



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

**OBTENCIÓN DE BIOPOLÍMERO A PARTIR
DEL GRANO GASTADO DE CEBADA CON
TRATAMIENTO ALCALINO PREVIO.**

TESIS

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

PRESENTA

DAYANA MONSERRAT ALONSO SÁNCHEZ

TUTOR: DR. OSCAR HERNÁNDEZ MELÉNDEZ



Ciudad Universitaria, CDMX

2023



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: Profesor: Bárzana García Eduardo

VOCAL: Profesor: Miranda Martínez Inés

SECRETARIO: Profesor: Hernández Meléndez Oscar

1er. SUPLENTE: Profesor: Trapala Reyna Jonathan

2º SUPLENTE: Profesor: Guzmán Aguirre Sandra

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA: LABORATORIO INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL, LABORATORIO DE INGENIERÍA QUÍMICA, FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM.

ASESOR DEL TEMA: DR. OSCAR HERNÁNDEZ MELÉNDEZ

SUSTENTANTE: DAYANA MONSERRAT ALONSO SÁNCHEZ

Índice

INTRODUCCIÓN	1
1. MARCO TEÓRICO	3
1.1. CEBADA	3
1.1.1. PARTES Y ESTRUCTURA DEL GRANO DE CEBADA	3
1.1.2. MALTEO DE CEBADA	5
1.1.2.1. REMOJO	6
1.1.2.2. GERMINACIÓN	6
1.1.2.3. SECADO	8
1.2. MATERIAS PRIMAS PARA LA ELABORACIÓN DE CERVEZA	9
1.2.1. AGUA	10
1.2.2. MALTA	11
1.2.2.1. TIPOS DE MALTA DE CEBADA	12
1.2.2.1.1. MALTAS BASE	12
1.2.2.1.2. MALTAS HORNEADAS	13
1.2.2.1.3. MALTAS QUEMADAS	13
1.2.3. LÚPULO	14
1.2.4. LEVADURA	14
1.3. PROCESO DE ELABORACIÓN DE CERVEZA	15
1.3.1. MOLIENDA DE LA MALTA	16
1.3.2. MACERACIÓN	17
1.3.3. OBTENCIÓN DEL MOSTO	18
1.3.4. EBULLICIÓN DEL MOSTO	19
1.3.5. FERMENTACIÓN	20
1.3.6. MADURACIÓN, ESTABILIZACIÓN Y ENVASADO	21
1.4. BSG O GRANO AGOTADO (BAGAZO DE CEBADA)	21
1.4.1. COMPOSICIÓN DEL BSG	22
1.4.1.1. PROTEÍNAS	24
1.4.1.1.1. PROTEÍNAS PRESENTES EN EL BSG	27
1.5. EXTRACCIÓN DE PROTEÍNAS	28
1.5.1. EXTRACCIÓN ALCALINA DE PROTEÍNAS	28
1.5.2. EXTRACCIÓN ASISTIDA POR ULTRASONIDO	29
1.6. BIOPOLÍMEROS	29
1.6.1. PROPIEDADES DE LOS BIOPOLÍMEROS	31
1.6.1.1. BIODEGRADABILIDAD	31
1.6.1.2. PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA	32
1.6.1.3. BIOCOMPATIBILIDAD	32
1.6.1.4. PROPIEDADES QUÍMICAS	32
1.7. BIOPOLÍMEROS A BASE DE PROTEÍNAS	33
1.7.1. PROCESOS PARA LA ELABORACIÓN DE BIOPOLÍMEROS CON PROTEÍNAS	34
1.7.2. PROPIEDADES MECÁNICAS	35
2. OBJETIVO GENERAL	39

3. OBJETIVOS PARTICULARES	39
4. HIPÓTESIS	40
5. MATERIALES Y EQUIPOS.....	41
5.1. REACTIVOS.....	42
6. METODOLOGÍA.....	43
6.1. ACONDICIONAMIENTO DEL BSG.....	43
6.1.1. TRITURACIÓN Y TAMIZADO DEL BSG.....	43
6.2. ANÁLISIS DE HUMEDAD.....	44
6.3. MÉTODO VAN SOEST-WINE MODIFICADO PARA FIBRA TOTAL.....	45
6.4. ANÁLISIS DE CENIZA.....	46
6.5. ANÁLISIS DE PROTEÍNA.....	47
6.5.1. TRATAMIENTO ALCALINO.....	48
6.5.2. TRATAMIENTO ALCALINO ASISTIDO POR ULTRASONIDO.....	49
6.6. PRECIPITACIÓN DE PROTEÍNA.....	49
6.7. EXTRACCIÓN DE PROTEÍNA A MAYOR ESCALA.....	50
6.8. FORMULACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DE BIOPOLÍMERO.....	51
6.8.1. ELABORACIÓN DE BIOPOLÍMERO.....	52
6.9. PROPIEDADES MECÁNICAS.....	52
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	53
7.1. ANÁLISIS DE HUMEDAD.....	53
7.2. ANÁLISIS DE FIBRA TOTAL.....	53
7.3. ANÁLISIS DE CENIZA.....	57
7.4. ANÁLISIS DE PROTEÍNA.....	57
7.4.1. TRATAMIENTO ALCALINO.....	58
7.4.2. TRATAMIENTO ALCALINO ASISTIDO POR ULTRASONIDO.....	61
7.5. PRECIPITACIÓN DE PROTEÍNA.....	62
7.6. EXTRACCIÓN DE PROTEÍNA A GRAN ESCALA.....	64
7.7. PRUEBA MECÁNICA.....	67
8. CONCLUSIONES.....	73
REFERENCIAS	75
APÉNDICE A	85
APÉNDICE B	88
APÉNDICE C	92
APÉNDICE D.....	93
APÉNDICE E	96

ABREVIATURAS Y UNIDADES

ADF	fibra detergente ácido	Lys	lisina
NDF	fibra detergente neutro	Phe	fenilalanina
NOM	Normas Oficiales Mexicanas	Pro	prolina
ANOVA	análisis de varianza	Trp	triptófano
FTIR	espectroscopía de infrarrojo por la transformada de Fourier	Tyr	tirosina
BSG	brewer's spent grain (grano gastado de cebada)	H ⁺	protones
ATR	reflectancia total atenuada	T	temperatura
ASB	albúmina sérica bovina	pH	potencial de hidrógeno
		%	porcentaje
PP	polipropileno	α	alfa
Ca ²⁺	ion calcio	β	beta
C-C	enlace carbono carbono		
CH ₄	metano	°C	grados Celsius
Cl ₂	cloro	°L	grados Lovibond
CO ₂	dióxido de carbono	nm	nanómetros
NH ₂ Cl	cloraminas	cm	centímetros
NaOH	hidróxido de sodio	mm	milímetros
AcOH	ácido acético	g	gramo
KMnO ₄	permanganato de potasio	mg	miligramo
Cys	cisteína	min	minutos
Gln	glutamina	h	horas

Abreviaturas y unidades

kDa	kiloDalton
kHz	kiloHertz
W	Watts
L	litro
mL	mililitro
μ L	microlitros
M	concentración Molar
ppm	partes por millón
kPa	kiloPascal
Pa	Pascales
N	Newton

INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe una problemática importante por la contaminación de grandes volúmenes de residuos que se generan diariamente y que recibe escaso o nulo tratamiento adecuado. Esta situación se agrava porque la basura, que está conformada por residuos de composición muy variada, generalmente se junta y mezcla durante las labores de recolección lo que dificulta su manejo final (Cristán, 2003).

El manejo de residuos sólidos y principalmente el uso de plásticos de un solo uso en México genera graves problemas, el aumento del consumo de plásticos hechos de polímeros derivados del petróleo, genera grandes toneladas de residuos que por sus características la mayoría de ellos no pueden ser degradados por el entorno, lo cual dificulta su manejo en los vertederos.

Unas de las alternativas de manejo para estos residuos es el método de incineración que se emplea en la actualidad, consiste en eliminar la mayor parte del volumen de los residuos mediante su combustión, a través de la cual se transforman los desechos en gases, cenizas y escoria, con el fin de reducir el volumen y aprovechar la energía producida en ésta (Cristán, 2003). Pero este presenta un gran problema, ya que durante la incineración se producen gases de efecto invernadero (como el CO₂) que contribuyen al calentamiento global y provocan daños severos en la salud del ser humano.

Para reducir la contaminación por plásticos habrá que implementar ciertas medidas como la innovación, un mejor diseño de productos y el desarrollo de alternativas ecológicas, la investigación a nivel de la industria del plástico se orienta más hacia los biopolímeros (almidones, proteínas, lípidos, etc.), como fuentes de materias primas renovables para la fabricación de plásticos, que sean biodegradables y minimicen la producción de residuos.

Los biopolímeros son considerados como un posible sustituto de aquellos polímeros obtenidos a partir de materiales fósiles, gracias a sus excelentes propiedades tanto físicas como mecánicas, las cuales hacen posible su aplicación en diversas áreas de investigación. Como un ejemplo específico de la obtención de un biopolímero previamente reportado en la literatura, es el caso del grano de maíz al cual se le realizaron diversos tratamientos para extraer la proteína zeína y realizar una evaluación del efecto de la variación del contenido proteico sobre las propiedades mecánicas del bioplástico elaborado a partir del entrecruzamiento con ácido oleico (Djuikom, 2012).

El grano gastado de cebada (BSG, en inglés) o bien cascarilla de cebada es uno de los principales residuos o en algunos casos desechos de la industria cervecera, el cual tiene un gran potencial para obtener productos con un alto valor agregado.

Al ser la cerveza una de las bebidas alcohólicas más consumidas en el mundo, se reconoce como una de las agroindustrias más rentables. El sector de la cerveza es el más importante dentro de las actividades agroindustriales en México (Caballero, 2010).

El BSG ha recibido poca atención para su comercialización, este residuo lignocelulósico representa alrededor del 85% del subproducto total generado (Mussatto, 2006). Es por ello que, en los últimos años, las industrias han mostrado una preocupación o se ven comprometidas a detener la contaminación que sus procesos provocan en el ambiente.

1. MARCO TEÓRICO.

1.1. Cebada.

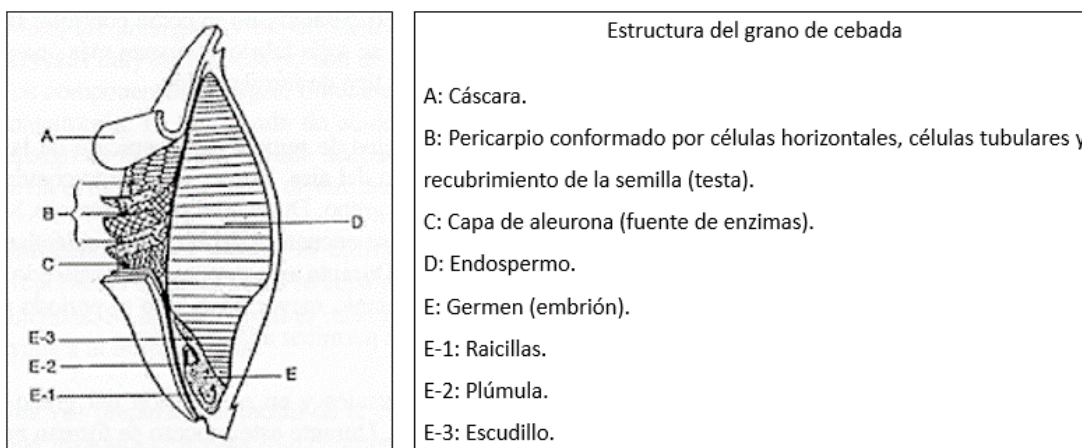
La cebada (*Hordeum Vulgare*) es uno de los granos que sirve como fuente de alimento saludable (Zannini, 2010). El uso de otros cereales como el trigo o maíz en la dieta humana tuvo como consecuencia una disminución del consumo humano de la cebada y por lo tanto el cultivo de este es principalmente para la producción de malta y como alimento para ganado. Aproximadamente el 70% de la cebada en México se destina a la industria cervecera, mientras que el 30% se utiliza para la alimentación de ganado (Caballero, 2010).

1.1.1. Partes y estructura del grano de cebada.

El grano de cebada o cariósipide consta de tres partes, cuya proporción varía según la especie; en primer lugar, se encuentra el pericarpio (7-10%) el cual protege al grano de insectos y de condiciones ambientales; le sigue el endospermo (80-85%), el cual es el depósito de alimento para la nueva planta; por último, tenemos al germen (3-8%) el cual es el responsable de generar una nueva planta al germinar la semilla. Estas tres partes están protegidas gracias a la cáscara (Ospina, 2001) (Figura 1).

La cáscara es la primera capa que protege al grano y está constituida por celulosa y lignina, esta se forma durante el desarrollo del grano y comprende la palea que lo cubre y la lemma que lo envuelve (Kent, 1994). Tiene como función tanto proteger al grano como asegurar una buena absorción del agua.

Figura 1. Estructura del grano de cebada.



Fuente: UNS, 2014.

El pericarpio y testa son capas semipermeables que se encuentra debajo de la cascarilla, ambos están formados por varias capas de células y contienen principalmente lípidos; su función primordial es impedir la pérdida de humedad, así como distribuir el agua y otros nutrientes al grano durante la germinación, pero no deja pasar ninguna sal (Serna, 1996).

El pericarpio consta de dos partes (Ospina, 2001) (Tabla 1):

Tabla 1. Partes del pericarpio en el grano de cebada.

Parte externa		Parte interna	
Epicarpio o epidermis	Forma una película constituida por una pared de células rectangulares, delgadas y largas.	Células cruzadas	Capas de dos a cuatro células de paredes delgadas y ramificadas, su función es evitar que el grano pierda humedad.
Mesocarpio	Formado por células alargadas en el sentido transversal del grano.	Células tubulares	Son células largas paralelas, no ramificadas, sirven para la distribución del agua que se absorbe a través del embrión durante el proceso de germinación.
Endocarpio	Capa constituida por células de paredes delgadas.		

Fuente: Ospina, 2001.

La aleurona en la cebada presenta una coloración azul o blanca y comprende tres capas de células, en las cuales se inicia la síntesis de la mayor parte de las enzimas del grano (Chacón, 2019).

El endospermo se localiza debajo de las capas de aleurona y es la reserva alimenticia del grano, está compuesto principalmente por almidón y en menor proporción por proteínas, sus paredes celulares están formadas por pentosas, hemicelulosa y β -glucanas, pero no por celulosa (Zavala, 2018). El almidón se encuentra en forma de gránulos insolubles en agua fría.

El germen o embrión contiene una cantidad elevada de proteína, grasas, vitaminas, azúcares (sacarosa y rafinosa) y minerales; está conformado por el eje embrionario que está integrado por la radícula y la plúmula que forma las raíces y la parte vegetativa de la planta (Ospina, 2001).

Las enzimas producidas en el germen catalizan las reacciones químicas que actúan sobre el almidón, proteínas y polímeros para su conversión en nutrientes sencillos, que implica la actividad de enzimas como α y β –amilasas, dextrinasas, proteasas y β -glucanasas (Franco y Montoya, 2020).

Por el tipo de espiga, la cebada se clasifica en: hexística o de 6 hileras y dística o de 2 hileras (Kent, 1994).

1.1.2. Malteo de cebada.

El malteo es el primer paso para la elaboración de cerveza, es indispensable, ya que transforma los almidones en glúcidos especialmente glucosa, la cual gracias a la acción de las levaduras se convertirá en alcohol y CO_2 (Zavala, 2018).

Todo este proceso consta de tres etapas: el remojo, la germinación y el secado.

1.1.2.1. Remojo.

Esta etapa tiene como objetivo hidratar el grano bajo condiciones aerobias, además de ser la etapa crítica debido a que del remojo depende en gran medida la capacidad de germinación del grano (McRuer, 1990).

El remojo consta de (Wolfgang, 1999):

- Periodos de inmersión (suministros constantes de agua). El agua ingresa al interior del grano y como resultado las enzimas se activan, ya que antes las enzimas necesarias para el malteo tienen una actividad muy reducida o se hallan aún inactivas e incluso algunas son inexistentes.
- Periodos de oxigenación (suministro de oxígeno). Este es necesario porque la respiración del embrión aumenta significativamente, por ello es de gran importancia cambiar el agua de remojo por lo menos una vez durante el tiempo de remojo.
- El remojo debe realizarse a temperatura próximas a 16°C con una duración total de 2 a 3 días; el tiempo anterior debe distribuirse de tal manera que cada 6 u 8 horas los periodos de remojo sean, sustituidos por periodos de oxigenación; a esto se le conoce como descansos de aire.

El remojo se detiene cuando el grano ha comenzado a puntear, es decir, cuando las raicillas empiezan a aparecer (Caballero, 2010).

1.1.2.2. Germinación.

Es el proceso donde empieza a tomar forma la nueva planta. Se forman raicillas y una acróspira (plúmula) (Ramos, 2006).

El objetivo es generar nutrientes, principalmente azúcares y aminoácidos mediante la modificación del endospermo, la cual ocurre por el desarrollo, distribución y acción de enzimas (Galán, 2004).

Se lleva a cabo generalmente en un tiempo de 4 a 5 días, donde se hace pasar corriente de aire húmedo a la cama de germinación que puede ser continua o intermitente.

Durante la germinación, en el embrión se desencadena un potente sistema enzimático que se transporta al endospermo y que transforman las reservas del grano (principalmente almidón) en compuestos requeridos durante la elaboración de cerveza (Callejo, 2002).

El almidón está compuesto por unidades de amilosa y amilopectina, la amilopectina supone el 75-80% del almidón, mientras la amilosa ocupa 20-25%.

En la Tabla 2 se muestran las enzimas que participan durante la germinación y la maceración.

Tabla 2. Principales enzimas presentes en la malta.

Enzima	T óptima	Sustrato	Productos de degradación
β-glucanasas	43-45°C	β -glucanos	Glucosa y oligosacáridos
Proteasas	40-60°C	Enlaces terminales de proteína	Péptidos y aminoácidos
α-amilasas	65-75°C	Almidón	Dextrinas y oligosacáridos
β-amilasas	55-65°C	Amilosa y amilopectina	Maltosa y dextrinas
α-glucosidasa	55-65°C	Oligosacáridos y maltosa	Glucosa
Pululanasa o dextrinasa límite	55-60°C	Amilopectina	Glucosa y maltosa
Pentosanasas	40-50°C	Polisacáridos no almidonosos (pentosanos)	Arabinosilanos parcialmente despolimerizados. Arabinosa y Xilosa.

Fuente: Archundia, 2014.

A medida que avanza la germinación se presenta una intensa actividad enzimática sobre la pared celular: las proteasas transforman proteínas insolubles en aminoácidos solubles y las β -glucanasas liberan glucosa, por ello el grano se vuelve suave (Reyna, 2020).

La degradación del almidón se ve facilitada por la solubilización parcial de las proteínas, así como la degradación de β -glucanos (Taylor, 1991).

Las proteínas son degradadas parcialmente por las proteasas, liberando aminoácidos. La proteólisis de los granos es importante ya que asegura la producción eficiente de enzimas durante la germinación (Palmer, 1989). Los péptidos obtenidos, se requieren para el crecimiento de las levaduras durante la fermentación (Taylor, 1991).

Como regla, el proceso se termina aproximadamente cuando la acróspira alcanza $\frac{3}{4}$ de la longitud del grano, a esta malta se le conoce como malta verde (Ramos, 2006), ésta se somete a una corriente de aire estéril a 25°C para disminuir la humedad y con ello disminuir el riesgo de desarrollo de microorganismos (Galán, 2004).

1.1.2.3. Secado.

Consiste en aplicar calor a la cebada después de la etapa de germinación con el objetivo de detener la degradación del almidón (conservar la actividad enzimática) y reducir la humedad hasta 2-5% para que la malta se pueda almacenar.

Consta de 2 etapas: en la primera se utilizan temperaturas de 55 a 60°C, hasta llegar a 12% de humedad, en la segunda se utilizan temperaturas entre 65 y 75°C para alcanzar la humedad de 4 a 5% para maltas claras y temperaturas próximas a 100°C para maltas oscuras (Caballero, 2010). La temperatura se incrementa de forma gradual con el fin de no llegar al punto de desnaturalizar las enzimas.

El principal cambio que se manifiesta durante el secado es el oscurecimiento de la malta debido a reacciones de Maillard. La reacción entre los aminoácidos y azúcares pueden seguir otras rutas químicas originando compuestos químicos como las pirazinas, tiofenoles y pirroles que dan características especiales a las maltas, como sabores típicos o tostados, café o caramelo, estas reacciones se favorecen a temperaturas por encima de 80°C (Wainwright, 1986).

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, la cual consiste en desechar la mayor parte de esta, ya que no tiene una función importante en procesos posteriores; se eliminan por abrasión, agitación y por métodos de tamizado, ésta supone de 3 a 5% del peso total de la malta (Pelembé et al., 2002).

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

1.2. Materias primas para la elaboración de cerveza.

Casi toda la cerveza de consumo masivo de todo el mundo se elabora con cuatro ingredientes fundamentales, que son: agua, malta, lúpulo y levadura (Reyna, 2020).

1.2.1. Agua.

El agua tiene distintos compuestos químicos, por lo tanto, hay varios beneficios para diferentes estilos de cerveza. El primer requerimiento para la fabricación de la cerveza es que el agua cumpla con los parámetros establecidos en la NOM-127-SSA1-1994.

El agua no debe contener cloro (Cl_2) o cloraminas (NH_2Cl), ya que afectan el sabor, sin embargo, puede ayudar a obtener colores más claros en la cerveza; generalmente el agua debe tener mínimo 50 ppm de calcio (Ca^{2+}) para mejorar el macerado, la fermentación y la clarificación de la cerveza (Palmer y Kaminski, 2013).

El agua y la malta son la principal fuente de iones en la elaboración de cerveza. El calcio promueve la actividad de la α -amilasa, ya que regula el pH, participa en la precipitación del ácido oxálico (que causa turbidez y espuma excesiva en el producto) y promueve la floculación de las levaduras (Bamforth, 2010).

La dureza temporal del agua, causada por la presencia de bicarbonatos de calcio y magnesio, es un problema en el agua cervecera, ya que cuando se hierve el mosto, el bicarbonato libera CO_2 tomando protones (H^+); este consumo de iones hidrógeno, reduce la acidez y por lo tanto eleva el pH (Hough, 1990).

Una de las formas más comunes para eliminar la dureza temporal; o bien para acidular el medio a un pH de 5-6 con el fin de favorecer la actividad amilolítica, es la adición de un ácido (frecuentemente sulfúrico) (Hornsey, 2003).

Las concentraciones adecuadas de cloruro, calcio y magnesio proporcionan ciertas ventajas como el magnesio que participa como cofactor.

1.2.2. Malta.

Se conoce como malta al grano de cereal, comúnmente cebada, que ha sido sometida a un proceso de malteo, en el cual se generan enzimas amilolíticas, que hidrolizan el almidón de la malta.

El propósito de la malta en el proceso de elaboración de cerveza es proporcionar el extracto, que es la fuente de carbohidratos durante la fermentación de la cerveza y la formación de un lecho filtrante por la cascarilla (Hough, 1990).

A través de diferentes temperaturas de secado, se obtiene una gran variedad de maltas que aportan diferentes colores, aromas y sabores a las cervezas (Figura 2).

Figura 2. Tipos de cerveza: información sobre los ingredientes empleados para su elaboración como sus características físicas.



Fuente: ABS, 2018.

1.2.2.1. Tipos de malta de cebada.

El color en la malta es posible medirlo en dos tipos de escalas, la European Brewing Convention, y la de Lovibond (°L).

Se clasifican en tres tipos de malta; malta base, malta horneada y malta quemada (Figura 3).

Figura 3. Ejemplos de tipo de maltas.



Fuente: Castro, 2016.

1.2.2.1.1. Maltas base.

Los granos de la cebada son secados u horneados a temperaturas bajas y durante tiempos cortos, por lo que cuentan con mayor actividad diastásica.

- Malta Lager: Puede ser usada para producir tanto cervezas como Ales y Lagers; tiende a ser la malta más disponible y utilizada como base para la mayoría de las cervezas del mundo.
- Malta Pale Ale: Esta malta es horneada a temperaturas más altas que la malta lager, dándole un sabor ligeramente tostado.

1.2.2.1.2. Maltas horneadas.

Estas maltas son comúnmente elaboradas mediante el incremento de la temperatura en el secado, pero también pueden ser elaboradas tostando la malta base por un periodo de tiempo en el horno.

- Malta Biscuit: Es muy tostada y ligeramente quemada, generalmente es usada en un 10% aportando un color ámbar.
- Malta Victory: Aporta destellos anaranjados al color de la cerveza y un sabor a nuez.
- Malta München: Aporta mucho sabor a malta y color ámbar.
- Malta Vienna: Es más clara y dulce que la malta München.
- Malta de Dextrina: Esta malta es poco usada y aporta poco color, debe ser macerada si es remojada, aporta muchos almidones y causa turbidez.
- Malta caramelo: Es sometida a una cocción, luego del proceso de malteado; los azúcares son caramelizados, esto tiene como resultado una cerveza más maltosa con una dulzura de caramelo.

1.2.2.1.3. Maltas quemadas.

Estas maltas aportan un sabor a café.

- Malta chocolate: Tiene un sabor amargo-dulce similar al chocolate y aporta un profundo color rubí negro.
- Malta Black Patent: Es la malta más oscura, aporta un sabor quemado, si es usada en exceso puede ser desagradable. Es muy útil para aportar color y para ponerle un límite a la dulzura si se utiliza mucha malta caramelo.

1.2.3. Lúpulo.

El lúpulo (*Humulus lupulus*) se emplea para aromatizar la cerveza y obtener el característico sabor amargo de la bebida. Pero también funciona como un conservador inhibiendo microorganismos patógenos e indeseables (García et al., 2003).

La parte útil de la planta es el cono femenino (estróbilo) que contiene aceites esenciales y resinas.

En el lúpulo seco el 15% lo constituyen las resinas, siendo las importantes las que pertenecen a la fracción de α -ácidos y β -ácidos; los aceites esenciales se encuentran en una proporción de alrededor del 0.5% del lúpulo seco, entre ellos hidrocarburos terpénicos.

Las resinas constituyen el principal componente que da amargor a la cerveza, durante la cocción del lúpulo en el mosto estas se isomerizan; los aceites esenciales son mezclas complejas, entre los cuales se encuentran hidrocarburos terpenoides, ésteres, aldehídos, cetonas, ácidos y alcoholes, que influyen tanto en sabor como aroma en la cerveza (Ibañez, 2013).

1.2.4. Levadura.

Las levaduras ampliamente usadas en la industria cervecera pertenecen al género *Saccharomyces* del que se conocen más de 30 especies (Hornsey, 2003).

Su estructura se compone por tres partes: la parte externa, que está compuesta por las manoproteínas; la parte interna, compuesta por los glucanos fibrosos asociados a la quitina y es de carácter rígido; y por último, el espacio periplásmico situado entre la pared y la membrana plasmática donde se localizan las enzimas necesarias para la célula, destacando la invertasa (importante para el crecimiento de la levadura),

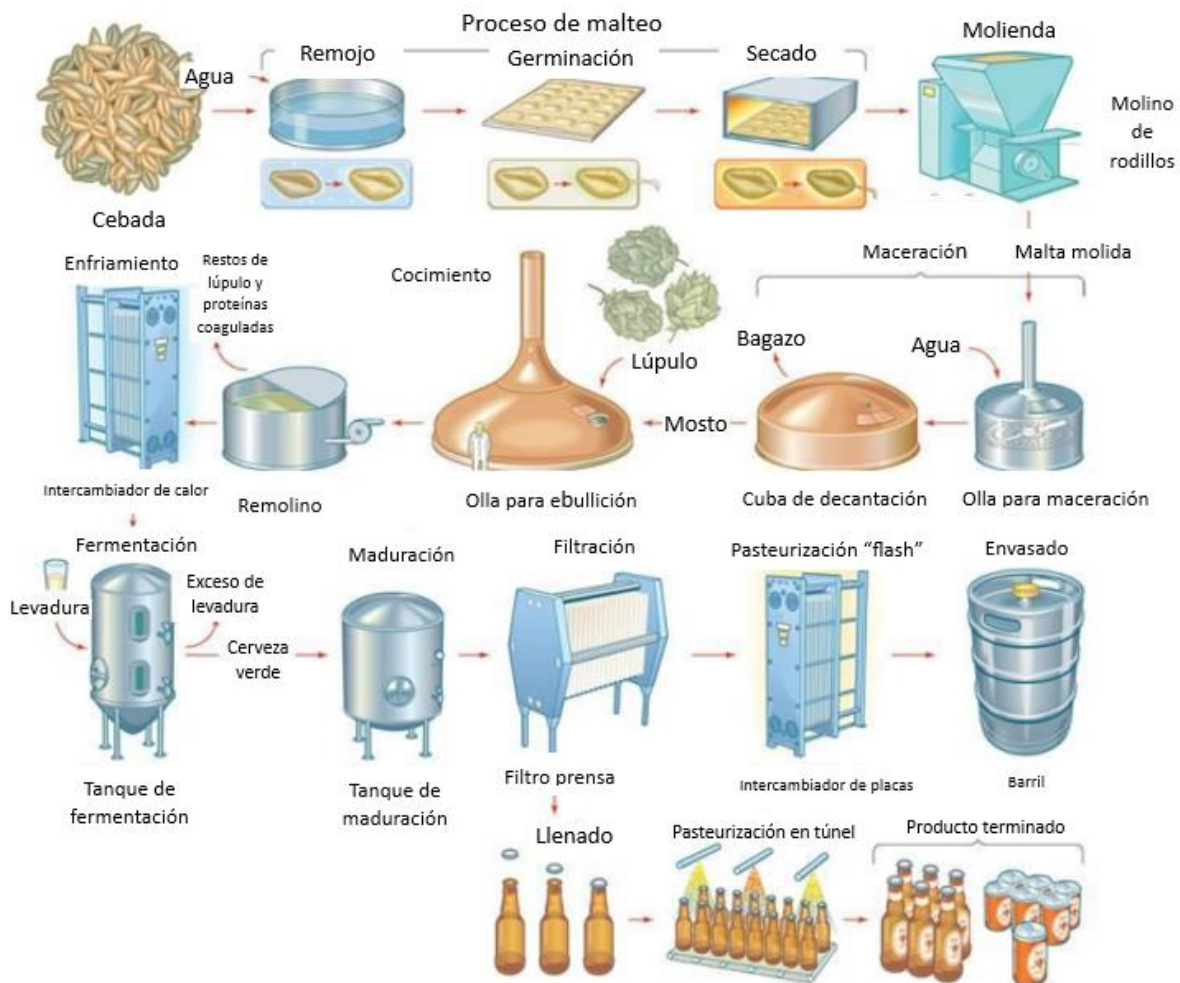
capaz de desdoblar la sacarosa en glucosa y fructuosa; también algunas β -glucanasas (Tornai y Dlauchy, 2000).

Las levaduras utilizadas en la industria cervecera inicialmente se clasificaron de acuerdo con su capacidad de floculación, las levaduras para cerveza tipo Ale tendían a aglomerarse en la parte superior del tanque de fermentación; llamadas levaduras de fermentación alta, estas se relacionaron estrechamente con la especie *Saccharomyces cerevisiae*. Por otra parte, las levaduras que durante la fermentación floculan en el fondo del tanque, se relacionaron con la especie *Saccharomyces pastorianus* (Hellborg y Piskur, 2009).

1.3. Proceso de elaboración de cerveza.

El proceso de elaboración de cerveza ha cambiado a lo largo de su historia, la tecnología hace posible obtener estilos, aromas y sabores inimaginables (Giner, 2019).

El proceso a grandes rasgos consiste en extraer azúcares a partir de cereales para su posterior fermentación con levaduras, teniendo como producto principalmente etanol y CO₂. A continuación, se describe el proceso más común para las grandes industrias (Figura 4), ya que en la producción artesanal pueden encontrarse variaciones como adición de lúpulo en etapas posteriores a la ebullición, para brindar aromas propios que no logran extraerse o se evaporan con la ebullición convencional. (Cortés, 2015).

Figura 4. Diagrama del proceso para la elaboración de cerveza a nivel industrial.

Fuente: Cortés, 2015.

1.3.1. Molienda de la malta.

El objetivo es triturar la malta, de esta manera se facilita el contacto de las enzimas y los sustratos presentes en ella (Hernández, 2003).

Existen diferentes equipos usados en la industria cervecera, pero el método más simple para controlar la trituración es pasando el grano entre cilindros rotativos (rodillos) que se encuentran acomodados en pares, dependiendo del número de rodillos se clasifican en molinos de 2, 4, 5 y 6, éstos giran a diferentes velocidades y en sentido opuesto, favoreciendo

así la obtención de partículas homogéneas y la cascarilla entera (Reyes, 2010).

La molienda ideal es la que permite la separación de la cascarilla con un mínimo de daño del endospermo, mientras este se tritura a un tamaño de partícula pequeña pero uniforme.

La cascarilla debe quedar lo más intacta posible, ya que ayuda más adelante al paso de filtración del mosto, dándole al lecho de filtración estructura y porosidad para una separación de extractos rápida y eficaz (Reyna, 2020). Si esta se encuentra de tamaño muy reducido, puede liberar más compuestos fenólicos de los deseados.

Uno de los objetivos importantes de obtener el tamaño de partícula adecuado es favorecer la actividad enzimática, ya que se tiene una mayor superficie de contacto, una mejor extracción de almidón y un mosto rico en azúcares fermentables (Serna, 1996).

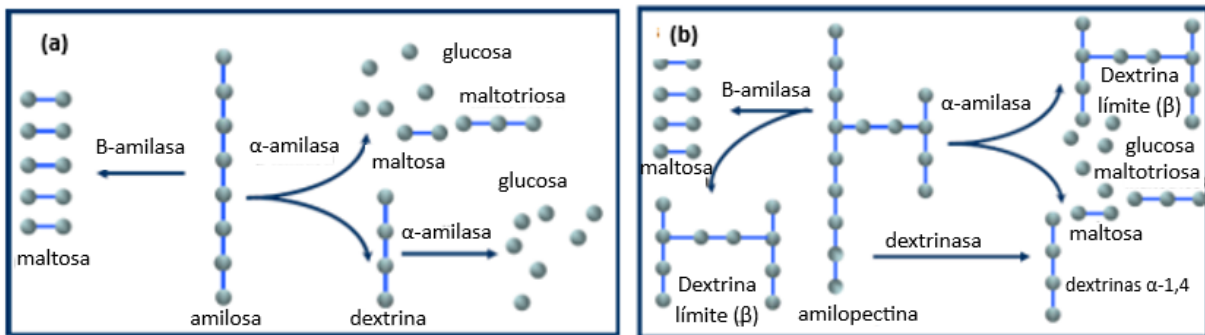
1.3.2. Maceración.

Es un proceso físico que consigue hidrolizar el almidón de la malta (presente en forma de gránulos altamente ordenados) hasta azúcares fermentables y dextrinas, las cuáles proporcionan el cuerpo de la cerveza. Cuando la malta molida se hidrata en el proceso de maceración las enzimas en la malta se activan a la temperatura óptima y se liberan para actuar sobre las proteínas o los sustratos del almidón (Mallett, 2014).

El calentamiento de los gránulos rompe el orden molecular en un proceso conocido como gelatinización, una vez que las interacciones dentro del almidón son susceptibles a la hidrólisis enzimática (Archundia, 2014). Es por ello por lo que a la malta molida se le agrega agua caliente de tal forma que la temperatura de equilibrio llegue alrededor de 65°C (infusión simple) para promover la gelatinización y degradación del almidón (Cortés, 2015).

De acuerdo con la temperatura utilizada actúan diferentes enzimas sobre el almidón. En las etapas principales de la maceración (43-60°C) actúan las proteasas y β -glucanasas, que degradan proteínas en péptidos y aminoácidos libres que serán asimilados por la levadura, disminuyendo así la viscosidad del mosto; a temperaturas más altas (60-65°C) se favorece la acción de amilasas (Figura 5). La α -amilasa es una endoenzima que hidroliza los enlaces α 1-4 de la amilosa y amilopectina, el producto son las dextrinas y oligosacáridos en menor proporción. Las β -amilasas también hidrolizan los enlaces α 1-4 pero en este caso es una exoenzima, que actúa a partir de los extremos no reductores, liberando una molécula de maltosa y dextrina (García et al., 2003).

Figura 5. Degradación enzimática (a) de amilosa (b) de amilopectina.



Fuente: Ibáñez, 2013.

Al degradar el almidón hasta maltosa, glucosa, dextrina y maltotriosa se termina la maceración y el mosto producido estará constituido por estos azúcares que serán más fáciles de fermentar (Reyes, 2010).

1.3.3. Obtención del mosto.

Una vez terminada la maceración, el mosto debe separarse de los restos de la malta, el objetivo es obtener la mayor cantidad de mosto posible,

se puede verter el contenido del macerador en otro recipiente con perforaciones en el fondo funcionando como suelo falso (Reyes, 2010).

El tamaño de partícula en el bagazo de granos depende de ciertos factores, como el tamaño de partícula de molienda y hasta qué punto la cáscara se ha mantenido íntegra (Archundia, 2014).

1.3.4. Ebullición del mosto.

El mosto se pasa a un recipiente donde se le adicionará el lúpulo y se somete a ebullición durante un periodo establecido, puede ser de una hora o más.

Los objetivos de esta operación son (García et al., 2003):

- Extraer las resinas y aceites esenciales del lúpulo.
- Inactivar las enzimas para detener la conversión excesiva del mosto.
- Coagular proteínas y favorecer las reacciones entre taninos y proteínas para la formación de compuestos insolubles que precipitan clarificando así el producto.
- Pasteurizar el mosto para evitar la presencia de microorganismos que compitan con la levadura durante la fermentación.
- Promover las reacciones de Maillard y de oxidación de compuestos fenólicos, para la formación de melanoidinas que contribuyen al color y sabor.
- Volatilizar compuestos que contienen aromas indeseables.
- Disminuir el pH por precipitación de fosfato de calcio y otros iones.
- Eliminar agua (aproximadamente el 10% de volumen) para concentrar el mosto.

La cantidad de lúpulo adicionado varía dependiendo del tipo de cerveza.

El mosto todavía caliente debe enfriarse lo más pronto posible con la finalidad de llegar a una temperatura adecuada en la cual se pueda añadir la levadura, además para evitar contaminación (Reyes, 2010).

El lúpulo agotado y el mosto se separan mediante tanques cónicos donde precipitan. El mosto se enfría a temperatura entre 6 y 15 °C lo cual provoca la precipitación de proteínas y taninos insolubles en partículas más finas que se separan por filtración o centrifugación; el mosto normalmente se oxigena mediante la inyección de aire estéril a la salida del enfriador, en algunos casos los enfriadores permiten el enfriamiento y aireación simultáneos, el mosto clarificado, enfriado y aireado se pasa al fermentador (Archundia, 2014).

1.3.5. Fermentación.

Es un proceso anaeróbico el cual convierte los carbohidratos fermentables en etanol, CO₂ y otros subproductos por acción de la levadura.

La fermentación inicia al momento de inocular el mosto, tradicionalmente la cerveza tipo Ale se fermenta con *Saccharomyces cerevisiae* a temperaturas iniciales de 15-16°C y se incrementa hasta 21-22°C; mientras que la cerveza Lager se fermenta con cepas de *Saccharomyces pastorianus* a temperaturas iniciales de 7-11°C y se incrementa hasta 10-15°C (Archundia, 2014).

La fermentación ocurre durante un lapso que va de los 3 a los 4 días, dependiendo de la composición del mosto, la cepa de levadura que se emplea y las condiciones del proceso.

El mosto es un medio rico que contiene carbohidratos asimilables, aminoácidos, sustancias nitrogenadas, sales minerales y vitaminas; la cantidad de oxígeno disuelto determinará la velocidad de multiplicación de las levaduras y a partir de los compuestos que se encuentran se formará etano, CO₂, alcohol etílico, ésteres, diacetilo y acetaldehídos. El

control de estos compuestos durante este proceso es importante para conseguir una calidad buena en el producto, ya que influyen directamente en el sabor, aroma y espuma de la cerveza (Reyes, 2010).

1.3.6. Maduración, estabilización y envasado.

Una vez que ha concluido la fermentación, la cerveza se deja reposar (madurar) a temperaturas bajas (0-4°C) desde pocos días hasta meses, la fermentación seguirá realizándose de forma mucho más lenta por las levaduras que se quedaron en suspensión (Reyes, 2010).

Este proceso permite la precipitación lenta de proteínas y complejos, así como levadura residual, confiriendo estabilidad a la claridad de la cerveza (Archundia, 2014).

Al llevarse a cabo la clarificación de la cerveza se ajusta el contenido de CO₂ en el líquido; en algunas ocasiones cuando queda alguna porción de levadura se le agrega extracto de malta o azúcar, para que siga produciendo CO₂ durante su almacenamiento, se puede transferir a botellas o a barriles de presión.

1.4. BSG o grano agotado (bagazo de cebada).

Los principales residuos de la industria cervecera son los restos de malta (conocidos como secos), el germen de malta (compuestos que son generados posteriormente del proceso de malteo de cebada), levadura y grano agotado o BSG; este último es un componente del material sólido producido a partir de la filtración del mosto antes de hervir (Cordeiro et al., 2015).

El BSG conforma el 85% del producto total generado por la industria y por lo tanto, es considerado el residuo o subproducto más importante de

este proceso; este puede ser utilizado como sustituto de plásticos de origen fósil.

Por lo general el BSG se vende o se dona para alimento de ganado, sin embargo, se descompone con facilidad por su alto contenido de nutrimentos y alta humedad (aproximadamente el 70%); su vida útil varía de 2-10 días en climas cálidos, dificultando su almacenamiento y transporte (Ikram et al., 2017).

1.4.1. Composición del BSG.

El BSG consta principalmente de la cáscara, el pericarpio y la testa, los cuales están constituidos principalmente por celulosa, polisacáridos no celulósicos (hemicelulosa), lignina, proteína, la presencia de algunos lípidos y minerales (Figura 6).

Figura 6. Composición química del BSG proveniente del proceso de elaboración de cerveza.

Composición (porcentaje en masa seca)	Kanauchi et al. (2001)	Mussatto et al (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
Arabinosilanos	21.8	28.4	No determinado

Fuente: Zavala, 2018.

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).

Este residuo es una fuente potencial de proteína y fibra, de los cuales contiene alrededor del 20% y 70% de estos componentes, respectivamente. Los componentes principalmente en los tejidos fibrosos son: hemicelulosa (incluye arabinosilanos, glucanos, mananos, galactanos y fructosanos), lignina (macromoléculas polifenólicas) y celulosa (homopolímero de unidades de glucosa). Además, contiene 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 se encuentran en concentración de 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 cisteína, histidina, isoleucina, metionina, fenilalanina y triptófano (Mussatto et al., 2006) (Figura 7).

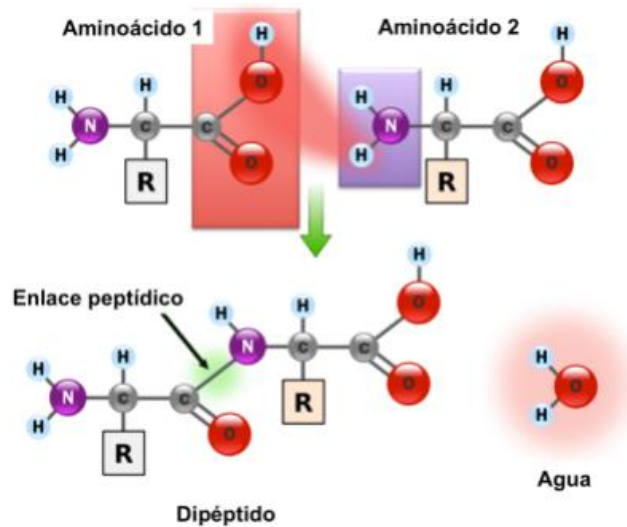
Figura 7. Aminograma del BSG.

Aminoácidos	Composición (mg/100 g BSG)
Leucina	672.4
Lisina	477.0
Valina	352.6
Fenilalanina	428.9
Tirosina	281.3
Isoleucina	302.2
Treonina	263.0
Metionina	125.8
Histidina	137.3
Arginina	483.6
Serina	442.0
4-hidroxiprolina	15.4
Glicina	582.8
Alanina	585.3
Prolina	592.5
Ácido aspártico	979.0
Ácido glutámico	810.0
Cisteína	69.7
Total	7600.9

Fuente: Qin et al., 2018.

1.4.1.1. Proteínas.

Las proteínas son estructuras formadas por cadenas polipeptídicas de altos pesos moleculares, los cuales contienen aminoácidos unidos mediante un grupo amino de un aminoácido y un grupo carboxílico de otro aminoácido (enlaces peptídicos) (Figura 8).

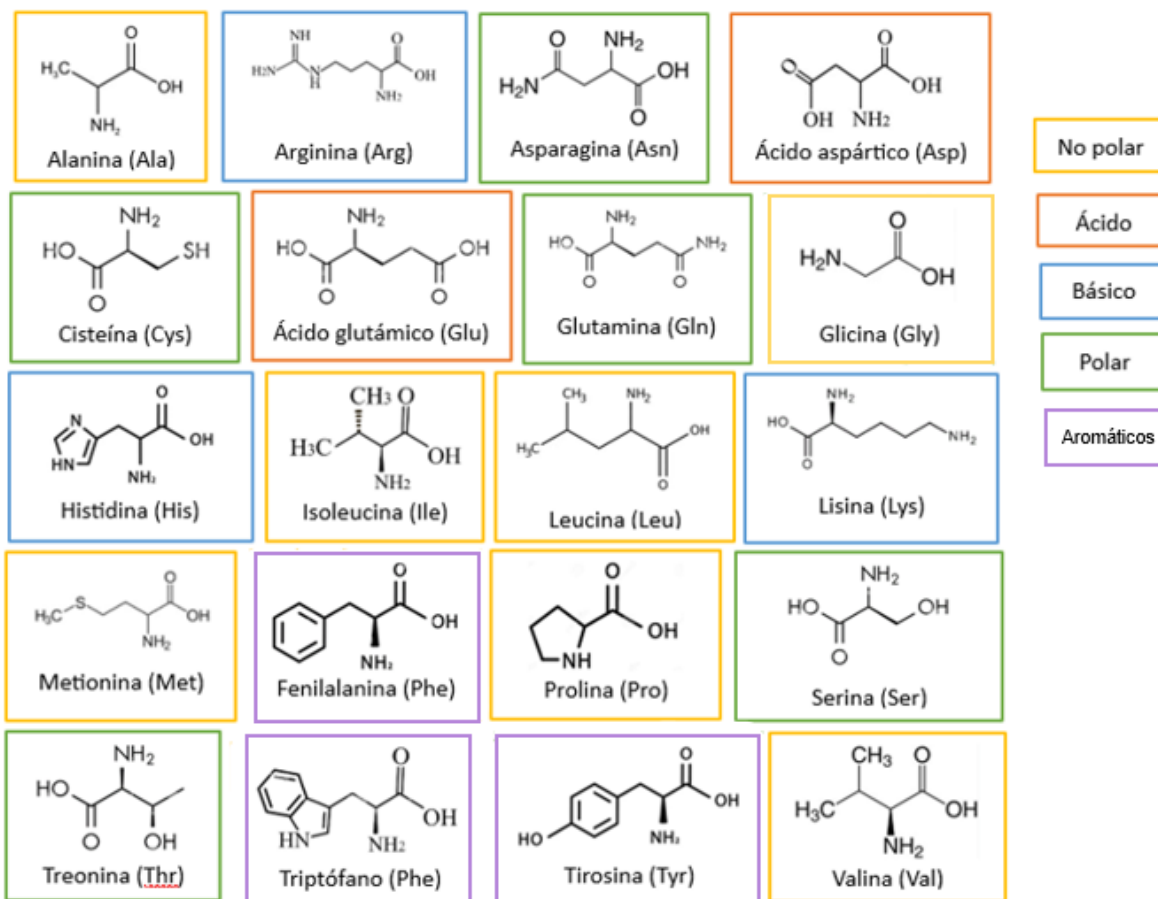
Figura 8. Formación de enlace peptídico.

Fuente: Castaños, 2015.

Los aminoácidos son clave para la formación de cientos de miles de proteínas diferentes. Los 20 aminoácidos más comunes (aminoácidos proteicos), es decir, cada una de las proteínas que contienen los seres vivos (simples o complejos) se forman por la combinación de estos, pueden dividirse en dos grupos: los esenciales y los no esenciales. Los no esenciales son sintetizados por el cuerpo humano, pero los esenciales deben ser adquiridos con los alimentos y son necesarios para el funcionamiento de las células (Parada, 2021); se clasifican de diferentes maneras, dado que sus cadenas laterales son factores importantes en las interacciones inter e intramoleculares de las proteínas (Belitz y Schieberle, 2009) (Figura 9). Pueden clasificarse como neutros no polares, neutros polares, ácidos, básicos y aromáticos.

Además, la composición de aminoácidos de las proteínas y las interacciones que pueden establecer son responsables de las propiedades de solubilidad.

Figura 9. Los aminoácidos de las proteínas y su clasificación por la cadena lateral.



Fuente: Parada, 2021.

Una de las propiedades funcionales que presentan las proteínas son sus grupos ionizables; carboxilo, amino, disulfuro y otros, los aminoácidos son capaces de desarrollar una carga positiva (+) o negativa (-) de acuerdo con el pH en el que se encuentre, es decir, su carácter anfotérico, este les confiere la capacidad de recibir y de donar electrones, esta situación hace que exista un estado químico conocido como punto isoeléctrico o de doble ion (Badui et al., 1993).

1.4.1.1.1. Proteínas presentes en el BSG.

El malteado provoca que las proteínas se degraden parcialmente en aminoácidos solubles y péptidos debido a las peptidasas endógenas del grano de cebada, sin embargo, la mayoría permanece insoluble (74-78% del total). Gracias a la solubilización del endospermo durante la maceración, el contenido de proteínas aumenta en el BSG de 10-24% en peso seco (Rommi et al., 2018).

Las proteínas del BSG están compuestas principalmente por hordeínas (prolaminas) (aproximadamente 50%), seguidos por las glutelinas en menor cantidad (35-45%), el resto se conforma por albuminas y globulinas (Riaño et al., 2021).

Las hordeínas tienen un tamaño que va desde 30 hasta 100 kDa aproximadamente y se clasifican en tres grupos: las ricas en azufre (hordeínas B y γ), las pobres en azufre (hordeínas C) y las de alto peso molecular (hordeínas D). Una característica común de los tres grupos es su solubilidad en mezclas de alcohol/agua (70%), pero varían considerablemente en otras propiedades como el peso molecular, punto isoeléctrico y composición de aminoácidos (Salgado et al., 2015).

Las hordeínas D tienen un tamaño aproximado de 100 kDa y representan menos del 10% del contenido total de la semilla. Las hordeínas C tienen un tamaño de 55-70 kDa, no contienen residuos de cisteína, por lo que no tienden a formar complejos con otras proteínas y su abundancia es del 10-20%. Las hordeínas B tienen un tamaño de 36-44 kDa, son ricas en residuos de cisteína (Cys), por lo tanto, pueden formar puentes disulfuro intra (entre residuos de Cys de la misma cadena) o intercatenarios (entre residuos de Cys de las dos cadenas diferentes) y son las más abundantes (75-80%). Las hordeínas γ son de tamaño similar a las B y contienen residuos de cisteína, pero son menos abundantes (Salgado et al., 2015).

Las hordeínas B y C consisten en repeticiones de octapéptidos (Pro-Gln-Gln-Pro-Phe-Pro-Gln-Gln) con al menos tres pentapéptidos relacionados (Pro-Gln-Gln-Pro-Tyr) (Hernández, 2015).

Las glutelinas se caracterizan por su solubilidad en ácidos débiles y álcalis diluidos. Son de cadena múltiple y peso molecular variable; contiene un gran número de glutaminas (Gln) (Esquivel, 2018).

La albumina es soluble en agua y en disoluciones salinas diluidas, mientras la globulina es soluble en soluciones salinas diluidas; contienen una cantidad elevada de lisina (Lys) y triptófano (Trp), en general las composiciones de aminoácidos esenciales están bien equilibradas en estas dos proteínas.

1.5. Extracción de proteínas.

Los métodos de extracción se eligen en función de las características de las proteínas de los residuos agrícolas a tratar, pues las proteínas vegetales presentan propiedades fisicoquímicas diversas (Contreras et al., 2019).

Una propiedad importante para la extracción de proteínas vegetales es la solubilidad. La presencia de proteínas tanto hidrofílicas como lipofílicas, da como resultado solubilidades proteicas variables en agua (Du et al., 2020).

1.5.1. Extracción alcalina de proteínas.

Es un método convencional donde se produce la ruptura de las paredes celulares vegetales con soluciones básicas para facilitar la extracción (Du et al., 2020). Es el método más común para extraer proteínas y el más respetuoso con el medio ambiente: las soluciones alcalinas pueden

romper los enlaces disulfuro, además de mejorar la solubilidad por la ionización de aminoácidos ácidos y neutros (Contreras et al., 2019).

Aunque existen ciertas desventajas como lo reporta Qin et al. (2018), donde una gran cantidad de carbohidratos y lignina se solubilizaron junto con la proteína, aunque se obtuvieron buenos rendimientos en la extracción por este método.

1.5.2. Extracción asistida por ultrasonido.

Es un método no convencional donde ondas de energía (ondas sonoras con la frecuencia de 20 kHz) conducen a la formación de burbujas de cavitación en la superficie de las paredes celulares, estas burbujas rompen las paredes y membranas de las células; como consecuencia las proteínas se liberan de la célula en el disolvente, conduciendo a buenos rendimientos de extracción (Kumar et al., 2021).

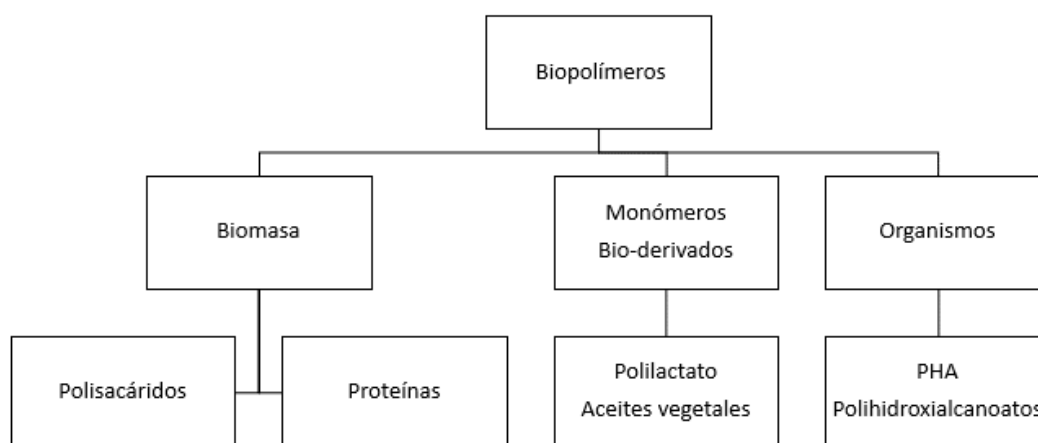
La extracción asistida por ultrasonido es una técnica rápida, rentable y puede usarse a gran escala, no requiere altas temperaturas, por lo que se puede extraer con mejores rendimientos proteínas termolábiles; sin embargo, el poder de sonicación prolongado y alto puede reducir los rendimientos de la extracción, pues los radicales hidroxilos formados estimulan la agregación de proteínas por formación de enlaces disulfuro, incluso la agitación acústica, da como resultado la desnaturalización de fracciones de proteína soluble (Kumar et al., 2021).

1.6. Biopolímeros.

Los biopolímeros basados en recursos renovables y/o biodegradables están generando un interés progresivo, no solo en la industria de los plásticos sino en la sociedad en general (San Pedro, 2017).

Los biopolímeros son polímeros presentes en los organismos vivos o sintetizados por ellos (Djuikom, 2012). Existen tres categorías de biopolímeros que pueden ser naturales (extraídos directamente de la biomasa), producidos por síntesis química convencional utilizando monómeros de recursos renovables y, por último, pueden ser producidos por microorganismos o bacterias modificadas genéticamente (Weber, 2000; Quelenis, 2008) (Figura 10).

Figura 10. Clasificación de los biopolímeros.



Fuente: Valero et al., 2013.

La cifra global de residuos plásticos aumenta año tras año; la múltiple versatilidad de este material ha ocasionado un crecimiento de su consumo y, por lo tanto, de la contaminación cada año.

Los biopolímeros, que en su mayor parte proceden de recursos, se convierten en una interesante alternativa para la industria de los plásticos (Philp et al., 2013). Estos bioplásticos pueden procesarse mediante las metodologías convencionales, como extracción, inyección o soplado (Villada y Acosta, 2007).

1.6.1. Propiedades de los biopolímeros.

Los biopolímeros tienen propiedades fisicoquímicas y termoplásticas equiparables a las de los polímeros fabricados a partir de petróleo, con la gran diferencia que una vez desechados estos biopolímeros tienden a degradarse. De aquí se derivan las grandes ventajas de sustituir el uso de plásticos de origen fósil (polímeros actuales) por biopolímeros biodegradables, lo que disminuiría notablemente la contaminación del medio ambiente (San Pedro, 2017).

Las propiedades de los bioplásticos permiten su uso para fabricar bioplásticos destinados a diferentes sectores del mercado (embalaje, automotriz y construcción) con el objetivo de sustituir a los plásticos derivados del petróleo. Actualmente, los polímeros biodegradables se utilizan principalmente para aplicaciones minoristas, como envases, bolsas o películas de plástico (Djuikom, 2012).

1.6.1.1. Biodegradabilidad.

Esta es la propiedad más importante de los biopolímeros para la industria del plástico y da como resultado la degradación del material por parte de microorganismos como bacterias, hongos y algas (De Wilde, 2003; Xiu-Li et al., 2003; Rutot, 2004), en otras palabras, es una degradación biótica que implica la acción de microorganismos, que conducen a la descomposición a nivel molecular y químico. Esto resulta en la formación de CO₂, agua (en presencia de oxígeno), CH₄ (biodegradación anaerobia) y una nueva biomasa (humus) (Djuikom, 2012).

La biodegradabilidad de la mayoría de los biopolímeros se debe a la presencia de enlaces débiles como enlaces éster y amida, dando lugar a la formación de moléculas simples y fragmentos más pequeños, asimilables por los microorganismos para su biosíntesis (Gu, 2003). En

cambio, los polímeros petroquímicos o de origen fósil como el polietileno o el polipropileno, cuyo esqueleto está formado por enlaces covalentes carbono-carbono (C-C), requiere más tiempo o la presencia de un catalizador para su degradación (Briassoulis et al., 2004).

1.6.1.2. Permeabilidad al vapor de agua.

La mayoría de los biopolímeros como el almidón, la celulosa y las proteínas son hidrofílicos, lo que les otorga propiedades de permeabilidad al vapor. Estas propiedades se deben en particular a la presencia de grupos funcionales polares hidroxilo y/o amina que tienen una alta reactividad con el agua por la formación de puentes de hidrógeno (Auras et al., 2004).

La permeabilidad al vapor de agua podría ser una desventaja para el envasado de alimentos de productos que no pueden estar en un lugar demasiado húmedo, por otra parte, esta propiedad es ventajosa para el envasado de productos frescos ya que, al evitar la condensación se alargará la vida útil de los productos (Petersen et al., 1999).

1.6.1.3. Biocompatibilidad.

Un material biocompatible es un material que es capaz de llevar a cabo una función con una respuesta adecuada y sin efectos indeseables en el entorno biológico en el que debe operar.

1.6.1.4. Propiedades químicas.

La presencia de grupos funcionales en las moléculas les confiere propiedades y facilidades particulares para reaccionar con otras

moléculas, su reactividad se debe a la presencia de estos, tales como alcoholes, ácidos, aminos o aldehídos que reaccionan fácilmente gracias a su sitio nucleofílico y electrofílico (Kumar, 2002; Okada, 2002; Van Dam, 2005). Además, se puede utilizar estos grupos funcionales para desarrollar nuevos materiales o para modificar las propiedades físicas y mecánicas de los biopolímeros, así como sus aplicaciones (Djuikom, 2012).

1.7. Biopolímeros a base de proteínas.

Entre los biopolímeros derivados de materias primas renovables, las proteínas son adecuadas para la fabricación de plásticos para envases, debido a sus excelentes propiedades de barrera a los gases (O_2 y CO_2), su insolubilidad en agua y sus propiedades mecánicas cercanas al poliestireno o al cloruro de polivinilo (Weber, 2000).

Sin embargo, las propiedades mecánicas y de los gases están influenciadas por la humedad relativa debido a su naturaleza hidrofílica. La sensibilidad a la humedad relativa de los plásticos a base de proteínas se puede solucionar incorporando compuestos de naturaleza lipídica (ceras de abeja, parafinas etc.) (Rouilly y Rigal, 2002).

Además, los envases a base de proteína son comestibles si contienen sólo sustancias comestibles en su formulación. En su mayoría están destinados al envasado de alimentos y medicamentos (Djuikom, 2012).

Debido a la presencia de puentes disulfuro entre los residuos de cisteína, las proteínas están más cercanas a los elastómeros que de los verdaderos termoplásticos, pero la diferencia con las proteínas es que están fuertemente estabilizadas por enlaces de hidrógeno (Oudet, 1994).

1.7.1. Procesos para la elaboración de biopolímeros con proteínas.

Se pueden usar dos tipos de procesos, el llamado proceso seco que se basa en las propiedades termoplásticas de las proteínas en condiciones de baja humedad, requiere plastificación y tratamiento térmico del material por encima de la temperatura de transición vítrea (Cuq, 1996; Guilbert y Biquet, 1989); el segundo proceso es llamado húmedo, se basa en la dispersión o solubilización de proteínas, esta solución se esparce en una capa delgada de moldes y se elimina el solvente, ya sea por precipitación o cambio de fase bajo el efecto de cambio en las condiciones del solvente (polaridad, cambio del pH, adición de electrolitos), tratamientos térmicos (calentamiento) o eliminación del solvente (secado).

Este último, tiene muchas ventajas, como el bajo costo de equipos, herramientas y moldes; sin embargo, la baja tasa de producción debido al alto tiempo de ciclo, la humedad y las burbujas de aire pueden ser una problemática (Richardson y Lokensgard, 1997).

Para la formulación de un material plástico a base de proteínas requiere el uso de un agente plastificante, este normalmente es líquido y de viscosidad mayor a la del agua, con el fin de mejorar la flexibilidad del material mediante la reducción de las fuerzas intermoleculares, el efecto plastificante puede ser dado por sustancias como: agua, alcoholes, aldehídos, cetonas, ácidos orgánicos, aminas, ésteres, amidas y mezclas entre ellos, pero se prefiere usar plastificantes cuya presión de vapor sea baja para evitar que este se volatilice en el proceso de calentamiento. La adición de plastificantes disminuye la temperatura de fusión y la temperatura de transición vítrea, cambiando su comportamiento reológico debido a que logra movilizar moléculas, dando plasticidad al material (Ruiz, 2019).

En general, la acción de un plastificante consiste en insertarse entre las cadenas del polímero e interactuar con las fuerzas intermoleculares que unen las cadenas (Entwistle y Rowe, 1978).

Sin embargo, en la formulación del material, se puede agregar un agente reticulante, para mejorar la resistencia al agua, la cohesión, resistencia mecánica y las propiedades de barrera de los materiales (Marquie et al, 1995).

1.7.2. Propiedades mecánicas.

Las propiedades mecánicas dependen en gran medida de las interacciones intramoleculares e intermoleculares de la proteína, pero también de las posibles interacciones con los demás constituyentes (Chou, 1973). Entre las muchas propiedades mecánicas de los materiales plásticos, las propiedades de tracción se consideran, evalúan y utilizan con mayor frecuencia en toda la industria. El ensayo de tracción mecánica es el método más sencillo para evaluar la resistencia mecánica de un material sólido, este ensayo consiste en someter una muestra homogénea de sección regular a una deformación unidireccional a velocidad constante (Richardson y Lokensgard, 1997).

Existe otro tipo de ensayo técnico para determinar la resistencia de un material, es el ensayo de compresión, este consiste en someter una muestra homogénea a una compresión longitudinal; al comprimir las muestras entre las superficies planas de la máquina de ensayo se supone corrientemente que la fuerza compresora se distribuye uniformemente sobre la sección, la unidad de este ensayo esta expresada en Pascales (Pa). (Saldívar, 1998).

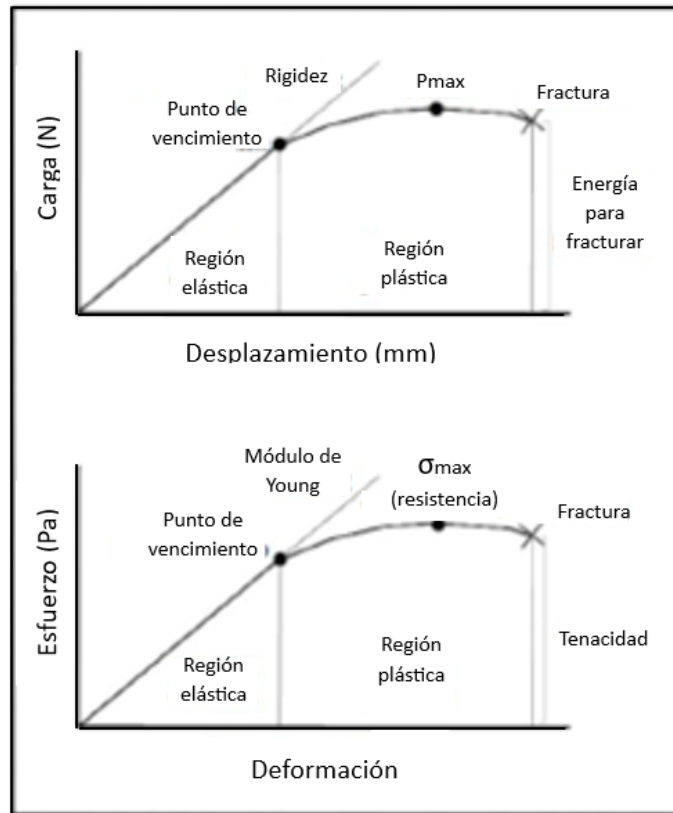
Los parámetros más comunes para evaluar el control de calidad, diseño estructural, modelado y análisis de fallas en los bioplásticos son la tensión máxima, deformación en falla y módulo de Young o elasticidad.

El estrés es la intensidad en un punto de un cuerpo, de las fuerzas internas que actúan sobre un plano unitario de superficie que pasa por ese punto. La unidad de tensión es el Pascal (Pa). Por otro lado, la deformación es el cambio de longitud de un cuerpo, causado por una fuerza, por unidad de su longitud original. Se expresa en porcentaje (%). Finalmente, el módulo de Young es la relación entre la tensión aplicada y la deformación correspondiente en la sección lineal de la curva tensión-deformación. Se expresa en Pascales (Pa) (Djuikom, 2012).

Para la mayoría de los materiales, los diagramas esfuerzo-deformación que se obtienen mediante comprensión son razonablemente iguales a los que se obtienen en tensión. Por otra parte, estos diagramas presentan una variación considerable después del punto de fluencia del material. Para el caso de compresión la curva se eleva ya que requiere de una fuerza extra para hacer fluir el material que hace contacto con las placas de compresión, esta fuerza varía en función del acabado superficial entre la muestra (probeta) y las placas compresoras o lo que es lo mismo, depende de la fricción existente, situación que no prevalece en el ensayo de tracción: sin embargo, en la región elástica las propiedades mecánicas que se obtienen son iguales ya que el módulo de elasticidad y el punto de fluencia para un mismo material no varía, ya sea que se comprima o se someta a tensión (Saldívar, 1998).

Cuando se realiza un ensayo mecánico sobre un objeto se obtiene una curva carga-desplazamiento, que define la deformación total del objeto en la dirección de aplicación de la fuerza. La curva carga-desplazamiento se usa para medir la resistencia y la rigidez de una estructura. La carga y el desplazamiento pueden normalizarse como esfuerzo y deformación respectivamente utilizando las dimensiones del objeto (Guede et al., 2013).

Figura 11. Curva carga-desplazamiento (arriba) y curva esfuerzo-deformación (abajo) tras la normalización de la primera empleado las dimensiones del objeto ensayado.



Fuente: Guede et al., 2013.

El esfuerzo (σ) es la resistencia interna de un objeto a una fuerza que actúa sobre él y se mide en pascales (Pa) siendo 1 Pa una fuerza de 1 N distribuida en una superficie de 1 m². En ocasiones, al someter un cuerpo a la acción de una fuerza, el cuerpo es capaz de devolver toda la energía empleada en deformarlo una vez cesa dicha fuerza (comportamiento elástico). Sin embargo, en algunas circunstancias esto no es posible, resultado irreversible la deformación sufrida (comportamiento plástico). De la curva esfuerzo-deformación podemos obtener gran cantidad de información sobre las propiedades del material. Se distingue una primera región en la que el esfuerzo y deformación son proporcionales (región lineal de la curva), que corresponde a la región elástica, en la cual se cumple la ley de elasticidad de Hooke) y otra región en la que no se

recupera la forma original del objeto, aunque deje de aplicarse la carga (zona plástica o de deformación irreversible). El punto de transición entre la región elástica y la región plástica se denomina punto de vencimiento o cesión, que corresponde con la deformación de vencimiento (ϵ_y) y con el esfuerzo de vencimiento o resistencia elástica máxima (σ_y), que estima la capacidad de un material de deformarse sin sufrir microfracturas. En la región plástica aparece el punto que corresponde con el esfuerzo máximo (σ_{max}) (Guede et al., 2013).

2. OBJETIVO GENERAL

Obtener un biopolímero a partir del grano gastado de cebada (BSG).

3. OBJETIVOS PARTICULARES

- Determinar la fibra total presente en el BSG por medio del método Van Soest-Wine.
- Determinar las condiciones de temperatura y concentración de hidróxido de sodio (NaOH) para la extracción de la fracción proteica del BSG por el método convencional y no convencional.
- Establecer una formulación para producir un biopolímero con características similares a los cubiertos realizados de poliestireno (PS).
- Realizar una prueba mecánica al biopolímero obtenido de la formulación con la proteína extraída del BSG.

4. HIPÓTESIS

Se espera obtener un biopolímero a partir del grano gastado de cebada con características similares a las de un polímero empleado en productos plásticos.

5. MATERIALES Y EQUIPOS

Los dos tipos de BSG empleados fueron donados por el QFB. Agustín Reyó Herrera, de la planta piloto de cerveza ubicada en el Laboratorio de Ingeniería Química en la Facultad de Química de la UNAM; la malta empleada para el proceso de elaboración de cerveza fue donada por Grupo Modelo en el año 2009.

- Vórtex (Heathrow Scientific Vortexer)
- Tamiz malla 20
- Molino de café (Electric Grinder)
- Balanza analítica (OHAUS Adventurer Pro AV264C)
- Balanza analítica (OHAUS Scout Pro SP2001)
- Matraces de bola de 100 mL
- Espátula
- Probeta de 10, 100 y 1000 mL
- Parrilla de calentamiento y agitación magnética (Thermo Scientific)
- Condensador recto de 30 cm
- Crisoles de vidrio de 30 mL
- Horno de convección forzada (Lindberg/blue)
- Matraz Kitazato de 1000 mL
- Embudo Buchner de porcelana
- Desecador
- Termómetro digital (Agrotech)
- Crisol de porcelana de 50 mL
- Mufla (Thermolyne)
- Tubos de ensaye de 13 x 100 mL
- Gradilla
- Espectrofotómetro UV-Vis (Cole-Parmer)
- Matraz volumétrico aforado de 25 y 100 mL
- Vasos de precipitado de 10, 50, 100 y 1000 mL
- Pipetas automáticas de 10-100, 20-200 y 100-1000 μ L
- Celdas de cuarzo y plástico
- Baño de ultrasonido (Digital Ultrasonic Cleaner JPS-20A)
- Matraz redondo de 6 L con 3 bocas
- Centrifuga industrial (Westfalia Separator LWA 205)
- Centrifuga (Zenith Lab 800D)
- Mantilla de calentamiento (NanBei)
- Agitador mecánico (Sev-Prendo)
- Termobalanza (AND MF-50)
- Prensa hidráulica manual

5.1. Reactivos.

- Permanganato de potasio
- Solución desmineralizante
- Detergente neutro (NDF)
- Detergente ácido (ADF)
- Albúmina sérica bovina (ASB)
- Reactivo de Bradford (Sigma B6916)
- Hidróxido de sodio (Farmacia Paris)
- Ácido acético glacial (Sigma 695092)
- Lecitina de soya (Droguería Cosmopolita)
- Alcohol etílico 70% (Protec) (Reactivos Meyer)
- Aceite de oliva (Farmacia Paris)

6. METODOLOGÍA

6.1. Acondicionamiento del BSG.

El BSG donado fue sometido a un proceso de secado por medio de un horno de convección forzada a 60°C y almacenado en una bodega a temperatura ambiente hasta su uso (Figura 12).



Figura 12. Foto del BSG donado (a) BSG a partir de malta caramelo (b) BSG a partir de malta chocolate.

6.1.1. Trituración y tamizado del BSG.

El tamizado es un método de separación de partículas, establecido por la diferencia de tamaño, en la industria se vierten los sólidos sobre una superficie perforada o tamiz, que deja pasar las partículas pequeñas (finos) y retiene las de tamaño superior (rechazos) (San Pedro, 2017).

Para este proceso se trituró el BSG con ayuda de un molino de café (Electric Grinder), teniendo pequeños intervalos de molienda para evitar la degradación de las proteínas presentes, debido a el calentamiento que se genera por la fricción de las aspas. Posteriormente se tamizó con un tamiz de malla 20 (Figura 13).



Figura 13. Finos obtenidos del BSG con tamiz malla 20.

6.2. Análisis de humedad.

La humedad de los BSG se determinó con ayuda de la termobalanza (AND MF-50), en la cual la muestra se calienta manteniendo la temperatura constante en 105°C; de manera automática se mide la pérdida de peso por evaporación del agua y se registra el porcentaje de humedad en la muestra (Nielsen, 2017).

Se agregaron aproximadamente 5 g de muestra por triplicado para cada tipo de BSG en la charola de aluminio de la termobalanza, posteriormente se activó el equipo para realizar la determinación, el cual nos proporciona el porcentaje de humedad final de cada muestra (Figura 14).



Figura 14. Análisis de humedad para el BSG.

6.3. Método Van Soest-Wine modificado para fibra total.

El método consiste en cuantificar las diferentes fracciones de fibra (celulosa, hemicelulosa y lignina), mediante la extracción con detergente neutro (NDF) y detergente ácido (ADF), la oxidación de la lignina se realizó con permanganato de potasio (KMnO_4) como lo muestra la Figura 15.

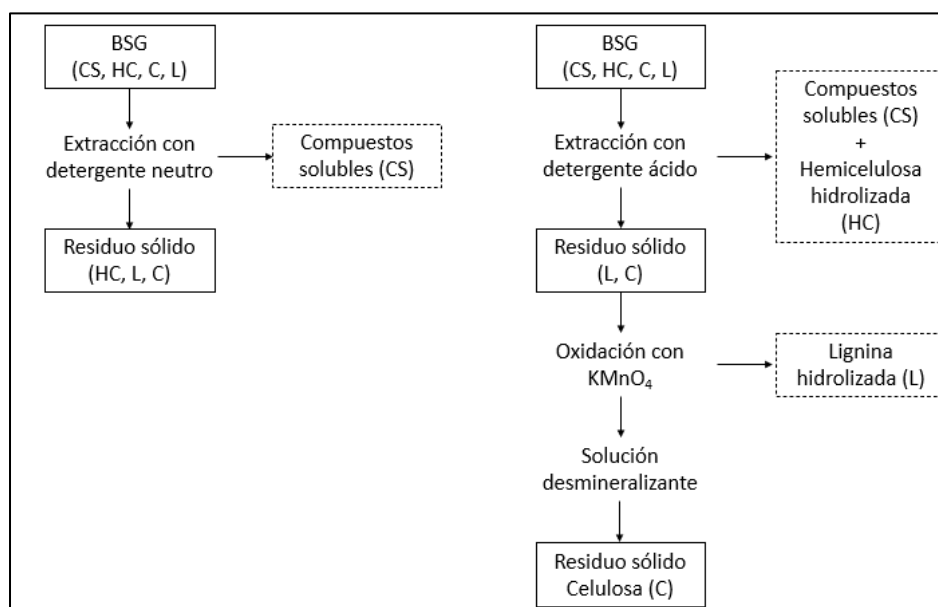


Figura 15. Método Van Soest-Wine modificado para BSG.

Este método se llevó a cabo por duplicado para cada BSG, para ello se pesaron 0.25 g de BSG y se mezclaron con 25 mL de NDF en un matraz de bola de 100 mL (relación sólido-líquido 1:100), se calentó a reflujo por 1 hora (aproximadamente a una temperatura entre 100-110°C). Al concluir el tiempo se filtraron las muestras a vacío realizando lavados con agua destilada caliente en un crisol de vidrio de 30 mL. Al término de la filtración se secó el crisol en el horno de convección forzada (Lindberg/blue) a 105°C durante 30 minutos, posteriormente se dejó el crisol en el desecador durante 20 minutos y se pesó.

La extracción con ADF se realizó por duplicado, siguiendo la misma metodología que la extracción con NDF.

En la oxidación con KMnO_4 , se pesaron los crisoles obtenidos del tratamiento con ADF, a estos se le agregaron pequeños volúmenes de una disolución saturada de KMnO_4 , los cuales se dejaron reaccionar por 45 minutos, posteriormente se filtraron y se añadió una solución desmineralizante a cada crisol con el fin de retirar los minerales remanentes de la muestra como los residuos del agente oxidante y exponer las fibras de color blanco de celulosa; se filtró nuevamente realizando tres lavados con este, se dejaron secar los crisoles en el horno de convección forzada (Lindberg/blue) a 80°C durante 30 minutos, posteriormente se dejó el crisol en el desecador durante 20 minutos y se pesó.

6.4. Análisis de ceniza.

Las cenizas son los residuos inorgánicos que quedan después de la ignición o la oxidación completa de la materia orgánica en una muestra; para determinar el contenido de ceniza por incineración seca se calcina la muestra a temperaturas elevadas ($500\text{-}600^\circ\text{C}$), lo que genera que el agua y los componentes volátiles se evaporen, mientras la materia orgánica se quema en presencia de oxígeno convirtiéndose en CO_2 y óxidos de nitrógeno.

Para este análisis se pesaron de 0.1 g a 0.4 g de muestra por duplicado para cada BSG en un crisol de porcelana de 50 mL, los cuales se ingresaron a una mufla (Thermolyne) a 600°C durante 1 hora, al término del tiempo los crisoles se introdujeron al desecador durante 20 minutos y se pesaron para el cálculo de porcentaje de cenizas (Figura 16).



Figura 16. Producto de la incineración del BSG.

6.5. Análisis de proteína.

El método descrito por el Dr. Mario Bradford en 1976 se basa en una reacción colorimétrica para la determinación del contenido de proteína presente en una muestra, donde el colorante Coomassie Azul Brillante G-250 está contenido en una solución ácida (reactivo de Bradford), los residuos de aminoácidos (principalmente arginina) de las proteínas se unen al colorante en el medio ácido induciendo un cambio de color marrón (absorbancia máxima a 465 nm) a azul (absorbancia máxima a 595 nm). Las interacciones hidrófobas e iónicas con las proteínas de la muestra estabilizan la forma aniónica del colorante provocado así un cambio de color visible.

Por lo tanto, la determinación de proteína consiste en la cuantificación de la unión del colorante Coomassie Azul Brillante G-250 a la proteína comparando esta unión con la de diferentes cantidades de proteína estándar (Albúmina Sérica Bovina (ASB)), la cuantificación se hace midiendo la absorbancia en un espectrofotómetro, a 595 nm, y graficando la absorbancia vs la concentración de proteínas, obteniendo una curva de calibración de la proteína estándar.

Para la preparación de la curva de calibración se pesaron 5 mg de ASB y se le agregaron 5 mL de agua destilada para obtener una solución de ASB de 1 mg/mL, se agitó con la ayuda del Vórtex (Heathrow Scientific

Vortexer), posteriormente se tomaron alícuotas de 200, 400, 600 y 800 μL y se llevaron a un volumen final de 1 mL con agua destilada, para obtener concentraciones de 0.2, 0.4, 0.6 y 0.8 mg/mL respectivamente. En el caso del reactivo de Bradford se preparó de acuerdo con las instrucciones del fabricante, a cada 100 μL de muestra se le agregó 5 mL de reactivo de Bradford, se esperaron 5 minutos para que se llevara a cabo la reacción y se midió la absorbancia a 595 nm con ayuda del espectrofotómetro UV-Vis (Cole-Parmer).

6.5.1. Tratamiento alcalino.

En el tratamiento alcalino se realizaron un total de 24 determinaciones, variando la concentración de NaOH (0.01, 0.05, 0.1 y 0.15 M) y la temperatura de reacción (23, 50 y 70°C), la mitad de ellos corresponde al BSG a partir de malta caramelo, mientras que la otra pertenece al BSG a partir de malta chocolate, para ello se realizó un proceso similar al reportado por González Contreras (2023), se pesaron aproximadamente 250 mg de la muestra de BSG y se agregaron 10 mL de NaOH (relación sólido-líquido 1:40) en un matraz de bola de 100 mL se agitó y calentó con ayuda de la parrilla (Thermo Scientific) durante 4 horas (Figura 17), al concluir el tiempo se realizó una filtración rápida, el filtrado se neutralizó con ácido acético 0.2 M, posteriormente se realizó una dilución 1:1 para medir la lectura en el espectrofotómetro UV-Vis (Cole-Parmer).



Figura 17. Equipo para tratamiento alcalino.

6.5.2. Tratamiento alcalino asistido por ultrasonido.

Se realizó un diseño experimental 3^2 factorial variando la concentración de NaOH (0.025, 0.05 y 0.075 M) y el tiempo de reacción (20, 25 y 30 minutos) para los dos tipos de BSG, para ello se pesó 5 g de la muestra de BSG y se agregaron 500 mL de NaOH (relación sólido-líquido 1:100) a el baño de ultrasonido de 60 W con una frecuencia de 40 kHz con una temperatura de 50°C, al concluir el tiempo se realizó una filtración rápida al extracto alcalino, el filtrado se neutralizó con ácido acético 0.2 M, posteriormente se realizó una dilución 1:1 para medir la lectura en el espectrofotómetro UV-Vis (Cole-Parmer).

6.6. Precipitación de proteína.

Para la elección de temperatura y concentración de NaOH se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de dos factores. Se seleccionó al BSG a

partir de malta caramelo para proceder a la extracción de la proteína ya que está contenía un mayor porcentaje de esta (m/m).

Se realizaron un total de 3 tratamientos alcalinos variando la concentración de NaOH (0.05, 0.075 y 0.1 M) y dejando fija la temperatura a 50°C, para ello se pesaron 500 mg de la muestra de BSG a partir de malta caramelo y se agregaron 20 mL de NaOH (relación sólido-líquido 1:40) en un matraz de bola de 100 mL se agitó y calentó con ayuda de la parrilla (Thermo Scientific) durante 4 horas, al concluir el tiempo se realizó una filtración rápida, el filtrado se llevó a pH ácido (pH 4) utilizando ácido acético 0.2 M con la finalidad de llevar a las proteínas al punto isoeléctrico y precipitarlas; posteriormente se separó la proteína con ayuda de una centrífuga (Zenith Lab 800D), se filtró a vacío para obtener el porcentaje de proteína extraída, el papel filtro con el aislado de proteína se secó a temperatura ambiente en el horno de convección forzada (Lindberg/blue) (Figura 18).

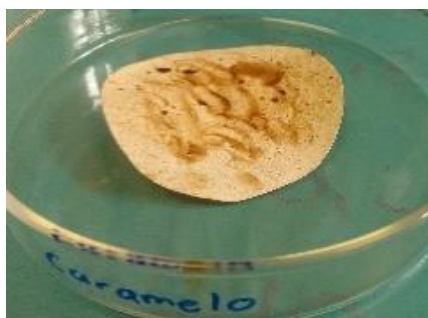


Figura 18. Papel filtro con proteína aislada obtenida del tratamiento alcalino con BSG a partir de malta caramelo.

6.7. Extracción de proteína a mayor escala.

Se realizaron un total de 9 lotes utilizando el método alcalino con un tiempo de reacción de 4 horas, para ello se agregó 3 L de NaOH a una concentración de 0.075 M en un matraz redondo de 6 L con 3 bocas, se calentó con la mantilla de calentamiento (NanBei) a 50°C se agregaron

75 g de BSG a partir de malta caramelo al matraz con agitación mecánica a 54 rpm (Figura 19). Al terminar el tiempo se realizó una filtración rápida con una tela (manta cielo) para separar los residuos de fibra y lixiviado, el filtrado se llevó a pH ácido (pH 4) utilizando ácido acético 0.2 M, posteriormente se separó la proteína con ayuda de una centrifuga industrial (Westfalia Separator LWA 205) a 12 000 rpm, el aislado de proteína obtenido fue secado a temperatura ambiente en el horno de convección forzada (Lindberg/blue).



Figura 19. Equipo para tratamiento alcalino a mayor escala.

6.8. Formulación para la elaboración de biopolímero.

Se realizaron 9 formulaciones empleando harina de pescado, fécula de papa con aislado de proteína vegetal y soya, teniendo como disolvente alcohol etílico absoluto y alcohol etílico al 70 %, con aceite de oliva y lecitina de soya. Con la finalidad de observar el aspecto físico y compararlo con cubiertos comerciales realizados de polipropileno (PP) y poliestireno (PS).

Para las formulaciones se tomó como base la descrita por Djuikom Noutsu (2012) para la elaboración de un bioplástico con proteína zeína empleando como plastificante ácido oleico (16.16% de zeína, 75.76% de alcohol etílico al 70 % y 8.08% de ácido oleico).

6.8.1. Elaboración de biopolímero.

Se seleccionó la formulación que obtuvo un aspecto físico similar a los cubiertos realizados con poliestireno (PS) y una mejor resistencia a la ruptura; para ello se disolvieron 8 g de aislado de proteína en 30 mL de alcohol etílico al 70 %, previamente calentado a 75°C durante 30 minutos, al concluir el tiempo se realizó una filtración rápida (para eliminar cualquier remanente), el filtrado se llevó a pH ácido (pH 4) utilizando AcOH 0.2 M, posteriormente se añadió 2 mL de ácido oleico y 2.5 g lecitina de soya (estabilizante) y se calentó a 80°C con ayuda de la parrilla (Thermo Scientific) durante 30 minutos. Finalmente, la solución se vertió en moldes de silicón con forma de cubierto y se dejó secar a temperatura ambiente durante una semana.

6.9. Propiedades mecánicas.

A los 3 cubiertos obtenidos con dimensiones de 9.5 cm x 2 cm x 1 cm se les realizó una prueba mecánica de compresión con ayuda de una prensa hidráulica manual; se utilizó una placa transparente con un orificio (11.5 cm x 8.5 cm x 2 cm) para medir el desplazamiento que tendría el cubierto al ejercer presión en el punto de unión del mango con la parte cóncava de la cuchara con ayuda de un cilindro de longitud de 32.2 mm y radio de 3.2 mm. Con la finalidad de obtener el diagrama fuerza-desplazamiento y esfuerzo-deformación.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Análisis de humedad.

Debido a que los BSG empleados fueron secados antes de su almacenamiento, fue posible utilizar el método de secado en la termobalanza y determinar la humedad, la cual es relativamente baja para los dos tipos de BSG (6.52% para el BSG a partir de malta caramelo y 6.18% para el BSG a partir de malta chocolate) como lo muestra la Tabla 3 y Tabla 4.

Tabla 3. Análisis de humedad para BSG a partir de malta chocolate.

Masa de la muestra húmeda (g)	Masa de la muestra seca (g)	% Humedad	Promedio % Humedad	Varianza	Desv. Estándar	%CV
4.424	4.132	6.60	6.52	0.05	0.22	3.42
4.404	4.128	6.27				
4.484	4.184	6.70				

Tabla 4. Análisis de humedad para BSG a partir de malta caramelo.

Masa de la muestra húmeda (g)	Masa de la muestra seca (g)	% Humedad	Promedio % Humedad	Varianza	Desv. Estándar	%CV
4.460	4.176	6.37	6.18	0.03	0.17	2.71
4.380	4.114	6.07				
4.372	4.106	6.08				

El %CV de los dos tipos de BSG es bajo, por lo que los resultados obtenidos son homogéneos; es decir tienen poca variabilidad.

7.2. Análisis de fibra total.

Los porcentajes de cada tratamiento mostrados en la Tabla 5 y Tabla 6 se obtuvieron como se muestra en el APÉNDICE A.

Tabla 5. Análisis de fibra total para BSG a partir de malta chocolate.

Extracción con detergente neutro.								
Masa de la muestra (g)	Masa del crisol (g)	Masa del crisol con residuo (g)	Masa del residuo (g)	% Fibra neutra	Promedio %Fibra neutra	Varianza	Desv. Estándar	%CV
0.3075	48.2673	48.3984	0.1311	45.61	45.91	0.19	0.43	0.95
0.3099	50.4584	50.5923	0.1339	46.22				
Extracción con detergente ácido.								
Masa de la muestra (g)	Masa del crisol (g)	Masa del crisol con residuo (g)	Masa del residuo (g)	% Fibra ácida	Promedio %Fibra ácida	Varianza	Desv. Estándar	%CV
0.3058	52.3964	52.4439	0.0475	16.62	16.32	0.17	0.42	2.55
0.3050	50.5874	50.6331	0.0457	16.03				
Extracción con KMnO₄.								
Masa de la muestra (g)	Masa del crisol (g)	Masa del crisol con residuo (g)	Masa del residuo (g)	% Celulosa	Promedio %Celulosa	Varianza	Desv. Estándar	%CV
0.3058	52.4439	52.4329	0.0110	3.85	3.63	0.1	0.32	8.70
0.3050	50.6331	50.6234	0.0097	3.40				

%lignina	%hemicelulosa
12.70	29.59

Tabla 6. Análisis de fibra total para BSG a partir de malta caramelo.

Extracción con detergente neutro.								
Masa de la muestra (g)	Masa del crisol (g)	Masa del crisol con residuo (g)	Masa del residuo (g)	% Fibra neutra	Promedio %Fibra neutra	Varianza	Desv. Estándar	%CV
0.2555	41.0842	41.2596	0.1754	73.17	72.41	1.15	1.07	1.48
0.2508	41.0595	41.2281	0.1686	71.65				
Extracción con detergente ácido.								
Masa de la muestra (g)	Masa del crisol (g)	Masa del crisol con residuo (g)	Masa del residuo (g)	% Fibra ácida	Promedio %Fibra ácida	Varianza	Desv. Estándar	%CV
0.2562	50.186	50.2252	0.0392	16.31	17.42	2.49	1.58	9.05
0.2501	50.1819	50.2254	0.0435	18.54				
Extracción con KMnO₄.								
Masa de la muestra (g)	Masa del crisol (g)	Masa del crisol con residuo (g)	Masa del residuo (g)	% Celulosa	Promedio %Celulosa	Varianza	Desv. Estándar	%CV
0.2562	50.2252	50.2191	0.0061	2.54	4.21	5.59	2.36	56.16
0.2501	50.2254	50.2116	0.0138	5.88				

%lignina	%hemicelulosa
13.21	54.99

Podemos observar que el porcentaje de fibra total es diferente para los dos tipos de BSG, ya que las maltas empleadas para la elaboración de la cerveza tienen un proceso de secado o tostado diferente. Se observa que el BSG proveniente de la malta caramelo que contiene un mayor porcentaje de fibra total (72.41%) respecto al BSG proveniente de la

malta chocolate (45.91%), este último es congruente con los resultados obtenidos por González Contreras (2023) y He et al. (2021), quienes obtuvieron 43.29% y 45.50% respectivamente.

El porcentaje de fibra total en el BSG proveniente de la malta caramelo se encuentra por arriba del 70% reportado por Mussatto et al. (2006), se debe al porcentaje de hemicelulosa (54.99%) y el porcentaje de celulosa (4.21%), ya que el %CV de los tratamientos con detergente ácido y permanganato de potasio es alto, podría deberse a un error al realizar estos tratamientos, mientras que el porcentaje de lignina (13.21%) se encuentra en el intervalo de 10-28% reportado por Ikram et al. (2017); sucede lo mismo con el porcentaje de lignina obtenido del BSG proveniente de la malta chocolate (12.70%), el cual es congruente con el obtenido por González Contreras (2023), Kanauchi et al. (2001) y Rommi et al. (2018) quienes obtuvieron 12.73%, 11.9% y 15.00% respectivamente.

El porcentaje de hemicelulosa (29.59%) del BSG proveniente de la malta chocolate es coherente con el obtenido por González Contreras (2023), Qin et al. (2018) y Parchami et al. (2021), quienes obtuvieron 25.82%, 25.97% y 25.31% respectivamente; la hemicelulosa conforma la mayor parte de la fibra y alcanza porcentajes entre 20 y 35 % (He et al., 2021). En el caso del porcentaje de celulosa (3.63%) es acorde con el obtenido por González Contreras (2023) de 4.74% pero por debajo de lo reportado por Kanauchi et al (2001), Mussatto et al. (2006) y Parchami et al. (2021), los cuales obtuvieron 25.4%, 16.8% y 17.52% respectivamente; puede deberse al tipo de BSG empleado y a un error en el proceso de oxidación con permanganato de potasio por lo que muestra el %CV.

7.3. Análisis de ceniza.

Ver APÉNDICE A para el cálculo del porcentaje de ceniza.

Tabla 7. Análisis de ceniza para BSG a partir de malta chocolate.

Masa de la muestra (g)	Masa del crisol (g)	Masa del crisol con cenizas (g)	Masa de cenizas (g)	% Cenizas	Promedio %Cenizas	Varianza	Desv. Estándar	%CV
0.3758	20.4581	20.4696	0.0115	3.06	2.71	0.24	0.49	18.06
0.1563	20.5836	20.5873	0.0037	2.37				

Tabla 8. Análisis de ceniza para BSG a partir de malta caramelo.

Masa de la muestra (g)	Masa del crisol (g)	Masa del crisol con cenizas (g)	Masa de cenizas (g)	% Cenizas	Promedio %Cenizas	Varianza	Desv. Estándar	%CV
0.2990	20.8268	20.8348	0.0080	2.68	2.67	0.00	0.01	0.18
0.1199	20.8269	20.8301	0.0032	2.67				

Al observar el porcentaje de ceniza para los dos tipos de BSG se pudo ver que son muy similares, para el caso del BSG a partir de malta chocolate tiene un porcentaje de 2.71 y para el BSG a partir de malta caramelo un porcentaje de 2.67, los cuales son coherentes con los reportados por Kanauchi et al. (2001) (2.40%), González Contreras (2023) (3.40%) y Qin et al. (2017) (3.5%).

7.4. Análisis de proteína

Para determinar la concentración de proteína existente para el método convencional (tratamiento alcalino) y no convencional (tratamiento

alcalino asistido por ultrasonido) fue necesario realizar una curva de calibración con ASB la cual se muestra en el APÉNDICE A.

7.4.1. Tratamiento alcalino.

Ver APÉNDICE A para el cálculo de la concentración y porcentaje de proteína mostrados en la Tabla 9 y Tabla 10.

Tabla 9. Datos, concentración y porcentaje de proteína para el BSG a partir de malta chocolate con tratamiento alcalino.

Concentración de NaOH (M)	T (°C)	Absorbancia	Concentración de proteína (mg/mL)	Masa de la muestra (g)	Masa de la proteína (g)	% Proteína
0.01	75.0	0.127	0.459	0.251	0.005	1.92
0.01	50.0	0.120	0.440	0.250	0.005	1.85
0.01	23.4	0.247	0.776	0.251	0.008	3.25
0.05	75.0	0.367	1.093	0.251	0.014	5.46
0.05	50.0	0.411	1.210	0.251	0.015	6.03
0.05	23.4	0.310	0.943	0.250	0.012	4.71
0.1	75.0	0.309	0.940	0.251	0.013	5.25
0.1	50.0	0.330	0.996	0.251	0.014	5.56
0.1	23.4	0.260	0.810	0.251	0.011	4.52
0.15	75.0	0.313	0.951	0.250	0.014	5.70
0.15	50.0	0.307	0.935	0.250	0.014	5.60
0.15	23.4	0.231	0.734	0.251	0.011	4.39

Tabla 10. Datos, concentración y porcentaje de proteína para el BSG a partir de malta caramelo con tratamiento alcalino.

Concentración de NaOH (M)	T (°C)	Absorbancia	Concentración de proteína (mg/mL)	Masa de la muestra (g)	Masa de la proteína (g)	% Proteína
0.01	75.0	0.225	0.718	0.250	0.008	3.01
0.01	50.0	0.174	0.583	0.251	0.006	2.44
0.01	22.8	0.068	0.303	0.250	0.003	1.27
0.05	75.0	0.417	1.226	0.251	0.015	6.11
0.05	50.0	0.469	1.363	0.251	0.017	6.80
0.05	22.8	0.238	0.752	0.251	0.009	3.75
0.1	75.0	0.42	1.233	0.251	0.016	6.39
0.1	50.0	0.378	1.122	0.251	0.015	5.82
0.1	22.8	0.236	0.747	0.251	0.010	3.88
0.15	75.0	0.346	1.038	0.251	0.015	5.80
0.15	50.0	0.271	0.840	0.250	0.012	4.70
0.15	22.8	0.107	0.406	0.251	0.006	2.26

Para las dos graficas mostradas en la Figura 20 y Figura 21 se utilizaron los datos de temperatura y concentración de NaOH, como los resultados obtenidos de la masa de proteína extraída, presentados en la Tabla 9 y Tabla 10.

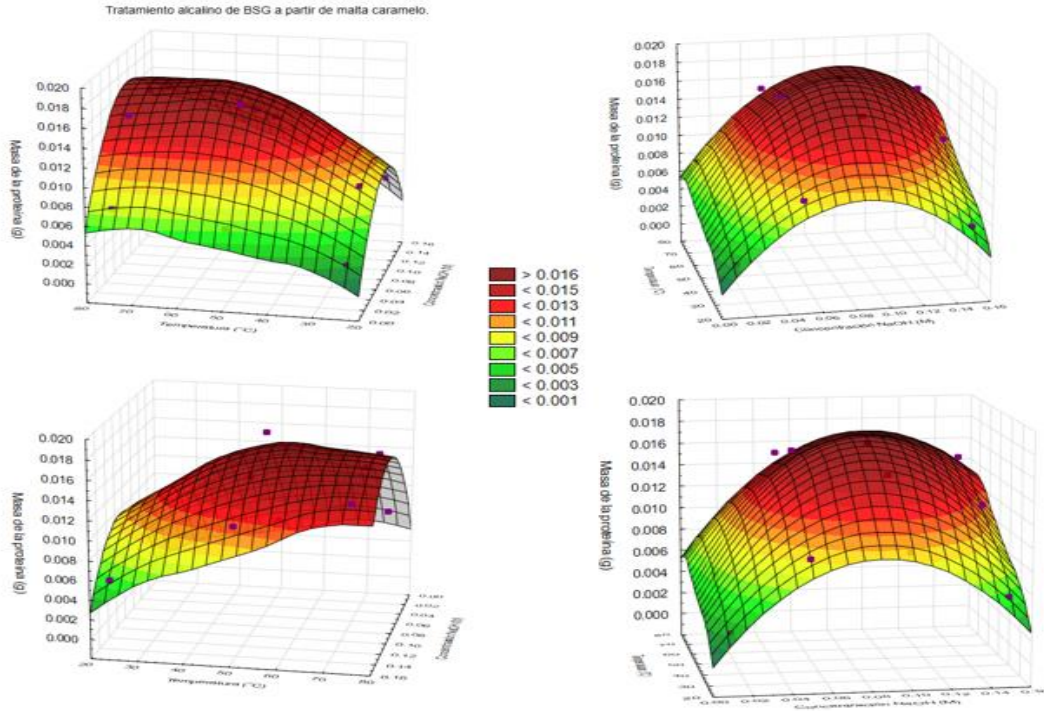


Figura 20. Grafica 3D del tratamiento alcalino del BSG a partir de malta chocolate.

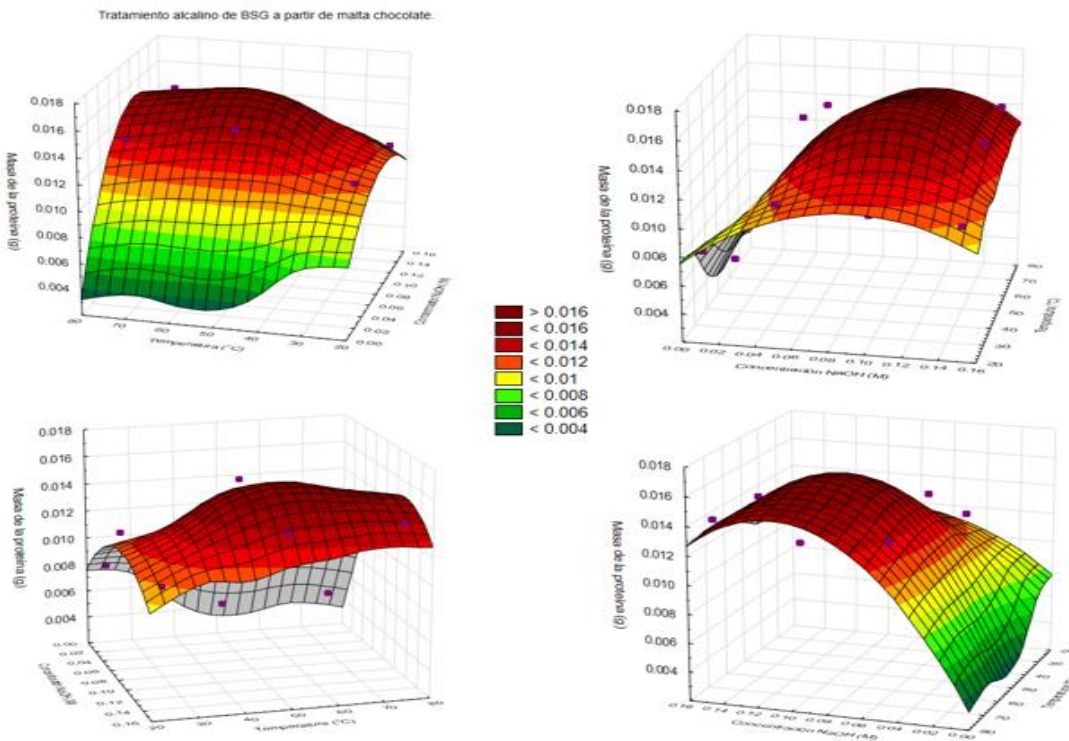


Figura 21. Grafica 3D del tratamiento alcalino del BSG a partir de malta caramelo.

En la Figura 20 y Figura 21 se observa que a una temperatura de 50°C y una concentración de NaOH entre 0.04 y 0.08 M se extrae más proteína que a concentración y temperaturas por abajo de 0.04 M y 40°C respectivamente; en la Tabla 9 y Tabla 10 se observa que a 50°C y a una concentración de NaOH de 0.05 M, existe un mayor porcentaje de proteína respecto a las demás concentraciones, es por ello que para el tratamiento alcalino asistido por ultrasonido se dejó fija la temperatura a 50°C para los dos tipos de BSG.

7.4.2. Tratamiento alcalino asistido por ultrasonido.

El cálculo de la concentración de proteína se realizó de la misma manera como en el tratamiento alcalino mostrado en la ecuación 9 del APÉNDICE A, en el caso del cálculo de porcentaje de proteína se realizó como se muestra en la ecuación 11 del APÉNDICE A.

Tabla 11. Datos y resultados del tratamiento alcalino asistido por ultrasonido a 50°C para el BSG a partir de malta chocolate.

Concentración de NaOH (M)	Tiempo (min)	Absorbancia	Concentración de proteína (mg/mL)	Masa de la muestra (g)	Masa de la proteína (g)	% Proteína
0.025	20	0.175	0.718	5.017	0.404	8.05
0.025	25	0.221	0.867	5.042	0.488	9.68
0.025	30	0.19	0.767	5.020	0.431	8.59
0.05	20	0.244	0.942	5.0185	0.589	11.73
0.05	25	0.247	0.951	5.012	0.595	11.86
0.05	30	0.206	0.818	5.047	0.512	10.14
0.075	20	0.134	0.585	5.104	0.402	7.88
0.075	25	0.117	0.530	5.019	0.364	7.26
0.075	30	0.242	0.935	4.700	0.643	13.68

Tabla 12. Datos y resultados del tratamiento alcalino asistido por ultrasonido a 50°C para el BSG a partir de malta caramelo.

Concentración de NaOH (M)	Tiempo (min)	Absorbancia	Concentración de proteína (mg/mL)	Masa de la muestra (g)	Masa de la proteína (g)	% Proteína
0.025	20	0.164	0.682	5.031	0.384	7.63
0.025	25	0.246	0.948	5.036	0.533	10.59
0.025	30	0.152	0.643	5.015	0.362	7.22
0.05	20	0.202	0.806	5.043	0.503	9.98
0.05	25	0.204	0.812	5.015	0.507	10.12
0.05	30	0.143	0.614	5.009	0.384	7.67
0.075	20	0.163	0.679	5.066	0.467	9.22
0.075	25	0.135	0.588	5.018	0.404	8.06
0.075	30	0.207	0.822	5.000	0.565	11.30

En la Tabla 11 y Tabla 12 se puede observar que a medida que aumenta la concentración de NaOH para un tiempo de reacción de 30 minutos el porcentaje de proteína aumenta. Con el análisis estadístico que se encuentra en el APÉNDICE B se puede observar que existe una diferencia significativa para la interacción entre la concentración de NaOH y el tiempo de reacción; de igual manera fue posible seleccionar la concentración con la que se obtiene un mayor porcentaje de proteína para realizar la extracción, que fue de 0.075 M con un tiempo de reacción de 30 minutos.

7.5. Precipitación de proteína.

Se decidió realizar la extracción de proteína empleando el método convencional (tratamiento alcalino) ya que se observó durante la experimentación con el tratamiento alcalino asistido por ultrasonido la existencia de sólido, en este caso el BSG, adherido a las paredes del

equipo de ultrasonido; esto pudo ocasionar incongruencias en algunos datos, debido a que el medio no era homogéneo.

Para la elección del tipo de BSG se realizó un análisis estadístico con los resultados obtenidos del método convencional que se muestra en el APÉNDICE B, en donde las muestras de BSG proveniente de malta caramelo tienen más contenido de proteína con respecto al proveniente de malta chocolate.

Se realizó el proceso de extracción a pequeña escala para observar el comportamiento que se tiene al aumentar la concentración de NaOH a 0.075 M, fijando la temperatura a 50°C y el tiempo de reacción en 4 horas (Tabla 10).

Tabla 13. Datos y porcentaje de proteína de la precipitación con tratamiento alcalino para el BSG a partir de malta caramelo a 50°C.

Concentración de NaOH (M)	Masa de la muestra (g)	Masa del papel filtro (g)	Masa del papel filtro con proteína (g)	Masa de la proteína (g)	% Proteína
0.05	0.528	0.268	0.287	0.019	3.67
0.075	0.501	0.262	0.288	0.026	5.27
0.1	0.500	0.266	0.273	0.007	1.44

Ver APÉNDICE A para los cálculos.

En la Tabla 13 se puede observar que la combinación temperatura concentración de NaOH para obtener un mayor porcentaje de proteína es 0.075 M y 50°C con un tiempo de reacción de 4 horas; si se aumenta la concentración en un 50% el porcentaje disminuye; es por ello por lo que se toma estos valores para realizar la extracción de proteína con tratamiento alcalino a mayor escala.

7.6. Extracción de proteína a gran escala.

El residuo sólido seco se pesó en lotes y se realizó el promedio de todos los datos (APÉNDICE C).

Debido a que la centrifugación se realizó con centrifuga industrial, el aislado de proteína se pesó al terminar todos los lotes, por lo tanto, se realizó una estimación de lo extraído en un lote.

Tabla 14. Extracción de proteína a gran escala.

	De 1 lote	De 9 lotes
Masa de la muestra (g)	75	675
Masa de proteína (g)	7.6	68.5
Residuo sólido seco (g)	50.5	454.9
% Proteína	10.15	
% Residuo sólido seco	62.08	
Total	72.23	

En la Tabla 14 se observa que el 10.15 % de la masa total corresponde a proteína, el cual se encuentra 20% por debajo de lo reportado por Mussatto et al. (2006), sin embargo la composición de este residuo puede variar dependiendo de la variedad de malta, las condiciones de malteado y maceración; el 27.77 % restante puede deberse a pérdida de masa en el proceso de filtración, ya que se llevó a cabo de manera manual con ayuda de manta cielo, de igual manera se puede deber a la adherencia de proteína en las paredes del equipo de centrifugación.

Al aislado de proteína se le realizó un análisis de Espectroscopia de Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR) por Reflectancia Total Atenuada (ATR) en la Unidad de Servicios de Apoyo a la Investigación, en el cual se miden los cambios que ocurren en un haz infrarrojo al incidir con una muestra. La reflectancia interna crea una onda que se atenúa en

las zonas del infrarrojo donde la muestra absorbe energía, el haz atenuado en el detector se registra como una señal de interferograma que posteriormente genera el espectro de infrarrojo (González, 2023).

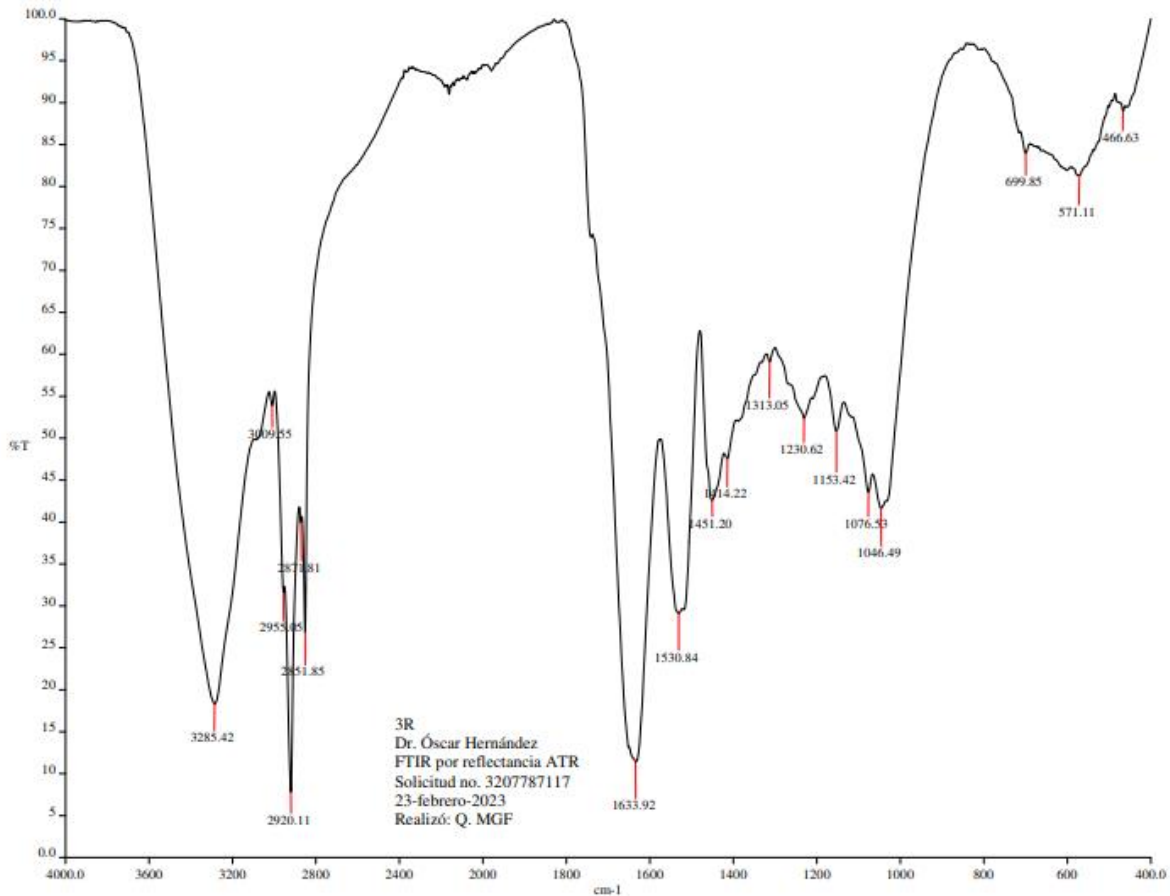


Gráfico 1. Espectro infrarrojo del aislado de proteína extraído con tratamiento alcalino.

En el Gráfico 1 se observa los datos de absorción (cm^{-1}) y en la Tabla 15 se muestran los posibles grupos funcionales asociados a la absorción y apariencia de la longitud de onda obtenidos del portal de Sigma-Aldrich.

Tabla 15. Interpretación de las absorciones del espectro infrarrojo del aislado de proteína.

Intervalo de frecuencia (cm⁻¹)	Absorción del aislado (cm⁻¹)	Conclusión
4000-3000	3285.42 (fuerte)	O-H tensión, ácido carboxílico Presencia de grupos carboxilos terminales por aminoácidos.
	3009.55 (débil)	O-H tensión, enlaces intramoleculares Presencia de lignina, treonina, glicina, cisteína y serina.
3000-2500	2955.05 (media)	N-H tensión Presencia de grupos amino terminales por aminoácidos.
	2920.11 (fuerte)	
	2851.85 (media)	C-H tensión Presencia de alcanos.
	2871.81 (media)	
1670-1600	1633.92 (fuerte)	C=C tensión Presencia de alqueno conjugado.
	1530.84 (media)	No reportado.
1600-1300	1451.20 (media)	C-H flexión, grupo metilo Presencia de alanina, leucina, isoleucina y valina.
1400-1000	1414.22 (media)	O-H flexión Presencia de lignina fenilalanina, tirosina y triptófano.
	1313.05 (media)	
	1230.62 (media)	C-N tensión, amina Presencia de lisina, arginina y grupos amino.
	1153.42 (media)	
	1076.53 (media)	C-O tensión

		Presencia de serina, treonina y glicina.
	1046.49 (media)	C-N tensión, amina Presencia de lisina, arginina y grupos amino.
	466.62	No reportado.

El contenido de aminoácidos es de suma importancia para la interpretación del espectro infrarrojo de la proteína, ya que como podemos ver en la Tabla 15 nos informa los enlaces que existen y así determinar de qué aminoácidos podían estar presente en el aislado. Existe la presencia de varios aminoácidos reportados por Mussatto et al. (2006), también se observa lignina (absorciones de 1414.22 y 1313.05 cm⁻¹), la cual, debido a las características del proceso de filtración realizado, es esperada.

7.7. Prueba mecánica.

Las imágenes de las cucharas obtenidas en el proceso de formulación como las realizadas con el aislado de proteína se encuentra en el APÉNDICE D; así como los cálculos y los diagramas obtenidos con las formulaciones.

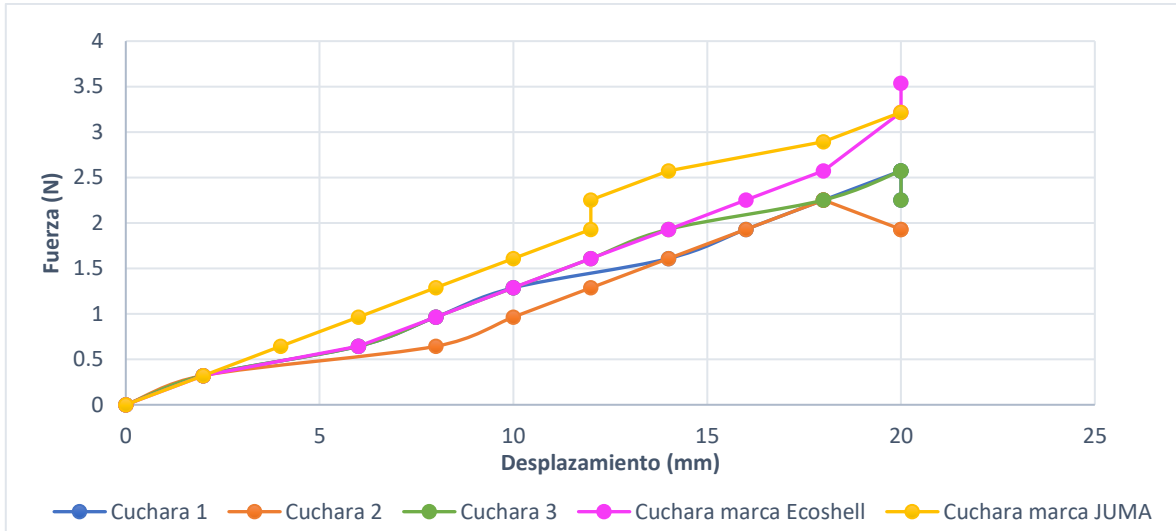


Gráfico 2. Diagrama fuerza-desplazamiento de las cucharas elaboradas.

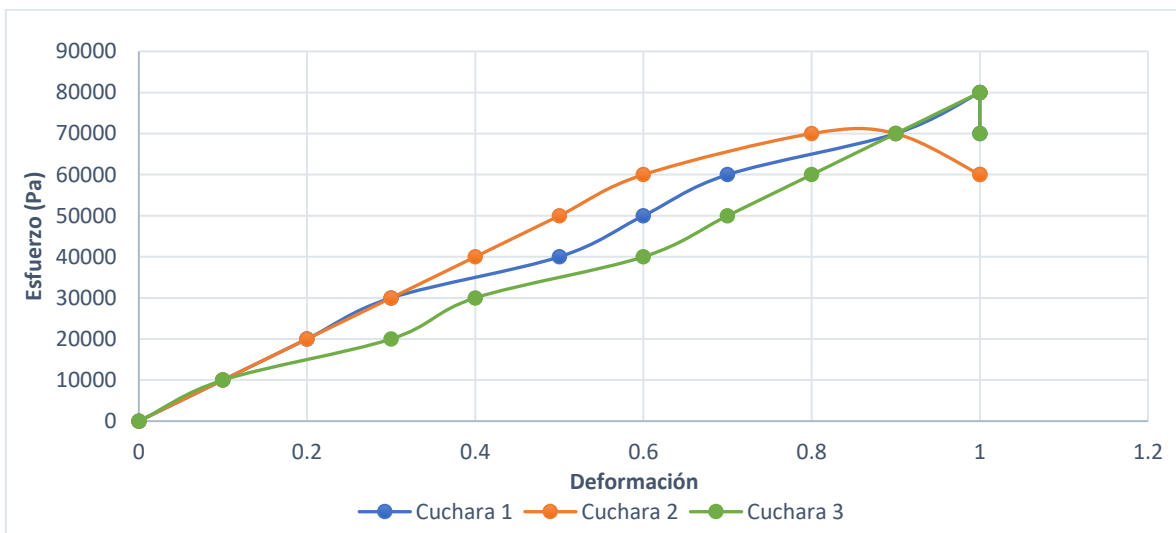


Gráfico 3. Diagrama esfuerzo-deformación de las cucharas elaboradas.

Tabla 16. Resultados de la prueba mecánica.

Muestra	Módulo elástico (kPa)	Resistencia máxima (kPa)	Punto de rotura (kPa)	Elasticidad (kPa)	Plasticidad	Resiliencia (kPa)	Tenacidad (kPa)	
1	100	80	70	50	0.63	4500	42000	
2	100	70	60	10	0.14	18000	44500	
3	75	80	70	50	0.63	6000	37000	
	91.67	76.67	66.67	36.67	0.46	9500	41166.67	Promedio
	208.33	33.33	33.33	533.33	0.08	54750000	14583333.33	Varianza
	14.43	5.77	5.77	23.09	0.28	7399.32	3818.81	Desv. Estándar
	15.75	7.53	8.66	62.98	59.96	77.89	9.28	%CV

Tabla 17. Coordenadas del punto de vencimiento en el diagrama esfuerzo-deformación.

Muestra	Punto de vencimiento		
	Esfuerzo de vencimiento (kPa)	Deformación de vencimiento	
1	30	0.30	
2	60	0.60	
3	30	0.40	
	40	0.43	Promedio
	300	0.02	Varianza
	17.32	0.15	Desv. Estándar
	43.30	35.25	%CV

Se puede observar en la Tabla 16 y Tabla 17 que la información obtenida del diagrama esfuerzo-deformación, destaca la capacidad el módulo de elasticidad de 91.67 kPa y punto de ruptura (66.67 kPa), los cual son muy pequeños comparándolos con los valores para polímeros de origen fósil (APÉNDICE E), esto quiere decir que el biopolímero es muy rígido puesto que sufrirá grandes deformaciones con pequeños esfuerzos, además de que presenta poca elasticidad (capacidad de recuperar su forma original al cesar la fuerza).

Los %CV son altos debido a que la prueba mecánica se realizó de manera manual, así como la toma de datos. Esto podría corregirse empleando prensas especiales para ensayos de compresión, los cuales registra los datos necesarios en los indicadores de la prensa.

Al biopolímero obtenido se le realizó el análisis de Espectroscopia de Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR) por Reflectancia Total Atenuada (ATR).

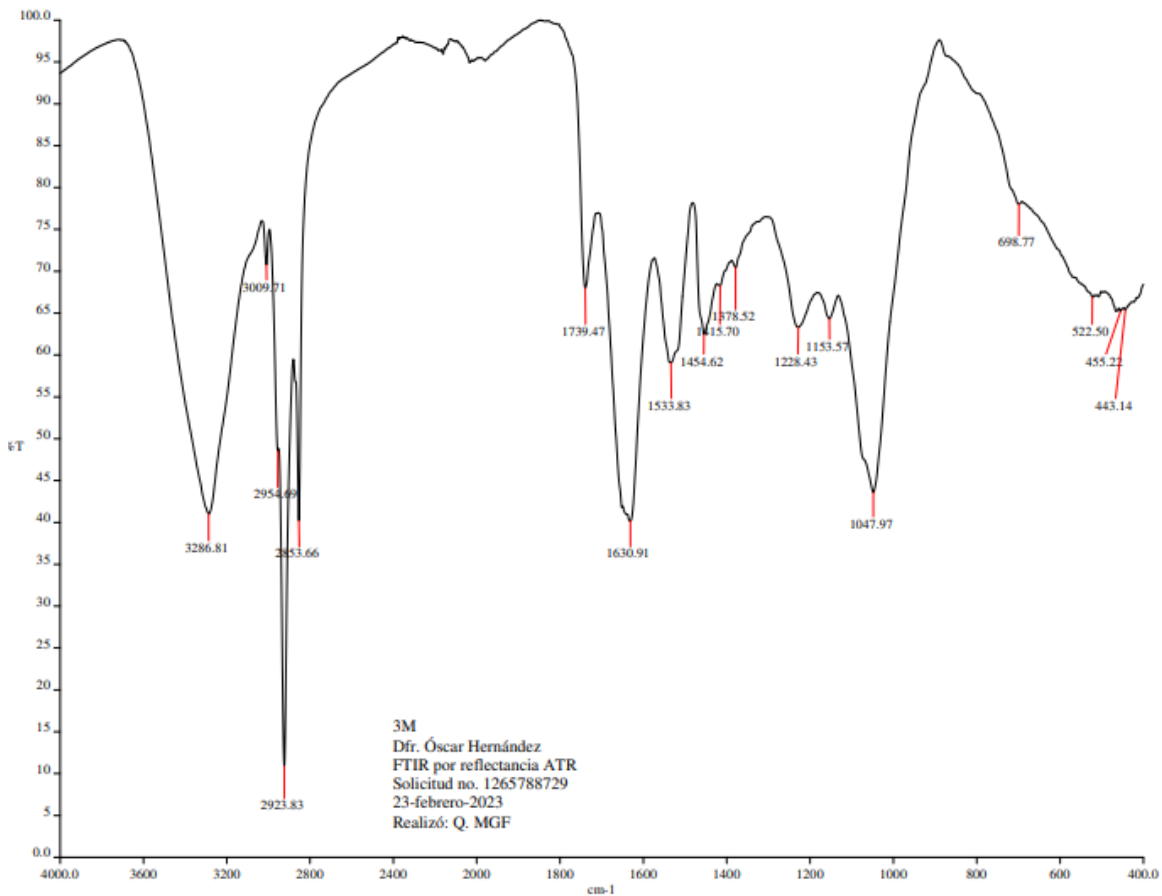


Gráfico 4. Espectro infrarrojo del biopolímero obtenido de la proteína extraída del BSG.

Tabla 18. Interpretación de las absorciones del espectro infrarrojo del biopolímero.

Intervalo de frecuencia (cm^{-1})	Absorción del aislado (cm^{-1})	Conclusión
4000-3000	3286.81 (fuerte)	O-H tensión, ácido carboxílico

		Presencia de grupos carboxilos terminales por aminoácidos.
	3009.71 (débil)	O-H tensión, enlaces intramoleculares Presencia de lignina, treonina, glicina, cisteína, serina con el ácido oleico.
3000-2500	2954.69 (media)	C-H tensión, alcano Presencia de alcanos.
	2923.83 (fuerte)	N-H tensión Presencia de grupos amino terminales por aminoácidos y lecitina.
	2853.66 (media)	C-H tensión, alcano Presencia de alcanos.
2000-1650	1739.47 (débil)	C-H flexión, compuestos aromáticos Presencia de lignina fenilalanina, tirosina y triptófano.
	1630.91 (fuerte)	
	1533.83 (media)	No reportado.
	1454.62 (media)	No reportado.
1400-1000	1415.70 (media)	O-H flexión, Presencia de alcohol.
	1378.52 (media)	O-H flexión, fenol Presencia de lignina fenilalanina, tirosina y triptófano.
	1228.43 (media)	C-N tensión, amina Presencia de lisina, arginina, lecitina de soya y grupos amino.
	1153.57 (media)	
	1047.97 (fuerte)	

1000-650	698.77 (fuerte)	C=C flexión, alqueno Presencia de ácido oleico
	455.22	No reportado.
	443.14	No reportado.

Podemos observar en la Tabla 18 que existe una gran cantidad de puentes de hidrógeno (interacción entre los grupos funcionales O-H y C-N) que dan cierta rigidez al biopolímero.

8. CONCLUSIONES

- Con el método de Van Soest Wine para el BSG fue posible determinar que existía una mayor composición de fibra (72.41%) a partir de malta caramelo respecto al proveniente de la malta chocolate (45.91%), esto se debe a la formación de melanoidinas y material oligosacárido en el proceso de caramelización, ya que este tipo de malta tiene un proceso de horneado además de contener azúcares caramelizados.
- El proceso de extracción convencional (tratamiento alcalino) y no convencional (tratamiento alcalino asistido por ultrasonido) ayudaron a determinar que la temperatura y concentración de NaOH para lograr una extracción de proteína del BSG a partir de malta caramelo fue de 50°C y 0.075 M, puesto que a mayores concentraciones puede ocasionar la desnaturalización de la proteína.
- Fue posible desarrollar un biopolímero con una apariencia física similar a la empleada en cubiertos de poliestireno, mediante la formulación con ácido oleico y lecitina de soya, pero con diferentes propiedades mecánicas.
- Se logró realizar una prueba mecánica al biopolímero obtenido con la proteína extraída del BSG a partir de malta caramelo, en la cual se obtuvo que el biopolímero sufre grandes deformaciones con pequeños esfuerzos, por ello no es apto para ser empleado en productos plásticos.

- La proteína extraída se puede incorporar, gracias a su contenido de aminoácidos (cisteína, glutaminas, lisina y triptófano) y prolaminas ricas en azufre, a suplementos alimenticios para consumo humano así como en alimento para ganado.
- La proteína se puede emplear como biopolímero para la fabricación de películas y recubrimientos comestibles, debido a su capacidad para formar enlaces de hidrógeno y su solubilidad en mezclas de alcohol/agua, esto es ideal para el envasado de productos frescos ya que, al evitar la condensación se alargará la vida útil de los productos.

REFERENCIAS

1. ABS (2018). "*Rica y refrescante: ¿cuál es la mejor cerveza artesanal?*". Recuperado el 13 marzo 2023, de <https://www.abc.com.py/nacionales/rica-y-refrescante-cual-es-la-mejor-cerveza-artesanal-1723108.html>.
2. Aguirre Ojeda, Melissa A. y Montes Gutiérrez, Sofía G. (2019). "*Empleo de un residuo de la industria cervecera en el desarrollo de recipientes biodegradables implementando recubrimientos para mejorar su impermeabilidad*". Tesis de licenciatura. UNAM, Facultad de Química, Ciudad de México, México.
3. Archundia Altamirano, Bernardo (2014). *Cerveza artesanal elaborada con miel de abeja mexicana*. Tesis de licenciatura. UNAM, Facultad de Química, D.F., México.
4. Auras, R., B., Harte y S., Selke (2004). *An overview of polylactides as Packaging Materials*. *Macromol. Biosc.*, 4(9), 835-864.
5. Badui Dergal, S., Bourges, H. y Anzaldúa Morales, A. (1993). *Química de los alimentos*. México: Alhambra Mexicana.
6. Bamforth, C. (2010). *Scientific Principles of Malting and Brewing*. Estados Unidos de América: American Society of Brewing Chemists.
7. Belitz, H. D., Grosch, W., y Schieberle, P. (2009). *Food Chemistry* (pp. 8-9). Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
8. Briassoulis, D., A., Aristopoulou M., Bonora y I., Verlodt (2004). *Degradation characterization of agricultural low-density polyethylene Films*. *Biosystems Eng.*, 88 (2), 131-143.
9. Caballero, K. (2010). *Evaluación de la producción de bioetanol a partir de residuos de malta*. Tesis de licenciatura. UNAM, Facultad de Química, D.F., México.

10. Callejo, González M. J. (2002). *Industria de cereales y derivados*. Colección tecnología de alimentos. Zaragoza España: AMV Ediciones.
11. Castaños, Enrique., (2015). *El enlace peptídico*. Cienciadelux. Recuperado el 08 marzo 2023, de <https://lidiakonlaquimica.wordpress.com/2015/07/04/el-enlace-peptidico/>.
12. Castro, Carolina (2016). *Mezclando los sentidos: cómo hacer cerveza artesanal*. Recuperado el 08 marzo 2023, de <http://revistavacio.com/cultura/elaborando-cerveza-artesanal/>.
13. Chacón Mosqueda, Karla E. (2019). *Perspectiva del cultivo de cebada maltera para la microcervecías en México*. Trabajo monográfico de actualización. UNAM, Facultad de Química, Ciudad de México, México.
14. Chou, D. H. y C. V. Morr. 1979. *Protein-water interactions and functional properties*, J. Am. Oil. Chem. Soc., 56, 53-56.
15. Contreras, M. del M., Lama-Muñoz, A., Manuel, Gutiérrez-Pérez, J., Espínola, F., Moya, M., y Castro, E. (2019). *Protein extraction from agri-food residues for integration in biorefinery: Potential techniques and current status*. Bioresource Technology, 280, 459-447.
16. Cordeiro, L. G., El-Aouar, A. A., y Araújo, C. V. B. (2015). *Energetic characterization of malt bagasse by calorimetry and thermal analysis*. J. Therm. Anal. Calorim., 112, 713-717.
17. Cortés González, Alejandro (2015). *Determinación de unidades internacionales de amargor y contenido fenólico total en cervezas artesanales mexicanas*. Tesis de licenciatura. UNAM, Facultad de Química, D.F., México.
18. Cristán Frías, A., Ize, I. y Gavilán, A. (2003). *La situación de los envases de plástico en México*. Gaceta Ecológica, (69), 67-82.

19. Cuq, B. (1996). *Mise en forme et caractérisation de biomatériaux à base de protéines myofibrillaires*. Tesis doctoral en bioquímica y tecnología alimentaria, Montpellier (Francia), Université Montpellier II, pp. 213.
20. Cursos de Fundamentos de Ciencia de Materiales. *Materiales Poliméricos y Compuestos: Polímeros Termoplásticos*. Recuperado el 09 mayo 2023, de https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15_3.html.
21. De Wilder, B. (2003). *Plastiques biodégradables- emballages compostables: point de la situation*. Coll Pack News, 154, 27-33.
22. Djuikom Noutsu, C. P. (2012). *Valorisation des fractions de la production d'éthanol de maïs en bioplastique*. Tesis de maestría en Ingeniería del Medio ambiente. École de Technologie Supérieure, Universidad de Québec, Montreal, Canadá.
23. Du L., Arauzo P., Meza-Zavala M., Cao Z., Olszewski M., y Kruse A. (2020). Towards the Properties of Different Biomass-Derived Proteins via Various Extraction Methods. *Molecules*. 25(3), 4888.
24. Entwistle, C. A. y R.C. Rowe (1978). *Plasticization of cellulose ethers used in the film coating of tablets*. *J. Pharmacol.*, 31, 269-272.
25. Esquivel Flores, María G. (2015). *Dr. Thomas Burr Osborne: su contribución al análisis de proteínas*. *Red nutrición*. 9, 578-579.
26. Franco Chimal, Cesar y Montaya González, Saúl D. (2020). *Estandarización de condiciones de proceso y dimensionamiento de una planta piloto para elaboración de malta a partir de cebada*. Tesis de licenciatura. UNAM, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Cuautitlán Izcalli, Estado de México.
27. Galán, García D., Oliver, Pujol R. et Estrany, Coda F. (2004). *La cerveza*. Alimentación (Equipos y tecnología). España. 190, 2-121.
28. García Garibay, M., López Munguía, A., y Quintero Ramírez, Rodolfo (2003). *Bioteología Alimentaria* (pp. 274). México: Limusa.

-
29. Giner, S., (2019). *El proceso de elaboración de una cerveza*. Recuperado el 08 marzo 2023, de <https://www.2d2dspuma.com/blog/cultura-cervecera/el-proceso-de-elaboracion-de-la-cerveza>.
30. González Contreras, Esaú (2023). *Desarrollo de un alimento impreso en 3D formulado con proteínas obtenidas a partir de residuos de cerveza*. Tesis de licenciatura. UNAM, Facultad de Química, Ciudad de México, México.
31. González Zavala, Selene (2020). *Estudio comparativo de la viabilidad de maíz y cebada bajo condiciones de almacenamiento hermético*. Tesis de licenciatura. UNAM, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Cuautitlán Izcalli, Estado de México.
32. Gu, J. D. (2003). *Microbiological deterioration and degradation of synthetic polymeric materials: recent research advances*. Int. Biodeter. Biodegr., 54, 69-91.
33. Guede, D., González, P., y Caeiro, J. R. (2013). *Biomecánica y huesos: Conceptos básicos y ensayos mecánicos clásicos*. Osteoporos Metab Mier, 5 (1), 43-50.
34. Guilbert, S., y B., Biquet (1989). *Les films et enrobages comestibles*. In: L'emballage des denrées alimentaire de grande consommation (pp. 320-359). Paris: Lavoisier Tec et Doc.
35. He, Y., Kuhn, D., O'Keefe, S., Ogejo, J., Fraguas, C., Wang, H. y Huang H. (2021). *Protein production from brewer's spent grain via wet fractionation: process optimization and techno-economic analysis*. Food and Bioproducts Processing, 126, 234-244.
36. Hellborg, L., y Piskur, J. (2009). *Yeast diversity in the brewing industry*. Beer in Health and Disease Prevention, 77-88.
37. Hernández, Alicia (2003). *Microbiología Industrial* (pp. 113-127). Costa Rica: EUNED.

38. Hernández-Espinosa, N., Reyes-Reyes, M., González-Jiménez, F. E., Núñez-Bretón, L. C., y Cooper-Bribiesca, B. L. (2015). *Importancia de las proteínas de almacenamiento en cereales (prolaminas)*. Vertientes. Revista Especializada En Ciencias De La Salud, 18(1), 3-7.
39. Hornsey, Ian Spencer (2003). *Elaboración de cerveza Microbiología, Bioquímica y Tecnología*. Zaragoza, España: Acribia.
40. Hough, J. S. (1990). *Bioteología de la cerveza y de la malta*. Zaragoza, España: Acribia.
41. Ibañez Baltazar, Ana Tania (2013). *Determinación de compuestos congénicos en cerveza elaborada a partir de mosto de malta de alta gravedad*. Tesis de licenciatura. UNAM, Facultad de Química, D.F., México.
42. Ikram, S., Huang, L., Zhang, H., Wang, J., y Yin, M. (2017). *Composition and nutrient Value Proposition of Brewers Spent Grain*. Journal of Food Science, 82(10), 2232-2242.
43. Kanauchi, O., Mitsuyama, K., y Araki, Y. (2001). *Development of a functional germinated barley foodstuff from brewer's spent grain for the treatment of ulcerative colitis*. Journal of the American Society of Brewing Chemists, 59, 59-62.
44. Kent, N. L. y Evers, A. D. (1994). *Technology of cereals: an introduction for students of food science and agriculture*. Estados Unidos de América: Woodhead Publishing.
45. Kumar, M., Tomar, M., Potkule, J., Verma, R., Punia, S., Mahapatra, A., Belwal, T., Dahuja, A., Joshi, S., Berwal, M., Satankar, V., Bhoite, A., Amarowicz, R., Kaur, C., y Kennedy, J. (2021). *Advances in the plant protein extraction: mechanism and recommendations*. Food Hydrocolloids, 115.

-
46. Kumar, R., V., Choudhary, S., Mishra, I. K., Varma y B., Mattiason (2002). *Adhesives and plastics based on soy protein products*. Ind. Crop Prod., 16, 155-172.
 47. 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 de licenciatura. UNAM, Facultad de Química, Ciudad de México, México.
 48. Mallett, J. (2014). *Malta: Guía práctica del campo a la cervecería*. Colorado, Estados Unidos de América: Brewers Publications.
 49. Marquie, C. et al. (1995). *Biodegradable packaging from cottonseed flour: formation and glutaraldehyde*. J. Agric. Food Chem, 43, 2762-2767.
 50. McRuer, G. R. y French, B. J. (1990). *Malt quality is affected by various aeration regimes*. M. B. A. A. Technical Quarterly. Vol. 27, 10-14.
 51. 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.
 52. NOM-127-SAA1-1994, Modificación a la Norma Oficial Mexicana NO-127-SAA1-1994, *Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización*. Recuperado el 17 marzo 2023, de <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/127ssa14.html#:~:text=Esta%20Norma%20Oficial%20Mexicana%20establece,en%20todo%20el%20territorio%20nacional.>
 53. Okada, M. (2002). *Chemical syntheses of biodegradable polymers*. Prog. Polym. Sci., 27, 87-133.

-
54. Ospina, J. (2001). *Características físico mecánicas y análisis de calidad de granos* (pp. 16-18). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
55. Oudet, C. (1994). *Polymères, structure et propriétés: introduction* (pp. 249). Paris: Masson.
56. Palmer, J., Kaminski, C. (2013). *Agua: una guía completa para cerveceros*. Colorado, Estados Unidos de América: Brewers Publications.
57. Palmer, G. H. (1989). *Cereals in Malting and Brewing*. Journal of Cereal Science and Technology, Vol. 17, 312-367.
58. Parada Puig, Raquel (2021). "Aminoácidos de las proteínas". Liferder. Recuperado el 08 marzo 2023, de <https://www.liferder.com/aminoacidos-funciones/>.
59. Parchami, M., Ferreira, J., y Taherzadeh, M. (2021). *Starch and protein recovery from brewer's spent grain using hydrothermal pretreatment and their conversion to edible filamentous fungi*. A brewery biorefinery concept. Bioresource Technology, 337.
60. Pelembe, L. A. M., Dewar, J. y Taylor, J. N. R. (2002). *Effect on malting condition on pearl millet quality*. Journal of the Institute of Brewing. 108(1), 7-12.
61. Petersen, K., Nielsen P., Vaeggemose, G., Bertelsen, M., Lawther, MB., Olsen, NH., Nilsson y G., Mortensen (1999). *Potential of biobased materials for food packaging*. Trends in Food Sci. Techno., 10, 52-68.
62. Philip, J. C., Ritchier, R. J y Guy, K. (2013). *Biobased plastics in a bioeconomy*. Trends Biotechnology., 31(2), 65-67.
63. Qin, F., Johansen, A., y Mussatto, S. (2018). *Evaluation of different pretreatment strategies for protein extraction from brewer's spent grains*. Industrial Crops and products, 125, 443-453.

-
64. Quelenis, Nina (2008). *Les bioplastiques: caractéristiques et réglementation* (pp. 9). Champagne-Ardenne: CCI Emballage.
65. Ramos, I. (2006). *Recopilación bibliográfica para el estudio del proceso general de elaboración de cerveza*. Tesis de licenciatura. UNAM, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Cuautitlán Izcalli, Estado de México.
66. Reyes Martínez, Adalid Iván (2010). *Proceso para la elaboración de cerveza artesanal a partir de cebada Esperanza Hordeum vulgare*. Tesis de licenciatura. UNAM, Facultad de Química, D.F., México.
67. Reyna Zurita, Eduardo (2020). *Parámetros de calidad para cerveza artesanal*. Trabajo monográfico. UNAM, Facultad de Química, Ciudad de México, México.
68. Riaño, A., Sanz, M., Román, B., Beltrán, S., y Trigueros, E. (2021). *Subcritical water as hydrolytic medium to recover and fractionate the protein fraction and phenolic compounds from craft brewer's spent grain*. Food Chemistry, 351.
69. Richardson, Terry L. y Lokensgard, Erik (1997). *Industrial plastics: theory and application* (pp. 529). Estados Unidos de América: Delmar Publishers.
70. Rommi, K., Niemi, P., Kemppainen, K., y Kruus, K. (2018). *Impact of thermochemical pre-treatment and carbohydrate and protein hydrolyzing enzyme treatment on fractionation of protein and lignin from brewer's spent grain*. Journal of Cereal Science, 79, 168-173.
71. Rouilly y Rigal (2002). *Agro-materials: a bibliographic review*. Polymer Reviews, 42 (4), 441- 479.
72. Ruiz García, Griselda (2019). *Obtención de un biopolímero a partir de harina de plátano de desecho*. Tesis de licenciatura. Instituto Tecnológico de Villahermosa, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Villahermosa, Tabasco.

-
73. Rutot D. y P. Dubois (2004). *Les biopolymères biodégradables: l'enjeu de demain?*. Col. Química nueva, 86, 66-75.
74. Saldívar Guerrero, Rubén (1998). *Influencia del coeficiente de fricción y la geometría de la probeta en el ensayo de compresión en acero inoxidable 316*. Tesis de licenciatura. UNAM, Facultad de Química, D.F., México.
75. Salgado Albarrán, Marisol, Herrera Díaz, Jorge y D. Dinkova, Tzvetanka (2015). *Caracterización de patrones de hordeínas en variedades mexicanas de cebada maltera*. Revista Especializada en Ciencia Químico-Biológica, 18, 43-51.
76. San Pedro Zavala, Juan Carlos (2017). *Desarrollo de un material compuesto a base de cascarilla de cebada y polietileno para la formación de productos moldeados base celulosa*. Tesis de licenciatura. UNAM, Facultad de Ingeniería, Ciudad de México, México.
77. Serna, S. (1996). *Química, almacenamiento e industrialización de los cereales* (pp. 34-45). Campus Monterrey, Nuevo León, México: Departamento de Tecnología de Alimentos ITESM.
78. SONELASTIC. *Modulus of elasticity and Poisson's coefficient of polymeric materials*. Recuperado el 09 mayo 2023, de <https://www.sonelastic.com/en/fundamentals/tables-of-materials-properties/polymers.html>.
79. Taylor, J. R. N. (1991). *Proteolysis in sorghum malting*. Proceedings of the Third Scientific and Technical Convention of the Institute of Brewing. Central and Southern African Section. Johannesburg. Vol. 18.
80. Tornai-Lehoczki, J, y Dlačny, D. (2000). *Delimitation of brewing yeast strains using different molecular techniques*. International Journal of Food Microbiology, 62, 37-45.

81. Universidad Nacional del Sanata (2014). *Composición química y comportamiento fisicoquímico de los principales constituyentes del maíz y cebada*. Recuperado el 08 marzo 2023, de <https://es.slideshare.net/vegabner/exposicin-cebada-y-maiz>.
82. Valero Valdivieso, Manuel F., Ortegón, Yamileth y Uscategui, Yomaira (2013). *Biopolímeros: avances y perspectivas*. Dyna, Medellín, 181, 171-180.
83. Van Dam, J. E. G., B., de Klerk-Engels, P. C., Struik y R., Rabbinge (2005). *Securing renewable resource supplies for changing market demands in a bio-based economy*. Ind. Crop Prod., 21, 129-144.
84. Villada, H. S. y Acosta, H. A. (2007). *Biopolímeros naturales usados en empaques biodegradables*. Temas Agrarios, 12 (2), 5-17.
85. Wainwright, T. (1986). *Nitrosamines in malt and beer*. Journal of Institute of Brewing. 92.
86. Weber, Claus J. (2000). *Biobased packaging materials for the food industry: status and perspectives* (pp. 136). Dinamarca: KVL.
87. Wolfgang, Voguel (1999). *Elaboración casera de cerveza*. Zaragoza España: Acriba.
88. Xiu-Li W., K., Yang, Y. Z., Wang (2003). *Properties of Starch blends with biodegradable Polymers*. J. Macromol. Sci. Parte C-Reseñas de polímeros, 43 (3), 385-409.
89. Zannini, E. y K. Arendt, Elke. (2010). *Cereal Grains for the Food and Beverage Industries* (pp. 245-260). Estados Unidos de América: Woodhead Publishing.
90. Zavala Bahena, Daniela B. (2018). *Elaboración de platos biodegradables utilizando un residuo de la industria cervecera*. Tesis de licenciatura. UNAM, Facultad de Química, Ciudad de México, México.

APÉNDICE A

- Cálculo para porcentaje de fibra total.

El cálculo para obtener la masa del residuo en cada tratamiento es el siguiente:

Ecuación 1:

$$\text{Masa del residuo (g)} = \text{Masa del crisol con residuo (g)} - \text{Masa del crisol (g)}$$

El cálculo de porcentaje de fibra ácida y neutra fue el siguiente:

Ecuación 2:

$$\%Fibra\ neutra = \frac{\text{Masa del residuo del tratamiento con NDF(g)}}{\text{Masa de la muestra (g)} \left(1 - \frac{\% Humedad}{100}\right)} \times 100$$

$$\%Fibra\ ácida = \frac{\text{Masa del residuo del tratamiento con ADF(g)}}{\text{Masa de la muestra (g)} \left(1 - \frac{\% Humedad}{100}\right)} \times 100$$

El porcentaje de hemicelulosa se obtiene del tratamiento con ADF y NDF.

Ecuación 3:

$$\%Hemicelulosa = \text{Promedio de \%Fibra neutra} - \text{Promedio de \%Fibra ácida}$$

El porcentaje de celulosa se obtiene del tratamiento con permanganato de potasio.

Ecuación 4:

$$\%Celulosa = \frac{\text{Masa del residuo del tratamiento con KMnO}_4\text{(g)}}{\text{Masa de la muestra (g)} \left(1 - \frac{\% Humedad}{100}\right)} \times 100$$

El porcentaje de lignina se obtiene del tratamiento con ADF y permanganato de potasio.

Ecuación 5:

$$\%Lignina = \text{Promedio de \%Fibra ácida} - \text{Promedio de \%Celulosa}$$

El cálculo del porcentaje de fibra total es el siguiente:

Ecuación 6:

$$\%Fibra\ total = \%Hemicelulosa + \%Celulosa + \%Lignina$$

- Cálculo para porcentaje de cenizas.

El cálculo del porcentaje de cenizas es necesario calcular la masa de cenizas.

Ecuación 7:

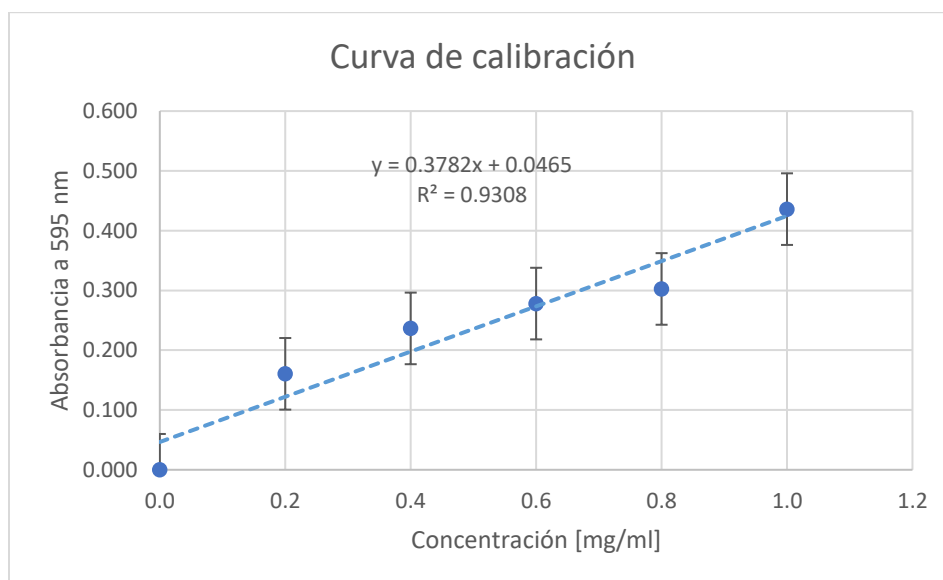
$$\text{Masa de cenizas (g)} = \text{Masa del crisol con cenizas (g)} - \text{Masa del crisol (g)}$$

Ecuación 8:

$$\% \text{Cenizas} = \frac{\text{Masa de cenizas (g)}}{\text{Masa de la muestra (g)}} \times 100$$

- Curva de calibración con ASB.

Concentración (mg/mL)	Absorbancia A		Promedio A	Varianza	Desv. Estándar	%CV
0.0	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00
0.2	0.192	0.129	0.161	0.00	0.05	27.76
0.4	0.241	0.232	0.237	0.00	0.01	2.69
0.6	0.272	0.284	0.278	0.00	0.01	3.05
0.8	0.304	0.301	0.303	0.00	0.00	0.70
1	0.484	0.388	0.436	0.01	0.07	15.57



- Cálculo para la concentración y porcentaje de proteína para tratamiento alcalino.

Con la ecuación de la curva calibración se calcula la concentración de proteína en la muestra de la siguiente manera:

Ecuación 9:

$$\text{Absorbancia} = 0.3782 (\text{concentración de proteína}) + 0.0465$$

$$\text{Concentración de proteína (mg/ml)} = \frac{\text{Absorbancia} - 0.0465}{0.3782}$$

Ecuación 10:

$$\begin{aligned} \% \text{ Proteína} &= \text{Concentración de proteína} \left(\frac{\text{mg proteína}}{\text{ml disolución}} \right) \times \frac{1 \text{ g proteína}}{1000 \text{ mg proteína}} \\ &\times \frac{1 \text{ ml disolución}}{1 \text{ ml de extracto}} \times \frac{\text{Volumen de extracto (ml)}}{\text{Masa de la muestra (g)}} \times 100 \end{aligned}$$

$$\text{Volumen de extracto (ml)} = \text{Volumen de NaOH (ml)} + \text{Volumen de AcOH empleado para neutralizar (ml)}$$

- Cálculo para el porcentaje de proteína para tratamiento alcalino asistido por ultrasonido.

Ecuación 11:

$$\begin{aligned} \% \text{ Proteína} &= \text{Concentración de proteína} \left(\frac{\text{mg proteína}}{\text{ml disolución}} \right) \times \frac{1 \text{ g proteína}}{1000 \text{ mg proteína}} \\ &\times \frac{1 \text{ ml disolución}}{1 \text{ ml de extracto neutro}} \times \frac{\text{Volumen de extracto neutro (ml)}}{\text{Volumen de extracto alcalino (ml)}} \\ &\times \frac{500 \text{ ml de extracto alcalino}}{\text{Masa de la muestra (g)}} \times 100 \end{aligned}$$

- Cálculo para el porcentaje y masa de proteína para tratamiento alcalino con precipitación.

Ecuación 11:

$$\text{Masa de la proteína (g)} = \text{Masa del papel filtro con proteína (g)} - \text{Masa del papel filtro (g)}$$

$$\% \text{ Proteína} = \frac{\text{Masa de la proteína (g)}}{\text{Masa de la muestra (g)}} \times 100$$

APÉNDICE B

- Análisis de varianza de dos factores para el tratamiento alcalino asistido por ultrasonido.

RESUMEN	20 minutos	25 minutos	30 minutos	Total
<i>Concentración de NaOH 0.025 M</i>				
Cuenta	2	2	2	6
Suma	15.679	20.264	15.807	51.750
Promedio	7.840	10.132	7.904	8.625
Varianza	0.088	0.420	0.943	1.653
<i>Concentración de NaOH 0.05 M</i>				
Cuenta	2	2	2	6
Suma	21.710	21.983	17.800	61.493
Promedio	10.855	10.992	8.900	10.249
Varianza	1.521	1.519	3.050	2.313
<i>Concentración de NaOH 0.075 M</i>				
Cuenta	2	2	2	6
Suma	17.096	15.320	24.978	57.394
Promedio	8.548	7.660	12.489	9.566
Varianza	0.890	0.320	2.832	6.094
<i>Total</i>				
Cuenta	6	6	6	
Suma	54.485	57.567	58.585	
Promedio	9.081	9.595	9.764	

Varianza	2.489	2.845	6.018
----------	-------	-------	-------

ANÁLISIS DE VARIANZA								
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>F Teórica</i>	<i>Diferencia</i>	<i>F Calculada</i>	<i>Conclusión</i>
Interacción	37.201	4	9.300	0.007	7.227	>	3.633	Existe diferencia significativa
Dentro del grupo	11.582	9	1.287					
Total	58.279	17						

- Análisis de varianza de dos factores para el tratamiento alcalino.
 - Análisis de varianza del BSG a partir de malta chocolate.

RESUMEN	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Concentración de NaOH 0.01 M	3	7.020	2.340	0.626
Concentración de NaOH 0.05 M	3	16.195	5.398	0.441
Concentración de NaOH 0.1 M	3	15.334	5.111	0.283
Concentración de NaOH 0.15 M	3	15.690	5.230	0.529
23.4°C	4	16.876	4.219	0.432
50°C	4	19.036	4.759	3.817

75°C	4	18.327	4.582	3.179
-------------	---	--------	-------	-------

ANÁLISIS DE VARIANZA								
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>F Teórica</i>	<i>Diferencia</i>	<i>F Calculada</i>	<i>Conclusión</i>
Concentración de NaOH	19.131	3	6.377	0.006	12.140	>	4.757	Existe diferencia significativa
Temperatura	0.606	2	0.303	0.590	0.577	<	5.143	No existe diferencia significativa
Error	3.152	6	0.525					
Total	22.889	11						

- Análisis de varianza del BSG a partir de malta caramelo.

RESUMEN	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Concentración de NaOH 0.01 M	3	6.724	2.241	0.788
Concentración de NaOH 0.05 M	3	16.654	5.551	2.547
Concentración de NaOH 0.1 M	3	16.089	5.363	1.743
Concentración de NaOH 0.15 M	3	12.757	4.252	3.274
23.4°C	4	11.160	2.790	1.563
50°C	4	19.756	4.939	3.507
75°C	4	21.309	5.327	2.442

ANÁLISIS DE VARIANZA								
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	Probabilidad	F Teórica	Diferencia	F Calculada	Conclusión
Concentración de NaOH	20.776	3	6.925	0.001	23.595	>	4.757	Existe diferencia significativa
Temperatura	14.942	2	7.471	0.001	25.453	>	5.143	Existe diferencia significativa
Error	1.761	6	0.294					
Total	37.480	11						

APÉNDICE C

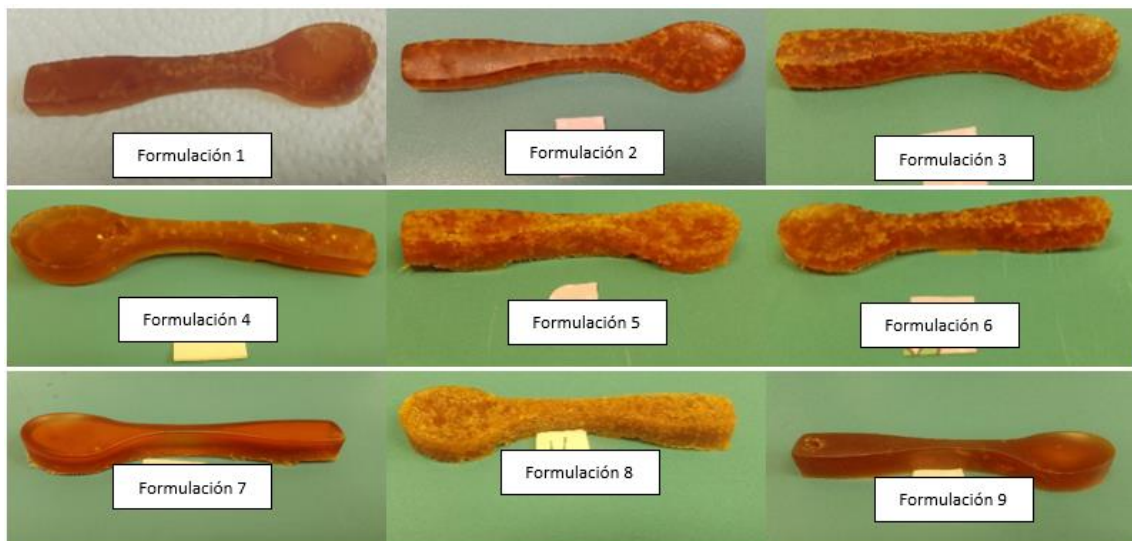
- Valores del residuo sólido seco extraído de los lotes.

Lote	Residuo sólido seco (g)	Promedio	Varianza	Desv. Estándar	%CV
1	46.825	46.56	0.14	0.37	0.80
2	46.296				
3	58.258				
4	58.566				
5	48.556				
6	58.946				
7	59.453				
8	69.854				
9	57.289				

APÉNDICE D

- Porcentaje de proteína disuelta en el etanol en las formulaciones e imágenes.

Materia prima	Volumen de EtOH (ml)	Masa de la muestra (g)	Masa del papel filtro [g]	Masa del papel filtro con proteína[g]	Masa de la proteína (g)	% Proteína
Harina de pescado	30	5.0945	0.5356	5.2098	0.420	8.25%
Fécula de papa con aislado de proteína vegetal	30	5.0249	0.2932	4.8582	0.460	9.15%
Soya	30	5.0172	0.2783	4.8338	0.462	9.20%



- Imágenes de las cucharas obtenidas.



- Cálculos y diagramas de las formulaciones.

Ecuación 12:

$$Fuerza (N) = Esfuerzo (Pa) \times Area\ del\ cilindro (m^2)$$

Ecuación 13:

$$Deformación = \frac{Variación\ de\ la\ longitud\ de\ la\ muestra (mm)}{Longitud\ inicial\ de\ la\ muestra (mm)}$$

El módulo elástico es la pendiente de la sección lineal donde se encuentra la región elástica.

Ecuación 14:

$$Módulo\ elástico (kPa) = \frac{Esfuerzo\ de\ vencimiento (kPa) - Esfuerzo\ inicial (kPa)}{Deformación\ de\ vencimiento - Deformación\ de\ inicial}$$

Ecuación 15:

$$Elasticidad (kPa) = Resistencia\ máxima (kPa) - Esfuerzo\ de\ vencimiento (kPa)$$

Ecuación 16:

$$Plasticidad = \frac{Elasticidad (kPa)}{Resistencia\ máxima (kPa)}$$

Ecuación 17:

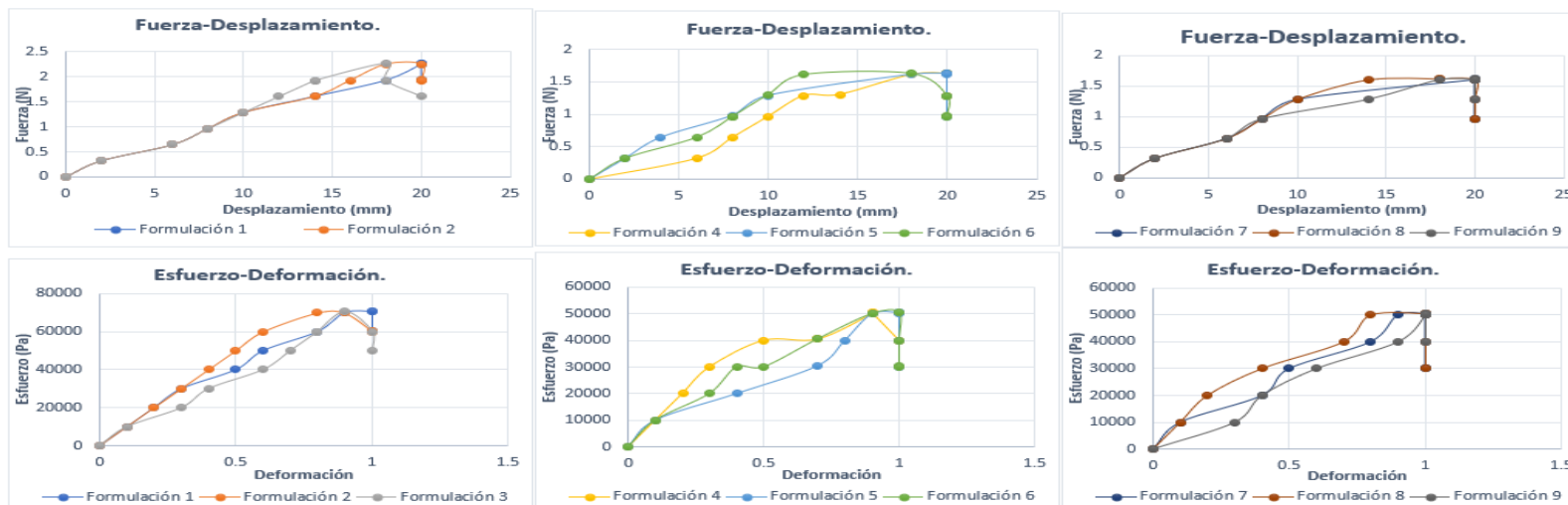
$$Resiliencia (kPa) = Area\ bajo\ la\ curva\ de\ la\ región\ elástica$$

$$Tenacidad (kPa) = Area\ total\ bajo\ la\ curva$$

El área bajo la curva se calculó con la sumatoria de Riemann.

$$Area\ bajo\ la\ curva = \sum_{k=1}^n f(x_k^*) \Delta x$$

$$\Delta x = \frac{x_k - x_{k-1}}{n}; f(x_k^*) = \text{Altura del rectángulo en ese subintervalo}$$



Formulación	Esfuerzo de vencimiento (kPa)	Deformación de vencimiento	Módulo elástico (kPa)	Resistencia máxima (kPa)	Punto de rotura (kPa)	Elasticidad (kPa)	Plasticidad	Resiliencia (kPa)	Tenacidad (kPa)
1	30	0.30	100.00	70.50	60	40.50	0.57	4500	40525
2	60	0.60	100.00	70.50	60	10.50	0.15	18000	44525
3	30	0.40	75.00	70.50	50	40.50	0.57	6000	36050
4	30	0.30	100.00	50.00	40	20.00	0.40	4500	33125
5	10	0.10	100.00	50.50	30	40.50	0.80	500	25625
6	50	0.90	55.56	50.50	30	0.50	0.01	25100	30125
7	10	0.10	100.00	50.50	30	40.50	0.80	500	27525
8	30	0.40	75.00	50.50	30	20.50	0.41	7000	32050
9	10	0.30	33.33	50.50	40	40.50	0.80	1500	23000



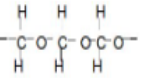
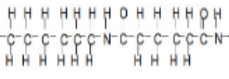
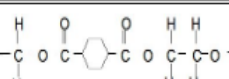
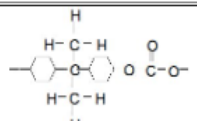
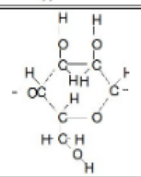
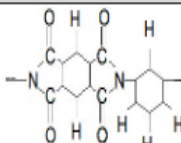
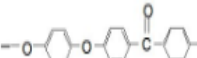

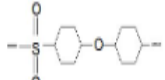
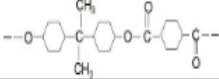
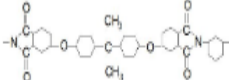
APÉNDICE E

- Módulo de elasticidad y propiedades de algunos polímeros.

Material	Modulus of elasticity		Poisson's ratio
	GPa	10 ⁶ psi	
Polymers			
Poly (vinyl chloride) (PVC):	2.41-4.14	0.35-0.60	0.38
Epoxy:	2.41	0.35	-
Phenolic:	2.76-4.83	0.40-0.70	-
Nylon 6.6:	1.59-3.79	0.230-0.550	0.39
Poly (butylene terephthalate) (PBT):	1.93-3.00	0.280-0.435	-
Polycarbonate (PC):	2.38	0.345	0.36
Polyester (thermoset):	2.06-4.41	0.30-0.64	-
Poliestireno (PS):	2.28-3.28	0.330-0.475	0.33
Polyetheretherketone (PEEK):	1.10	0.16	-
Polyethylene, Low density (LDPE):	1.08	0.157	-
Poly (ethylene terephthalate) (PET):	2.76-4.14	0.40-0.60	-
Poly (methyl methacrylate) (PMMA):	2.24-3.24	0.325-0.470	-
Polypropylene (PP):	1.14-1.55	0.165-0.225	-

Fuente: SONELASTIC.

Polímero	Estructura	Carga rotura (MPa)	Alarg. (%)	Módulo de elasticidad (GPa)	Densidad (Mg/m ³)	Temp. def. por calor a 455 kPa	Aplicaciones
Polietileno (PE) Baja densidad Alta densidad	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$	8-21 21-38	50-800 15-130	0.1-0.28 0.4-1.20	0.92 0.96	42 85	Embalaje, aislantes eléctricos, artículos del hogar, botellas
Policloruro de vinilo (PVC)	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{Cl} \\ & \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$	34-62	2-100	2.1-4.10	1.40	-	Tuberías, válvulas, revestimientos de suelos, aislantes eléctricos, revestimientos de automóviles
Polipropileno (PP)	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ & \\ & \text{H} \end{array}$	28-41	10-700	1.1-1.5	0.90	115	Tanques, embalaje, fibras para ropa y sobremoltruras
Poliestireno (PS)	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{O} \end{array}$	22-55	1-60	2.6-3.1	1.06	82	Embalaje y espumas aislantes, revestimientos de automóviles, electrodomésticos y utensilios de cocina
Policloruro de vinilideno (PVPS)	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{Cl} \\ & \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{Cl} \end{array}$	24-34	160-240	0.3-0.55	1.15	60	Embalaje, tuberías, chubasqueros
Poliacrilonitrilo (PAN)	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\ & \\ \text{H} & \text{C}=\text{N} \end{array}$	62	3-4	3.5-4.0	1.15	78	Fibras textiles, precursor de fibras de carbono, embalaje de alimentos
Polimetil-metacrilato (PMMA)	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ \text{H}-\text{C} & - & \text{C}-\text{H} \\ & \\ \text{H} & \text{C} & \text{O} \\ & \\ & \text{O} \\ & \\ \text{H}-\text{C} & - & \text{H} \\ & \\ & \text{H} \end{array}$	41-82	2-5	2.4-3.1	1.22	93	Acristalamiento de vehículos, lentes de contacto, iluminación exterior, señales publicitarias, pantallas de seguridad, gafas protectoras.

Policlorotrifluoretileno		31-41	80-250	1.0-2.1	2.15	125	Aislante eléctrico, componente de válvulas, juntas.
Politetrafluor-etileno (PTFE)		14-48	100-400	0.41-0.55	2.17	120	Cierres, juntas, válvulas, anillos de estancamiento, recubrimientos antiadherentes.
Polióximetileno (Acetales) (POM)		65-83	25-75	3.6	1.42	165	Cojinetes, engranajes, bolígrafos, fijación de cañerías, aletas de ventiladores.
Poliámidas (PA) (Nylon)		76-83	60-300	2.8-3.4	1.14	245	Cojinetes, engranajes, fibras, textil, componentes de automóviles y componentes eléctricos.
Ftalato de polietileno, poliéster (PET)		55-72	50-300	2.8-4.1	1.36	38	Fibras, películas fotográficas, cintas audio, recipientes para bebidas y comidas precocinadas.
Policarbonato (PC)		62-76	110-130	2.1-2.8	1.2	138	Componentes y herramientas eléctricas domésticas, lentes, material antivandálico.
Celulosa		14-55	5-50	1.4-1.7	1.30	67	Textiles (rayón), embalaje (celofán), adhesivos, recubrimientos, películas fotográficas, gafas de seguridad.
Poliimidas (PI)		76-117	8-10	2.1	1.39	320	Adhesivos, circuitos impresos, fibras para equipos aeroespaciales.
Poliéter-etercetona (PEEK)		70	50-150	3.8	1.31	160	Aislamientos eléctricos y recubrimientos para altas temperaturas.
Sulfuro de polifenileno (PPS)		65.5	1-2	3.3	1.3	135	Revestimientos, componentes eléctricos y electrónicos.
Polietersulfona (PES)		84	30-80	2.4	1.37	200	Componentes de electrodomésticos, componentes de microondas.
Poliacritalo		62	50-65	2.2	1.21	180	Señales de tráfico, componentes de microondas.
Polieterimida (PEI)		105	60	2.9	1.27	210	Eléctricas, automoción y componentes de motores a reacción.
Poliámidas-imidas (PAI)		117-186	15	4.1-5.0	1.39	267	Componentes electrónicos, aplicaciones en automoción y aeroespaciales.

Fuente: Cursos de Fundamentos de Ciencia de Materiales.

- Espectro infrarrojo de lecitina de soya.

