Pérdida de masa (g)	Promedio (g)	
8	2.218	1.8004	0.4176	0.4205	1.8886	1.7334	0.1552	0.3752	2.0355
	2.3544	1.9311	0.4233		2.039	1.4439	0.5951		2.0401
16	2.1857	1.2677	0.918	0.6900	2.1048	1.9562	0.1486	0.4125	2.136
	2.1273	1.6653	0.462		1.921	1.2447	0.6763		2.0727
24	2.1937	1.1236	1.0701	0.8852	1.8091	1.3313	0.4778	0.5500	1.8941
	1.8962	1.196	0.7002		1.8607	1.2385	0.6222		1.9367
32	2.5433	1.9061	0.6372	0.9177	2.0292	1.2899	0.7393	0.8269	2.0835
	2.7065	1.5084	1.1981		1.9865	1.0721	0.9144		2.0499
40	2.5009	1.1033	1.3976	1.2215	2.0107	1.0293	0.9814	0.9352	1.8709
	2.2421	1.1967	1.0454		2.1742	1.2853	0.8889		1.9287
48	2.1859	0.7093	1.4766	1.4564	1.9255	0.5639	1.3616	1.1907	1.9837
	2.3083	0.8721	1.4362		1.8051	0.7853	1.0198		1.9155

Tabla 30. Datos obtenidos en la prueba de biodegradabilidad para el unicel

Tiempo (días)	Unicel			
	Masa inicial (g)	Masa final (g)	Pérdida de masa (g)	Promedio (g)
8	0.0942	0.0942	0	0
	0.1036	0.1036	0	
16	0.0931	0.0931	0	0
	0.1007	0.1007	0	
24	0.1002	0.1002	0	0
	0.1025	0.1025	0	
32	0.08993	0.08993	0	0
	0.0979	0.0979	0	
40	0.1005	0.1005	0	0
	0.0936	0.0936	0	
48	0.0896	0.0896	0	0
	0.0907	0.0907	0	

De acuerdo con los resultados, en la **Gráfica 7** se puede observar que la formulación 1 con harina de trigo fue la que más pérdida de masa presentó. Esto no quiere decir que las demás formulaciones no vayan a degradarse, sino que el tiempo de degradación será más prolongado.

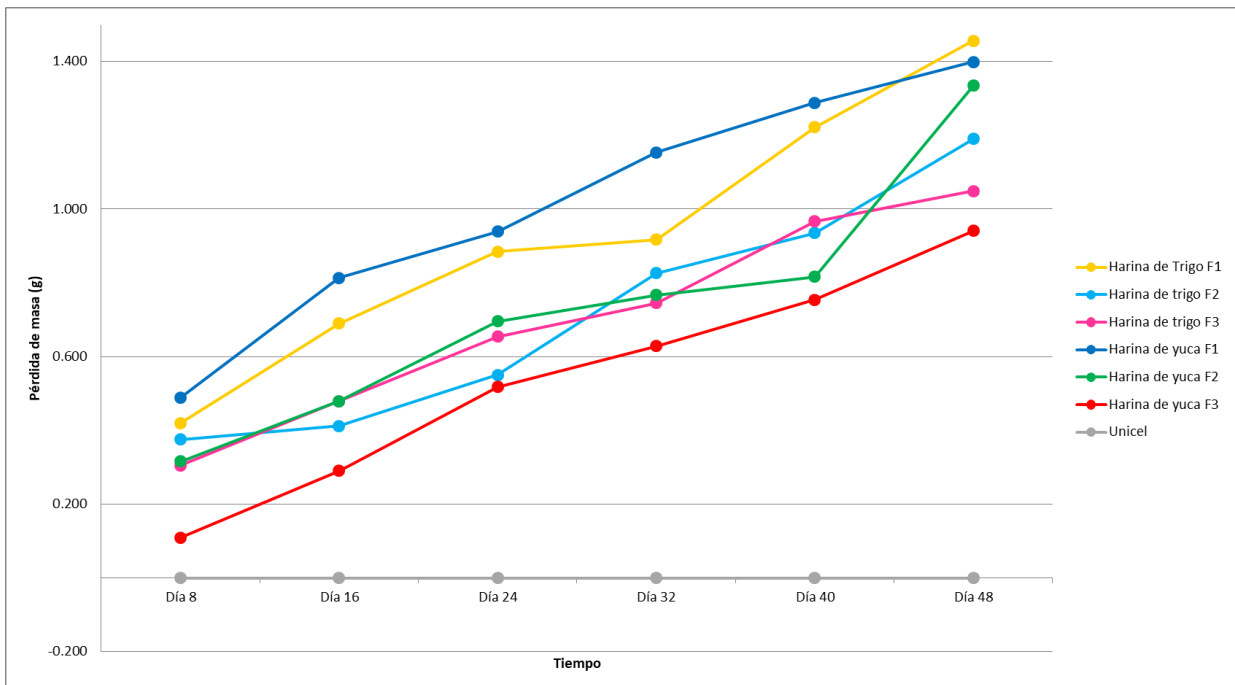


Gráfico 7. Prueba de biodegradabilidad (periodo 48 días) de los platos en estudio, incluyendo al unicel como control

Para corroborar la existencia de diferencia significativa ($P < 0.05$) en la pérdida de masa de la muestra, se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) simple para el factor de tipo de material, con los datos obtenidos en el día 48 usando un nivel de confianza del 95%. En la **Tabla 31** se observa que existió diferencia significativa en los diversos tipos de material. Para conocer cuál o cuáles formulaciones presentaron una diferencia significativa en el tipo de material, se hizo una prueba de rangos múltiples (**Tabla 32**). En ella se observó que la formulación 1 con harina de trigo tuvo una diferencia con respecto de las formulaciones 3 con harina de yuca y trigo.

Tabla 31. Análisis de varianza (ANDEVA) para la 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>
Entre grupos	3.00456	6	0.50076	19.88	0.0005
Intra grupos	0.176315	7	0.0251879		
Total (Corr.)	3.18088	13			

Gl, grados de libertad

Tabla 32. Prueba de rangos múltiples para la pérdida de masa por tipo de material

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
Unicel	2	0	X
Yuca F3	2	0.94065	X
Trigo F3	2	1.04875	XX
Trigo F2	2	1.1907	XXX
Yuca F2	2	1.33445	XXX
Yuca F1	2	1.3993	XX
Trigo F1	2	1.4564	X

3.8 Estimación del precio del plato obtenido

Para determinar el precio² de los platos biodegradables, se consideró que la empresa que los fabrica es una PyME³, que no tiene un gran tamaño ni facturación; que cuenta con un número limitado de trabajadores y que no dispone de grandes recursos como las empresas de mayor tamaño. Esta empresa realiza los platos de manera industrial con una prensa termohidráulica. En la empresa

² El precio es la cantidad de dinero que tenemos que dar a cambio de productos o servicios

³ PyME, pequeña y mediana empresa

sólo hay un turno, con jornada de 8 horas diarias de lunes a sábado y tiene 24 días laborales al mes. Por turno se elaboran 3,178 platos.

El precio final equivale a los costos totales más el margen de utilidad. La estimación del costo total se divide en costo fijo y costo variable. El costo fijo es el costo de los insumos fijos de la empresa, los cuales no dependen del volumen de productos. En cambio, el costo variable es el costo de los insumos variables de la empresa, los cuales guardan dependencia con los volúmenes de fabricación. En las **Tablas 33 y 34** se observan los costos variables (materia prima, mano de obra operativa, publicidad y empaque). En la **Tabla 35**, se muestran los costos fijos de la empresa (mano de obra administrativa y servicios). El costo total (costo fijo y costo variable) por día fue de \$1,091.54 Mx.

Tabla 33. Costo de materia prima

Costos	Detalles	Precio por kilogramo o litro (\$ Mx)
Materia prima	Harina de trigo integral	15.00
	Harina de yuca	55.00
	Goma guar	320.00
	Glicerina	71.00
	Residuo de malta	0.00
	Agua (bimestral)	3.92

El margen de utilidad es la diferencia entre los ingresos y los gastos totales, expresada en un porcentaje de los ingresos. El margen de utilidad que tendrán los platos será del 30%, debido a que la empresa necesita recuperar su inversión a corto plazo. En la **Tabla 36**, se muestran los precios finales de cada formulación.

Tabla 34. Costo de mano de obra operativa, publicidad y empaque por día

Costos	Detalles	Salario mensual (\$ Mx)	Total de salario (\$ Mx)	Salario por día (\$ Mx)	Total de salario por día (\$ Mx)
Mano de obra operativa	Operador (1)	4,000.00	4,000.00	133.33	\$316.66
	Supervisor (1)	5,500.00	5,500.00	183.33	
Costos	Detalles	Precio por 6 meses (\$ Mx)	Total de precio (\$ Mx)	Precio mensual (\$ Mx)	Total de precio por día (\$ Mx)
Publicidad	Espectacular (2)	4,500.00	9,000.00	1,500.00	50
Costos	Detalles	Precio (\$ Mx)	Cantidad mensual	Total de precio (\$ Mx)	Total de precio por día (\$ Mx)
Empaque	Cajas de cartón corrugado (75)	450.00	2	900.00	30.00
	Cinta para empaque (150 m)	40.00	1	40.00	1.33
	Rollo tubular de polietileno biodegradable (250 m)	3,000.00	3	9,000.00	300.00
				Total de costos variables por día (\$ Mx)	\$ 698.00

Tabla 35. Mano de obra administrativa y servicios

Costos	Detalles	Salario mensual (\$ Mx)	Total de salario (\$ Mx)	Total de salario por día (\$ Mx)	
Mano de obra operativa	Ayudante general (mantenimiento y transporte) (1)	3,000.00	3,000.00	100.00	
	Gerente administrativo (1)	7,500.00	7,500.00	250.00	
Costo	Detalles	Precio (\$ Mx)	Consumo	Total de precio (\$ Mx)	Total de precio por día (\$ Mx)
Servicios	Electricidad (kWh)	3.16	200	632.00	21.07
	Agua (m³) (bimestral)	3.92	60	235.20	7.84
	Teléfono e internet (1 línea y 20 Mbps)	439.00		439.00	14.63
				Total de costos fijos por día (\$ Mx)	\$393.54

Tabla 36. Precio final para cada formulación por plato

Materia prima	Yuca Formulación 1	Yuca Formulación 2	Yuca Formulación 3	Trigo Formulación 1	Trigo Formulación 2	Trigo Formulación 3
Harina de trigo integral o de yuca (\$ Mx)	4.11	1.88	0.30	1.04	0.50	0.08
Residuo de malta (\$ Mx)	Sin costo	Sin costo	Sin costo	Sin costo	Sin costo	Sin costo
Goma guar (\$ Mx)	1.33	1.10	0.89	1.24	1.07	0.85
Glicerina (\$ Mx)	0.88	0.73	0.59	0.82	0.71	0.57
Agua (\$ Mx)	0.24	0.28	0.30	0.21	0.24	0.26
Total (\$ Mx)	6.57	3.99	2.08	3.32	2.51	1.75
Costo total por día/ Producción al día	0.343	0.343	0.343	0.343	0.343	0.343
Margen de utilidad	2.07	1.30	0.73	1.10	0.86	0.63
Precio (\$ Mx)	8.99	5.63	3.16	4.76	3.71	2.73
IVA	1.44	0.90	0.51	0.76	0.59	0.44
Precio final (\$ Mx)	10.43	6.53	3.66	5.52	4.31	3.16

En la **Tabla 37** se muestra el precio comercial de los platos elaborados con diferentes materiales. En ella, se puede apreciar que el costo de los platos elaborados en este trabajo tiene un precio superior al de los platos de plástico desechables y a los de unice!; así como con los platos biodegradables hechos con biopolímeros.

Tabla 37. Precio comercial de los platos elaborados con diferentes materiales

Producto	Piezas	Precio (\$MX)
Harina de trigo integral formulación 1	20	110.45
Harina de trigo integral formulación 2	20	86.12
Harina de trigo integral formulación 3	20	63.25
Harina de yuca formulación 1	20	208.53
Harina de yuca formulación 2	20	130.64
Harina de yuca formulación 3	20	73.23
Platos Agua Tierra biodegradable	15	45.62
Platos Ecoshell biodegradable	20	26.67
Bosco plato desechable termoformados	12	47.28
Home Supplies plato desechable corte cristal	8	94.90
Great Value platos desechables	20	23.90
Great Value platos desechables premium	12	112
Great Value platos desechables térmicos	20	16.50
Bosco charola térmica	20	21.50

En el **Anexo A4** se presenta un acervo fotográfico de esta investigación.

Capítulo 4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

Con los resultados obtenidos a partir del diseño de experimentos y de acuerdo con lo establecido en los objetivos propuestos en esta investigación, se pueden derivar las siguientes conclusiones:

- ✓ Se produjeron platos a partir del residuo de malta de la industria cervecera adicionados con harina de yuca o con harina de trigo integral y con otros aditivos alimentarios, mezclándolos en diferentes proporciones.
- ✓ Se compararon las diversas formulaciones realizadas con respecto al espesor de los platos elaborados y se obtuvo que la formulación 1 elaborada con harina de yuca fue la formulación que tuvo el valor mayor de espesor.
- ✓ En cuanto al análisis de perfil de textura, ninguna formulación presentó valores de fracturabilidad. Respecto a la dureza, la formulación 2 elaborada con harina de trigo integral presentó la mayor dureza (5817.87 N), aunque ésta fue menor a la del control (unicel) (11500.73 N). Por otro lado, la formulación 3 elaborada con harina de trigo integral presentó la mayor elasticidad (0.989), incluso aún más que la del control (0.975). Por otra parte, la formulación 1 elaborada con harina de yuca presentó la mayor cohesividad (0.972), las demás formulaciones presentaron incluso una cohesividad mayor a la del control (0.843).
- ✓ En cuanto a la prueba de tracción, la formulación 3 elaborada con harina de yuca presentó mayor resistencia (1038628.404 MPa), incluso aún más que la del control (unicel). No obstante, la formulación 3 elaborada con harina de yuca tuvo una gran variabilidad en sus valores; debido a que el material no es homogéneo, por lo cual el resultado no es confiable.
- ✓ La formulación 3 elaborada con harina de trigo integral y de yuca no se calcinó en la estufa a las temperaturas de 100°C y 200°C, ni en el horno de microondas a 1 minuto y a 2 minutos.

- ✓ La formulación 1 elaborada con harina de yuca presentó la mayor permeabilidad.
- ✓ Respecto de la biodegradabilidad, la formulación 1 elaborada con harina de trigo fue la que más pérdida de masa presentó durante 48 días.
- ✓ En cuanto al precio, la formulación 3 con harina de trigo fue la que menor precio presentó; en cambio la formulación 1 con harina de yuca fue la que presentó el mayor precio.
- ✓ De acuerdo con la matriz de decisión (**Anexo A3**), la formulación 1 elaborada con harina de trigo integral fue la que presentó las características más sobresalientes con respecto a los parámetros de espesor, dureza, elasticidad, cohesividad, fracturabilidad, permeabilidad, resistencia y biodegradabilidad, por lo que se consideraría como la mejor formulación para la elaboración de platos sustitutos del uncel.

4.2 Recomendaciones

Recomendaciones para investigaciones futuras:

- Realizar una evaluación sensorial con jueces entrenados para los platos elaborados para conocer si estos imparten algún sabor a la comida, tras cierto tiempo de almacenamiento.
- Encontrar las condiciones óptimas de tiempo y temperatura para el horneado de los platos elaborados
- Realizar las formulaciones con otros tipos de harinas como el maíz, para ver si tienen características mejores que los platos elaborados con la harina de yuca y de trigo integral.
- Colocar un recubrimiento como la quitina y/o quitosana sobre el plato para aumentar su impermeabilidad al agua, y probar mediante una evaluación sensorial si no imparte sabor alguno.
- Utilizar una prensa termohidráulica para conocer el rendimiento y costo exacto del plato; además, los platos tendrían en el mismo espesor.

Fuentes de consulta

- ❖ Acofarma. (2010). Ficha de información técnica: Goma guar. Disponible en: http://www.e-lactancia.org/media/papers/Goma_guar-FT-Acofarma2010.pdf (último acceso el 26 de junio de 2017)
- ❖ Aliyu, S. y Bala, M, (2011). Brewer's spent grain: A review of its potentials and applications. *African Journal of Biotechnology*, 10(3):324-331.
- ❖ AOAC. (1990). Official methods of analysis (15th ed.). Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC., EE. UU.
- ❖ Área tecnológica. (2017). Ensayo de tracción. Disponible en: <http://www.areatecnologia.com/materiales/ensayo-de-traccion.html> (último acceso el 4 de agosto de 2017).
- ❖ ASTM. (2003). American Standard Testing and Materials ASTM D´5488-944 Standard test method for tensile properties of plastics. Washington, D.C. EEUU.
- ❖ Caballero, K. (2010). *Evaluación de la producción de bioetanol a partir de residuos de malta*. Tesis Profesional. UNAM, Facultad de Química, D.F., México.
- ❖ Camacho de la Rosa, N., Díaz, M., Velásquez, O. (2007). *Productos de cereales y leguminosas*. Manual de prácticas. 4ta edición. UNAM, Facultad de Química. pp. 187-190. D.F., México.
- ❖ Cantón, A., Fernández, M.T., Lugo, G., Martínez, M., Palmeiro, R., Pita, F., Tejera, C. (2017). Utilidad en la clínica de la goma guar parcialmente hidrolizada: revisión de la evidencia y experiencia. *Nutrición Hospitalaria*, 34:216-223.
- ❖ Carrascal, F., Del Pilar, Z., Molina, D. (2013). Desarrollo y aplicación de una nueva metodología para cuantificar la eficiencia de los rompedores de fluidos de fractura base agua. *Revista Fuentes: El Reventón Energético* 11(2):65-69.
- ❖ Castillo, F. J. (2014). *Guía de cervezas artesanas españolas*. Editorial Visión Libros, p. 11. España.
- ❖ Cerveceros de México. (2016). La cerveza desde el origen. Disponible en: <http://www.cervecerosdemexico.org.mx/la-cerveza-desde-el-origen/> (último acceso el 31 de mayo de 2017).
- ❖ Cerveceros de México. (2017). La industria cervecera en México. Disponible en: <https://cervecerosdemexico.com/industria-cervecera-infografias/> (último acceso el 31 de mayo de 2017).

- ❖ Cerveza de Argentina. (2010). Malta cervecera. Disponible en: <http://www.cervezadeargentina.com.ar/articulos/maltas.htm> (último acceso el 23 de mayo del 2017).
- ❖ Craft Beer & Brewing Magazine. (2017). Iso-alpha acids. Disponible en: <https://beerandbrewing.com/dictionary/hLffCRjWv0/iso-alpha-acids/> (último acceso el 13 de marzo del 2018).
- ❖ Delcuor, A.J., Hosney, C.R. (2010). *Principles of Cereals Science and Technology*. 3ra edición. St. Paul, Minnesota, U.S., pp.1-22. Disponible en: <http://aaccipublications.aaccnet.org/doi/full/10.1094/9781891127632.001> (último acceso el 7 de mayo del 2017).
- ❖ 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.
- ❖ DOF. (2003). NOM-FF-043-SCFI-2003. “Productos alimenticios no industrializados para consumo humano-Cereal- Cebada maltera- (*Hordeum vulgare* L. y *Hordeum distichum* L.)- Especificaciones y métodos de prueba”. Dirección General de Normas. Poder Ejecutivo Federal. Diario Oficial de la Federación. Ciudad de México, México.
- ❖ DOF. (1997). NOM-F-253-1977. “Cuenta de bacterias mesofílicas aerobias”. Dirección General de Normas. Poder Ejecutivo Federal. Diario Oficial de la Federación. Ciudad de México, México.
- ❖ DOF. (1994). NOM-127-SSA1-1994. “Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización”. Dirección General de Normas. Poder Ejecutivo Federal. Diario Oficial de la Federación. Ciudad de México, México.
- ❖ El Cantero. (2014). Proceso de elaboración de cerveza artesanal. Disponible en: <http://manosartesanasmurcia.org/wp-content/uploads/2014/11/Proceso-de-eleboraci%C3%B3n.pdf> (último acceso el 6 de junio del 2017).
- ❖ El Sol. (2016). La yuca: la papa del futuro. Disponible en: <http://www.elsol.com.ar/nota/271845> (último acceso el 29 de junio del 2017).
- ❖ Expansión. (2016). Modelo producirá cebada en el país para reducir la importación. Disponible en: http://expansion.mx/empresas/2016/05/24/modelo-producira-cebada-en-el-pais-para-reducir-la-importacion?internal_source=PLAYLIST (último acceso el 4 de mayo del 2017).
- ❖ FAO. (2017). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Cultivos. Disponible en:

<http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC> (último acceso el 27 de marzo del 2018).

- ❖ FAO. (2013). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. Disponible en: www.fao.org/3/a-i3388s.pdf (último acceso el 21 de junio del 2017).
- ❖ FAO. (2007). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1028s/a1028s01.pdf> (último acceso el 29 de junio del 2017).
- ❖ FAO. (1997). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Los carbohidratos en la nutrición humana. Disponible en: https://books.google.com.mx/books?id=FZ_ed5pkNdoC&pg=PA74&dq=propiedades+del+almidon&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwj6q42A3s_UAhXE4IMKHfNiDj0Q6AEIMzAD#v=onepage&q&f=false (último acceso el 21 de junio del 2017)
- ❖ Fermun, D., Castells, I., Español, N. y García, M. (2013). *Guía para descubrir las mejores cervezas artesanas*. Editorial GeoPlaneta. España. Disponible en: <https://books.google.com.mx/books?id=xb4SAQAAQBAJ&pg=PT24&dq=levadura+para+cerveza&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwjmjb7Fj6fUAhXBZlQKHeT9AiwQ6AEIjAA#v=onepage&q=levadura%20para%20cerveza&f=false> (último acceso el 5 de junio del 2017)
- ❖ Goering, H.K., Van Soest, P.J. (1990). Forage fiber analysis. USDA Agriculture Research Service. Handbook No. 379, modificado por D.R. Mertens. Washington, D.C. EE.UU.
- ❖ González, J. S. (1996). *Utilización de grano agotado de cervecería y harinas de maíz en la elaboración de extrudidos*. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México.
- ❖ González, M. (2017). *Principios de elaboración de las cervezas artesanales*. Editorial Lulu Enterprises, EE.UU. pp. 104- 107.
- ❖ Gorzolka, K., Kölling J., Nattkemper, T.W., Niehaus, K. (2016). Spatio-Temporal metabolite profiling of the barley germination process by MALDI MS Imaging. *PLOS ONE*, 11(3):1-25.
- ❖ Henao, S., Aristizábal, J. (2009). Influencia de la variedad de yuca y nivel de sustitución de harinas compuestas sobre el comportamiento reológico en panificación. *Ingeniería e Investigación*, 29(1):39-46.
- ❖ Hernández, K. (2013). *Biodegradación de envases elaborados a base de fécula de maíz, papa, caña de azúcar, papel y oxo-biodegradables*. Tesis Profesional. UNAM, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. México, D.F.

- ❖ Hleap, J. I., Velasco, V.A. (2010). Análisis de las propiedades de textura durante el almacenamiento de salchichas elaboradas a partir de tilapia roja (*Oreochromis sp.*). *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 8(2):46-56.
- ❖ INEGI. (2014). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Industria cervecera en México. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/ce/ce2014/doc/infografias/infic_ce.pdf (último acceso 13 de abril de 2017).
- ❖ Juárez, Z.N., Bárcenas-Pozos, M.E., Hernández, L.R. (2014). El grano de trigo: características generales y algunas problemáticas y soluciones a su almacenamiento. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos* 8(1):79-83.
- ❖ Kanauchi, O., Mitsuyama, K., Araki, Y. (2001). Development of a functional germinated barley foodstuff from brewers' spent grain for the treatment of ulcerative colitis. *Journal of the American Society of Breweing Chemists*, 59:59-62.
- ❖ Mateo, J. (2005). *Prontuario de agricultura*. Editorial Mundi-Prensa. pp. 71-84. Madrid, España.
- ❖ Magdaleno, A. (2016). *Evaluación de la cantidad de glucosa y ácido láctico generado a partir de un residuo de cereal empleado en la industria cervecera*. Tesis Profesional. UNAM, Facultad de Química, Ciudad de México, México.
- ❖ 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 del almidón de yuca. *Escuela de Ingeniería de Antioquia*, 8:57-67.
- ❖ Mussatto, S.I., Dragone, G., Roberto, I. C. (2006). Brewers' spent grain: Generation, characteristics and potential applications. *Journal of Cereal Science*, 43(1):1-14.
- ❖ Nuttall, D. (2016). Beer varieties: The origins (Part three: color). Just Beer. Disponible en: <https://justbeerapp.com/article/beer-varieties-the-origins-part-three-colour> (último acceso 31 de mayo del 2017).
- ❖ Ospina, J. (2001). *Características físico mecánicas y análisis de calidad de granos*. Universidad Nacional de Colombia, pp. 16-18. Bogotá, Colombia.
- ❖ Ramos, I. (2006). *Recopilación bibliográfica para el estudio del proceso general de elaboración de cerveza*. Tesis Profesional. UNAM, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Cuautitlán, Estado de México, México.
- ❖ SAGARPA. (2015). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Fortalecen SAGARPA, agricultores e industria producción y comercialización de cebada. Disponible en:

<http://sagarpa.gob.mx/saladeprensa/2012/Paginas/2014B296.aspx> (último acceso 7 de mayo de 2017).

- ❖ SAGARPA. (2017). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Se incrementa producción de trigo “Hecho en México” 14.6 en 2016. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/zacatecas/boletines/Paginas/2017B102M.aspx> (último acceso 29 de junio de 2017).
- ❖ Senado de la República, LXIII Legislatura. (2016). Dictamen de la Comisión de Medio Ambiente y Recursos Naturales a dos proposiciones con punto de acuerdo relativas a los problemas ambientales y a la salud humana que genera la producción, uso y desecho del material conocido como “unicel”. Disponible en: http://www.senado.gob.mx/sgsp/gaceta/63/1/2016-04-28-1/assets/documentos/Dic_MA_PA_Unicel.pdf (último acceso 14 de abril de 2017).
- ❖ Serna, S. (1996). *Química, almacenamiento e industrialización de los cereales*. Departamento de Tecnología de Alimentos ITESM. Campus Monterrey, pp. 34-45, 307-333. Monterrey, Nuevo León, México.
- ❖ SINAREFI. (2015). Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. Red yuca. Disponible en: http://www.sinarefi.org.mx/redes/red_yuca.html#cajaUsos (último acceso 29 de junio del 2017).
- ❖ Tei. (2010). Glicerina USP. Disponible en: <http://www.teii.com.mx/glicerina-usp.html> (último acceso 29 de junio del 2017).
- ❖ Tomás, S. (2014). *Elaboración de bioesponjas de quitina extraída del cefalotórax y exoesqueleto de camarón mediante la utilización de plastificantes naturales, almidón de maíz*. Tesis Profesional. UNAM, Facultad de Química. D.F., México.
- ❖ Torres, J.D., González, K.J. y Acevedo, D. (2015). Análisis del perfil de textura en frutas, productos cárnicos y quesos. *Revista ReCiTeIA*, 14(2):63-75.
- ❖ Vera, K. (2012). *Optimización del pretratamiento ácido de residuos de malta para la obtención de etanol*. Tesis Profesional. UNAM, Facultad de Química. D.F., México.

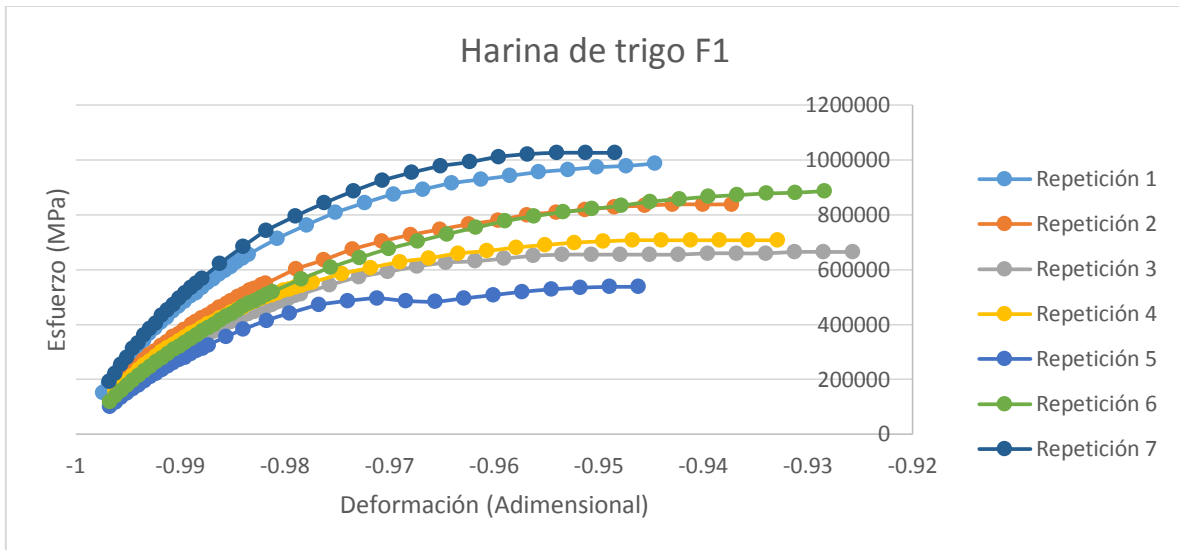
Anexos

A1. Determinación de humedad en el bagazo de malta

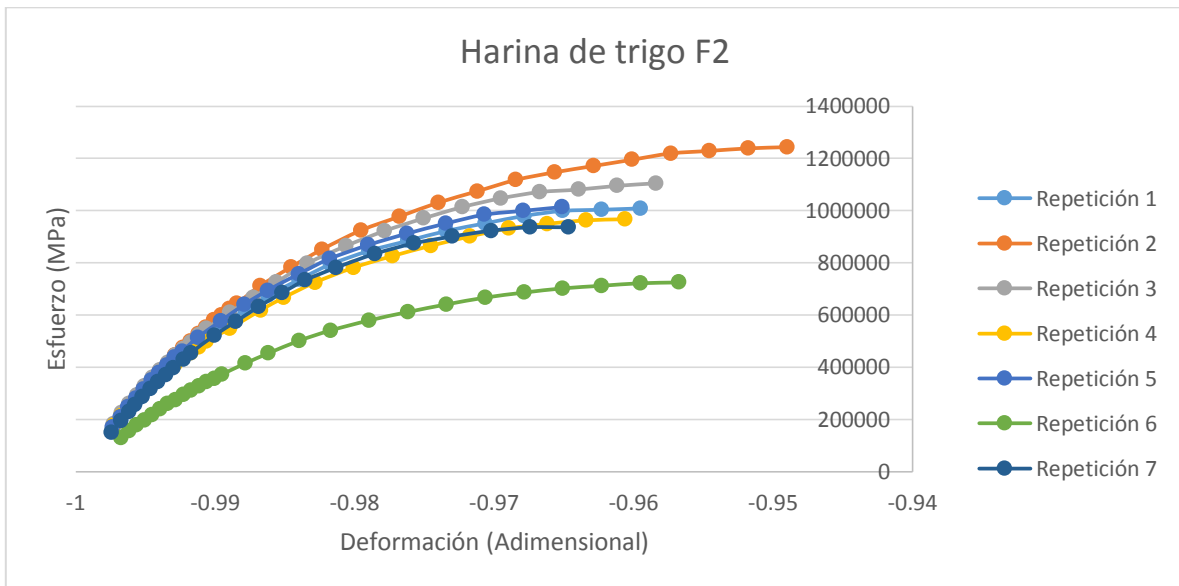
Masa húmeda (g)	Masa seca (g)	Humedad (%)
273	58	78.75
222	44	80.18
175	36	79.43
149	32	78.52
233	46	80.26
270	46	82.96
234	46	80.34
216	44	79.63
279	56	79.93
282	58	79.43
324	58	82.10
298	54	81.88
296	55	81.42
230	24	89.57
142	25	82.39
142	24	83.10
147	27	81.63
279	56	79.93
282	58	79.43
324	58	82.10
298	54	81.88
296	55	81.42
230	24	89.57
142	25	82.39
142	24	83.10
147	27	81.63
215.461	39.981	81.44
163.16	31.93	80.43
232.56	45.11	80.60
180.1	34.22	81.00
145.22	30.5	79.00
214.28	44.23	79.36
334.14	72.38	78.34
219.23	38.86	82.27
	Promedio	80.96
	DS	2.26

DS, desviación estándar

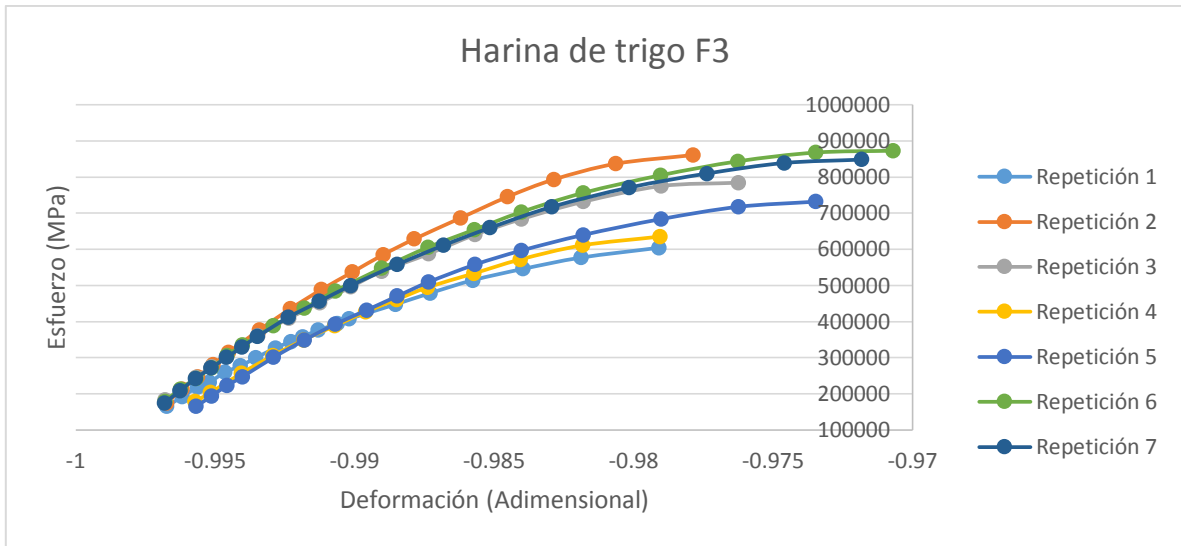
A2. Ensayo de tracción



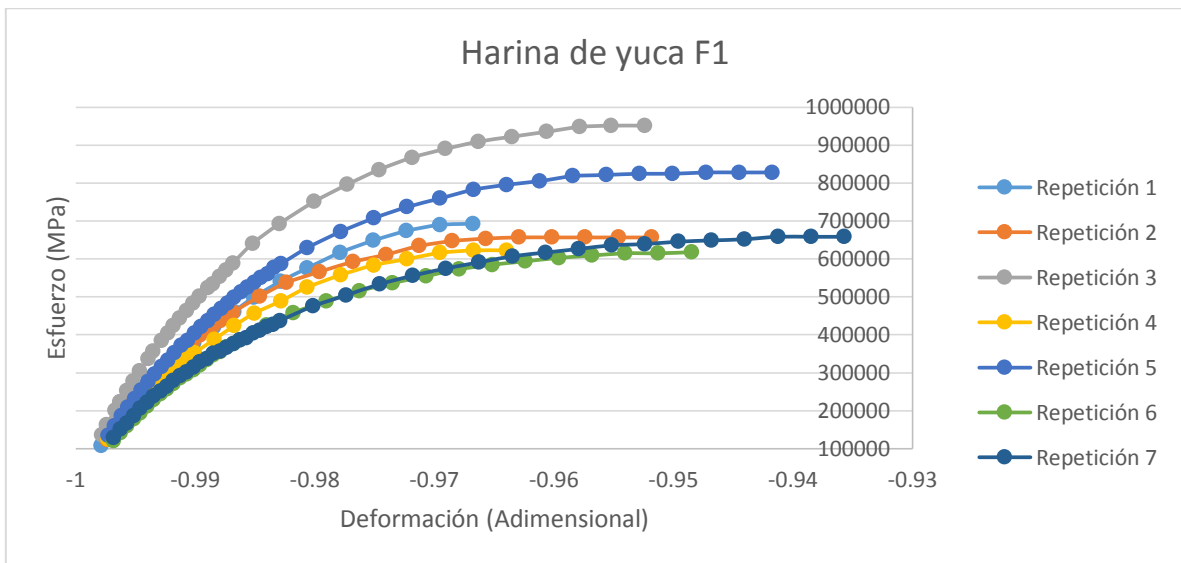
Gráfica A2. 1. Ensayo de tracción de harina de trigo formulación 1



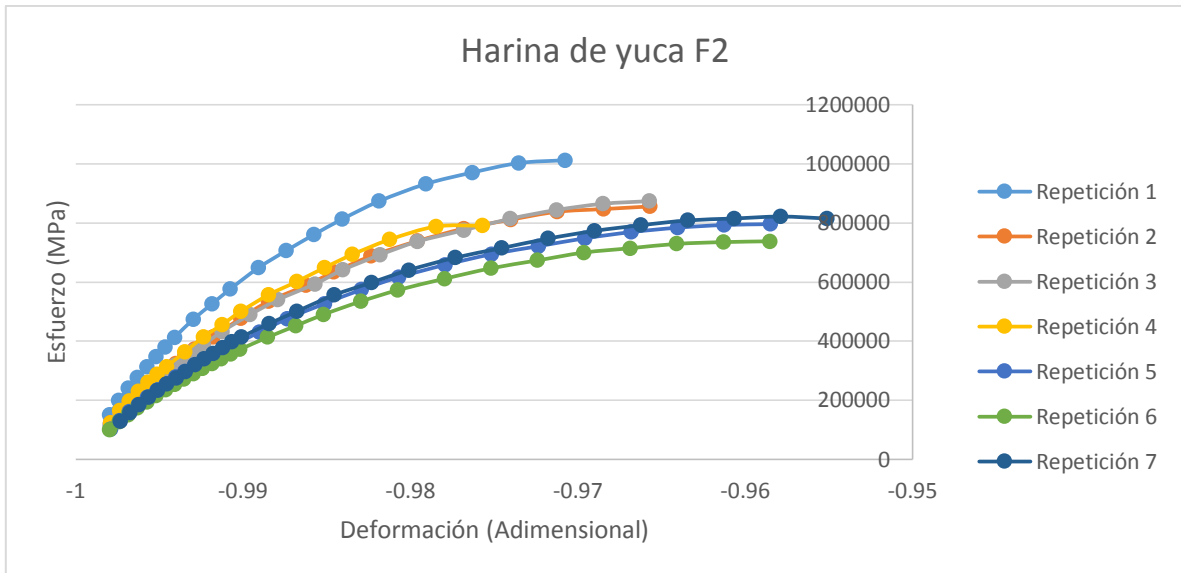
Gráfica A2. 2. Ensayo de tracción de harina de trigo formulación 2



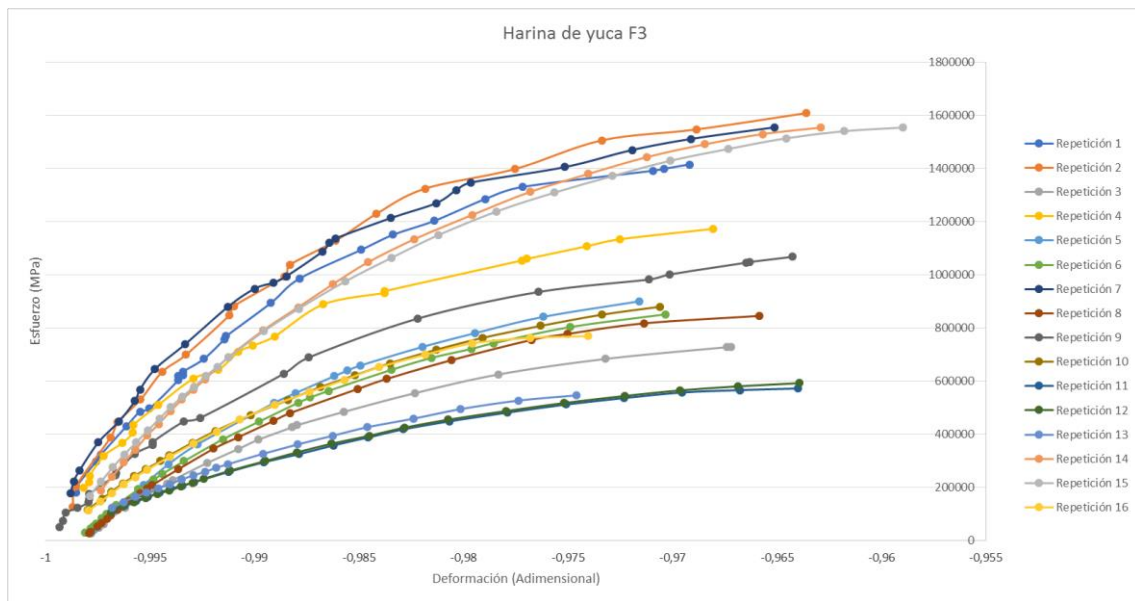
Gráfica A2. 3. Ensayo de tracción de harina de trigo formulación 3



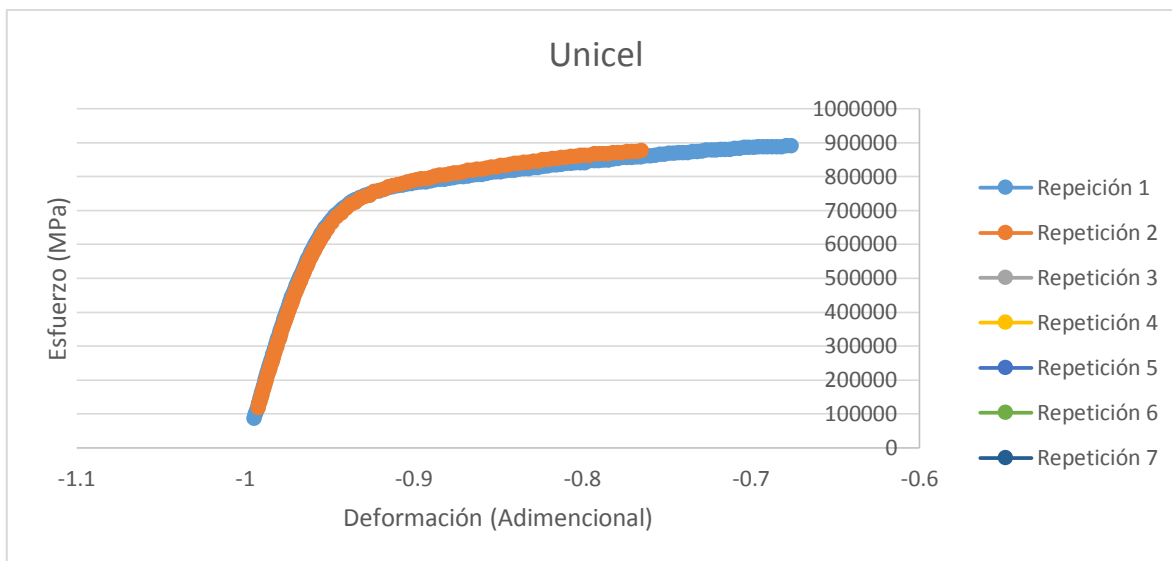
Gráfica A2. 4. Ensayo de tracción de harina de yuca formulación 1



Gráfica A2. 5. Ensayo de tracción de harina de yuca formulación 2



Gráfica A2. 6. Ensayo de tracción de harina de yuca formulación 3



Gráfica A2. 7. Ensayo de tracción del unigel

A3. Matriz de decisión

Para poder concluir cuál de las formulaciones manejadas fue la mejor, se realizó una matriz de decisión. En la cual a cada prueba realizada se le dio un porcentaje de importancia y se colocaron valores del 1 (menor) al 6 (mayor). No se consideró (valor cero) la formulación 3 elaborada con harina de yuca en la prueba de resistencia, debido a que tuvo una gran variabilidad como se explicó anteriormente.

Tabla A3. Matriz de decisión

Pruebas realizadas	Espesor	Análisis de perfil de textura				Permeabilidad	Resistencia	Resistencia térmica				Biodegradabilidad (Pérdida de masa al día 48)	Costo	Total
		Dureza	Elasticidad	Cohesividad	Fracturabilidad			Estufa 100°C	Estufa 200°C	Microondas 1min	Microondas 2min			
Importancia (%)	3	10	3	3	6	20	20	1	1	1	1	10	10	
Harina yuca F1	6	3	4	6	6	6	2	1	1	1	1	5	1	307
Harina yuca F2	5	2	3	4	6	4	5	3	3	3	1	4	2	331
Harina yuca F3	2	5	1	2	6	2	0	6	6	6	6	1	5	274
Harina trigo F1	4	4	5	5	6	5	4	1	1	1	1	6	3	401
Harina trigo F2	3	6	2	5	6	3	6	3	3	1	3	3	4	395
Harina trigo F3	1	1	6	3	6	1	3	6	6	6	6	2	6	289

A4. Acervo fotográfico



Figura A4.1 Residuo de malta húmeda



Figura A4.2 Secado de residuo de malta



Figura A4.3 Residuo de malta seca



Figura A4.4 Determinación de extracto etéreo

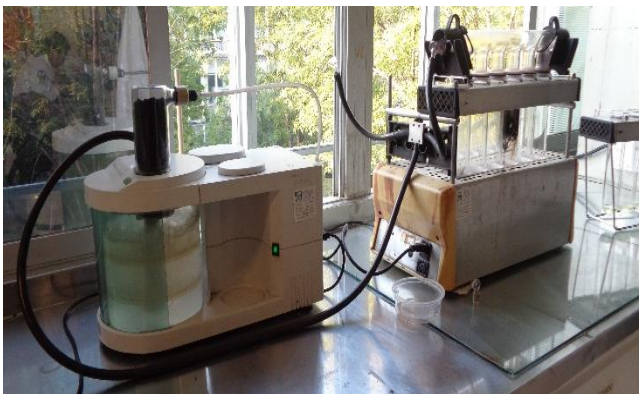


Figura A4.5 Determinación de proteína cruda (digestión)



Figura A4.6 Determinación de proteína cruda (destilación)



Figura A4.7 Determinación de proteína (titulación)



Figura A4.8 Determinación de cenizas



Figura A4.9 Fibra ácida detergente (digestión)

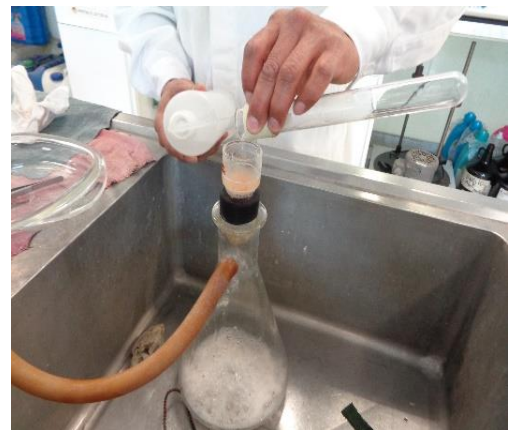


Figura A4.10 Fibra ácida detergente (lavado de la muestra)

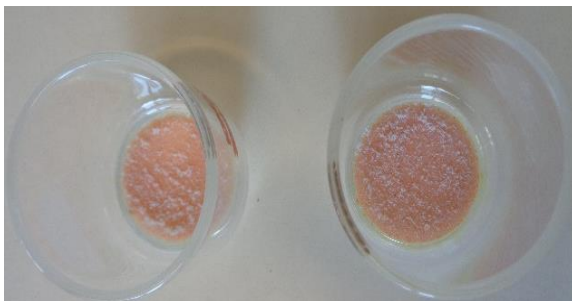


Figura A4.11 Fibra ácida detergente (lignina)



Figura A4.12 Platos con diferentes formulaciones



Figura A4.13 Prueba de tracción



Figura A4.14 Probetas utilizadas en la prueba de tracción



Figura A4.15 Prueba de biodegradabilidad



Figura A4.16 Prueba de biodegradabilidad

A5. Disposición de los residuos generados en esta investigación

A.5.1. Disposición de cajas Petri

Las cajas Petri de plástico con agar para métodos estándar y bacterias mesófilas, se almacenaron en una bolsa para residuos biológicos-infecciosos; se etiquetó con la información solicitada y se envió a la Unidad de Gestión Ambiental de la Facultad de Química de la UNAM (UGA).

A.5.2. Disposición de la composta y sus subproductos

Al ser residuos sólidos orgánicos no peligrosos, se pueden incorporar directamente al suelo como abono debido a su alto contenido de nutrientes. El unisel se desechó junto con los residuos inorgánicos.

A.5.3. Disposición de las probetas y platos

Al ser residuos sólidos orgánicos no peligrosos, se desecharon junto con los residuos orgánicos, ya que se degradan e incorporan fácilmente en el suelo y apoyan el compostaje. El unisel se desechó junto con los residuos inorgánicos.

A.5.4. Disposición de los residuos producidos en la determinación de proteína cruda (método Kjeldahl)

Los residuos se almacenaron en un recipiente de plástico etiquetado con la información solicitada, que se envió a la Unidad de Gestión Ambiental de la Facultad de Química de la UNAM (UGA).

A.5.5. Disposición del éter etílico con residuos de ácidos grasos (método de Soxhlet)

El éter etílico contaminado se destiló y se recicló. El residuo que queda se almacenó en un recipiente de plástico etiquetado con la información solicitada y se envió a la Unidad de Gestión Ambiental de la Facultad de Química de la UNAM (UGA).

A.5.6. Disposición de las cenizas

Las cenizas se desecharon junto con los residuos orgánicos.

A.5.7. Disposición de los residuos obtenidos por el método de permanganato (lignina)

El residuo se neutralizó y se almacena en un recipiente de plástico etiquetado con la información solicitada y se envió a la Unidad de Gestión Ambiental de la Facultad de Química de la UNAM (UGA).

A.5.8. Disposición de los residuos obtenidos por el método de fibra neutra detergente (FND)

El residuo se neutralizó y se desechó en la tarja.

A.5.9. Disposición de los residuos obtenidos por el método de fibra detergente ácido (FAD)

Los residuos se almacenaron en un recipiente de plástico etiquetado con la información solicitada y se envió a la Unidad de Gestión Ambiental de la Facultad de Química de la UNAM (UGA).

A.5.10. Disposición de los residuos obtenidos para fibra cruda

Las rodajas de papel filtro se almacenaron en una bolsa de plástico etiquetada con la información solicitada y se envió a la Unidad de Gestión Ambiental de la Facultad de Química de la UNAM (UGA).