



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN**

Elaboración de una fritura de harina de tortilla
con alto contenido de almidón retrogradado

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERA EN ALIMENTOS**

PRESENTA:

KARINA LIZZETTE RAMÍREZ GARCÍA

ASESORA: Dra. MARÍA DEL CARMEN VALDERRAMA BRAVO

COASESOR: Dra. MARTHA YOLANDA QUEZADA VIAY

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2022.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

El trabajo fue realizado en la Unidad de Investigación de Granos y Semillas (UNIGRAS) y en el Laboratorio Experimental Multidisciplinario I de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán con apoyo de los proyectos PAPIIT IT202119, Cátedra CI2231 y PAPIIME 108022.

Dedicatorias

Agradezco a **DIOS** por la oportunidad de vivir esta gran experiencia; brindarme de fortaleza para poder con las adversidades que se me presentaron y por la paciencia para no dejarme caer y culminar este sueño.

A mis padres: Que fueron parte fundamental de mi educación y que, sin su tiempo, su esfuerzo, dedicación y cariño no hubiera logrado esta meta. Este logro también es de ustedes. Los quiero mucho.

A mi madre: Araceli García Moreno. Que siempre estuviste al pendiente de que no desviara mi camino, por tus desvelos para cuando había que ir temprano a la escuela, por tu esfuerzo por que nunca me faltara nada, y por apoyarme, a tú manera, pero sé que ha sido porque siempre has querido lo mejor para mí. Gracias.

A mi padre: Gregorio Ramírez Zeferino. Que me brindaste tú apoyo, tu comprensión, compartiste tú entusiasmo por mis proyectos que me alentaron a realizarlos. Gracias.

A mi hermana: Evelin Ramírez García. Por esos momentos de juegos, por las charlas y que, aunque eres menor que yo me has enseñado mucho.

A mi abuelita: Domitila Moreno González. Por brindarme tu sabiduría, tus experiencias, tu cariño, tú casa y tener siempre un consejo para mí.

A mis tíos: Anabel García. Has sido una segunda mamá para mí, siempre al pendiente y al pie del cañón en cada momento de mi vida, no recuerdo una etapa en la que no hayas estado ahí apoyándome. **Beatriz García.** Que siempre has tenido un consejo para mí, por escucharme y ser no sólo mi tía, si no, una gran amiga para mí, por preocuparte por mí y siempre apoyarme. **Federico y Javier García.** Sé que siempre podré contar con ustedes y que siempre han estado ahí cuidándonos. **Guadalupe García.** Por tus consejos. **Roberto Carlos Ramírez.** Por siempre procurarnos a mi hermana y a mi cuando estábamos pequeñas, por preocuparte por nosotras y nunca dejar de hacernos saber que estarás ahí para apoyarnos.

A Cesar Franco Chimal. Por ser mi compañero de aventuras, por alentarme a seguir adelante, por apoyarme y estar siempre ahí para escucharme.

Gracias a cada uno de ustedes, que sin su apoyo no hubiera podido lograrlo.

Con cariño:

Karina Lizzette Ramírez García

“Por mi raza hablará el espíritu”

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México, mi alma mater, por el apoyo, y las diversas oportunidades que ofrece para prepararnos profesionalmente y por las personas que conocí a lo largo de mi trayecto desde CCH Naucalpan hasta ingresar a la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, que se volvieron parte importante en mi vida.

A la **Dra. María del Carmen Valderrama Bravo**. Por su dedicación, tiempo y apoyo incondicional para culminar este trabajo de tesis.

A la **Dra. Martha Yolanda Quezada Viay**. Por su apoyo para la realización de los estudios realizados en UNIGRAS.

A mis amigas **Leida, Lilo, Dulce, Lore** y **Alejandra**, por las vivencias, risas, tristezas, por compartir conmigo una de las mejores experiencias de mi vida, y que a pesar del tiempo sé que estarán ahí.

A mis amigos **Gaby, Raúl**, por todas las risas y su apoyo incondicional; **Ana, Sergio, Mariana**, por esas pláticas en el jardín de la escuela y sus bromas que hicieron de mis días más alegres.

A mis profesores por la dedicación que tuvieron para impartir las clases, que, aunque con algunos tuve que esforzarme más, pero hicieron que creyera en mí y en mi capacidad.

ÍNDICE

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES	4
1.1 Generalidades de la tortilla.....	4
1.1.1 Elaboración de tortilla	5
1.2 Polisacáridos	7
1.2.1 Almidón	12
1.3 Almidón retrogradado.....	19
1.3.1 Almidón retrogradado en la salud.....	21
1.3.2 Ruta del almidón en el sistema digestivo	23
1.4 Generalidades de reología	23
1.4.1 Viscoelasticidad (Prueba dinámica oscilatoria)	26
1.4.2 Perfil de viscosidad (pastificado).....	27
1.5 Desperdicios alimenticios	28
1.6 Frituras.....	30
1.6.1 Frituras en México.....	31
1.6.2 Tamaño de partícula en frituras.	32
1.7 Proceso de freído.	33
1.7.1 Tipos de freído	36
1.7.2 Absorción de aceite.....	37
1.7.3 Aceite en el freído.....	37
1.7.4 Tipos de aceites.....	40
1.8 La grasa en la salud	41
1.9 El secado en la reducción de grasa en el proceso de freído.....	42
1.10 Evaluación sensorial	43
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA	49
Objetivo general.....	49
Objetivos particulares.	49
Actividad 1. Preparación de harina.....	50

Actividad 1.1: Secado de tortillas de maíz.....	50
Actividad 1.2: Molienda de tortillas.	50
Actividad 1.3: Formación de tratamientos.	51
Actividad 2. Absorción de agua e índice de solubilidad	52
Actividad 2.1: Índice de absorción de agua.....	52
Actividad 2.2: Índice de solubilidad en agua.	52
Actividad 3. Pruebas de hidratación de harina.	53
Actividad 4. Humedad de la masa	54
Actividad 5. Extracción de almidón.....	55
Actividad 6. Determinación de amilosa y amilopectina.	56
Actividad 7. Determinación de almidón retrogradado.....	57
Actividad 8. Análisis reológico (Barrido de esfuerzo y prueba dinámica oscilatoria).....	59
Actividad 9. Perfil de viscosidad (Perfil de pastificado).	60
Actividad 10. Selección de muestra	61
Actividad 11. Preparación de la harina de tortilla.	61
Actividad 12. Preparación de la masa.....	62
Actividad 13. Formación de la fritura (churritos).....	62
Actividad 14. Secado de las muestras.	63
Actividad 15. Freído de las muestras.	64
Actividad 16. Determinación de grasa	66
Actividad 17. Determinación de humedad.....	66
Actividad 18. Análisis sensorial de la fritura.	67
RESULTADOS PARA HARINA DE TORTILLA RECICLADA.....	69
3.1. Índice de Absorción de Agua e índice de solubilidad de Agua	69
3.2 Extracción de almidón	71
3.3 Porcentaje de amilosa y amilopectina	72
3.4 Determinación de almidón retrogradado	74
3.5. Porcentaje de humedad de la masa	75
3.6 Reología de masas (Prueba dinámica oscilatoria)	76
3.7 Perfil de pastificado del almidón	79
RESULTADOS FRITURA	81
3.8 Determinación de grasa	81
3.9 Determinación de humedad de la fritura	83

3.10. Prueba sensorial hedónica.....	84
RECOMENDACIONES	87
ANEXO.....	88
BIBLIOGRAFÍA.....	89

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES

Figura 1. 1 Proceso de elaboración de tortilla.	7
Figura 1. 2 Estructura química de la amilosa, cadenas lineales con enlaces glucosídicos α - (1-4) principalmente (Quiroga, 2008).	15
Figura 1. 3 Estructura química de la amilosa, cadenas lineales con enlaces glucosídicos α - (1-4) principalmente (Quiroga, 2008).	16
Figura 1. 4 Curva representativa de los cambios de viscosidad, relacionado con el hinchamiento de los gránulos de almidón y su desintegración al calentar una suspensión a 95°C (Fennema, 2000).	17
Figura 1. 5 Esquematización del proceso de retrogradación de la amilosa. (A) Moléculas de amilosa lixiviadas y ordenadas aleatoriamente en el sistema durante el proceso de gelatinización y (B) Moléculas de amilosa con algún grado de orden después del proceso de enfriamiento (Quiroga, 2000).	19
Figura 1. 6 Ruta del almidón en el sistema digestivo (Bello et al., 2001).	23
Figura 1. 7 Modulo elástico de Hooke (s/a).	24
Figura 1. 8 Comportamiento ideal en sólidos (Goodwin y Hughes, 2000).	25
Figura 1. 9 Comportamiento de un material líquido que obedece la ley de Newton (Goodwin y Hughes, 2000).	25
Figura 1. 10 Comportamiento ideal en fluidos (Goodwin y Hughes, 2000).	26
Figura 1. 11 Perfil de pastificado y definiciones convencionales utilizadas en el análisis (Rincón-Londoño et al., 2016).	28
Figura 1. 12 Desperdicio de alimentos en México (s.f.). Recuperado de: http://www.sedesol.gob.mx/boletinesSinHambre/Informativo_02/infografia.htm	30
Figura 1. 13 Isómeros de ácidos grasos trans en la salud humana y en la industria alimentaria. Biol. Res. (Valenzuela y Morgado, 1999).	32
Figura 1. 14 Proceso de fritura (Montes, et al., 2016).	35
Figura 1. 15 Transferencia de masa y energía (a) fritura superficial, (b) fritura por inmersión. (Fellows, 1994).	36
Figura 1. 16 La química de grasas y aceites. CRC Press. (Frank, 2004).	38

CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA

Figura 2. 1 Secado de tortillas de maíz	50
Figura 2. 2 Molienda de tortillas.	50

Figura 2. 3 Proceso de determinación de índice de absorción	52
Figura 2. 4 Proceso de determinación de índice de solubilidad en agua.	53
Figura 2. 5 Harina hidratada (formación de masas).	54
Figura 2. 6 Proceso de determinación de humedad de la masa.	55
Figura 2. 7 Proceso de extracción de almidón.....	55
Figura 2. 8 Proceso de determinación de amilosa y amilopectina.	57
Figura 2. 9 Viscosidad (Prueba dinámica oscilatoria).	60
Figura 2. 10 . Perfil de viscosidad o de pastificado.....	61
Figura 2. 11 Duya utilizada para la formación de los churritos.	63
Figura 2. 12 Formación de churritos.....	63
Figura 2. 13 . Freído de las muestras.....	65
Figura 2. 14 Determinación de grasa (Soxhlet).	66
Figura 2. 15 Determinación de humedad en termobalanza.	67
Figura 2. 16 Alumnos de las FESC realizando evaluación.	68

CAPÍTULO 3: RESULTADOS

Figura 3. 1 Curva patrón de almidón de papa	72
Figura 3. 2 Porcentaje de amilosa.....	73
Figura 3. 3 Concentración de almidón retrogradado.....	75
Figura 3. 4 Porcentaje de humedad de la masa.....	76
Figura 3. 5 Módulo de almacenamiento o de elasticidad, B) Módulo de pérdida o de viscosidad.....	79
Figura 3. 6 Perfil de pastificado.....	81
Figura 3. 7 Porcentaje de grasa en la fritura.	83
Figura 3. 8 Porcentaje de humedad en la fritura.....	84
Figura 3. 9 Prueba hedónica de fritura de harina de tortilla.	85

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES.

Tabla 1.1 Principales usos de los polisacáridos en alimentos.....	8
Tabla 1.2 Generalidades de goma guar. goma xantana y carboximetil celulosa.....	10
Tabla 1.3 Propiedades generales de los almidones.....	13
Tabla 1.4 Tipos de freído.....	36
Tabla 1.5 Diferencias entre grasas saturadas y grasas insaturadas	39

CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA

Tabla 2. 1 Diseño de experimentos. Tratamientos.....	51
Tabla 2. 2 Formulación de la muestra de harina.....	62

Tabla 2. 3 Tiempos de secado	64
Tabla 2. 4 Tiempos de freído.....	65
Tabla 2. 5 Escala de puntaje para la evaluación de la fritura.....	67
Tabla 2. 6 Cuadro para la evaluación de cada muestra.....	68

CAPÍTULO 3: RESULTADOS

Tabla 3. 1 Índice de absorción de agua e índice de solubilidad de agua	70
Tabla 3. 2 Almidón disponible	71

RESUMEN

Se obtuvo una harina de tortilla a partir de tortillas de maíz que ya no poseen las características texturales deseables para su consumo, por lo que se sometieron a un secado a 50°C por 24 horas para posteriormente molerlas en un molino pulvex con un tamaño de partícula de 0.8 mm. Posteriormente se realizaron 10 tratamientos con diferentes mezclas de polisacáridos (goma guar, goma xantana y carboximetilcelulosa), para formar una masa. En la harina se realizaron análisis de índice de absorción de agua y de solubilidad, contenido de amilosa, almidón retrogradado y perfil de viscosidad. En la masa se analizaron pruebas reológicas dinámicas oscilatorias. A partir de los resultados se seleccionó el tratamiento que obtuvo el comportamiento reológico similar al de una masa de harina de maíz nixtamalizado tradicionalmente y el que mayor contenido de almidón retrogradado presentó. El tratamiento resultante fue **C4XG**, el cual se compone en su formulación por el 0.6 % por ciento por polisacáridos, de los cuales el 66.6 % corresponde a goma CMC, el 16.6% por goma guar y el 16.6 % por goma xantana. Con el tratamiento seleccionado se realizó una fritura baja en grasa comúnmente conocido como churrito. Para que el churrito tuviera menor porcentaje de absorción de grasa se aplicó un secado a 80°C previo al freído con tres diferentes tiempos (0 min., 20 min. y 40 min.), y se realizó una prueba sensorial hedónica para determinar el tratamiento más agradable organolépticamente, en el cual se modificó el tamaño de partícula de la harina (0.8 mm, 1 mm y 1.5 mm), resultando 9 tratamientos a evaluar. El tratamiento con menor contenido de grasa correspondió a **0820M** con un valor menor al 20% de grasa, y el que mayor aceptación tuvo por los panelistas fue **08SNS**, el cual fue más agradable que los demás por su olor, apariencia y textura.

Palabras clave: almidón retrogradado, harinas, fritura, reología, grasa.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial somos el país número uno que presenta enfermedades relacionadas por malos hábitos alimenticios, en gran parte se debe a la ingesta de alimentos baratos, que se pueden conseguir rápido y fácil, uno de estos alimentos son las botanas o frituras, que las utilizamos como alimento para satisfacer el hambre del momento. Estas frituras son altas en carbohidratos y grasas, y a pesar de que sabemos que si las ingerimos frecuentemente nos hacen daño, las seguimos consumiendo ya que las botanas que son más saludables tienen un mayor precio; por lo que surge la necesidad de innovar alimentos que presenten las mismas características antes mencionadas, pero que sean más saludables y que compitan en precio con las frituras tradicionales.

Las botanas pueden definirse como comida pequeña y ligera que debe cumplir con varias condiciones, tales como: ser fáciles de manipular, estar listas para comerse, ser accesibles, variedad de sabores, ser de tamaño pequeño, ya sea sólido o líquido, consistir en raciones individuales y lo más importante, deben satisfacer la sensación de hambre por un momento (Delahaye, *et al.*, 1997 y Hurtado, *et al.*, 2001); por lo que son parte importante de la vida diaria y de la industria alimentaria. Por lo general las botanas no se consideraban verdaderos alimentos por su bajo valor nutritivo, además de contener un alto contenido de calorías, debido en gran medida, a la presencia de carbohidratos que aportan los cereales de los cuales están elaboradas la mayoría de las botanas.

Desde el punto de vista nutricional el almidón es una fuente de carbohidratos de alto valor energético, proporciona del 70 a 80% de calorías consumidas por los humanos, el almidón cuenta con características físicas y químicas únicas, a diferencia de otros carbohidratos, se presenta en la naturaleza como partículas complejas discretas (gránulos) que son relativamente densas e insolubles. Los gránulos de almidón están compuestos por: amilosa (polisacárido esencialmente lineal) y/o amilopectina (polisacárido muy ramificado) ordenadas de forma radial (Fennema, 2000). El almidón ha sido clasificado en tres categorías con base en el grado de digestibilidad y asimilación de los procesos digestivos: de rápida

digestión, su asimilación y absorción es completa en el intestino delgado por los procesos digestivos (harinas de maíz o arroz para la preparación de atoles, harinas de trigo para *hot cakes* y frituras); de baja digestibilidad, su absorción es lenta, pero completa (alimentos procesados como los espaguetis o cereales para el desayuno) e indigerible, una parte del almidón ingerido es resistente a la digestión, es decir, no puede ser hidrolizada por las enzimas humanas, por lo que se conoce como almidón resistente (AR) (Langkilde *et al.*, 2002).

El AR ha adquirido gran importancia en la nutrición ya que se le ha relacionado con la reducción en el consumo de calorías y el índice glicémico, estimulación de la microflora intestinal benéfica y prevención de algunas enfermedades cardiovasculares (Lehman *et al.*, 2002). El almidón resistente se clasifica en cuatro fracciones: el almidón resistente tipo 1 (AR1), se refiere al almidón físicamente inaccesible a las enzimas debido a una estructura rígida (impedimentos físicos como pared celular o partículas de gran tamaño); el almidón resistente tipo 2 (AR2), son los gránulos nativos o no gelatinizados que no han sido sometidos al proceso de cocción; el almidón resistente tipo 3 (AR3), es el almidón retrogradado o cristalino que se forma en los alimentos que han sido cocinados y almacenados y; el almidón resistente tipo 4 (AR4), es el almidón elaborado por métodos químicos (Sajilata *et al.*, 2006).

Uno de los problemas mundiales de gran importancia es el desperdicio de alimentos en el mundo, a nivel nacional se desperdician 1,300 millones de toneladas al año (Benitez, 2019). En México se desperdicia el 34% de los alimentos que se producen, lo que equivale a 24. 4 millones de toneladas al año (SEMARNAT, 2018). La tortilla es uno de los alimentos que más se desperdician en México, por lo que en el presente trabajo se elaboró una fritura alta en almidón retrogrado y baja en grasa, a partir de una harina de tortilla.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES

1.1 Generalidades de la tortilla

El maíz (*Zea mays L.*) en forma de tortilla, es uno de los principales componentes de la dieta del pueblo mexicano. Además de la tortilla, el maíz se utiliza para la obtención de botanas, atoles, pinoles, y en general para una amplia variedad de productos (Mauricio *et al.*, 2004). La tortilla de maíz ordinariamente se consume recién hecha, caliente, y sirve para acompañar las comidas, función semejante a la del pan, o bien, para preparar platillos como los mundialmente conocidos “tacos”, “quesadillas”, “chilaquiles”, o como ingrediente principal en la sopa de tortilla, etc., los usos que le ha asignado la costumbre son infinitos (Corona, 2008).

En México la tortilla forma parte de la dieta de todos los estratos sociales, con un consumo per cápita de 120 Kg anuales, esto es 328 Kg/día de tortilla. La tortilla sola provee 38.8% de las proteínas, 45.2% de las calorías y 49.1% del calcio de la dieta diaria de la población México y en zonas rurales provee aproximadamente el 70% del total de las calorías y el 50% de las proteínas ingeridas diariamente. En términos de porcentaje en peso del alimento la tortilla aporta el 65% y el frijol aporta el 15% de la dieta rural (Figuroa *et al.*, 2001). Desde el punto de vista nutricional, en una dieta equilibrada se debe de incluir del 55 al 65% de hidratos de carbono, del 10 al 15% de materia proteica y entre 25 al 35% de materia grasa; pues bien, la tortilla aporta una cantidad importante de esos nutrientes en la dieta de la población consumidora, por lo que se le considera como un alimento de excelente calidad.

México es el principal consumidor de tortilla en el mundo, pues se estima que es consumida por el 94% de la población, por lo que el volumen de producción y consumo es cercano a los 12 millones de toneladas de tortillas por año, lo que representa un porcentaje importante entre los productos alimentarios comercializados en el país. Cabe también señalar que es un alimento de suma importancia en la alimentación de diversos países de Centroamérica.

La tortilla se define como un disco aplanado de masa de maíz nixtamalizado, cuyas dimensiones varían entre doce y dieciocho centímetros de diámetro y de uno a dos milímetros de espesor. Se le cuece sobre una superficie caliente (260-280 °C) generalmente metálica, denominada comal (Cruz y Verdalet, 2007).

1.1.1 Elaboración de tortilla

El proceso de elaboración de la tortilla es muy antiguo; fueron los aztecas quienes transmitieron este procedimiento de generación en generación, el cual ha perdurado a través de los años. En aquella época, el maíz nixtamalizado era molido en un metate de piedra para producir la masa que se utilizaba para formar discos de aproximadamente veinte centímetros de diámetro, los que se cocían en comales de barro. El producto resultante era llamado *tłaxcalli* por los aztecas y posteriormente fue bautizado como “tortilla” por los españoles. Este complejo proceso heredado de nuestros ancestros se utiliza como tal desde hace aproximadamente 3,500 años con sólo algunas modificaciones técnicas.

Del náhuatl nixtli, cenizas, y tamalli, masa, el proceso de la nixtamalización se inicia con la adición de dos partes de una solución de cal aproximadamente al 1% a una porción de maíz. Esta preparación se cuece de 50 a 90 minutos, y se deja remojando en el agua de cocción de 14 a 18 horas. Posterior al remojo, el agua de cocción, conocida como nejayote, se retira y el maíz se lava dos o tres veces con agua, sin retirar el pericarpio ni el germen del maíz. Se obtiene así el llamado maíz nixtamalizado o nixtamal, que llega a tener hasta 45% de humedad.

El maíz nixtamalizado es molido en un metate para producir la masa que se utiliza para formar a mano discos que luego son cocidos en un comal de barro. Es importante indicar que el proceso de molienda requiere la adición de agua y que la masa llega a tener de 48 a 55% de humedad. Finalmente, el disco de masa, de aproximadamente 20 centímetros de diámetro, se cuece permitiendo que un lado de la tortilla esté en contacto con el calor de 30 a 45 segundos, se voltea para cocer el otro lado durante un minuto y otra vez el lado inicial por otros 30 segundos para completar la cocción (En la figura 1.1 se muestra el diagrama de

proceso de elaboración de tortilla a partir de la nixtamalización de maíz) (Cruz y Verdalet, 2007).

La masa es también la materia básica para la preparación de totopos de maíz o fritos, tostadas o totopos de tortilla. Los totopos de maíz se obtienen friendo la masa directamente, mientras que los de tortilla se obtienen precisamente cuando la tortilla cortada se somete al proceso de freído. Los totopos de tortilla absorben mucho más aceite (36%) que los totopos de maíz (24%) y por consiguiente aportan mayor cantidad de calorías (Paredes *et al.*, 2009).

En la actualidad las tortillas ya no se producen solo por método tradicional (anteriormente mencionado), ya que también se producen a partir de harina de maíz previamente nixtamalizada, el cual consiste en adicionar agua a la harina, mezclar para formar la masa y posteriormente la tortilla. Este es un método que se ha adoptado en algunas tortillerías porque reduce tiempos de producción, costos, se ocupa menos espacio en equipos y facilita la elaboración. Aunque sus ventajas en cuanto a costos y tiempos de producción son buenas, las tortillas realizadas por este proceso no conservan el mismo sabor y no presentan las mismas propiedades texturales y organolépticas que las elaboradas por nixtamalización.

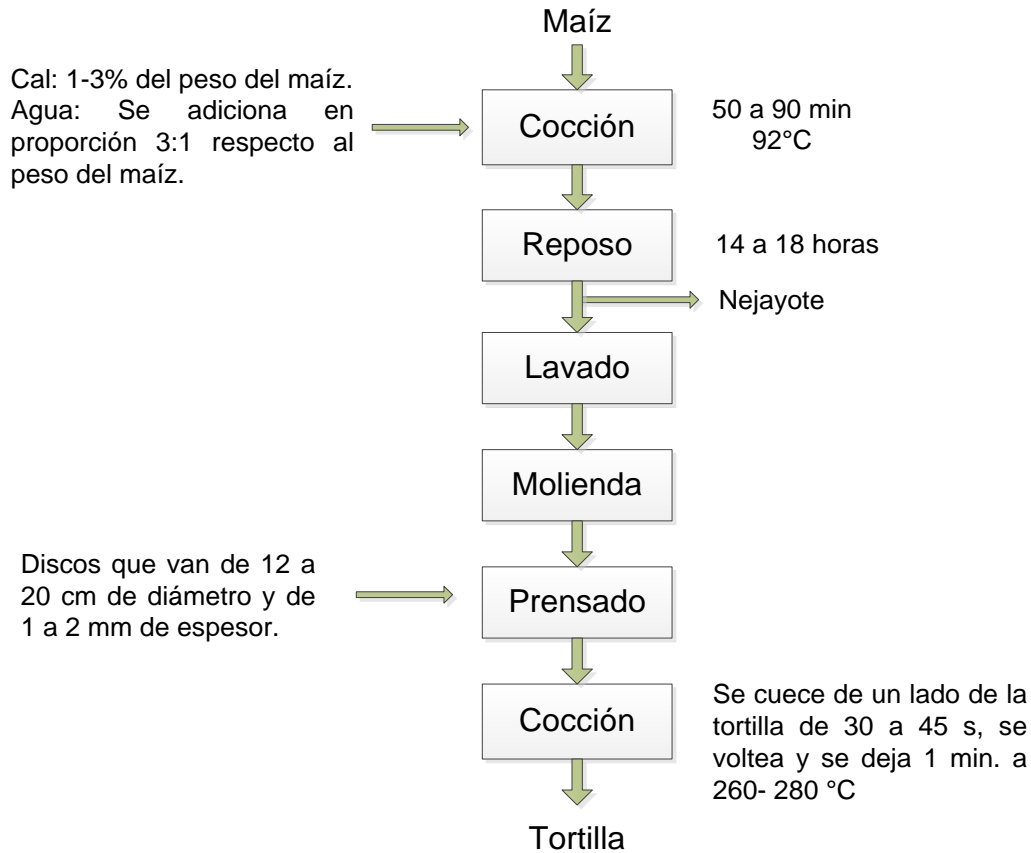


Figura 1. 1 Proceso de elaboración de tortilla (Elaboración propia).

1.2 Polisacáridos

Los polisacáridos constituyen un grupo heterogéneo de polímeros, en el que intervienen más de 10 monosacáridos unidos por distintos enlaces glucosídicos; los polisacáridos de menos de 10 son los oligosacáridos. No producen verdaderas soluciones, sino más bien dispersiones de tamaño coloidal; puros no tienen color, aroma ni sabor.

Se encuentran como cadenas lineales o ramificadas, que a su vez pueden estar integradas por un solo tipo de monosacárido (homopolisacárido) —como el almidón y la celulosa— o por varios tipos de monosacáridos (heteropolisacárido), como es el caso de la mayoría de las gomas.

La unión entre estos polímeros se efectúa sobre todo mediante enlaces electrostáticos, aun cuando pueden existir puentes de hidrógeno, hidrófobos y, en

ocasiones, covalentes. Algunos de estos complejos forman geles cuando se calientan y producen una estructura ordenada tridimensional en la que queda atrapada el agua. De acuerdo con su función biológica, los polisacáridos se han dividido en dos grandes grupos: los que constituyen la estructura celular y le confieren rigidez a los tejidos (celulosa, pectinas, gomas, etc.), y los que representan la reserva energética de animales (glucógeno) y vegetales (inulina y almidón). Los polisacáridos se encuentran en forma natural en muchos alimentos, pero en algunas ocasiones se añaden a otros para obtener la formulación correcta, como en el caso del almidón, la carragenina y las pectinas, que se utilizan por sus propiedades funcionales. Por su gran capacidad de retener agua, producen partículas coloidales muy hidratadas, razón por la cual se les da el nombre de hidrocoloides (Badui, 2006).

• Estabilizadores a través de sus interacciones con agua	• Controlan la cristalización de azúcares, sales y agua.
• Emulsionantes	• Forman películas resistentes
• Gelificantes	• Agentes de suspensión de sólidos en líquidos.
• Estabilizan o forman espumas	• Agentes adhesivos
• Mejoran la textura dándole “cuerpo” al alimento	• Espesantes en alimentos dietéticos bajos en calorías
• Espesantes y agentes de viscosidad	• Agentes clarificantes
• Encapsulación de sabores artificiales, fijación de sabores.	• Crioprotectores de alimentos sometidos a congelación
• Estabilizan sistemas donde hay ciclos de congelamiento y descongelamiento	• Sustitutos de grasa
• Fibra dietética	• Aumentan la viscosidad/mejoran la sensación de cuerpo en la boca
• Protectores de coloides	• Estabilizantes de proteínas
• Inhibidores de sinéresis	• Agentes que mantienen la suspensión

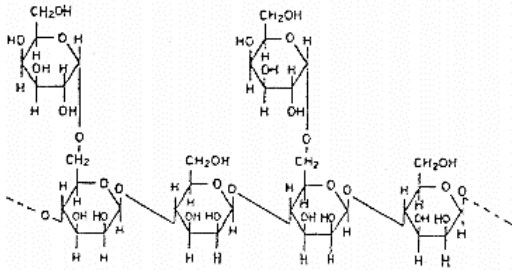
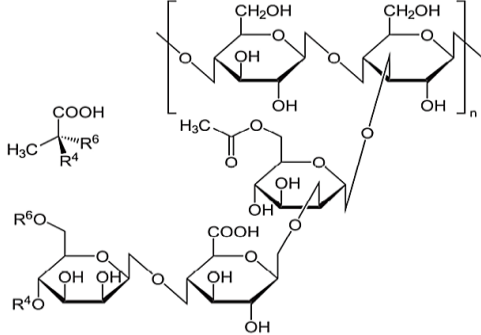
Tabla 1.1 Principales usos de los polisacáridos en alimentos

(Badui, 2006)

Los hidrocoloides juegan un papel fundamental para conseguir las propiedades deseadas en los alimentos (Tabla 1.1) y en el desarrollo de nuevos productos con funcionalidades específicas, como productos con bajo contenido calórico, ricos en fibra, y productos para deportistas, en los que los hidrocoloides son el sustitutivo ideal de las grasas (Morrison *et al.*, 2004).

En la tabla 1.2 se muestran las características específicas de las gomas que se utilizaron en este proyecto.

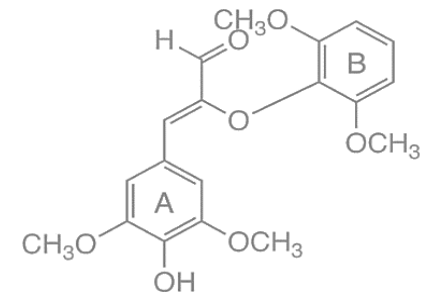
Tabla 1.2 Generalidades de goma guar, goma xantana y carboximetil celulosa.

GOMA	CARACTERISTICAS	OBTENCIÓN	ESTRUCTURA QUÍMICA
GOMA GUAR	<ul style="list-style-type: none"> - Se disuelve completamente en agua fría. - Produce alta viscosidad. - No gelifica. - Su principal uso es como formador de cuerpo, estabilizante y ligador de agua. -Contiene galactosa y manosa en sus bloques estructurales. 	<p>Es obtenida del endospermo de la semilla de la planta guar <i>Cyamopsis tetragonolobus</i>, oriunda de la India y Pakistán.</p>	 <p>The diagram illustrates the chemical structure of Guar gum, which is a branched polysaccharide. It consists of a main chain of D-galactose units linked by (1→3) glycosidic bonds. From each galactose unit, a side chain of D-mannose units branches out, connected by (1→6) glycosidic bonds. The structure is shown as a repeating unit with dashed lines indicating the continuation of the polymer chain.</p>
GOMA XANTANA	<ul style="list-style-type: none"> -Completamente soluble en agua fría o caliente. -Produce elevadas viscosidades en bajas concentraciones. -Da lugar a disoluciones pseudoplásticas. -Excelente estabilidad al calor y Ph. -Espesante, estabilizante y agente para mantener suspensiones. 	<p>Se encuentra de forma natural en la pared celular de la bacteria <i>Xanthomonas campestris</i>, y de forma industrial se produce mediante una fermentación aerobica con glucosa, empleando bacterias purificadas.</p>	 <p>The diagram shows the chemical structure of Xanthan gum, a branched polysaccharide. It features a main chain of D-glucopyranose units linked by (1→3) glycosidic bonds. From each glucose unit, a side chain of D-glucopyranose units branches out, connected by (1→6) glycosidic bonds. The structure is highly branched and includes various substituents: a methyl group (H₃C) and a carboxyl group (COOH) are attached to the side chain, and R⁴ and R⁶ groups are attached to the main chain. The structure is shown as a repeating unit with brackets and a subscript 'n'.</p>

**CARBOXIMETIL
CELULOSA**

- Sal soluble en agua.
- Forma una película al solidificar.
- Actua como ligante, espesante y estabilizante.
- Estabilizante de emulsiones.
- No aporta calorías en la formulación de alimentos.

Obtenida por la hidrolisis ácida y posterior alcalinización de la celulosa.
Se considera una goma semisintética.



(Harding, 1995; Girard, et al., 2002; Bayarri, et al., 2009; Badui,2006 y Keller, 1996).

1.2.1 Almidón

Después de la celulosa, es probablemente el polisacárido más abundante e importante desde el punto de vista comercial. Se encuentra en los cereales, los tubérculos y en algunas frutas como polisacárido de reserva energética. Su concentración varía según el estado de madurez de la fuente.

El almidón es el principal constituyente del maíz (*Zea mays L.*) y las propiedades fisicoquímicas y funcionales de este polisacárido están estrechamente relacionadas con su estructura. El almidón está formado por dos polímeros de glucosa: amilosa y amilopectina. Estas moléculas se organizan en anillos concéntricos para originar la estructura granular. La distribución de la amilosa dentro de los anillos concéntricos difiere entre el centro y la periferia del gránulo, ya que sólo ocupa los lugares disponibles que deja la amilopectina después de sintetizarse (Tetlow *et al.*, 2004).

El almidón representa una fracción importante en un gran número de productos agrícolas como lo son: los cereales (maíz, trigo, arroz), en los cuales se ha reportado un contenido de almidón del 30 al 80%; las leguminosas (frijol, chicharo, haba), con un contenido entre el 25 y 50%; los tubérculos (papa y yuca), con un 60 a 90%; y algunas frutas (platano y mango) que en su estado inmaduro alcanzan el 70% de contenido de almidón en base seca (Bello y Paredes 1999). En la siguiente tabla, se muestran las principales propiedades de los almidones.

Tabla 1.3 Propiedades generales de los almidones.

ESPECIE VEGETAL	AMILOPECTINA (%)	AMILOSA (%)	Tgel* (C°)	TAMAÑO DEL GRANULO (μm)
Maíz	73	27	62 – 72	2 – 30
Maíz rico en amilosa	20 - 45	55 – 80	67 – 80	5 – 25
Maíz céreo	99 – 100	0 – 1	63 – 72	5 – 25
Papa	78	22	58 – 67	5 – 100
Arroz	83	17	62 – 78	2 – 5
Tapioca	82	18	51 – 65	5 – 35
Sorgo céreo	99 – 100	0 – 1	67 – 74	5 – 25
Trigo	76	24	58 - 64	1 - 45

(Jobling, 2004)

Este polisacárido está organizado en partículas discretas conocidas como gránulos, cuya morfología, composición química y estructura son características de cada especie botánica. El tamaño de los gránulos de almidón varía de 0.5 μm a 100 μm (Bello y Paredes, 1999).

En el 2006, el Instituto Internacional del Almidón, reportó que el maíz es la principal fuente de obtención del almidón a nivel mundial, seguido de la papa, el camote y la yuca. La mayor parte de los almidones comerciales se produce a partir de maíz y papa: más del 80% del almidón que se produce es de maíz, principalmente en Estados Unidos. Europa es el mayor productor de almidón de trigo y papa; en Asia a partir de yuca y tapioca; en varios países se produce en menor proporción de arroz y camote (Jobling, 2004).

De las calorías consumidas por los humanos, cerca del 70 al 80% provienen del almidón. Es la principal fuente de almacenamiento de energía en los vegetales, ya

que se encuentra en grandes cantidades en las diversas variedades de plantas, como, por ejemplo, en los granos de cereales, los cuales contienen entre 60 y 75% de su peso seco de almidón, así como también, puede encontrarse en tubérculos, semillas de leguminosas y en algunas frutas, y su concentración varía con el estado de madurez de estos (Thomas, 1999).

Las propiedades más importantes a considerar para determinar la utilización del almidón en la elaboración de alimentos y otras aplicaciones industriales incluyen las fisicoquímicas: gelatinización y retrogradación; y las funcionales: solubilidad, hinchamiento, absorción de agua, sinéresis y comportamiento reológico de sus pastas y geles (Wang y White, 1994).

1.2.1.1 Amilosa y amilopectina

La amilosa es un polímero lineal de unidades de glucosa unidas por enlaces α (1-4), en el cual algunos enlaces α (1-6) pueden estar presentes (Figura 1.2). Esta molécula no es soluble en agua, pero puede formar micelas hidratadas por su capacidad para enlazar moléculas vecinas por puentes de hidrógeno y generar una estructura helicoidal que es capaz de desarrollar un color azul por la formación de un complejo con el yodo (Knutzon y Grove, 1994). Tiene una masa molar aproximadamente de $1 \times 10^5 - 1 \times 10^6$ Dalton (Da) con un promedio de 500 a 6000 unidades de D-glucosa, repartidas en un número de cadenas que va de 1 a 20 (MacAllister, 1979).

Tiene una gran tendencia a retrogradar, por lo que es considerada la principal causa de deterioro a corto plazo (Salinas *et al.*, 2003).

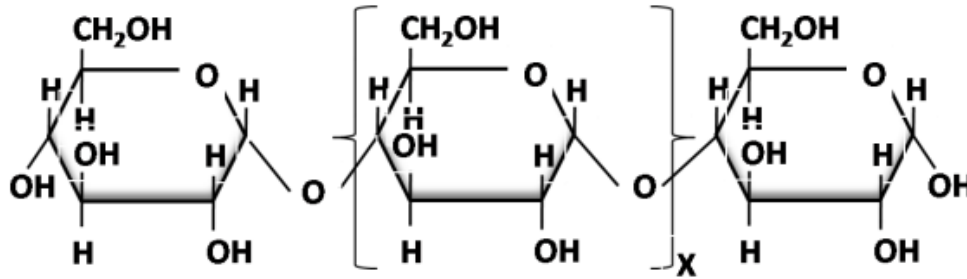


Figura 1. 2Estructura química de la amilosa, cadenas lineales con enlaces glucosídicos α -(1-4) principalmente (Quiroga, 2008).

La amilopectina es un polímero ramificado de unidades de glucosa unidas en un 94-96% por enlaces α (1-4) y en un 4-6% con uniones α (1-6) (Figura 1.3). Dichas ramificaciones se localizan aproximadamente a cada 15-25 unidades de glucosa. La amilopectina es parcialmente soluble en agua caliente y en presencia de yodo produce un color rojizo violeta (Guan y Hanna, 2004).

Por su parte, la amilopectina se diferencia de la amilosa en que contiene ramificaciones que le dan una forma molecular similar a la de un árbol; las ramas están unidas al tronco central (semejante a la amilosa) por enlaces α -D-(1,6) (Badui, 2006). La amilopectina es el componente mayoritario del almidón, se encuentra en una porción del 70 – 80% (almidones normales), en ciertos casos alcanza niveles hasta de 98 – 99% , este tipos de almidones son definidos como cerosos (Zobel, 1988).

La masa molar de la amilopectina varía entre 1×10^6 - 1×10^8 Da, estas variaciones dependen del origen botánico del almidón, de las condiciones de fraccionamiento de las moléculas de amilosa y amilopectina y del método usado para determinar la masa molar (Bello, 2002).

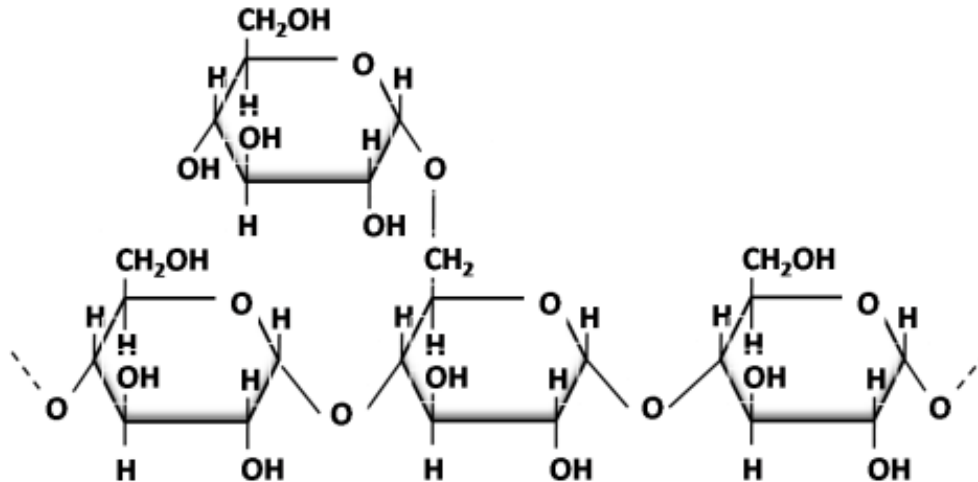


Figura 1. 3Estructura química de la amilosa, cadenas lineales con enlaces glucosídicos α -(1-4) principalmente (Quiroga, 2008).

1.2.1.2 Gelatinización del almidón

Los gránulos de almidón no son solubles en agua a temperatura ambiente debido a su estructura semicristalina. Cuando el almidón se encuentra con suficiente agua, el grano absorbe cierta cantidad de esta y se hincha hasta cierto límite (30 - 50% peso seco del almidón), este proceso es reversible ya que cuando el gránulo de almidón se seca vuelve a su tamaño original (French, 1984). Mediante el calentamiento de los gránulos de almidón en exceso de agua y sobrepasando la temperatura de gelatinización, los gránulos de almidón pierden su estructura molecular manifestándose en cambios irreversibles en las propiedades funcionales tales como: pérdida de estructura cristalina nativa (solubilización) y pérdida de la birrefringencia (Atwell, 1988).

La gelatinización empieza a darse lugar en los gránulos más grandes, debido a que el área de contacto es mayor. En este proceso el agua actúa como plastificante; su efecto favorecedor de la movilidad se lleva a cabo en primer lugar en regiones amorfas, que físicamente tienen la naturaleza de un vidrio. Cuando los gránulos de almidón se calientan en presencia de suficiente agua (al menos 60%) y se alcanza una temperatura específica (T_g Temperatura de transición vítrea), las regiones amorfas plastificadas del gránulo sufren una transición de fase de un estado de vidrio a otro de goma (Figura 1.4) (Fennema, 2000).

Los gránulos de almidón absorben del 20 al 40% de agua y la viscosidad de la disolución aumenta notablemente. A la vez, una parte de la amilosa se difunde fuera del gránulo y pasa a la disolución. Finalmente, el gránulo explota (gránulo fantasma). En esta primera fase, los cristales de almidón se funden y forman una red polimérica. A temperaturas más elevadas (100°C aproximadamente), esta red se rompe y como consecuencia la amilosa y la amilopectina se disuelven, disminuyendo la viscosidad (Núñez, 2009).

La gelatinización del almidón es un proceso endotérmico que corresponde a la disociación de las moléculas de almidón, las cuales se encuentran en una conformación de dobles hélices y pasan a una conformación amorfa (Srichuwong y Jane, 2007).

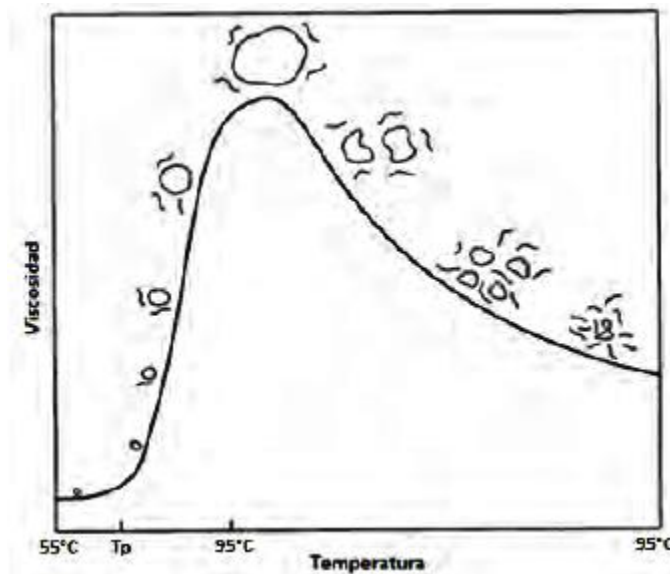


Figura 1. 4 Curva representativa de los cambios de viscosidad, relacionado con el hinchamiento de los gránulos de almidón y su desintegración al calentar una suspensión a 95°C (Fennema, 2000).

1.2.1.3 Retrodegradación

La retrogradación del almidón es un proceso que ocurre cuando las moléculas en los gránulos de almidón gelatinizados comienzan a reasociarse en una estructura ordenada (Atwell, 1988). Se presenta durante el almacenamiento prolongado de las dispersiones de almidón gelatinizado.

Las moléculas de almidón, que, tras la gelatinización, se presentan en forma amorfa, gradualmente se reasocian formando cristales, que están compuestos por las dobles hélices del almidón (Figura 1.5). La formación de dobles hélices se debe a interacciones hidrofóbicas y puentes de hidrogeno, las cuales se forman entre las cadenas del almidón. Las cadenas de amilosa retrogradan mucho más rápido que las moléculas de amilopectina. La formación de dobles hélices en las moléculas de amilosa se presentan inmediatamente después de la gelatinización, por lo cual, la amilosa es la responsable de los principales cambios reológicos de las pastas (firmeza y rigidez). Por su parte, la retrogradación de amilopectina es más lenta, y puede presentarse a lo largo de días o semanas, debido a su estructura altamente ramificada. La velocidad de retrogradación depende de varios factores: longitud de las cadenas de amilopectina, concentración de lípidos y derivados monoéster y fosfatos (Srichuwong y Jane, 2007).

La retrogradación es un fenómeno complejo y depende de varios factores, tales como la fuente y concentración de almidón, la temperatura de cocción y enfriamiento, el pH y la presencia de solutos.

El proceso de recristalización de los geles de almidón se puede considerar que obedece a un mecanismo clásico de tres etapas parecido a la cristalización de polímeros sintéticos: nucleación, propagación o crecimiento del cristal, y maduración (Bilia, 1988).

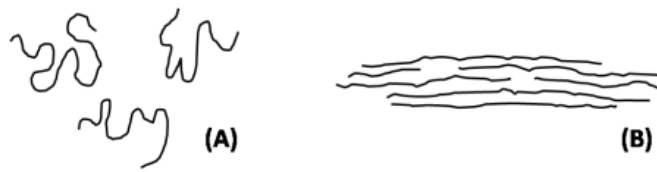


Figura 1. 5 Esquematización del proceso de retrogradación de la amilosa. (A) Moléculas de amilosa lixiviadas y ordenadas aleatoriamente en el sistema durante el proceso de gelatinización y (B) Moléculas de amilosa con algún grado de orden después del proceso de enfriamiento (Quiroga, 2000).

1.3 Almidón retrogradado (Suarez *et al.*, 2009).

Los almidones han sido clasificados en tres categorías con base en el grado de digestibilidad y asimilación de los procesos digestivos:

- De rápida digestión: su asimilación y absorción es completa en el intestino delgado por los procesos digestivos. Por ejemplo: harinas de maíz o arroz para la preparación de atoles, harinas de trigo para *hot cakes* y frituras, entre otros; esto se debe al alto grado de refinación de los granos de los cuales provienen, y tienen como característica que el almidón sea fácilmente hidrolizado por las enzimas.
- De baja digestibilidad: su absorción es lenta, pero completa; esto ocurre con almidones contenidos en algunos alimentos procesados como los espaguetis o cereales para el desayuno que, por sus características físicas, retrasan la digestibilidad o en el caso de los granos enteros como las leguminosas, por los cuales disminuye la velocidad de hidrólisis del almidón.
- Indigeribles: su digestibilidad puede ser parcial y/o resistente a los procesos digestivos. Esto ocurre en alimentos que durante su elaboración y por el tipo de procesamiento, el almidón presenta cambios estructurales debido a la formación de estructuras cristalinas compactas, además de las características físicas del propio alimento, teniendo como consecuencia que su hidrólisis sea inhibida por las enzimas digestivas y que no puedan penetrar en el almidón, lo que es conocido como almidón resistente o almidón retrogradado, que presenta resistencia a la digestibilidad; o en

alimentos frescos en los cuales el almidón se encuentra protegido por las estructuras celulares del alimento y las enzimas digestivas se vean limitadas en su acción enzimática. El almidón que no es digerido pasa al intestino grueso, el cual es fermentado por los microorganismos del colon o, en su defecto, puede ser eliminado en las heces sin ser asimilado en su totalidad.

La fracción no hidrolizada se denomina *almidón resistente*, el cual puede definirse con base en los criterios establecidos por la euresta (European Research Project on Resistant Starch o Proyecto Europeo de Investigación Sobre Almidón Resistente) como: “la suma de almidón y los productos de almidón degradados que no pueden ser absorbidos en el intestino delgado en individuos sanos” (Tovar y Björck, 1990).

El almidón resistente se clasifica en cuatro fracciones (Sajilata *et al.*, 2006 y Quiroga, 2008):

- Almidón resistente tipo 1 (AR1): se refiere al almidón físicamente inaccesible, su estructura compacta obstaculiza el desdoblamiento del almidón por enzimas digestivas. Por ejemplo: granos enteros o parcialmente molidos, semillas, y legumbres. Es térmicamente estable en la mayoría de las operaciones normales de cocción y puede usarse como ingrediente en una amplia gama de alimentos convencionales.
- Almidón resistente tipo 2 (AR2): son los gránulos nativos que no han sido sometidos al proceso de cocción, sus enlaces químicos impiden el desdoblamiento. Este tipo de almidones resistentes se caracteriza por una alta resistencia a la gelatinización, por ejemplo se necesitan temperaturas por encima de los 120 °C para gelatinizar almidones con alto contenido de amilosa. El almidón nativo de papa también es una fuente de AR2 pero es fácilmente gelatinizado en presencia de agua alrededor de 60 °C. Por ejemplo: papa cruda, plátano verde, algunas legumbres y almidón de maíz con alto contenido de amilosa.

- Almidón resistente tipo 3 (AR3), es el almidón retrogradado que se forma en los alimentos que han sido cocinados y almacenados, que a su vez, se crea una estructura la cual no puede ser desdoblada por las enzimas (amilasas pancreáticas). Varios ciclos de re-calentamiento y enfriamiento incrementan la cantidad de AR3. Por ejemplo: papas cocidas y enfriadas, pan y hojuelas de almidón.
- Almidón resistente tipo 4 (AR4), es el almidón elaborado por métodos químicos (alimentos procesados).

1.3.1 Almidón retrogradado en la salud.

El almidón retrogradado ha adquirido gran importancia en la nutrición ya que se le ha relacionado con la reducción en el consumo de calorías y el índice glicémico, estimulación de la microflora intestinal benéfica y prevención de algunas enfermedades cardiovasculares (Lehman, *et al.*, 2002).

Algunos de los beneficios en la salud, se nombran a continuación:

- **Efectos hipoglucémicos.**

Los alimentos que contienen almidón retrogradado moderan la velocidad de la digestión. El metabolismo del almidón retrogradado ocurre después de 5 a 7 horas de su consumo, a diferencia del almidón normal cocido que es digerido casi de inmediato. Periodos de digestión por encima de las 5 a 7 horas reduce la glucemia y la insulinemia postprandial y tiene el potencial para incrementar el periodo de saciedad (Raben *et al.*, 1994; Reader *et al.*, 1997).

Una manera de comparar la calidad de los distintos carbohidratos contenidos en los alimentos es a través del índice glucémico (índice glicémico) que es una forma de cuantificar la respuesta glucémica (Jenkins *et al.*, 2002; Jenkins *et al.*, 1981)

- **Como prebiótico.**

Promueve el crecimiento de microorganismos beneficiosos tales como las bífidobacterias (Brown, 2004). El almidón retrogradado puede servir de sustrato para el crecimiento de estos microorganismos probióticos. El almidón retrogradado puede ser considerado como un prebiótico al estimular de manera selectiva a la

bacteria que produce butirato y así mantener un colon saludable en el individuo (Sajilata *et al.*, 2006).

- **Inhibición de la acumulación de grasa.**

El reemplazo de un porcentaje del total de carbohidratos en la dieta por AR incrementa la oxidación lipídica postprandial, sugiriendo una reducción en la acumulación de grasa a largo plazo. Estudios clínicos recientes con almidón de maíz resistente con alto contenido de amilosa mostraron que la oxidación de grasa incrementó después de la ingesta del alimento. También cambió la secuencia en la cual el cuerpo quema el alimento, es decir las grasas fueron quemadas en primer lugar y los carbohidratos y las proteínas posteriormente (Higgins *et al.*, 2004).

- **Efectos sobre el control de peso y obesidad**

El AR tiene la habilidad de incrementar la saciedad y mitigar el hambre con un efecto positivo contra el aumento de peso y la obesidad. El aporte energético de AR es menor que el de los almidones fácilmente digeribles, 1.6-2.5 kcal/g versus 4 kcal/g (Jenkins *et al.*, 1981).

- **Absorción de minerales**

El AR parece tener un efecto positivo en la absorción intestinal de ciertos minerales. Estudios publicados muestran que alimentos con un contenido de AR incrementan la absorción aparente de hierro y calcio en comparación a alimentos con almidón completamente digerible (Morais *et al.*, 1996).

1.3.2 Ruta del almidón en el sistema digestivo

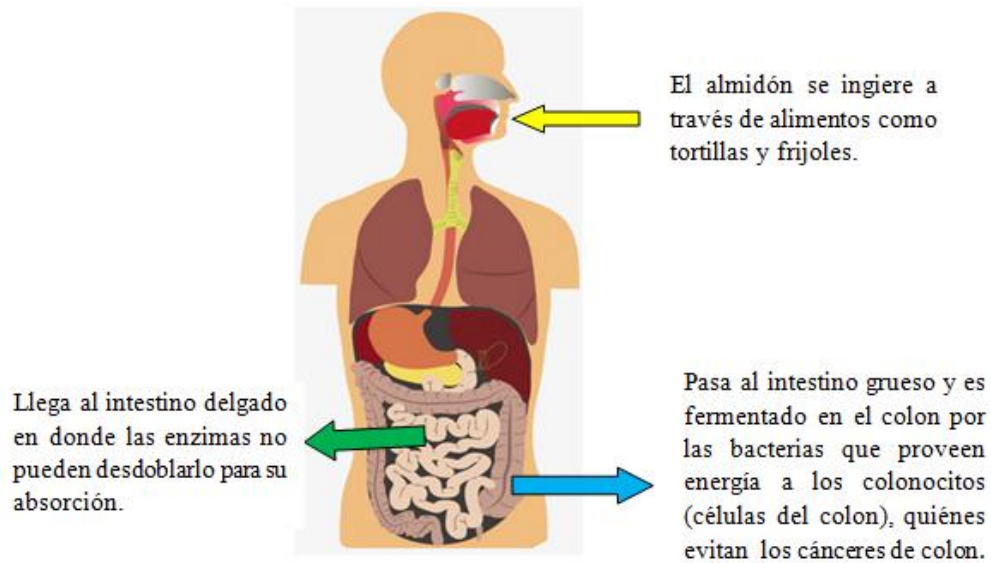


Figura 1. 6 Ruta del almidón en el sistema digestivo (Bello et al., 2001).

1.4 Generalidades de reología

Los modelos reológicos de un alimento procesado, permiten simular la respuesta del material a un esfuerzo o deformación aplicada, al igual que predecir el comportamiento del material de acuerdo a su composición y su forma de preparación (Rodríguez, et al., 2005).

Las propiedades reológicas de un alimento pueden expresarse en términos de funciones viscosas, elásticas y viscoelásticas que relacionan el esfuerzo con la deformación.

El esfuerzo, definido como una fuerza sobre unidad de área y expresado generalmente en Pa (N/m^2), puede producirse por tensión, compresión o corte, mientras que la deformación, medida adimensional, es la razón de cambio de longitud de deformación con la longitud original del material cuando se aplica un esfuerzo.

Las funciones de viscosidad se utilizan generalmente para relacionar el esfuerzo con la velocidad de corte en sistemas líquidos, mientras que las funciones de elasticidad relacionan el esfuerzo con la deformación en materiales sólidos (Rao, 1999; Steffe, 1996).

Las masas de trigo y maíz son materiales viscoelásticos, sus propiedades reológicas dependen de su composición y de las condiciones de proceso utilizadas en su elaboración (Rao, 1993).

La manera más general de clasificar el comportamiento de los materiales se divide en tres categorías (García-Rejón, 1981):

1. Sólido de Hooke, materiales que obedecen a la Ley de Hooke.
2. Materiales viscoelásticos.
3. Fluido Newtoniano, materiales que obedecen la Ley de Newton.

Los materiales sólidos ideales que obedecen a la ley de la elasticidad (ley de Hooke), consideran que la deformación (γ), es directamente proporcional al esfuerzo aplicado (σ) (Ferry, 1980).

$$\sigma = G\gamma \quad \text{Ecuación 1.1. Ley de la elasticidad.}$$

σ = Esfuerzo

G = Módulo elástico

γ = Deformación (adimensional)

La ley de Hooke está representada por un resorte que describe el módulo elástico.

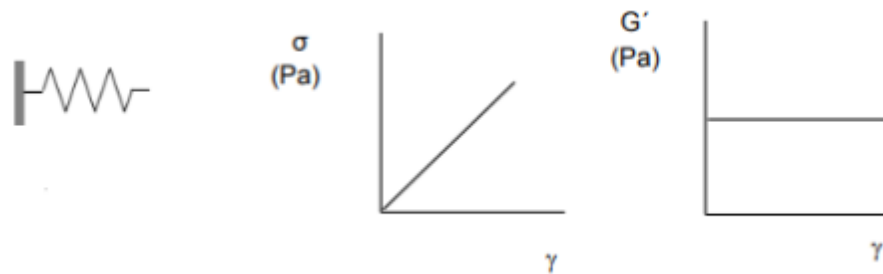


Figura 1. 7 Modulo elástico de Hooke (Goodwin y Hughes, 2000).

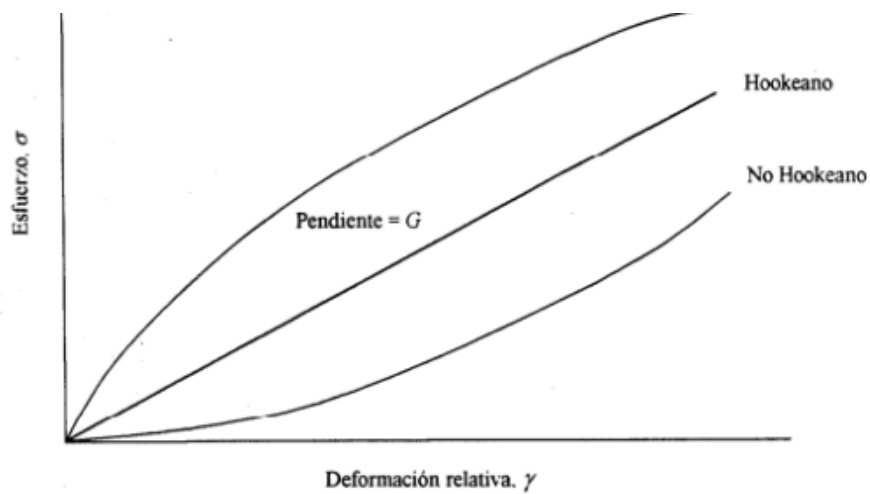


Figura 1. 8 Comportamiento ideal en sólidos (Goodwin y Hughes, 2000).

La ley de Newton trata las propiedades de los líquidos viscosos ideales, contemplando que el esfuerzo es independiente de la deformación (Ferry, 1980), el cual lo representa a partir de un pistón.

$$\sigma = \eta \dot{\gamma} \quad \text{Ecuación 1.2. Ley de los líquidos viscosos}$$

σ = Esfuerzo de cizalla

η = Viscosidad

$\dot{\gamma}$ = Velocidad de cizalla

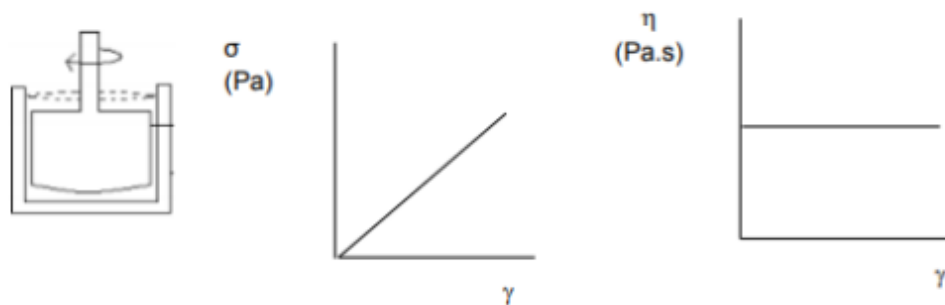


Figura 1. 9 Comportamiento de un material líquido que obedece la ley de Newton (Goodwin y Hughes, 2000).

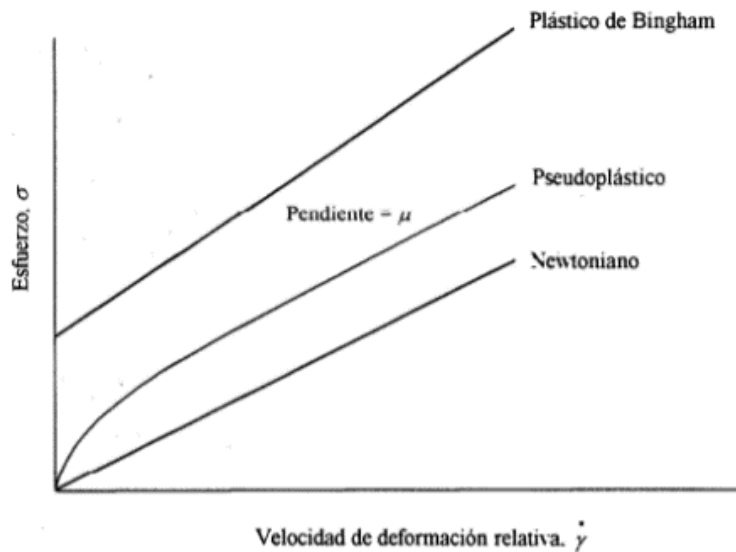


Figura 1. 10 Comportamiento ideal en fluidos (Goodwin y Hughes ,2000).

Para un líquido newtoniano toda la energía al hacerlo fluir se disipa en forma de calor, mientras que para un sólido que sigue la ley de Hooke, la energía aplicada al deformarlo se almacena como energía potencial, el cual puede ser recuperada (Goodwin y Hughes, 2000).

1.4.1 Viscoelasticidad (Prueba dinámica oscilatoria)

La viscoelasticidad es la particularidad que presentan ciertos productos de tener características que varían desde los sólidos ideales o sólidos de Hooke (100% elástico) a los líquidos ideales o líquido de Newton (100% viscosos). Con respecto a la elasticidad se puede afirmar que en los materiales viscoelásticos se debe a la deformación elástica de las macromoléculas. Aún, sin embargo, en este tipo de materiales la recuperación es parcial, porque la red tridimensional elástica se desintegra bajo el efecto de la tensión (Magaña, 2007).

Los materiales viscosos y elásticos utilizan la energía para generar calor y almacenar energía respectivamente, ya que el esfuerzo resulta de la combinación

de la deformación y velocidad de la deformación (Magaña, 2007). En los alimentos la elasticidad se da por deformaciones en las macromoléculas y la recuperación es parcial debido a la tensión que rompe la red tridimensional y cuanto menos se rompa más elástico será el alimento y por el contrario este será más viscoso.

Se definen dos propiedades reológicas, el módulo de almacenamiento, G' , que representa la componente elástica del producto, y el módulo de pérdida, G'' , que representa su carácter viscoso y pueden expresarse de la siguiente manera:

$$G' = G^* \cos\delta = \left(\frac{\tau_o}{\gamma_o} \right) \cos\delta$$

Ecuación 1.3 Módulo de almacenamiento

$$G'' = G^* \sin\delta = \left(\frac{\tau_o}{\gamma_o} \right) \sin\delta$$

Ecuación 1.4 Módulo de pérdida.

en la que τ_o y γ_o son, respectivamente, las amplitudes de las ondas del esfuerzo y de la deformación y es el ángulo de desfase. Si el fluido es puramente elástico, $\delta=0^\circ$ y $G^*=G'$, $G''=0$. En un fluido viscoso ideal $\delta=90^\circ$ y $G''=G^*$, $G'=0$.

1.4.2 Perfil de viscosidad (pastificado)

Las propiedades de pastificado se obtienen al estudiar el perfil de pastificado de agua con almidón, en función del tiempo y la temperatura. Su importancia es que muchos alimentos se cocinan con agua; este proceso provoca grandes cambios en la estructura y la morfología de los gránulos de almidón (Henry *et al.*, 2009).

Generalmente hay cinco características (Figura 1.11) principales que se estudian en un perfil de pastificado: viscosidad máxima y temperatura máxima de viscosidad, facilidad de cocción, estabilidad de la pasta o resistencia a la

deformación, retrodegradación o viscosidad de la pasta fría y estabilidad de la pasta cocida (Kong *et al.*, 2015).

El sistema comercial utilizado para estudiar el perfil de pastificado se basa sobre el principio dado por las ecuaciones de Rushton (Rushton *et al.*, 1950), el cual se trata sobre el uso de un impulsor para estudiar las propiedades reológicas de un sistema.

El supuesto básico del impulsor del viscosímetro, es que la velocidad de corte es independiente de las propiedades reológicas del fluido. El sistema experimental puede convertir la lectura de torque en un esfuerzo cortante en relación con la velocidad de corte (Rincón-Londoño *et al.*, 2016).

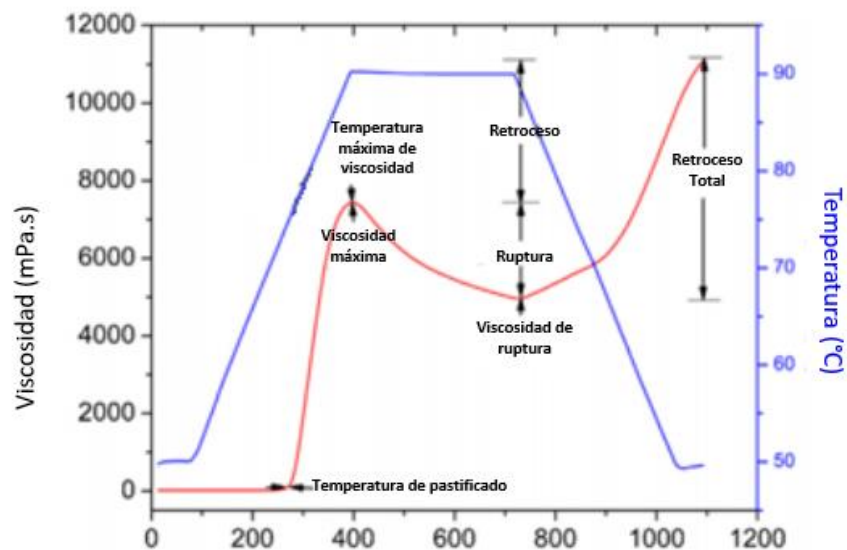


Figura 1. 11 Perfil de pastificado y definiciones convencionales utilizadas en el análisis (Rincón-Londoño *et al.*, 2016).

El perfil de pastificado se divide en 3 regiones: Región I, corresponde al proceso de calentamiento de la suspensión de almidón-agua de 50°C a 90°C; Región II, corresponde a la isoterma (90°C) y Región III que corresponde al enfriamiento de 90°C a 50°C (Rincón-Londoño *et al.*, 2016).

1.5 Desperdicios alimenticios.

Un tercio de los alimentos producidos para el consumo humano se pierde o se desperdicia a nivel mundial, lo que equivale a aproximadamente 1 300 millones de toneladas al año, lo que incluye el 30% de los cereales, entre el 40 y el 50% de las raíces, frutas, hortalizas y semillas oleaginosas, el 20% de la carne y productos

lácteos y el 35 % de los pescados. La FAO calcula que dichos alimentos serían suficientes para alimentar a 2 000 millones de personas (Benítez, 2019).

Las pérdidas se refieren a la disminución de la masa disponible de alimentos para el consumo humano en las fases de producción, post-cosecha, almacenamiento y transporte. Esto puede ser el resultado de problemas previos a la cosecha, como infestaciones de plagas, o problemas en la recolección, manejo, almacenamiento, empaquetado o transporte. Algunas de las causas subyacentes a la pérdida de alimentos incluyen la falta de infraestructura, mercados, mecanismos de precios o incluso la falta de marcos legales. Un ejemplo de ello puede ser los tomates que se aplastan durante el transporte debido a un embalaje inadecuado.

El desperdicio de alimentos se refiere a las pérdidas derivadas de la decisión de desechar los alimentos que todavía tienen valor y se asocia principalmente con el comportamiento de los vendedores mayoristas y minoristas, servicios de venta de comida y consumidores (Benitez, 2019). Ejemplo de esto es cuando un alimento ya paso la fecha de consumo preferente, y desechamos el producto; o cuando algún producto ya no es organolépticamente agradable y lo desechamos, ejemplo de esto puede ser un plátano que presenta oscurecimiento enzimático. Las pérdidas y desperdicios impactan la sostenibilidad de los sistemas alimentarios, reducen la disponibilidad local y mundial de alimentos, generan menores ingresos para los productores y aumentan los precios para los consumidores. Además, tienen un efecto negativo sobre el medio ambiente debido a la utilización no sostenible de los recursos naturales.

Los desperdicios a lo largo de la cadena alimentaria es la siguiente: el 28% ocurre a nivel del consumidor; el 28% a nivel de producción, el 17% en mercado y distribución y el 22% durante el manejo y almacenamiento y el 6% restante a nivel de procesamiento (Benitez, 2019).

En México se desperdicia el 34% de los alimentos que se producen, 79 alimentos representativos en la canasta alimentaria de México se calcula un desperdicio de 20.4 millones de toneladas cada año, que implica grandes impactos ambientales

por excesivo uso de agua y generación de bióxido de carbono (SEMARNAT, 2018).

En México, del total de tortillas producidas cada año, el 28 por ciento no se consume y se desperdicia (3 de cada 10), de acuerdo con el Informe Pérdidas y Desperdicios de Alimentos en México del Banco Mundial (Ortega, 2017).

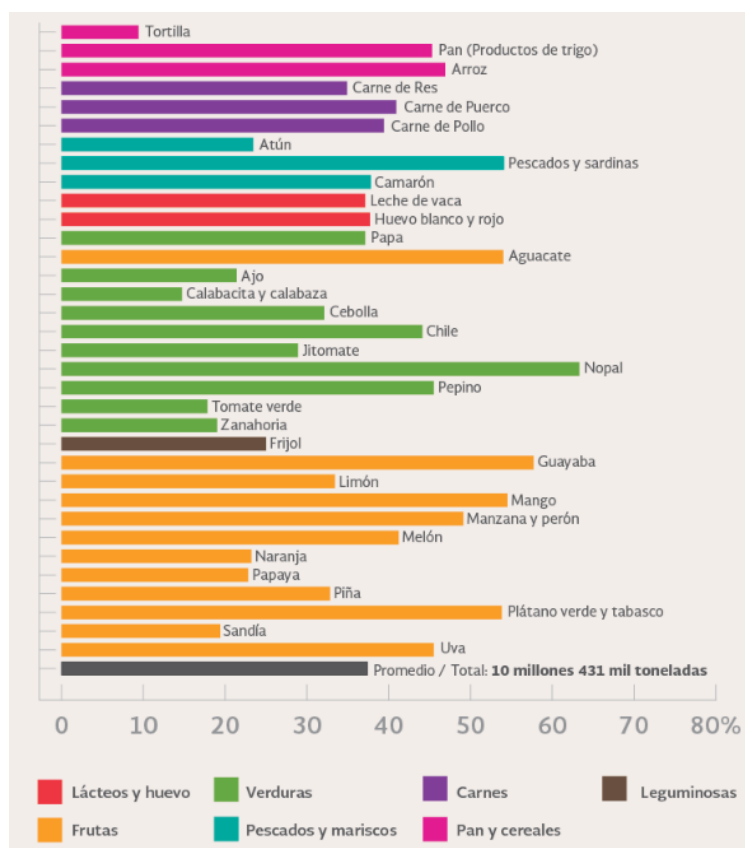


Figura 1. 12 Desperdicio de alimentos en México (s.f.). Recuperado de: http://www.sedesol.gob.mx/boletinesSinHambre/Informativo_02/infografia.htm

1.6 Frituras

Las frituras se han hecho parte importante de la alimentación en la vida diaria ya que nos brindan ventajas en su consumo, son económicos, de fácil acceso, producen saciedad gástrica, tienen alta densidad energética, agradable sabor, textura crujiente y son llamativos a la vista (Gómez, 2014). Una fritura principalmente se caracteriza por estar elaborado a base de harina de maíz o trigo.

Una fritura se puede definir como un alimento pequeño, que puede consumirse inmediatamente después de abrir el empaque y de fácil acceso; puede considerarse de bajo aporte nutrimental, debido, a su alto contenido de carbohidratos y grasas principalmente.

En la actualidad debido a las enfermedades que se han ido originando en México y en el mundo, las personas hemos ido tomando más conciencia de la importancia de una alimentación sana; lo que ha generado que por parte de la industria de los alimentos, se genere esa necesidad de elaborar frituras que sigan teniendo las características antes mencionadas, pero que aporten nutrimentos y beneficios a la salud de quienes los consumen.

1.6.1 Frituras en México

En México somos uno de los países que más consumimos frituras reportándose los siguientes porcentajes: 58% prefieren frituras de maíz; 29%, papas; 4%, botanas de harina de trigo, y 9% optan por otras.

Estos productos, conocidos como “comida chatarra”, por ser alimentos que contienen importantes niveles de grasa, sal o azúcares, condimentos y aditivos, son de consumo masivo.

Un estudio realizado por el Departamento de Atención a la Salud, de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), concluyó que más de 70% de los niños en edad escolar consumen altas cantidades de alimentos “chatarra”, lo cual parece correlacionarse con sobrepeso y obesidad, aunado a la disminución de la actividad física y el aumento de la vida sedentaria.

El contenido calórico de las botanas que se comercializan en México es alto, va de las 462 hasta las 573 kilocalorías por 100 g de producto, que provienen principalmente de las grasas y carbohidratos que contienen y que representan una cuarta parte de las 2,000 kilocalorías que debemos consumir al día.

En cuanto a las grasas contienen alrededor de 30 g por 100 g de producto, y provienen del aceite usado en el proceso de su elaboración que aporta sabor y textura al producto (PROFECO, 2018).

Los alimentos freídos son cada vez más consumidos debido a su practicidad, características sensoriales y a los requerimientos de la energía en la dieta. Sin embargo, un elevado consumo de estos productos puede causar problemas a la salud; en este sentido es importante también mencionar a los ácidos grasos “trans” los cuales tienen impactos negativos en ella (Ascherio, 2006).

Los ácidos grasos insaturados pueden existir en dos formas geométricas diferentes. Estas se denominan “cis” y “trans”. Los ácidos grasos insaturados existen naturalmente en la forma “cis” pero en la forma “trans” están presentes después de la hidrogenación parcial de los aceites líquidos, aunque también hay formación de estos después de tratamientos térmicos severos en aceites poliinsaturados. En la hidrogenación, se adicionan átomos de hidrógeno en los dobles enlaces modificando la apariencia física del aceite y aumentando tanto su punto de fusión como su estabilidad a la oxidación (Arqué, 2008).

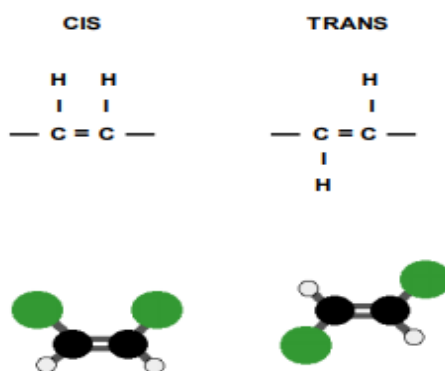


Figura 1. 13 Isómeros de ácidos grasos trans en la salud humana y en la industria alimentaria. Biol. Res. (Valenzuela y Morgado, 1999).

1.6.2 Tamaño de partícula en frituras.

Las harinas de maíz nixtamalizado (HMN) no presentan un tamaño de partícula uniforme. Al separar las HMN en fracciones, éstas pueden contener partículas de

diversos tamaños y generalmente se reporta un diámetro de tamaño de las partículas (% DTP) contenidas en la HMN. Normalmente, en una HMN debe de predominar un cierto tamaño de partículas que posea determinadas características físico-químicas. El estado fisicoquímico de las fracciones se considera un criterio importante para las aplicaciones de las HMN en la fabricación de tortillas o productos derivados (Gómez *et al.*, 1991). Las tortillas mexicanas requieren una HMN que contenga %DTP finas para promover el desarrollo de una masa cohesiva y tortillas con mayor flexibilidad, mientras que las tostadas de maíz y las frituras de tortilla mexicana, requieren un %DTP gruesa que promueven una textura crujiente en las tortillas (Fernández *et al.*, 2010).

Existen reportes, que entre menor es el valor del índice de tamaño de partícula, la harina de maíz es más fina y para la elaboración de productos fritos, es recomendable que la harina sea más gruesa que la utilizada para elaboración de tortillas. Un mayor tamaño de partícula de la harina provee a la masa de poros que permiten la salida adecuada del vapor de agua durante el proceso de freído y no permite que se formen burbujas en la botana (lo cual es un índice de mala calidad, ya que se retiene más aceite). Por otro lado, para la elaboración de tortilla se requiere harina con menor tamaño de partícula, porque esto favorece la retención de vapor, por lo tanto, la formación de ampollas durante el proceso de horneado, lo cual es una característica deseable en este tipo de productos.

1.7 Proceso de freído.

La fritura es una operación unitaria destinada para modificar las características organolépticas del alimento. Un objetivo secundario de la fritura es el efecto conservador que se obtiene por destrucción térmica de los microorganismos y enzimas presentes en el alimento y por reducción de la actividad de agua en la superficie del mismo (o en toda su masa, en los alimentos cortados en rodajas finas) (Fellows, 1994).

Cuando un alimento se sumerge en aceite caliente, su temperatura aumenta rápidamente y el agua que contiene se elimina en forma de vapor, por lo que su superficie comienza a deshidratarse. La temperatura de la superficie del alimento

alcanza la del aceite caliente y la interna aumenta lentamente hasta alcanzar los 100°C. Además, muchos otros cambios pueden ocurrir durante la fritura de un alimento, como la gelatinización del almidón, reacciones de Maillard, desnaturalización de proteínas y descenso de la humedad (Mellema, 2003). Estos cambios se manifiestan por la deshidratación del producto, la formación de una costra superficial, con una apariencia de un color dorado, de buena textura y con mucha palatabilidad. Esta costra es la responsable de la crujencia de los productos fritos y juega un papel importante en la absorción de aceite (Kochhar y Gertz, 2004). La costra superficial desarrollada por la fritura posee una estructura porosa constituida por conductos capilares de diámetro variable. Durante la fritura, el agua y el vapor de agua que rellena los capilares de mayor tamaño son desplazados por el aceite caliente. El agua se elimina en forma de vapor desde la capa superficial del alimento atravesando una fina película de aceite. Las velocidades de transferencia de masa y energía dependen del grosor de la capa superficial y se hallan determinadas por la viscosidad y la velocidad del aceite sobre la misma.

A mayor temperatura de freído los tiempos son menores, pero a estas temperaturas el aceite se altera. Se producen ácidos grasos libres que modifican su viscosidad, sabor y aroma.

El proceso de fritura, actualmente se clasifica en cuatro etapas:

1. Etapa de calentamiento inicial: En esta etapa la temperatura de la superficie del alimento se eleva a temperaturas de ebullición del agua superficial. Posee una duración de 10 segundos, caracterizada por una insignificante pérdida de agua y transferencia de calor a través de convección natural.
2. Calentamiento de la superficie: El mecanismo de transferencia de calor cambia de convección natural a convección forzada, aumentando su transferencia. Durante esta etapa del proceso, el vapor de agua liberado por el alimento, impide que el aceite ingrese. Luego, comienza la formación de la corteza de revestimiento.

3. Etapa de velocidad decreciente: Esta etapa se caracteriza por ser la más larga de todas, donde ocurre la mayor pérdida de humedad. La temperatura del centro se acerca al punto de ebullición del agua. Posteriormente, la transferencia de vapor es constante y disminuye debido a la reducida cantidad de agua libre y el engrosamiento de la corteza, que actúa como barrera para la liberación rápida de vapor.
4. Etapa final o "punto final de burbujeo": Esta etapa se destaca por el aparente cese de la pérdida de humedad en los alimentos, pudiendo deberse a la falta de agua líquida o una reducción en la transferencia de calor en la interfaz de la corteza/centro. La conductividad térmica de la corteza es baja debido a su sequedad y porosidad. Cabe destacar, que la absorción continúa luego de retirar el producto del aceite (Brannan *et al.*, 2014; Mehta y Swinburn, 2001).

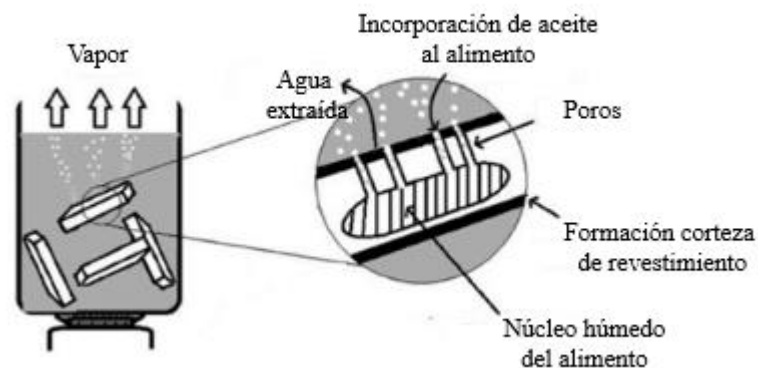


Figura 1. 14 Proceso de fritura (Montes, *et al.*,2016).

1.7.1 Tipos de freído

Tabla 1..4 Tipos de freído

TIPOS DE FREÍDO	CARACTERISTICAS
Inmersión o profundo	<ul style="list-style-type: none"> • Es cuando el alimento es sumergido en el aceite. Se utilizan grasas y aceites como medio de transferencia de calor. • Transmisión de calor por convección (en la masa del aceite) y por conducción (en el interior del alimento). • Método de deshidratación controlada. • El alimento recibe en toda su superficie el mismo tratamiento térmico, lo cual transfiere un color y aspecto uniformes. • Los alimentos de formas irregulares tienden a absorber más aceite. • A un alto contenido de humedad de los productos alimenticios, corresponde una mayor absorción de aceite.
Contacto o superficial	<ul style="list-style-type: none"> • Es más adecuado para alimentos de relación superficie/volumen favorable (por ejemplo: tocino, huevos, carne para hamburguesa, etc.). • Transmisión de calor por conducción, desde la superficie del sartén, a través de una fina capa de aceite. • Irregularidades de color marrón.

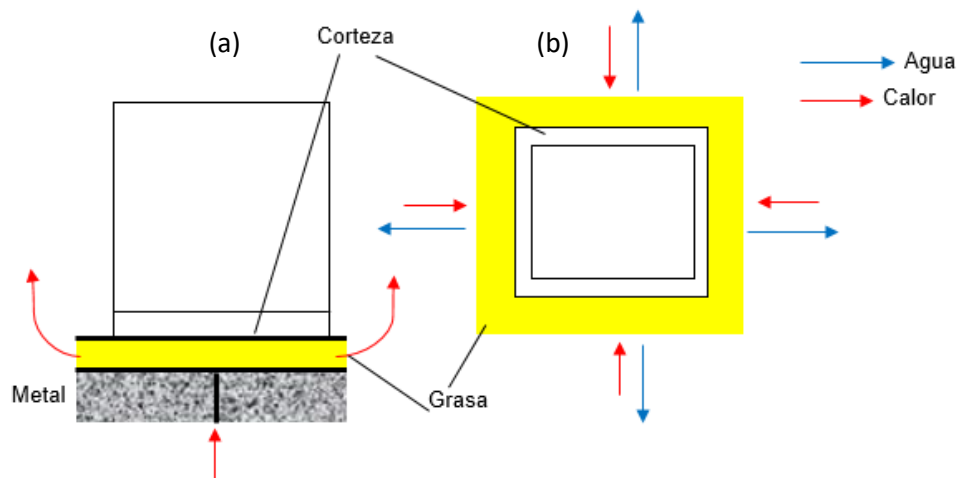


Figura 1. 15 Transferencia de masa y energía (a) fritura superficial, (b) fritura por inmersión. (Fellows, 1994).

1.7.2 Absorción de aceite

La absorción de aceite se determina por Mellema mediante los siguientes mecanismos:

1. Mecanismo de reemplazo de agua: Durante la fritura se produce una transferencia de calor entre el alimento y el ambiente. El agua se evapora rápidamente y la superficie exterior se seca, formando una costra por la existencia de dos regiones en constante movimiento, una deshidratada denominada corteza y un centro húmedo. La humedad en el producto frito se convierte en vapor, creando una gradiente de presión positiva, esto determina que el vapor escape por las grietas y abra los capilares (canales en la estructura y en las membranas celulares), generando que durante esta fase exista un menor ingreso de aceite, el cual corresponde aproximadamente a 20% de la absorción final. Sin embargo, la absorción del aceite no se produce si los poros de la superficie del alimento están siendo ocupados por el vapor de agua. Por lo tanto, la absorción de aceite está determinada en gran medida por el contenido de humedad de los alimentos (Dana y Saguy, 2003; Mellema, 2003; Brannan, 2014; Dana y Saguy, 2006; Moreira *et al.*, 1997).
2. Fase de enfriamiento o condensación: Al retirar el alimento del aceite caliente, el núcleo de este comienza a enfriarse, provocando la condensación gradual del vapor de agua presente en el interior del alimento. En consecuencia, disminuye la presión interna que provoca un efecto de vacío, donde se produce la mayor absorción y el aceite adherido a la superficie del alimento es aspirado (Dana y Saguy, 2003; Mellema, 2003; Brannan, 2014; Dana y Saguy, 2006; Ufheil y Escher, 1996).

1.7.3 Aceite en el freído.

Un aceite se utiliza varias veces antes de ser descartado; hasta 22 veces en los servicios de alimentación y hasta 30 en restaurantes (Yagüe, 2003), en

este número de frituras se pueden presentar cambios importantes en la composición del aceite, originando compuestos característicos de la alteración térmica y cambios en algunos ácidos grasos del aceite, transferidos luego al alimento por absorción o adsorción continua de grasa, como parte del reemplazo por los lípidos del agua evaporada en alimento (Martin *et al.*, 2007), modificando no solo la composición de la grasa de fritura, sino también la del alimento (Masson *et al.*, 1999). Dichos cambios dependen en gran medida de la composición del aceite utilizado (Robert *et al.*, 2001), tiempo de uso, método de fritura, entre otras variables (Saguy y Dana, 2003).

La calidad del aceite depende de su contenido de ácidos grasos libres y compuestos polares, que debe ser bajo, así como de su resistencia al deterioro después de su uso continuo. La aceptación del producto en cuanto a sabor y textura, depende del tipo y del tiempo durante el cual ha sido utilizado (Moreira *et al.*, 1999).

Las grasas y aceites están constituidos principalmente de tri-ésteres, de ácidos grasos de glicerol o triglicéridos. Las grasas son sólidas o semisólidas a temperatura ambiente, mientras los aceites son líquidos. Algunos aceites son de canola, maíz, algodón, soya y girasol. (Lawson, 1995).

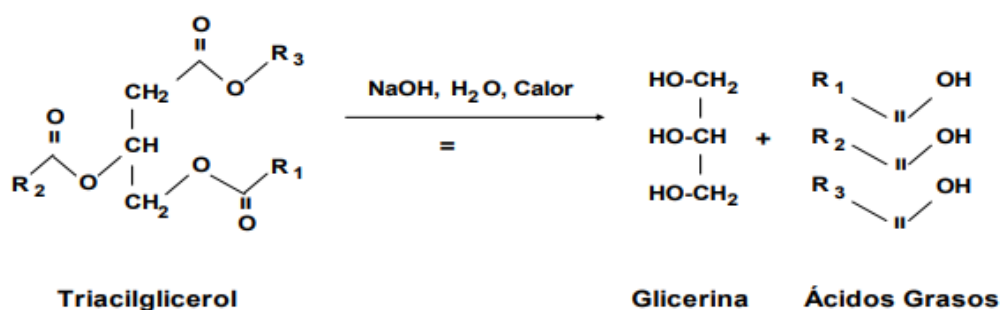





Figura 1. 16 La química de grasas y aceites. CRC Press. (Frank, 2004).

Las grasas o aceites son considerados estructuralmente menos complejos que las proteínas y los hidratos de carbono ya que están formados en un 95-99% por triacilgliceroles (triglicéridos), los cuales son compuestos relativamente simples.

Todos los aceites vegetales contienen tres tipos de ácidos grasos: saturados, monoinsaturados y poliinsaturados. Las grasas saturadas, también conocidas como dañinas, se caracterizan por ser sólidas y por encontrarse principalmente en las grasas de origen animal (mantecas, mantequillas, sebos, etcétera); en los aceites vegetales, con excepción de los de coco, palma y cacao, aparecen en menor cantidad. Estas grasas son perjudiciales para la salud porque son muy densas y tapan las arterias, lo cual crea complicaciones cardiovasculares.

Lo contrario sucede con los ácidos grasos monoinsaturados (que se encuentran en mayor proporción en los aceites de oliva, canola, cártamo alto monoinsaturado y girasol alto monoinsaturado) y los ácidos grasos poliinsaturados (que predominan en los aceites de soya, maíz, linaza, cártamo alto poliinsaturado y girasol), los que contribuyen a proteger las arterias del corazón de la acumulación de grasa, con lo que previenen riesgos de enfermedades cardiovasculares. Dentro de los poliinsaturados, también llamados ácidos grasos esenciales porque nuestro cuerpo no tiene la capacidad de generarlos, se encuentran los tan famosos omega 3 (ácido alfa linolénico), omega 6 (ácido linoleico) (PROFECO, 2010).

Tabla 1.5 Diferencias entre grasas saturadas y grasas insaturadas

	Saturados (sin dobles enlaces).
	Monoinsaturados (con doble enlace).
	Poiinsaturados (con más de un doble enlace).

s/a, 2016. Recuperado de: <http://cuadroscomparativos.com/diferencias-entre-grasas-saturadas-y-grasas-insaturadas>

En el mercado existen dos clasificaciones de aceite: los vegetales puros, que se obtienen de un solo tipo de planta (soya, maíz, canola, cártamo u oliva), y los vegetales comestibles, que pueden estar elaborados de uno o más aceites de las diferentes variedades. Según cifras de la Asociación Nacional de Industriales de Aceites y Mantecas Comestibles (ANIAME), en México alrededor del 78% del consumo de aceites embotellados es de aceite vegetal comestible, también conocido como aceite mixto, y el restante 22% que encuentras en los supermercados es de aceites vegetales puros.

Un factor importante para poder elegir un buen aceite, es la prueba de humeo (producción de humo por parte del aceite) la cual nos indica la máxima temperatura a la cual un aceite puede calentarse. Ya que después de exceder esa temperatura el aceite comienza a degradarse y sufrir cambios físicos (cambio de color) y químicos (mal olor y sabor), además de producirse tóxicos que son dañinos para la salud.

A elevadas temperatura se produce un producto de hidrólisis, la acroleína, que confiere a la superficie del aceite un tono azulado. La acroleína es un compuesto de considerable capacidad contaminante en la atmosfera (Fellows, 1994).

1.7.4 Tipos de aceites

- **Aceite de canola:** Este aceite de color amarillo proviene de las semillas de la planta de canola Destaca por poseer el menor contenido de ácidos grasos saturados y un contenido alto de ácidos grasos monoinsaturados, por lo que su consumo es altamente recomendable; tiene bajo contenido de ácidos grasos saturados, 0.05% de ácidos grasos libres, valor de peróxidos de 2meq/kg de aceite y estabilidad AOM de 7 horas como mínimo (ANIAME, 2009 y PROFECO, 2010).
- **Aceite de soya:** Se obtiene de la semilla de soya es el de mayor producción en el mundo. Es un aceite poliinsaturado que contiene ácido linoleico (omega 6) y ácido linolénico (omega 3); contiene un máximo de 0.05% de ácidos grasos libres, como ácido oleico, un valor de peróxido máximo de

2meq/kg y una estabilidad de AOM mínimo de 10 horas (ANIAME, 2009 y PROFECO, 2010).

- Aceite de girasol: El aceite refinado tiene una apariencia cristalina y un color amarillo pálido. Destaca por tener un alto contenido de omega 6; contiene un máximo de 0.05% de ácidos grasos libres, un valor de peróxido máximo de 2meq/kg y una estabilidad de AOM de 10 horas. Las semillas de girasol contienen aproximadamente 40% de aceite y 25% de proteína, es rico en ácido linoleico (PROFECO, 2010).
- Aceite de maíz: Tiene apariencia cristalina, un color amarillo rojizo y un sabor muy bien aceptado por el consumidor (PROFECO, 2010).
- Aceite de cártamo: Se obtiene por extracción mecánica y/o solvente de la semilla de cártamo. Este aceite tiene un alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados, entre los que se encuentra el ácido linoleico; su contenido de ácidos grasos libres máximo es de 0.05%, su valor de peróxidos es de 2meq/kg y estabilidad AOM de 10 horas (ANIAME, 2009 y PROFECO, 2010).

1.8 La grasa en la salud

Las grasas constituyen la reserva energética más importante del organismo, aportan 9 kilocalorías por gramo (Kcal/g), más del doble de la energía que otorgan los carbohidratos y proteínas transportan vitaminas liposolubles y se encuentran en gran variedad de alimentos y preparaciones. Además, desarrollan funciones fisiológicas, inmunológicas y estructurales (Ascherio, 2006; (Silverthorn, 2009).

Aunque las grasas son un constituyente esencial en la dieta humana por su aporte energético, su ingesta excesiva provoca problemas cardiovasculares y de obesidad. Los problemas más comunes relacionados con el consumo excesivo de grasa son principalmente ataques y paros cardiacos (Mellema, 2003; Sosa y Vélez, 2009).

Los ácidos grasos saturados (AGS) son de síntesis endógena, necesarios para algunas funciones fisiológicas y estructurales, mientras que los ácidos grasos

trans (AGT) provienen casi siempre de la ingesta de alimentos hidrogenados y no tienen beneficios conocidos para la salud (Institute of Medicine of the National Academies, 2005). Se ha encontrado una relación positiva entre la ingesta de AGS y AGT con el aumento del colesterol total y colesterol LDL, que a su vez aumenta el riesgo de padecer enfermedad coronaria (Institute of Medicine of the National Academies, 2005) y algunos tipos de cáncer (FAO, 2012).

1.9 El secado en la reducción de grasa en el proceso de freído.

De acuerdo a Moreira *et al.* (1997), la ganancia de aceite en productos fritos es mayor cuando el contenido de humedad es alto al inicio del proceso, porque al freír un alimento que ha sido reducido previamente en su contenido de humedad, hace que la absorción de aceite sea menor.

El secado de sólidos consiste en separar pequeñas cantidades de agua u otro líquido de un material sólido con el fin de reducir el contenido de líquido residual hasta un valor aceptablemente bajo (McCabe *et al.*, 1991).

El contenido de líquido de una sustancia seca varía de un producto a otro. Ocasionalmente el producto no contiene líquido y recibe el nombre de *totalmente* seco, pero lo más frecuente es que el producto contenga algo de líquido. La sal de mesa, por ejemplo, contiene del orden de 0,5 por 100 de agua, el carbón seco un 4 por 100 y la caseína un 8 por 100. Secado es un término relativo y tan sólo quiere decir que hay una reducción del contenido de líquido (McCabe *et al.*, 1991).

Los métodos y procesos de secado se clasifican de diferentes maneras; se dividen en procesos de *lotes*, cuando el material se introduce en el equipo de secado y el proceso se verifica por un periodo; o *continuos*, si el material se añade sin interrupción al equipo de secado y se obtiene material seco con régimen continuo. Los procesos de secado se clasifican también de acuerdo con las condiciones físicas usadas para adicionar calor y extraer vapor de agua: (1) en la primera categoría, el calor se añade por contacto directo con aire caliente a presión

atmosférica, y el vapor de agua formado se elimina por medio del mismo aire; (2) en el secado al vacío, la evaporación del agua se verifica con más rapidez a presiones bajas, y el calor se tiade indirectamente por contacto con una pared metálica o por radiación (también pueden usarse bajas temperaturas con vacío para ciertos materiales que se decoloran o se descomponen a temperaturas altas); (3) en la liofilización, el agua se sublima directamente del material congelado (Geankoplis, 2006).

Los equipos de secado pueden clasificarse en: (1) secaderos en los que el sólido se encuentra directamente expuesto a un gas caliente (generalmente aire), y (2) secaderos en los que el calor es transmitido al sólido desde un medio externo tal como vapor de agua condensante, generalmente a través de una superficie metálica con la que el sólido está en contacto. Los secaderos que exponen los sólidos a un gas caliente se llaman **adiabáticos o secaderos directos**; aquellos en los que el calor es transmitido desde un medio externo reciben el nombre de **no adiabáticos o secaderos indirectos**. Los secaderos calentados por energía radiante, dieléctrica o de microondas, también son no adiabáticos. Algunas unidades combinan el secado adiabático y no adiabático, y se denominan secaderos **directos-indirectos**. (McCabe *et al.*, 1991).

1.10 Evaluación sensorial

El análisis sensorial de los alimentos más próximo a como lo conocemos hoy surge durante la Segunda Guerra Mundial, cuando la industria alimentaria comienza a preparar las raciones de alimentos para los soldados de las fuerzas armadas americanas y se ve la necesidad de controlar los procesos desde el punto de vista químico y microbiológico, y así asegurar una mayor duración del estado inicial del producto elaborado y que éstos sean igualmente apetecibles gastronómicamente. Aunque el análisis sensorial fuera sólo a nivel del dueño o encargado de la empresa.

Es a partir de ese momento cuando se desarrollan distintas técnicas y se avanza sobre la normalización y el conocimiento de la percepción humana. Sobre todo a partir de 1950, periodo en el que se comienza a considerar importante la calidad

sensorial y se plantean los problemas de su medida y control. El principio de este periodo viene caracterizado por los atributos primarios que integran la calidad sensorial de los alimentos tales como el aspecto, sabor y textura (Larson y Pangborn, 1978; Lawless y Heymann, 1999).

Evaluación sensorial, disciplina científica utilizada para evocar, medir, analizar e interpretar las reacciones humanas a aquellas características de los alimentos y materiales que son percibidos a través de los sentidos de la vista, oído, olfato, gusto y tacto (Cárdenas *et al.*, 2018).

En 1971, Tilgner, define análisis sensorial, en un sentido amplio, como un conjunto de técnicas de medida y evaluación de determinadas propiedades de los alimentos, a través de uno o más de los sentidos humanos. Otros autores, lo definen como la identificación, medida científica, análisis e interpretación de las propiedades (atributos) de un producto que se perciben a través de los cinco sentidos, vista, olfato, gusto, tacto y oído (Carpenter *et al.*, 2002).

Mediante análisis químicos, físicos y microbiológicos se determinará si estos ingredientes están de acuerdo con las normas de calidad de la empresa. Pero los caracteres organolépticos como: color, sabor, olor y textura, también son criterios de aceptación o rechazo tan importantes como los instrumentales que se puede evaluar con el análisis sensorial con grupos de jueces entrenados en análisis sensorial en general y en el producto en particular, tanto en la materia prima como en el producto ya terminado. Estos estudios no sólo se realizan en la materia prima y el producto terminado; ya que se realiza un estudio de evaluación sensorial desde que se está desarrollando un nuevo producto, esto con la finalidad de obtener resultados objetivos, detectar los puntos de mejora y así obtener un producto agradable y de calidad.

Existen tres tipos principales de pruebas para realizar un análisis sensorial: las pruebas afectivas, las discriminativas y las descriptivas. Se elegirán unas u otras dependiendo del objetivo que se pretenda alcanzar en un determinado estudio.

1. **Pruebas afectivas.** También llamadas estudios de consumidores, son aquellas pruebas en las cuales los jueces expresan su opinión personal y subjetiva sobre un producto, indicando si les gusta o les disgusta, si lo aceptan o lo rechazan, o si lo prefieren a otro producto (Larmond, 1977). Para realizarlas se utiliza un mínimo de 30 jueces no entrenados, que deben ser consumidores habituales o potenciales del alimento a evaluar. Presentan una gran variabilidad en los resultados obtenidos y éstos son difíciles de interpretar. Dentro de estas pruebas se distinguen tres tipos de ensayos: las pruebas de preferencia, las pruebas de grado de satisfacción y las pruebas de aceptación (Anzaldúa-Morales, 1994).
 - a) Pruebas de preferencia. En esta prueba se pretende saber si los jueces prefieren una determinada muestra a otra. En este caso no se busca la capacidad de los jueces para discriminar muestras, simplemente se quiere conocer su opinión como consumidor habitual del producto (Larmond, 1977).
 - b) Pruebas de grado de satisfacción. Cuando se pretende evaluar más de dos muestras a la vez, o se quiere obtener más información acerca de un producto que en la prueba anterior, se realiza este tipo de prueba. Para ello se recurre a unas escalas hedónicas que serán los instrumentos para medir las sensaciones producidas por el alimento en el juez, ya sean placenteras o desagradables (Sancho, *et al.*, 1999).
 - c) Pruebas de aceptación. El deseo de una persona de adquirir un producto es lo que se llama aceptación, y no sólo depende de la impresión agradable o desagradable que reciba el individuo al probar el alimento, sino también de aspectos culturales, socioeconómicos, etc.

2. **Pruebas discriminativas.** En estas pruebas se desea establecer si existe diferencia o no entre dos o más muestras y, en algunos casos, la magnitud

de esa diferencia. Este tipo de pruebas son muy utilizadas en el control de calidad para evaluar si las muestras de un lote están siendo producidas con una calidad uniforme, si son comparables con muestras de referencia, etc. (Sancho *et al.*, 1999). En las pruebas discriminativas sencillas pueden utilizarse jueces semi-entrenados; sin embargo, para pruebas más complejas es preferible utilizar jueces entrenados (Anzaldúa-Morales, 1994). Dentro de estas pruebas discriminativas se pueden establecer dos grupos en función de los objetivos buscados:

- Si se pretende determinar si existen diferencias entre dos o más productos. Estas pruebas son bastante sencillas e incluyen: la prueba triangular, la prueba dúo-trío, la prueba dos de cinco, la prueba comparación apareada simple, la prueba A no A, la prueba de diferencia a muestra control, y la prueba de similitud.

- Además de la existencia de diferencias, se pretende determinar la variación de un determinado atributo entre dos o más muestras. Estas pruebas son más complejas que las anteriores, e incluyen la prueba de comparación por pares, la prueba de rangos en parejas (análisis de Friedman) y las pruebas de comparación múltiple. A continuación se describirán brevemente las más utilizadas.
 - a) Prueba triangular. Es una prueba de diferenciación en la que se presentan simultáneamente tres muestras, dos de ellas iguales entre sí y el juez debe identificar cuál es la muestra diferente. Es una prueba de juicio forzado, por tanto siempre hay que dar una respuesta. La interpretación de las respuestas se realiza mediante tablas en las que se encuentra, para el número de jueces participantes, el número mínimo de respuestas correctas para establecer diferencias significativas. La probabilidad de acertar debida al azar en esta prueba es del 33%. Se suelen utilizar entre 20

y 40 jueces, pero con diferencias suficientemente apreciables basta con 12 (Meilgaard *et al.*, 2007).

- b) Prueba de comparación apareada simple. Se les presentan a los catadores dos muestras para que las comparen respecto de un determinado atributo sensorial e indiquen cuál de ellas tiene mayor intensidad del citado atributo (Larmond, 1973). Es una prueba muy sencilla y no hay riesgo de fatiga sensorial. Sin embargo, la probabilidad de dar una respuesta acertada debido al azar es muy elevada, del 50%. La interpretación de los resultados se realiza mediante una tabla (Roessler *et al.*, 1956) como “prueba de una cola”, buscando el número de aciertos para establecer la diferencia significativa.
- c) Prueba dúo-trío. Se presentan tres muestras a los jueces de forma simultánea o consecutiva, de las cuales una está identificada como referencia y las otras dos están codificadas, siendo una de ellas igual a la muestra de referencia. Cuando se presentan todas las muestras simultáneamente se debe probar en primer lugar la referencia. El juez debe indicar cuál es la muestra igual a la de referencia (es un juicio forzado). Es una prueba similar a la triangular pero es menos eficiente porque la probabilidad de acertar al azar es de un 50%. La interpretación de los datos se realiza por medio de la misma tabla que se utiliza en la prueba de comparación apareada simple, como “prueba de una cola” (Anzaldúa-Morales, 1994).

- 3. **Pruebas descriptivas.** En este tipo de pruebas se pretende definir las propiedades del alimento y medirlas lo más objetivamente posible. En este caso no interesan las preferencias de los jueces, ni si las diferencias son detectadas por los mismos, sino cuál es la intensidad de los atributos del alimento (Cross *et al.*, 1979). Estas pruebas proporcionan más información que las otras, pero son más complicadas, el entrenamiento de los jueces debe ser más intenso y la interpretación de los resultados es más laboriosa.

Son las más utilizadas en la mayoría de las investigaciones sensoriales actuales porque son las más objetivas y fiables. Cuando un analista sensorial necesita desarrollar un análisis descriptivo para un producto determinado debe revisar la literatura existente, analizar diversos métodos, pero debe elegir el método o la combinación de varios de ellos que mejor se adapte a sus necesidades. Incluso hará las modificaciones pertinentes a los métodos ya existentes para obtener los resultados más comprensibles, reproducibles y fiables para su producto.

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

Objetivo general.

Elaborar una fritura a partir de harina de tortilla de maíz con alto contenido de almidón retrogradado, adicionada con diferentes concentraciones de polisacáridos (goma guar, goma xantana y carboximetil celulosa), para obtener un producto saludable y sensorialmente aceptable para su consumo.

Objetivos particulares.

1. Evaluar el contenido de almidón retrogradado en harina de tortilla de maíz con diferentes concentraciones de polisacáridos (goma guar, goma xantana y carboximetilcelulosa), mediante pruebas de digestibilidad para seleccionar el tratamiento con mayor contenido de almidón retrogradado.
2. Evaluar el contenido de amilosa en harina de tortilla de maíz con diferentes concentraciones de polisacáridos (goma guar, goma xantana y carboximetilcelulosa), mediante una reacción con yoduro para comparar los resultados con el contenido de almidón retrogradado.
3. Analizar el comportamiento reológico de las diferentes masas obtenidas de harina de tortilla de maíz, mediante un perfil de viscosidad y pruebas de viscoelasticidad para compararlo con el comportamiento de una masa de maíz nixtamalizado tradicionalmente.
4. Evaluar el contenido de grasa en los tratamientos resultantes de la fritura (granulometría de la harina: 0.8 mm, 1 mm y 1.5 mm, y tiempo de secado: 0 min., 20 min. y 40 min.), mediante una prueba de soxhlet para compararlo con el contenido de grasa de una fritura elaborada con harina de maíz nixtamalizado tradicionalmente.
5. Evaluar las propiedades organolépticas (olor, sabor, color, textura, crocancia y dureza) de la fritura mediante una prueba sensorial (hedónica) a los alumnos de FES Cuautitlán, para elegir el tratamiento más agradable al consumidor.

Actividad 1. Preparación de harina

Actividad 1.1: Secado de tortillas de maíz.

Se sometió a un proceso de secado 1 Kg de tortillas de maíz, se separaron las tortillas y se colocaron sobre charolas, las cuales se ingresaron en una estufa de secado marca LINDBERG/BLUE a 55°C por 24 horas.



Figura 2. 1 Secado de tortillas de maíz

Actividad 1.2: Molienda de tortillas.

Posteriormente al secado de las tortillas de maíz, se procedió a la molienda en un molino pulvex, a un tamaño de partícula de 1mm.



Figura 2. 2 Molienda de tortillas.

Actividad 1.3: Formación de tratamientos.

Para la formación final de la harina, se realizó un diseño de experimentos en la que a la harina se le agregaron diferentes concentraciones de goma guar, goma xantana y carboximetil celulosa.

Los tratamientos resultantes se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2. 1 Diseño de experimentos. Tratamientos.

TRATAMIENTO	CMC %	XANTANA %	GUAR %
CM	0.6	0	0
XH	0	0.6	0
GU	0	0	0.6
CMXH	0.3	0.3	0
CMGU	0.3	0	0.3
XHGU	0	0.3	0.3
CXGU	0.2	0.2	0.2
C4XG	0.4	0.1	0.1
CX4G	0.1	0.4	0.1
CXG4	0.1	0.1	0.4
HTR	HARINA DE TORTILLA SIN GOMA		
HMN	HARINA DE MAÍZ NIXTAMALIZADO		

Por otro lado, se evaluó harina de tortilla a la que no se le agregó ningún aditivo y harina nixtamalizada tradicionalmente de maíz.

A todos los tratamientos se les agregó 0.5% de almidón de maíz.

Actividad 2. Absorción de agua e índice de solubilidad

Para la determinación de estos parámetros se siguió la metodología descrita por Anderson (1969). Este análisis permite cuantificar la cantidad de agua incorporada a la harina y el porcentaje de sólidos solubles disueltos en agua a una temperatura de 30°C.

Actividad 2.1: Índice de absorción de agua

Se pesaron tubos para centrifugación vacíos, después se agregaron 0.100g de muestra de cada tratamiento y se aforaron con agua (1ml); las muestras se llevaron a baño maría a 30°C por 30 min. y seguido de esto se centrifugaron a 3,000 rpm por 10 min. a 30°C.

Se vació el sobrenadante en charolas previamente pesadas y finalmente se determinó el peso del residuo de centrifugación por diferencia de peso de los tubos de centrifugación.



Figura 2. 3 Proceso de determinación de índice de absorción

Actividad 2.2: Índice de solubilidad en agua.

Se llevaron a la estufa de secado por aire (red LINE) las charolas con el sobrenadante que se decantó de los tubos de centrifugación utilizados en el punto 2.1, por 40 min. a 105 °C, después de concluido el tiempo se volvieron a pesar las charolas.



Figura 2. 4 Proceso de determinación de índice de solubilidad en agua.

Para calcular los índices se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$IAA = \frac{\text{Peso de residuo de centrifugación}}{\text{Peso seco de la muestra} - \text{Peso del residuo de evaporación}}$$

Ecuación 2.1: índice de absorción de agua

$$\%ISA = \frac{\text{Peso del residuo de evaporación}}{\text{Peso seco de la muestra}} \times 100$$

Ecuación 2.2: Índice de solubilidad de agua.

Actividad 3. Pruebas de hidratación de harina.

Esta prueba se realizó para determinar la cantidad de agua requerida para la formación de una masa, que permitiera su manipulación y no se quedara adherida a las manos.

Se tomaron 5g de muestra de cada tratamiento (CM, XH, GU, CMXH, XMGU, XHGU, CXGU, C4XG, CX4G, CXG4) y se fue agregando agua de mililitro en mililitro seguido de un amasado. Se observó que para todos los tratamientos antes mencionados se requirió de 11 ml de agua, para obtener una buena hidratación de la harina.

Al tratamiento HTR no se aplicó esta prueba debido a que no se agregó ninguna goma, por lo que no fue posible formar una masa.

Para el tratamiento HMN de harina de maíz nixtamalizada tradicionalmente, se tomó una muestra de 6g y se requirió de 8 mililitros de agua para su hidratación.



Figura 2. 5 Harina hidratada (formación de masas).

Actividad 4. Humedad de la masa

Para la determinación de humedad de la masa se utilizó la técnica de secado por estufa, basada en la norma mexicana NMX-F-083-1986. Alimentos. Determinación de humedad en productos alimenticios.

La determinación de secado por estufa se basa en la pérdida de peso de la muestra por evaporación de agua.

Se pesó cada capsula de aluminio sin muestra, después se pesó la capsula con la muestra húmeda de cada tratamiento, se tapó y se sometió a secado por estufa de aire (red LINE) a 105°C por 2 horas. Finalmente se pesó la capsula con la muestra seca.

Para obtener los resultados se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{P - P1}{P2} \times 100$$

Ecuación 2.3: % de humedad.

P = Peso del recipiente con la muestra húmeda (g)

P1 = Peso del recipiente con la muestra seca (g)

P2 = Peso de la muestra (g)



Figura 2. 6 Proceso de determinación de humedad de la masa.

Actividad 5. Extracción de almidón (Paredes, 1989).

Para extraer el almidón presente en la harina de tortilla, se agregó 6 ml de alcohol etílico al 96% por cada gramo de harina.

Se pesaron 7g de cada tratamiento y se disolvieron en 42 ml de etanol, después se hizo pasar la mezcla por una de malla de 0.1 cm, la cual se dobló en cuatro partes para la mejor retención de sólidos. El residuo de harina que quedó en la malla se enjuagó con 30ml de etanol.

Las muestras ya filtradas se colocaron en tubos de centrifugación, para posteriormente centrifugar las muestras a 6,000 rpm., por 10 min a 20°C. Se decantaron las muestras y el residuo se secó por 24 horas a 40°C.

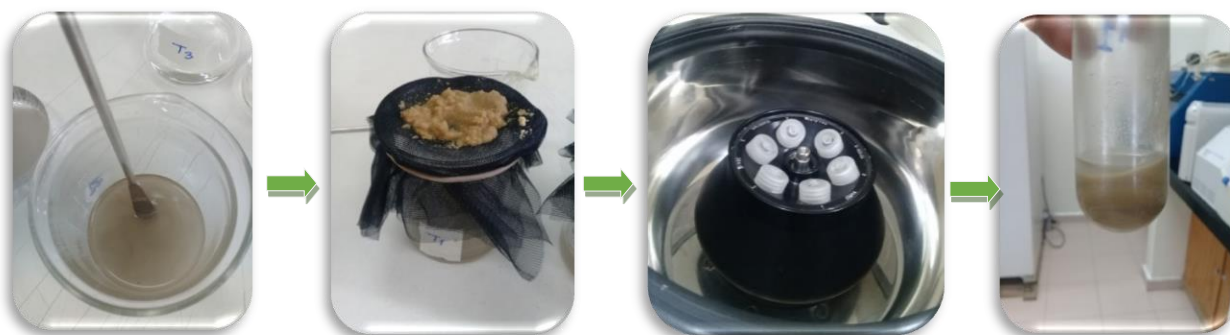


Figura 2. 7 Proceso de extracción de almidón.

Actividad 6. Determinación de amilosa y amilopectina (Mc Cready, 1950).

La amilosa en presencia de una solución de Lugol (troyoduro) forma complejos de color azul, la cual es evaluada a λ_{\max} a 620 nm.

Para la determinación de amilosa se pesaron 20 mg de muestra de almidón y se sometieron las muestras a un tratamiento de etanol al 95 % e hidróxido de sodio 1 M y se dejó reposar por 24 horas, Posteriormente se realizó una reacción colorimétrica con ácido acético y Lugol.

Se tomó 1 mL de la solución y se agregó en una celda, para después tomar lectura de absorbancia a 620 nm en un espectrofotómetro BECKMAN COULTER DU-530.

Al mismo tiempo se realizó una curva patrón con amilosa de papa, donde se siguió la misma metodología de las muestras, aunque con concentraciones diferentes de etanol al 95% e hidróxido de sodio 1 M.

La reacción colorimétrica se realizó de acuerdo con la tabla 1, que aparece en el anexo.

Primero se desarrolló la curva patrón para determinar la ecuación de regresión, relacionando la cantidad de amilosa en la solución estándar con la lectura de la absorbancia en el espectrofotómetro.

Se aplicó la siguiente ecuación:

$$Yg = a(x) + b \quad \text{Ecuación 2.4: Regresión lineal.}$$

Yg: Unidades de absorbancia.

a : Pendiente.

x: Cantidad de amilosa.

b: intersección.

Se despejo la ecuación para obtener la cantidad de amilosa de cada tratamiento y se obtuvo de la siguiente manera: $x = \frac{Yg-b}{a}$ Ecuación 2.5: Ecuación despejada.

$$\% \text{ amilosa} = (x * d) * \left(\frac{100}{f}\right)$$

Ecuación 2.6: Porcentaje de amilosa

$$\% \text{ de amilopectina} = 100 - \% \text{ de amilosa}$$

Ecuación 2.7: Porcentaje de amilopectina.

x: Cantidad de amilosa (mg).

d: Factor de dilución (por ejemplo, 20 para una dilución de 1:19).

f: Peso original de la harina (20 mg).

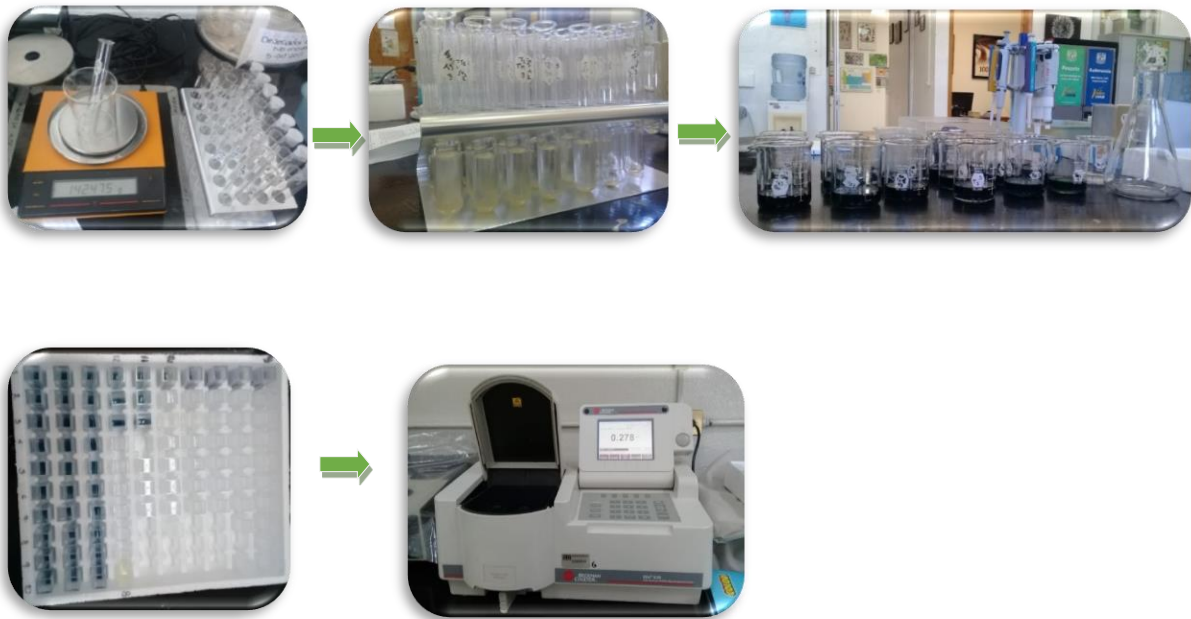


Figura 2. 8 Proceso de determinación de amilosa y amilopectina.

Actividad 7. Determinación de almidón retrogradado.

Esta determinación se elaboró de acuerdo con el método de Goñi *et al.* (1996). Este método determina la presencia de almidón resistente en los alimentos y

aparenta en lo más posible las condiciones fisiológicas estomacales. Los propósitos principales de este procedimiento analítico son: eliminación de la proteína, eliminación del almidón digerible, solubilización e hidrólisis enzimática del almidón resistente; y la cuantificación del almidón resistente como glucosa liberada x 0,9.

A 100 mg de muestra de almidón de cada tratamiento se agregó 1 mg de proteasa (1 mg de proteasa en 1 mL de buffer a un pH de 7.5), se encubó a 37°C por 24 horas. Al siguiente día se centrifugó la pastilla a 3,000 rpm por 3 min., se desechó sobrenadante y se agregó 1.5 mL de agua destilada (se repitió el proceso 2 veces). Después de lavada la pastilla se agregó 0.5 mL de α amilasa (se pesó 1.2g de amilasa en 15 mL de fosfato a pH de 7.5, después se ajustó a pH 6), se encubó a 37°C por 24 horas. Posteriormente se agregó 3 mL de 4 M KOH, se agitó y se dejó reposar por 30 minutos a temperatura ambiente, (se agitó la muestra en el vórtex esporádicamente); se agregó 5.5 mL de 2 M HCl y 3 mL buffer 0,4 M de acetato de sodio – ácido acético pH 4.75 (ajustar pH con 2 M HCl o 0.5 M NaOH); se agregó 80 μ l de enzima Amiloglucosidasa (3.5 mg de Amiloglucosidasa x mL de sulfato de amonio 3.2 M.), se agitó y se dejó reposar por 45 minutos en baño de agua a 60 °C con agitación constante.

Se centrifugó por 15 minutos a 3000 rpm, se recolectaron los sobrenadantes y se guardaron para su posterior uso. Se lavaron los residuos con 10 mL de agua destilada, se centrifugó nuevamente y se diluyó con los sobrenadantes obtenidos anteriormente; para posteriormente utilizar el kit de glucosa SPINREACT, del cual se realizaron las disoluciones de acuerdo con la tabla 2, que aparece en el anexo.

Finalmente se tomó la lectura de absorbancia a 505 nm en un espectrofotómetro BECKMAN COULTER DU-530.

De cada tratamiento se obtuvieron 14.5 mL de disolución final.

Para el cálculo de mg de glucosa en cada muestra se utilizó la siguiente ecuación:

$$\frac{(A)Muestra}{(A)Patrón} \times 100 \text{ (Conc. Patrón)} = \frac{mg}{dL} \text{ de glucosa en la muestra}$$

Ecuación 2.8: mg de glucosa

Y finalmente para el cálculo de almidón retrogradado se utilizó la siguiente ecuación:

$$\%AR = \frac{\mu g \text{ de glucosa} \times 10^3 \times 700 \times 0.9}{\text{Peso de la muestra en (mg)}} \times 100$$

Ecuación 2.9: Porcentaje de almidón retrogradado.

Actividad 8. Análisis reológico (Barrido de esfuerzo y prueba dinámica oscilatoria).

Los análisis reológicos se realizaron basados en el método aplicado por Valderrama-Bravo *et al.* (2017). Se realizó una prueba de barrido de esfuerzo a los diferentes tratamientos, para compararlos respecto al comportamiento viscoelástico lineal de una masa de maíz nixtamalizado tradicionalmente (muestra testigo).

Las pruebas se realizaron en un reómetro Haake, modelo RT 20, con una placa paralela rugosa de 35 mm de diámetro.

Para localizar la zona de viscosidad lineal se determinó una frecuencia de 0.1 a 40 Hz y un esfuerzo de 55 Pa a 25°C. Los parámetros reológicos obtenidos fueron: módulo de almacenamiento o de viscosidad G' (Pa) y módulo de pérdida o de elasticidad G'' (Pa).

Se tomó una muestra pequeña de masa (se llevó a una hidratación previa de la harina de cada tratamiento, respecto al procedimiento de la actividad 3) y se colocó en la base de la placa, en donde, primero se aplicó aceite para evitar la deshidratación de la muestra. Este procedimiento se llevó a cabo a cada uno de los tratamientos.

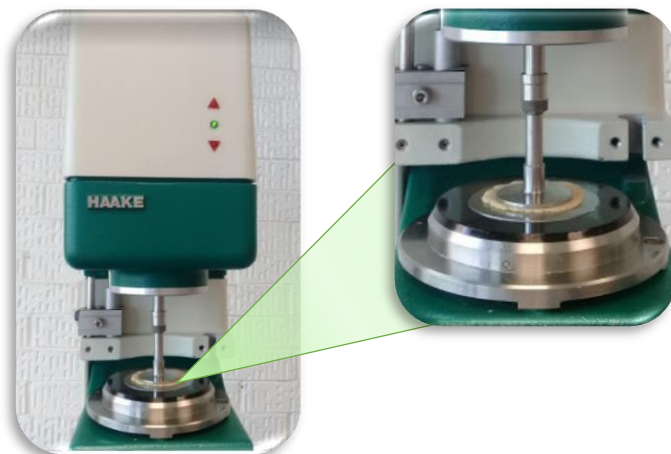


Figura 2. 9 Viscosidad (Prueba dinámica oscilatoria).

Actividad 9. Perfil de viscosidad (Perfil de pastificado).

Para determinar el comportamiento de los tratamientos y así poder establecer cuál de ellos presentaba un comportamiento más similar a una masa de maíz nixtamalizado tradicionalmente, se llevó a cabo un perfil viscosidad (o pastificado) en donde se puede observar el comportamiento del almidón al someterlo a temperaturas que van desde los 50°C a los 90°C, y la viscosidad aparente (Cp) que se presenta respecto al tiempo.

La prueba se realizó en el Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Juriquilla Querétaro, en el equipo Modular Compact Rheometer MCR 102.

Se siguió la metodología descrita por Rincón-Londoño et al. (2016) para la que se tomaron 3 g. de muestra en un cilindro, posteriormente se adicionaron 18 ml de agua destilada y finalmente se colocó el cilindro en el centro del reómetro.

Después se sujetó una paleta de doble hélice al eje rotativo del reómetro y se procedió a realizar la prueba, se siguió el mismo procedimiento para cada uno de los tratamientos.



Figura 2. 10 . Perfil de viscosidad o de pastificado.

Actividad 10. Selección de muestra

De acuerdo con los resultados de los análisis realizados anteriormente, se llevó a cabo la selección del tratamiento. La selección se basó en la muestra que presentó mayor contenido de almidón retrogradado que las demás muestras evaluadas y un comportamiento reológico con mayor similitud respecto a la muestra de harina de maíz nixtamalizado tradicionalmente.

Actividad 11. Preparación de la harina de tortilla.

Se sometió a un proceso de secado 1 Kg de tortillas de maíz, se separaron las tortillas y se colocaron sobre charolas, las cuales se ingresaron en una estufa de secado marca LINDBERG/BLUE a 55°C por 24 horas.

Después se llevó a cabo una molienda de las tortillas ya deshidratadas.

Tabla 2. 2 *Formulación de la muestra de harina*

INGREDIENTE	(%)
Harina de tortilla reciclada	96.4
Goma carboximetil celulosa	0.3
Goma guar	0.3
Almidón de maíz	1.0
Tajín	5.0
TOTAL	100

Se utilizó un molino pulvex, al que primero se colocó una criba de 0.8 mm y se obtuvo el primer tamaño de partícula de la harina, se resguardó la harina y se limpió el molino para después poner la siguiente criba de 1 mm y así poder moler la siguiente porción de las tortillas deshidratadas. Finalmente se colocó la última criba de 1.5 mm, para así obtener los tres tamaños de partícula de la harina.

Actividad 12. Preparación de la masa

La preparación de la masa se elaboró respecto a la siguiente formulación, a la cual se adicionó tajín (polvo que contiene una mezcla de chiles, sal y ácido cítrico) para darle un sabor más agradable a la fritura.

Ya obtenida la harina preparada, se procedió a su hidratación respecto a las cantidades de agua establecidas en la actividad 3.

Se siguió el mismo procedimiento para cada granulometría de la harina (0.8 mm, 1 mm y 1.5 mm).

Actividad 13. Formación de la fritura (churritos).

Para la formación de los churritos se utilizó una pluma tipo duya de 0.5 cm de abertura, con el cual simulamos un proceso de extrusión.

Se rellenó la duya con la masa y se presionó de manera que salió un hilo de masa, este hilo se fue recortando a aproximadamente 5cm, lo que dio lugar a la forma característica del churrito.

Este procedimiento se realizó para cada granulometría, se obtuvieron 30 churritos por cada una.

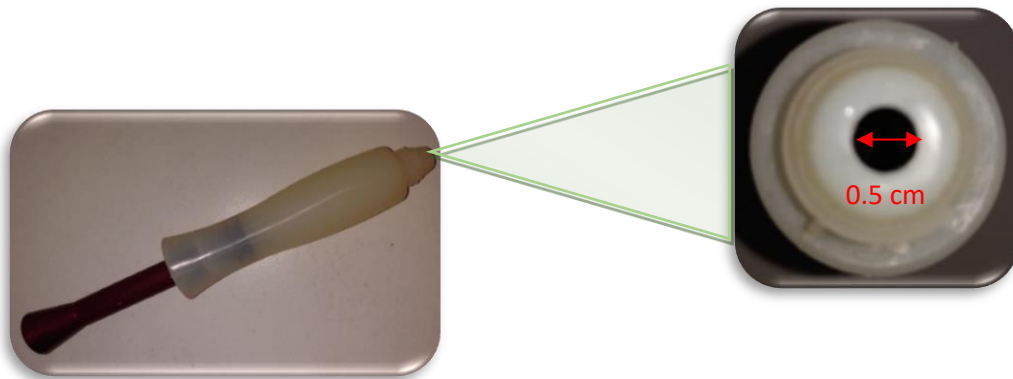


Figura 2.11 Duya utilizada para la formación de los churritos.



Figura 2.12 Formación de churritos.

Actividad 14. Secado de las muestras.

Posterior a la formación de la fritura se llevó a cabo un secado previo al freído. Ya que, de acuerdo con Alvis, 2010, se obtiene una absorción menor de aceite en el freído, a menor porcentaje de humedad.

Las muestras se colocaron en una rejilla para obtener una mejor dispersión del aire caliente sobre la muestra y se colocaron dentro de la estufa de secado por aire, marca LINDBERG/BLUE a 80°C.

Se realizaron 3 tiempos de secado por cada granulometría. El tamaño de la muestra fue 20 churritos por cada tiempo de secado. Las muestras se realizaron de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 2. 3 *Tiempos de secado*

GRANULOMETRIA	TIEMPO DE SECADO
0.8 mm	0 min.
	20 min.
	40 min.
1 mm	0 min.
	20 min.
	40 min.
1.5 mm	0 min.
	20 min.
	40 min.

Actividad 15. Freído de las muestras.

Para el freído de las muestras, se realizó una prueba en la que se determinó el tiempo de freído por cada granulometría y tiempo de secado a una temperatura del aceite de 180 °C, basándonos en la cocción en el centro del churrito. Ya que se pudo observar que la granulometría mayor (1.5 mm) a 40 min. de secado requiere menos tiempo de freído, al contrario de la muestra con menor granulometría (0.8 mm) a 0 min de secado.

Los tiempos de freídos resultantes se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2. 4 *Tiempos de freído.*

TAMAÑO DE PARTÍCULA	TIEMPO DE SECADO	TIEMPO DE FREÍDO A 180 °C
0.8 mm	0 min.	8 min
	20 min.	5 min
	40 min.	3 min
1 mm	0 min.	8 min
	20 min.	4.5 min
	40 min.	3 min
1.5 mm	0 min.	6 min
	20 min.	4.5 min
	40 min.	3 min

El freído se realizó en una freidora de acero inoxidable de aproximadamente 25 cm de diámetro.

Se agregaron 400 mL de aceite, de tal forma que se cubrieran todos los churritos. Por cada muestra se frieron 30 churritos. Posterior a al freído se dejaron escurrir las

muestras por 3 min., para después colocarlas sobre una servitoalla y así retirar lo mejor posible el exceso de aceite.



Figura 2. 13 . *Freído de las muestras*

Actividad 16. Determinación de grasa

La determinación de grasa se llevó a cabo por el método oficial extracción en soxhlet (AOAC 963.15)

En este procedimiento la muestra sólida finamente pulverizada se coloca en un cartucho de material poroso que se sitúa en la cámara del extractor soxhlet (ver figura). Se calienta el disolvente extractante, situado en el matraz, se condensan sus vapores que caen, gota a gota, sobre el cartucho que contiene la muestra, extrayendo los analitos solubles. Cuando el nivel del disolvente condensado en la cámara alcanza la parte superior del sifón lateral, el disolvente, con los analitos disueltos, asciende por el sifón y retorna al matraz de ebullición. Este proceso se repite hasta que se completa la extracción de los analitos de la muestra y se concentran en el disolvente.



Figura 2. 14 Determinación de grasa (Soxhlet).

Actividad 17. Determinación de humedad

El método de determinación de humedad se basa en evaporar de manera continua la humedad de la muestra y el registro continuo de la pérdida de peso, hasta que la muestra se sitúa a un peso constante.

Para determinar el porcentaje de humedad en las nueve muestras de fritura, se trituró cada muestra en un molino para café marca BRAUN por 30 s.

Posteriormente se pesaron 0.5 g de cada muestra en una charola de aluminio. Finalmente se colocó la charola en el espacio correspondiente en la termobalanza digital OHAUS (MB45) y se esperó hasta obtener el resultado.



Figura 2. 15 Determinación de humedad en termobalanza.

Actividad 18. Análisis sensorial de la fritura.

Para determinar la aceptación de la fritura y los mejores atributos de cada muestra, se realizó una prueba hedónica de 9 puntos (Tabla 2.5), en la que se solicitó a los panelistas evaluar cada muestra y asignar un puntaje en el formato de evaluación que aparece en la tabla 2.6.

Tabla 2. 5 Escala de puntaje para la evaluación de la fritura.

PUNTAJE	CATEGORÍA	PUNTAJE	CATEGORÍA
1	Me disgusta extremadamente	6	Me gusta levemente
2	Me disgusta mucho	7	Me gusta moderadamente
3	Me disgusta moderadamente	8	Me gusta mucho
4	Me disgusta levemente	9	Me gusta extremadamente
5	No me gusta ni me disgusta		

Tabla 2. 6 Cuadro para la evaluación de cada muestra.

Calificación para cada atributo							
CÓDIGO	OLOR	COLOR	SABOR	DUREZA	TEXTURA	CROCANTE	APARIENCIA
08SNS							
0820M							
0840M							
1SNS							
120M							
140M							
15SNS							
1520M							
1540M							

La prueba se realizó en la FES Cuautitlán a alumnos de cuarto semestre de la carrera de Ingeniería en Alimentos, de edades que iban de los 20 a 25 años. Se proporcionó a cada alumno una botella de agua simple y un paquete de galletas, para que en cada cambio de muestra pudieran enjuagar su boca y comer una pequeña proporción de galleta, lo que evitó resabios de sabor de las muestras anteriores.



Figura 2. 16 Alumnos de las FESC realizando evaluación.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS.

En el siguiente capítulo se presentan los resultados y los análisis obtenidos en la experimentación de frituras elaboradas con harina de tortilla. Los datos se analizaron en Minitab 18, mediante ANOVA con diferencia de medias utilizando el método de Tukey con un 95% de confianza y un error de significancia de $\alpha = 0.05$. Las letras que se observan en las tablas y gráficos representan la diferencia significativa que resultó en cada muestra.

RESULTADOS PARA HARINA DE TORTILLA RECICLADA

3.1. Índice de Absorción de Agua e índice de solubilidad de Agua

El índice de absorción de agua e índice de solubilidad de agua son características relacionadas con la funcionalidad de las harinas nixtamalizadas, los cuales son un indicador del grado de modificación de los almidones por tratamientos termo mecánicos (Rodríguez *et al.*, 2006).

El índice de absorción de agua nos permite cuantificar la cantidad de agua incorporada en la harina, que, por su parte, está relacionado con el rendimiento masa y tortilla. Por otro lado, el índice de solubilidad de agua es el porcentaje de sólidos disueltos en agua.

En la tabla 3.1-A, podemos observar que hubo una diferencia significativa en el índice de absorción de agua entre los tratamientos **XH**, **GU**, **CXGU** y **HTR** con respecto al tratamiento patrón **HMN** (harina de maíz nixtamalizada tradicionalmente), teniendo un mayor índice en el tratamiento **XH**. Los tratamientos de harina de tortilla tuvieron mayor contenido de índice de absorción de agua, el cual nos indica que la masa de harina de tortilla con la adición de las gomas tiene mayor rendimiento, debido a la disponibilidad de grupos hidrofílicos (gomas) (Flores *et al.*, 2002). Además de confirmar que hay una diferencia significativa entre la masa de harina de tortilla y la masa de maíz nixtamalizado, ayudando a disminuir la diferencia la adición de gomas.

El tratamiento con la adición de únicamente goma xantana (**XH**), obtuvo mayor índice de absorción, esto se puede atribuir a su capacidad de ser estable al calor y ph,

En la tabla 3.1 B, se observa que no hay diferencia significativa entre los tratamientos, por lo que podemos decir que no hubo variación en el proceso de cocción de las harinas, ya que el índice de solubilidad de agua es un indicativo del grado de cocción de la harina (González *et al.*, 1991).

Tabla 3. 1 Índice de absorción de agua e índice de solubilidad de agua

TRATAMIENTO	ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA (A)	ÍNDICE DE SOLUBILIDAD DE AGUA (B)
CM	4.367 _{ab} ± 0.283	2.035 _a ± 0.906
XH	4.709 _a ± 0.152	2.541 _a ± 0.069
GU	4.587 _a ± 0.273	2.341 _a ± 0.084
CMXH	4.521 _{ab} ± 0.267	2.347 _a ± 0.217
CMGU	4.537 _{ab} ± 0.306	2.300 _a ± 0.000
XHGU	4.514 _{ab} ± 0.119	2.488 _a ± 0.014
CXGU	4.646 _a ± 0.144	2.450 _a ± 0.354
C4XG	4.478 _{ab} ± 0.179	2.886 _a ± 0.263
CX4G	4.553 _{ab} ± 0.007	2.549 _a ± 0.072
CXG4	4.561 _{ab} ± 0.078	2.550 _a ± 0.212
HTR	4.687 _a ± 0.104	2.400 _a ± 0.283
HMN	3.754 _b ± 0.276	3.234 _a ± 0.052

3.2 Extracción de almidón

Para la extracción del almidón se tomaron 7 g aproximadamente de cada tratamiento y se llevó a cabo el proceso que se describe en el capítulo 2 actividad 5, obteniendo los resultados que se muestran en la tabla 3.2.

Este paso se realizó para obtener el almidón de cada tratamiento y así poder realizar las siguientes pruebas.

El tratamiento con mayor contenido de almidón fue el tratamiento **HMN** con 79.76%, debido, a que este tratamiento no contenía gomas en su formulación, se trataba únicamente de harina de maíz nixtamalizado.

El almidón representa una fracción importante en un gran número de productos agrícolas, reportando en el maíz un contenido de almidón del 30 al 80% (Bello y Paredes, 1999). El rango de contenido de almidón en todos los tratamientos, alcanzó los parámetros permitidos, por lo que con la adición de las gomas no representaron una alteración significativa.

Tabla 3. 2 Almidón disponible

TRATAMIENTO	ALMIDÓN DISPONIBLE (g)	PORCENTAJE DE ALMIDÓN DISPONIBLE
CM	4.095	58.417
XH	4.607	65.730
GU	4.958	70.788
CMXH	4.24	60.520
CMGU	4.474	63.860
XHGU	5.018	71.655
CXGU	4.71	67.276
C4XG	4.847	69.243

CX4G	5.082	72.590
CXG4	4.965	70.908
HTR	4.901	69.954
HMN	5.583	79.746

3.3 Porcentaje de amilosa y amilopectina

En la figura 3.1, se observa la curva patrón resultante de la prueba con almidón de papa, mencionado en el capítulo 2, actividad 6. El resultado de R^2 obtenido fue de 0.9965, por lo que, se puede explicar que los datos no presentaron una variación significativa entre ellos.

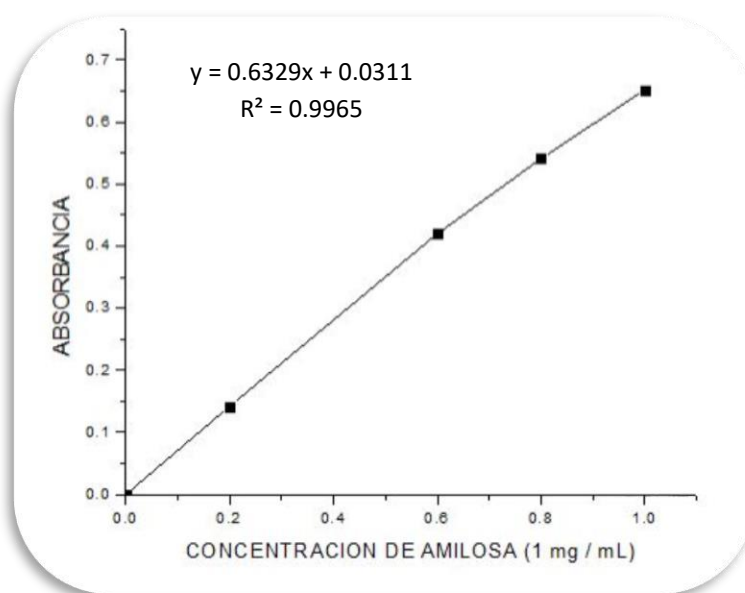


Figura 3. 1 Curva patrón de almidón de papa

Posteriormente a partir de la curva patrón, se obtuvo una ecuación de regresión en la que después se sustituyeron los datos resultantes de absorbancia de los tratamientos.

Los resultados obtenidos se muestran en la figura 3.2, en donde se presentó una diferencia significativa entre el tratamiento **HMN** y **CXG4**, los cuales nos

representaron el mayor contenido de amilosa (**HMN**) y el menor contenido de amilosa (**CXG4**). En los demás tratamientos no se muestra una diferencia significativa. La muestra patrón **HMN** presentó el mayor contenido de amilosa en comparación con los tratamientos de harina de tortilla, este resultado era el esperado ya que nuestro tratamiento patrón está compuesto por harina de maíz nixtamalizada tradicionalmente, que de acuerdo con Yadav *et al.* (2009), los ciclos de calentamiento/ refrigeración aumentan la formación de almidón retrogradado (AR), entonces, la harina de tortilla con la que se elaboraron los tratamientos ya había pasado por más ciclos de calentamiento/refrigeración, por lo que la cantidad de amilosa tiene que ser menor, ya que el almidón retrogrado se da a partir de la amilosa. Esto se comprobó con los resultados de almidón retrogradado que aparecen más adelante.

El porcentaje de amilopectina se determina realizando una diferencia del porcentaje de almidón presente, menos el porcentaje de amilosa obtenido (Morrison y Laignelet, 1983); por lo que a menor contenido de amilosa mayor contenido de amilopectina y viceversa.

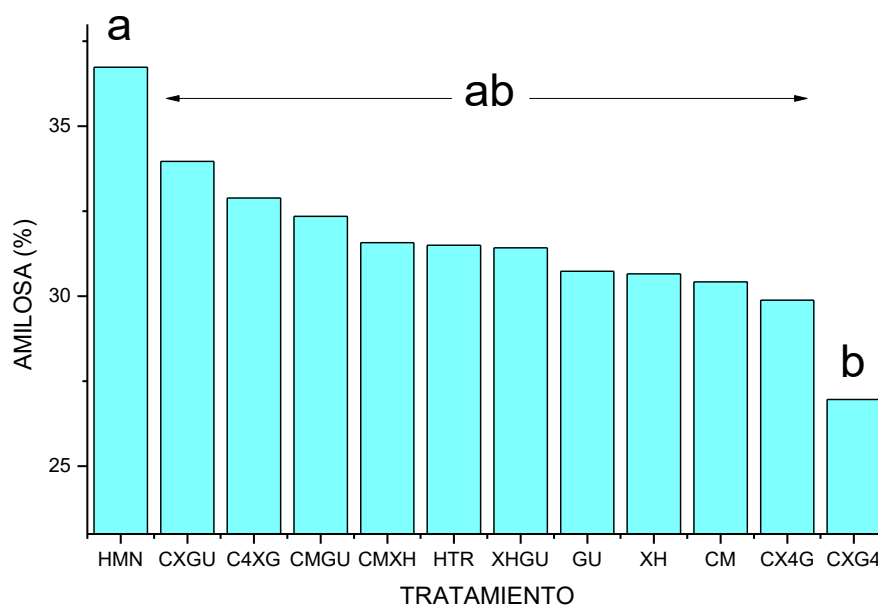


Figura 3. 2 Porcentaje de amilosa

3.4 Determinación de almidón retrogradado

Este procedimiento se realizó con el fin de detectar el tratamiento que tuviera mayor contenido de almidón retrogradado, que, en comparación con su comportamiento reológico, se llevará a cabo la selección del tratamiento que nos aportara las mejores características para poder elaborar la fritura.

El método por el cual se evaluó la concentración de almidón retrogradado fue descrito por Goñi (1996). En el cual se lleva a cabo una simulación del proceso digestivo de una persona.

En la figura 3.3 podemos observar que el tratamiento **HMN**, presenta una de las menores concentraciones de almidón retrogradado, el cual es un resultado correcto y refuerza uno de nuestros objetivos al utilizar una harina de tortilla reciclada, ya que a mayor tiempo de almacenamiento y más procesos a los que el alimento sea sometido, la retrogradación del almidón será mayor (Yadav *et al.*, 2009). Obteniendo mayor retrodegradación en los tratamientos de harina de tortilla reciclada.

En la evaluación estadística podemos observar que no hay diferencia significativa en los tratamientos.

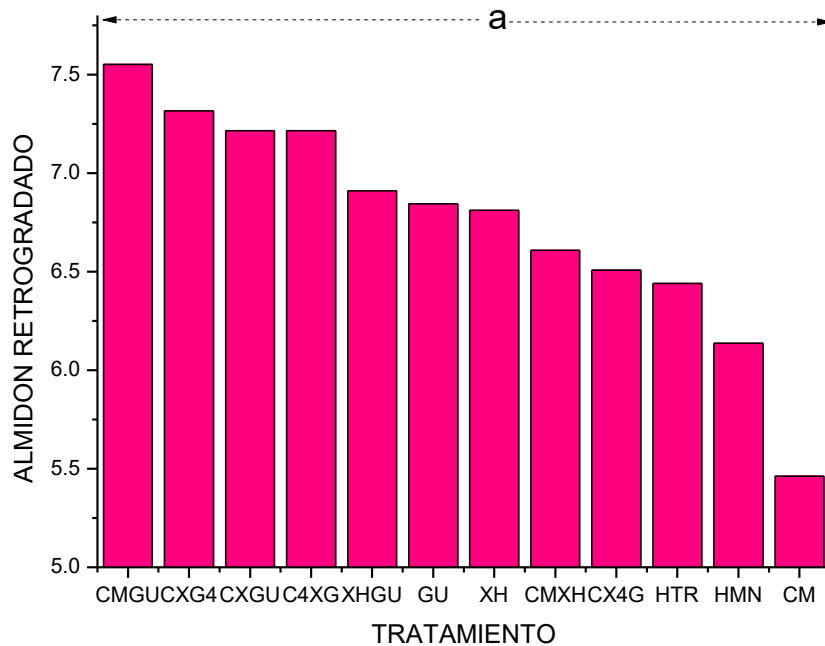


Figura 3. 3 Concentración de almidón retrogradado

3.5. Porcentaje de humedad de la masa

Para la obtención de esta prueba se llevó a cabo el método de secado por estufa. En la figura 3.4 se observa que el tratamiento **XHGU**, obtuvo el mayor porcentaje de humedad con 66%, con respecto a los demás. A este tratamiento se agregó en su formulación goma xantana y goma guar. Se puede determinar que la sinergia de estas dos gomas, provoca una mayor retención de agua.

El tratamiento patrón **HMN**, obtuvo el menor porcentaje de humedad con 55%; esto era un comportamiento esperado debido a la adición de los polisacáridos (mencionados en el capítulo 1) en las formulaciones de los tratamientos. Esto debido a la capacidad que tienen los polisacáridos para captar agua. Por esa razón, es que se presenta una diferencia significativa de los demás tratamientos con respecto al tratamiento **HMN**, ya que, se trata de la harina de maíz nixtamalizado.

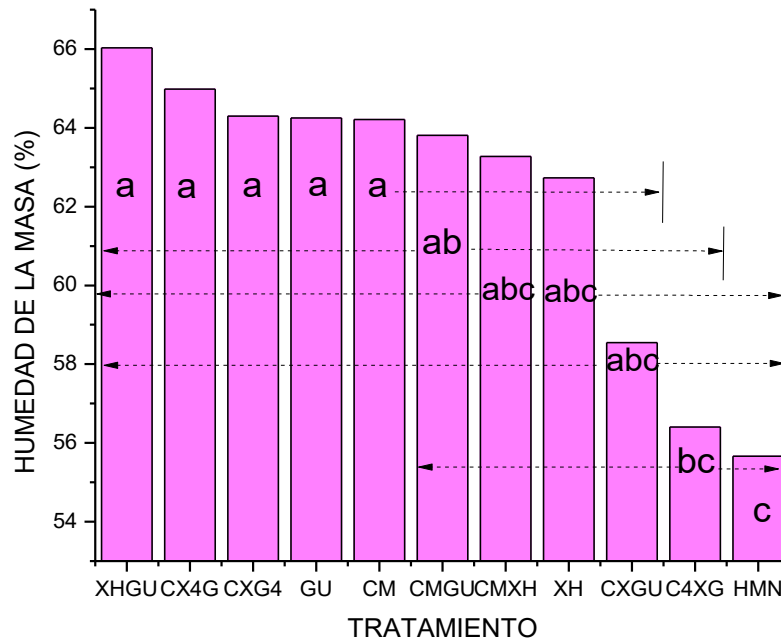


Figura 3. 4 Porcentaje de humedad de la masa

3.6 Reología de masas (Prueba dinámica oscilatoria)

A los tratamientos de harina de tortilla reciclada y tratamiento **HMN**, se le realizó una prueba de hidratación descrita en el capítulo 2, actividad 3, para poder obtener una masa. A la masa se aplicó un estudio llamado prueba dinámica oscilatoria, el cual se utiliza para determinar las propiedades reológicas de los alimentos viscoelásticos (Steffe, 1996 y Gunasekaran y Ak, 2000).

En la figura 3.5 hacemos referencia al módulo de elasticidad (G') y módulo de viscosidad (G''), el cual nos indica que tan elástico o viscoso es el material que estamos evaluando. Ya que la masa de maíz es un grupo de materiales viscoelásticos, en el cual un alto grado de viscosidad y plasticidad se combina con una considerable elasticidad (Wang y Sun, 2002).

Este estudio nos muestra el comportamiento reológico, del tratamiento que más semejanzas tenía con el tratamiento patrón **HMN**. Donde se observa que de acuerdo con los parámetros en G' (Figura 1, A), los tratamientos arrojaron valores

mayores que en el módulo G'' (Figura 1, B), lo que nos da como resultado que los tratamientos presentan un comportamiento con mayor elasticidad que viscosidad; de acuerdo con Valderrama-Bravo *et al.* (2017), cuando $G' > G''$ ($\tan \delta < -1$) predomina un comportamiento sólido, y se obtiene un comportamiento fluido cuando $G' < G''$ ($\tan \delta > -1$).

El tratamiento que presentó un comportamiento más parecido a la muestra **HMN** en ambos módulos, es **C4XG**, localizándose dentro del gráfico casi en la misma área, es tan cercana al tratamiento patrón que, no se puede percibir la diferencia. Este tratamiento está constituido en su formulación por el 0.6 % por ciento por polisacáridos, de los cuales el 66.6 % corresponde a goma CMC, el 16.6% por goma guar y el 16.6 % por goma xantana, esta proporción aportó las características reológicas adecuadas para la similitud con la masa de maíz nixtamalizado. Esto se logró principalmente por la sinergia en la que las tres gomas aportaron sus propiedades principales, el poder espesante y estabilizante, de la goma xantana; su alta viscosidad y poder ligador de agua de la goma guar; y en mayor proporción de la goma carboximetilcelulosa, por su propiedad de dar firmeza a las masas (Williams, 1984).

En el módulo G' (Figura 3.2 A), los tratamientos **XH** y **CXG4**, presentaron valores mayores, esto se debe a la composición de las diferentes mezclas de polisacáridos que se utilizaron en cada tratamiento, absorbiendo mayor contenido de agua, dejando menor contenido de agua disponible, manteniendo las moléculas que se encuentran en la fase continua de agua libre (gránulos de almidón no gelatinizados, piezas de endospermo y lípidos) (Mc. Donough *et al.*, 2001) más unidas, dando como resultado un comportamiento más sólido en comparación a los demás tratamientos. A mayor contenido de agua, los módulos de pérdida y almacenamiento (G' y G'') disminuyen (Wikström, 1997; Berland y Launay, 1995; Létang *et al.*, 1999).

También podemos observar que todos los tratamientos tuvieron un comportamiento directamente proporcional al esfuerzo de deformación aplicado,

en comparación con el módulo G'' (Figura 3.5 B) de viscosidad, en el que se observa que en los valores de frecuencia de 0.1 a 1, hubo una deformación constante, posteriormente a 1 Hz de frecuencia, se presentó un incremento constante en los valores de G'' . El tratamiento **HMN**, presentó mayor deformación en el módulo G'' , seguido del tratamiento **CXG4**. Esto es una condición aceptable debido a que la capacidad de retención de agua del almidón influye en el comportamiento viscoso del material (Wikström,1997).

El tratamiento **HTR**, el cual se compone solo de harina de tortilla, obtuvo los valores menores en ambos módulos, que como se puede observar en la figura 3.5 se localiza muy por debajo de los valores de una masa tradicional de maíz nixtamalizado (tratamiento HMN), lo que nos da como resultado una masa inestable. Lo que justifica la adición de polisacáridos (goma guar, goma xantana y carboximetilcelulosa) a nuestra harina de tortilla, la cual nos aportó las características deseadas para nuestra masa.

Los datos resultantes de cada módulo (G' y G'') se evaluaron estadísticamente por medio de un análisis de varianza (ANOVA), con el procedimiento del modelo lineal, así como comparación de medias mediante el método de Tukey, con un nivel de confianza del 95%. El cual mostró en ambos módulos que no hubo diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los tratamientos.

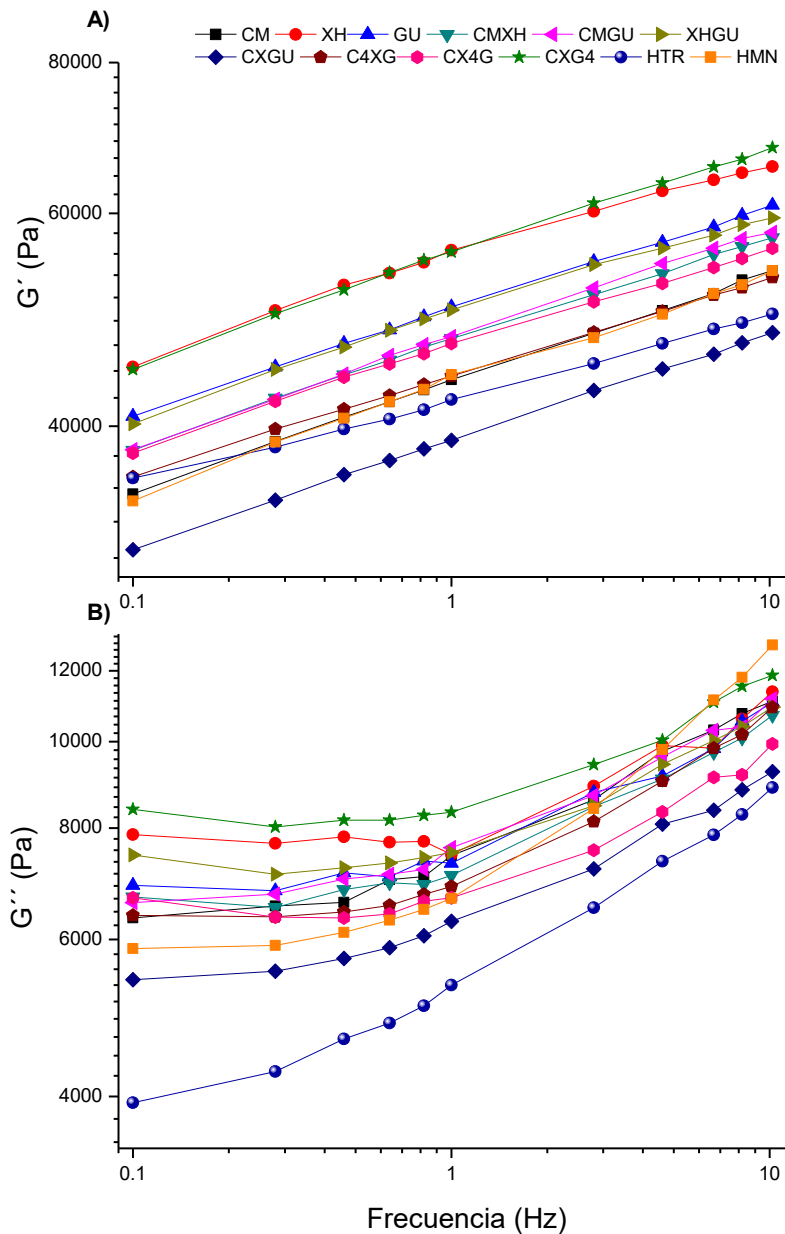


Figura 3. 5 *Módulo de almacenamiento o de elasticidad, B) Módulo de pérdida o de viscosidad.*

3.7 Perfil de pastificado del almidón

La figura 3.6 muestra el perfil de pastificado del almidón de cada tratamiento, expresado en términos de viscosidad aparente. En el que podemos ver que el tratamiento patrón **HMN**, se localizó en valores intermedios de viscosidad máxima que oscilan entre los 1500 y 2000 cP.

Rincón-Londoño, 2016, explica que el perfil de viscosidad está compuesto por 3 regiones principales: pastificado (región I); formación de isoterma (región II) y etapa de enfriamiento (región III). La etapa de pastificado (región I), fue muy similar para los todos los tratamientos, teniendo un inició de pastificado a partir de los 300s ; el tratamiento **GU** y **CMXH**, obtuvieron los mayores valores de viscosidad máxima (región II), los cuales también muestran una mayor estabilidad en el proceso de calentamiento, debido a que se mantuvieron constantes con respecto al tiempo transcurrido, esto se le atribuye a las gomas utilizadas, ya que la viscosidad máxima está asociada con la capacidad de atrapamiento de agua de las harinas (Quintanar-Guzmán *et al.*, 2009) ; en la región III (enfriamiento o viscosidad final), observamos que los tratamientos **XH**, **HTR**, **CMGU** y **XHGU** presentan un comportamiento casi constante con respecto al tiempo, posicionándose en esta etapa en los valores de viscosidad menores, lo que indica mayor estabilidad a la cocción y enfriamiento, por ende menor tendencia a la retrodegradación (An y King, 2006); los valores mayores de viscosidad los presentaron los tratamientos **GU** y **CMXH**, lo que nos dice que no son estables a procesos de enfriamiento (Matos y Pérez, 1997).

De acuerdo con lo anteriormente mencionado, respecto al elegir el tratamiento que presente las características más semejantes a nuestro tratamiento patrón, podemos observar que el tratamiento **C4XG** y **CXG4** adquirieron los comportamientos más similares, obteniendo valores de viscosidad máxima que oscilaron entre los 1500 y 2000 cP, al igual que la muestra **HMN**.

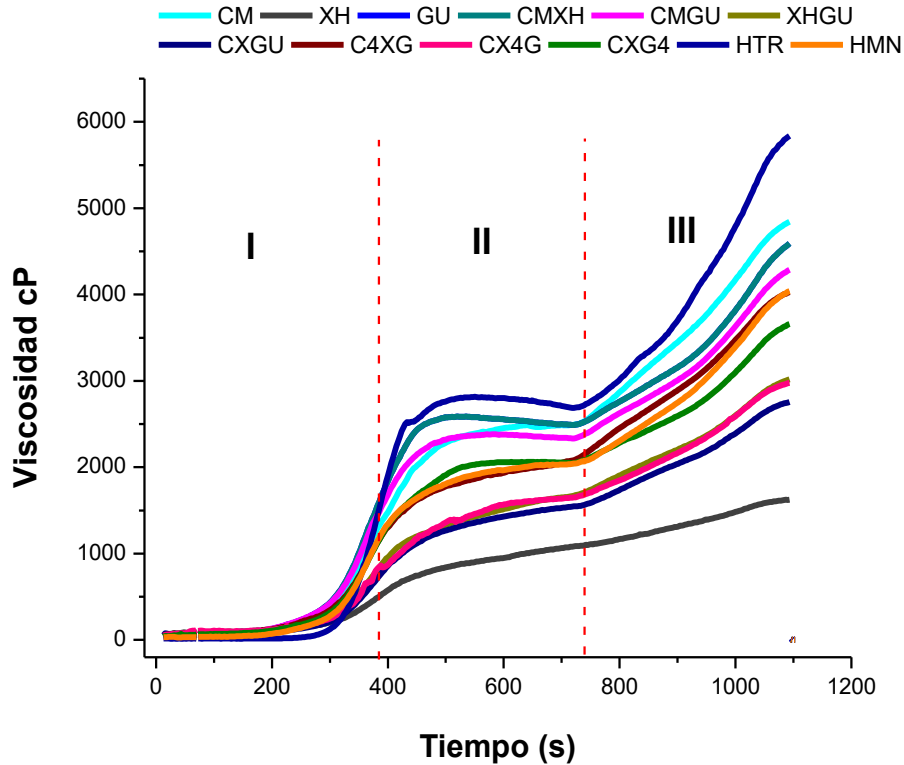


Figura 3 6 Perfil de pastificado

De acuerdo con los datos obtenidos en las pruebas de almidón retrogradado, reológicas, de perfil de viscosidad y pastificado, se obtuvo que el tratamiento **C4XG** presentó un comportamiento con características reológicas más similares a las de la muestra patrón **HMN**, por lo que este tratamiento fue el seleccionado para la elaboración de la fritura.

RESULTADOS FRITURA

3.8 Determinación de grasa

Para esta determinación se elaboró un churrito de harina de maíz nixtamalizada tradicionalmente, para poder hacer la comparación de la cantidad de grasa que contiene una fritura elaborada con harina de tortilla de maíz nixtamalizada y la fritura que elaboramos con nuestras formulaciones, en las cuales se realizó un secado previo al freído ya que de acuerdo con *Alvis et al.* (2010), a un alto contenido de humedad de los productos alimenticios que se someten al freído por inmersión, corresponde una mayor absorción de aceite, y se presume que de un

contenido menor de humedad, especialmente en las capas externas del producto, resulta menor evaporación de agua y por tanto menor porosidad interna donde se puede ubicar el aceite absorbido.

En la figura 3.7 podemos observar que hubo diferencia significativa en la mayoría de los tratamientos en la prueba, a excepción de los tratamientos **120M**, **1540M** y **08SNS**. Como se esperaba el tratamiento **HMN**, presentó el mayor porcentaje de grasa con 25%, seguido el tratamiento **1SNS** con un 24%. Los tratamientos **0840M** y **0820M** tuvieron el menor porcentaje, con valores menores al 20% de grasa. Por lo que para la finalidad de nuestra experimentación los tratamientos con menor diámetro de partícula (0.8 mm) y con tiempo de secado de 20 min, fueron las condiciones óptimas de proceso para obtener churritos con menor contenido de grasa.

Se observa que los tratamientos con mayor diámetro de partícula (1.5 mm y 1 mm) obtuvieron los porcentajes mayores de grasa, esto puede explicarse, debido a que las partículas más grandes generan mayor porosidad en la fritura, creando canales más grandes, dando lugar a mayor área de transferencia para que se pueda llevar a cabo el intercambio de agua por grasa.

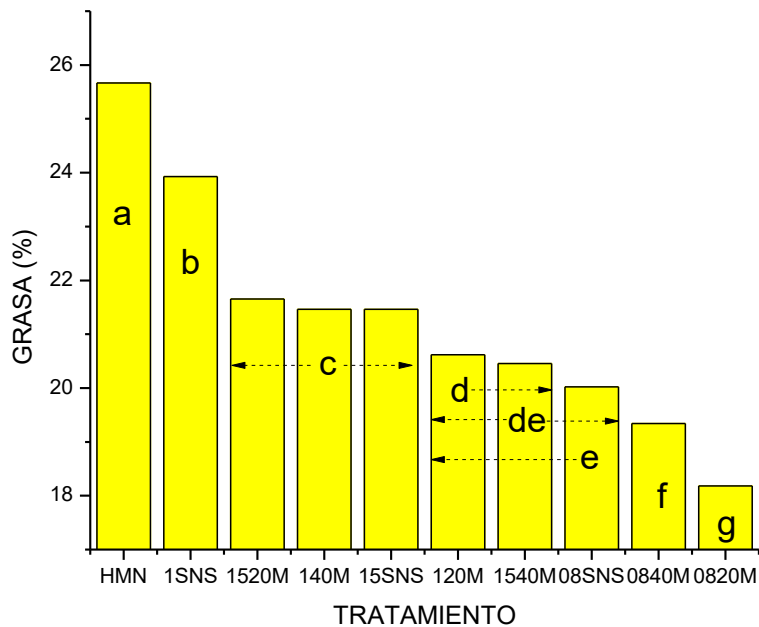


Figura 3. 7 Porcentaje de grasa en la fritura.

3.9 Determinación de humedad de la fritura

Para complementar los resultados de la prueba de grasa se realizó una determinación de humedad a los churritos. Esta prueba se realizó por método directo en termobalanza.

Se observa en la figura 3.8 que hay diferencia significativa entre el tratamiento **08SNS** y **15SNS**, lo que respalda la teoría que surgió en el punto 3.8; en donde se puede afirmar que a mayor diámetro de partícula hay mayor absorción de grasa, ya que el tratamiento **08SNS** el cual es el tamaño de partícula menor (0.8 mm a 0 min de secado), obtuvo mayor porcentaje de humedad con 2%; lo que significa que hubo menor intercambio entre agua y aceite. En comparación con la muestra **15SNS** que tiene un tamaño de partícula de 1.5 mm y un tiempo de secado de 0 min., se observa, que, tuvo el menor porcentaje de humedad con 1.3%, teniendo un intercambio mayor entre el agua y el aceite.

En los tratamientos en los que no se presenta diferencia significativa, son los que se sometieron a un tiempo de secado de 20 min y 40 min.

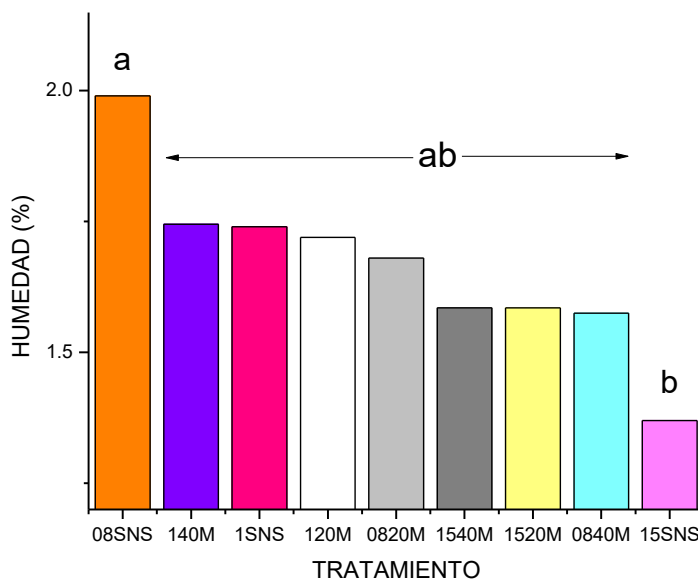


Figura 3 8 Porcentaje de humedad en la fritura.

3.10. Prueba sensorial hedónica

En la figura 3.9, se observa que el tratamiento que más resalta en los puntajes de aceptación es el **08SNS**. Los atributos que más se destacan son los de olor, apariencia y textura. Para el atributo de sabor, textura y color compartió el lugar en la escala de aceptación con el tratamiento **1540M**. De acuerdo con PROFECO, 2018 el freído aporta sabor y textura al producto, por lo que sí nos vamos a los resultados reportados en la figura 3.7, podemos observar que los tratamientos **08SNS** y **1540M** presentan porcentajes de grasa muy similares, oscilan entre el 20 al 21%, lo que puede explicar el resultado de esos atributos.

Aunque la grasa aporta sabor, no significa que a mayor contenido de grasa los atributos mejoren, siendo que nuestros tratamientos con mayor aceptación fueron los que menor contenido de grasa obtuvieron.

El tratamiento que fue menos agradable para los alumnos fue el tratamiento **15SNS**, ya que les disgustó levemente la crocancia y les disgustó moderadamente la dureza.

Mientras más grande sea el tamaño de partícula de la harina, la fritura presenta mayor dureza al masticar, menor crocancia y es menos agradable en apariencia, al contrario del tamaño de partícula más pequeño.

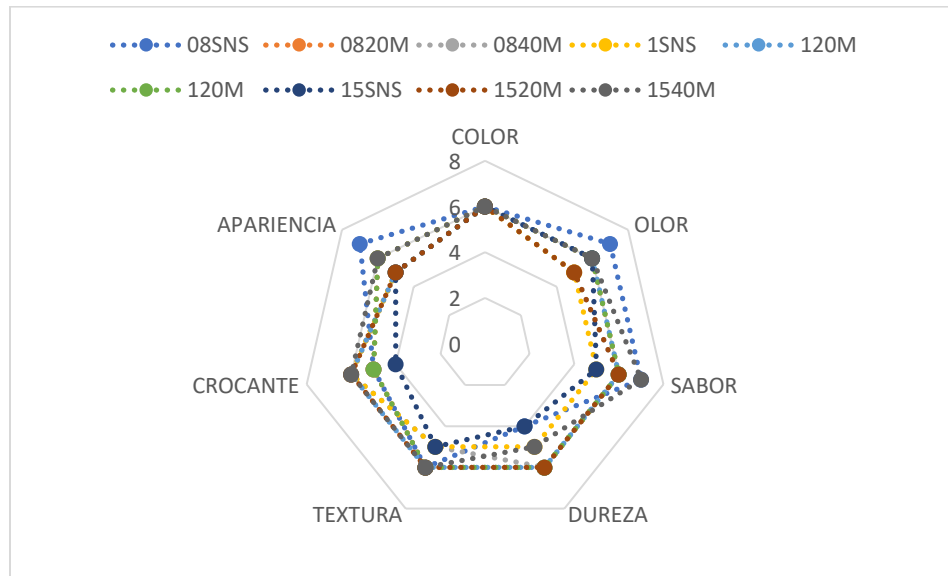


Figura 3.9 Prueba hedónica de fritura de harina de tortilla.

CONCLUSIONES

En términos de viscosidad se observó que la goma carboximetil celulosa (CMC) favoreció el comportamiento reológico de la masa, ya que las mezclas con este polisacárido son las que presentaron mayor viscosidad, en comparación con las muestras que contenían goma xantana, las cuales presentaron un comportamiento menos viscoso.

Los parámetros reológicos de las masas con diferentes mezclas de polisacáridos, mostraron diferencia respecto al control ya que los tratamientos necesitaron 50% más de agua para lograr formar una masa en comparación con el tratamiento control y es to es debido a la presencia de los polisacáridos.

Los mayores porcentajes de almidón retrogradado los presentaron los tratamientos **CMGU**, **CXG4**, **CXGU** y **C4XG**, que, al comparar con el contenido de amilosa, los tratamientos que presentaron mayor contenido fueron **CXGU**, **C4XG**, **CMGU** y **CMXH**, lo cual se confirma con investigaciones reportadas que la amilosa tiende a retrogradar más fácilmente.

La variación del diámetro de partícula de las harinas mostró resultados interesantes, ya que el tamaño de partícula tomó un papel importante en la absorción de grasa, obteniendo como resultado que los tratamientos con mayor contenido de grasa, fueron aquellos con el tamaño de partícula más grande (1 mm y 1.5 mm). Y a diferencia de como se había supuesto, las frituras con el tamaño de partícula más grande fueron los que menos agradaron a los panelistas, siendo las frituras con tamaño de partícula de 0.8 mm las que más aceptación tuvieron. Esto se atribuye a que se obtuvo una harina de tortilla menos fina a diferencia de una harina de maíz nixtamalizado tradicionalmente.

RECOMENDACIONES

Como ingeniero en alimentos tenemos una participación indispensable en la vida de los seres humanos, ya que las necesidades alimentarias cambian día con día y nosotros somos los responsables de satisfacer las necesidades con alimentos de calidad que no sólo cumplan las funciones básicas de alimentación, si no también, generen un aporte benéfico a la salud, ya que sabemos que los mexicanos nos encontramos en los primeros lugares de obesidad y diabetes en el mundo. Siendo el caso de esta investigación, que debido a la gran cantidad de desechos de alimentos que se generan, donde a la vez es más complicado obtener alimentos nutritivos y de buena calidad a costos accesibles, lo cual genera la necesidad de aprovechar los residuos de un alimento para poder crear otro. Lo que abre un panorama de temas los cuales pueden seguir complementando la investigación, como, por ejemplo: estudiar a profundidad el intercambio entre agua y aceite en la fritura, los efectos en la salud que genera la fritura, estudiar los costos de su producción para que sea un producto accesible a todo el público, así como también mejorar sensorialmente la fritura, para que pueda ser un producto potencialmente aceptado.

ANEXO

Tabla 1: Elaboración de curva patrón con amilosa de papa.

Tub. Núm.	Sol. concentrada de amilosa 1 mg /mL (mL)	Ácido acético (1 Mol/ mL) (mL)	Solución de yodo (mL)	NaOH (0.09 M) (mL)	Agua destilada (mL)
1	0.0	0.2	0.4	1	18.40
2	0.2	0.04	0.08	0	19.68
3	0.4	0.08	0.16	0	19.36
4	0.6	0.12	0.24	0	19.04
5	0.8	0.16	0.32	0	18.72
6	1.00	0.20	0.4	0	18.4

Tabla 2. Cantidades de muestra determinadas por el kit de glucosa SPINREACT.

	Blanco	Patrón	Muestra
RT (mL)	1.0	1.0	1.0
Patrón (µL)	--	10	--
Muestra (µL)	--	--	10

BIBLIOGRAFÍA

1. Alvis, A., Vélez, C., Arrázola, G. (2010). Efecto de las condiciones de freído sobre la pérdida de humedad y ganancia de aceite en trozos de ñame (*Discorea alata*). *Revista Ingeniería e Investigación*, 30 (1), 41-44.
2. ANIAME (2009). Los aceites vegetales comestibles. Nutrición y salud. Recuperado de: <http://portal.aniname.com/uploads/losaceitesvegetales.pdf>
3. An, H. J. y King, J. M. (2006). Pasting Properties of chemically heated rice starch and rice flours. *Journal of food Science*, 71, 437-441.
4. Anzaldúa-Morales, A. (1994). La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y en la práctica. Editorial: Acribia.
5. AOAC. [Association of Official Analytical Chemists]. (1990). *Official methods of Analysis AOAC International* (16 th ed.) Arlington VA: AOAC International.
6. Arqué, J. (2008). Proceso de fraccionamiento de aceites y grasas por vía seca. *Revista Alimentación, Equipos y Tecnología*, 40 – 43.
7. Ascherio, A. (2006). Trans fatty acids and blood lipids. *Atherosclerosis*, 7, 25.
8. Atwell, W. A., Hood, L. F., Lineback, D. R., Varriano, E., Zobel, H. F. (1988). The terminology and methodology associated with basic starch phenomenon. *Cereal Foods World*, 33, 306-311.
9. Badui, D. S. (2006). *Química de los alimentos*, México, PEARSON EDUCACIÓN.
10. Bayarri, S., Gonzales-Tomas, L., Costell, E. (2009). Viscoelastic properties of aqueous and milk systems whit carboxymethyl cellulose. *Food Hydrocolloids*. 23 (2), 441-450.
11. Bello, L. A., Méndez, G., Solorza, J. (2002). Estructura molecular de almidones. *Memorias de investigación. CeProBi-IPN*, México.
12. Bello, L.A., Paredes, O. (1999). El almidón: lo comemos pero no lo conocemos. *Ciencia: Revista de la Academia Mexicana de Ciencias*. 50 (3), 29-33.
13. Bello, L. A., Solorza, J., Paredes, O. (2001). El almidón resistente como fibra dietética. *Conversa*, 2, 10 – 15.
14. Benitez, R. (2019). Pérdidas y desperdicios de alimentos en América Latina y el Caribe. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Recuperado de: <http://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/239393/>.
15. Berland, S., Launay, B. (1995). Rheological properties of wheat flour dough in steady and dynamic shear: Effect of water content and some additives. *Cereal Chemistry*, 72 (1), 48-52.
16. Bilia, C.G. (1988). Structures and phase transitions of starch polymers. *En: Polysaccharide association structures in food*. NewYork, E.U.A., Walter R.H., 57 – 168.
17. Brannan, R., Ma, E., Schott, M., Yuan, S., Casher, K., Myers, A. (2014). Influence of ingredients that reduce oil absorption during immersion frying of battered and breaded foods. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 116, 240-54.
18. Brown, I. L. (2004). Applications and uses of resistant starch, *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 87, 727–732.
19. Cardenas, N., Cevallos, C., Salazar, J., Romero, E., Gallegos, P., Cáceres, M. (2018). Uso de pruebas afectivas, discriminativas y descriptivas de evaluación sensorial. *Desarrollo de las ciencias*. 4, 3, 253 - 263.
20. Carpenter, R.P., Lyon, D.H., Hasdell, T.A. (2002). Análisis sensorial en el desarrollo y control de la calidad de alimentos. Editorial: Acribia. Zaragoza.
21. Corona, S. A. (2008). El mestizaje gastronómico: las tortillas. *Mensajero del Centro de Investigaciones Históricas de la Universidad Iberoamericana*. 115: 2-9.
22. Cross, H.R., Stanfield, M.S., Elder, R.S. (1979). Comparison of roasting versus broiling on the sensory characteristics of beef longissimus. *Journal of Food Science*, 44, 310-314.
23. Cruz, H. E., Verdalet, G. I. (2007). Tortillas de maíz: una tradición muy nutritiva. *Revista de divulgación científica y tecnológica de la universidad veracruzana*. XX (3):41-44. Recuperado de: <http://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol20num3/articulos/tradicion/>
24. Dana, D. y Saguy, S. (2003). Integrated approach to deep fat frying:engineering nutrition, health and consumer aspects. *Journal of Food Engineering*. 56, 143-52.

25. Dana, D. y Saguy, S. (2006). Review: Mechanism of oil uptake during deep-fat frying and the surfactant effect-theory and myth. *Advances in Colloid and Interface Science.*, 128-130, 267-72.
26. Delahaye, P.E., Vásquez, H., Herrera, I., Garrido, R. (1997). Snacks de maíz enriquecidos con fibra dietética y carotenoides de la harina de zanahoria (*Daucus carota*) procesados por extrusión. *Revista de la Facultad de Agronomía* 23, 235-248. Venezuela
27. Fellows, P. (1994). *Tecnología del procesamiento de los alimentos: Principios y prácticas*. Zaragoza, España, Editorial Acribia S. A., 343 – 346.
28. Fennema, O. (2000). *Química de los alimentos*. Acribia. Zaragoza.
29. Fernández, J. L., Rodríguez, M. E., Figueroa, J. D., Leal, M., Martínez, H.E. (2010). Evaluación de los cambios fisicoquímicos a diferentes tamaños de partícula de harinas de maíz nixtamalizado como función del tiempo de reposo, *Superficies y vacío*, 23 (4), 21-24.
30. Ferry, J. (1980). *Viscoelastic properties of polymers*. 3er ed. *New York: Wiley y Sons*. pp. 20 -94.
31. Figueroa C. J. D., Acero-Godínez, N. L., Vasco-Méndez, A., Lozano-Guzmán, L.M., Flores-Acosta, J., González-Hernández. (2001). *Fortificación y evaluación de tortillas de nixtamal*. *Archivos Latinoamericana de Nutrición*, 51(3), 293-302.
32. Flores, F., Martínez, B., Salinas, M., Rios, E. (2002). Caracterización de harinas comerciales de maíz nixtamalizado. *Agrociencia*, 36, 557-567.
33. Frank, D. G. (2004). *The chemistry of oils and fats*. CRC Press.
34. French, D. (1984). Organization of starch granules. In: *Starch: chemistry and technology*, 2 nd ed., Whistler, R.L., BeMiller, J.N y Paschall, E.F. (eds). Academic Press, Orlando, FL.U.S.A.
35. García-Rejon, A. (1981). Introducción a la reología de los polímeros. *Platinoticias*, pp 37 - 54.
36. Geankoplis C. J. (2006). *Procesos de Transporte y Principios de Procesos de Separación*. Cuarta Edición. CECSA: México.
37. Girard, M., Turgeon, S.M., Paquin, P. (2002). Emulsifying properties of whey protein carboxymethylcellulose complexes. *Journal of Food Science*, 67 (1): 13-19.
38. Gómez, B.; Martínez, J.; Cardona, L. (2014). Composición de ácidos grasos en algunos alimentos fritos y aceites de fritura y factores relacionados, en un sector universitario de Medellín-Colombia, 16, 160.
39. Gomez, M., Waniska, R., Rooney, L. (1991). Starch Characterization of Nixtamalized Corn Flour. *Cereal Chemistry*, 68, 578.
40. González, R.J.; Gordon, N.A.; Veloci, M.F.; Torres, R.L.; y Greef, D.M. (1991). Influencia de las condiciones de extrusión en las características de la harina de maíz para elaborar sopas instantáneas. *Revista agroquímica y Tecnología de alimentos*, 3, 87-96.
41. Goñi, I., García-Díaz, L., Mañas, E., Saura-Calixto, F. (1996). Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. *Food Chemistry* 56, 445 – 449.
42. Goodwin, J., Hughes, R. (2000). *Rheology for Chemists: An Introduction Royal Society of Chemistry*. Cambridge, UK.
43. Guan, J., Hanna, A. M. (2004). Extruding foams from corn starch acetate and native corn starch. *Biomacromolecules*, 5, 2329-2339.
44. Gunasekaran, S., Ak, M. (2000). Dynamic oscillatory shear testing of foods-selected applications. *Trends in Food Science and Technology*, 11, 115-127.
45. Harding, N. E., Lelpi, L., Cleary, J. M. (1995). Genetics and biochemistry xanthan gum production by *Xanthomonas campestris*, *Food Biotechnology Microorganisms*, 495–514.
46. Henry, A.G., Hudson, H.F., Piperno, D. (2009). Changes in starch grain morphologies from cooking. *Journal of Archaeological Science* 36, 915-922.
47. Higgins, J. A., Dana, H. R., Donahoo, W. T., Brown, I. L., Bell, M. L., Bessesen, D. H. (2004). Resistant starch consumption promotes lipid oxidation. *Nutrition and Metabolism*, 1, 1–8.
48. Hurtado, M.; Escobar, B. y Estévez, A.M. (2001). Mezclas legumbre/cereal por fritura profunda de maíz amarillo y de tres cultivares de frijol para consumo "snacks". *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 5, 303-308.

49. Institute of Medicine of the National Academies (2005). Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids (Macronutrients). Washington, D.C.: National Academies Press.
50. Jenkins, D. J. A., Kendall, C. W. C., Augustin, L. S. A., Franceschi, S., Hamidi, M., Marchie, A., Jenkins, A. L., Axelsen, M. (2002). Glycemic index: overview of implications in health and disease, *American Journal of Clinical Nutrition*, 76, 266–273
51. Jenkins, D. J. A., Wolever, T. M., Taylor, R. H., Barker, H., Fielden, H., Baldwin, J. M., Bowling, A. C., Newman, H. C., Jenkins A. L., Goff, D. V. (1981). Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange, *American Journal of Clinical Nutrition*, 34, 362–366.
52. Jobling, S. (2004). Improving starch for food and industrial applications. *Current Opinion in Plant Biology*, 7: 210–218
53. Keller, J. D. (1986). Sodium carboxymethyl cellulose. *Food hydrocolloids*. Boca Raton, Florida, 43 -109.
54. Knutzon, C. A.; Grove, M. J. (1994). Rapid method for estimation of amylose in maize starches. *Cereal Chemistry*, 71 (5), 469.
55. Kochhar, S. P., Gertz, C. (2004). New theoretical and practical aspects of the frying process. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 106(11), 722-727.
56. Kong, X.; Zhu, P.; Sui, J. y Bao, J. (2015). *Food Chemistry*. 172, 433-444.
57. Langkilde, A. M.; Champ. M. y Andersson, H. (2002). Effects of high-resistant-starch banana flour (RS2) on in vitro fermentation and the small-bowel excretion of energy, nutrients, and sterols: an ileostomy study. *American Society for Clinical Nutrition*. 75, 104–11.
58. Larmond, E. (1973). Physical requirements for sensory testing. *Food Technology*, 17, 1596-1597.
59. Larmond, E. (1977). Laboratory Methods for Sensory Evaluation of Food. Research Branch, Canadá Department of Agriculture, Publication No. 1637, 19-63.
60. Larson, N., Pangborn, R.M. (1978). Descriptive analysis of the sensory properties of beverages and gelatins containing sucrose or synthetic sweeteners. *Journal of Food Science* 43, 42-51.
61. Lawless, H.T., Heymann, H. (1999). Sensory evaluation of food: principles and practices. Kluwer Academic-Plenum. New York.
62. Lawson, H. (1995). Food oils and fats. Chapman and Hall. EEUU.
63. Lehman, U., Jacobasc, G., y Schmiedl, D. (2002). Characterization of resistant starch type III from banana (*Musa acuminata*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50, 5236-5240.
64. Létang, C., Piau, M., Verdier, C. (1999). Characterization of wheat flour -water dough. Part I. Rheometry and microstructure. *Journal of Food Engineering*, 41, 121-132.
65. MacAllister, R. (1979). Nutritive Sweeteners made from Starch. *Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry*, 36, 15 – 56.
66. McCabe, W. L., Smith, J. C., Harriot, P. (1991). *Operaciones unitarias en ingeniería química*. Madrid, España: McGraw-Hill. Cuarta edición. pp. 821-830.
67. Mc Cready, R.; Guggolz, J.; Silveira, V.; y Owens, H. (1950). Determination of starch and amylose in vegetales, application to peas. *Analytical Chemistry*, 22 (9), 1156-1158.
68. Mc. Donough, C., Gómez, M. H., Rooney, L. W., Serna-Saldivar, S. (2001). *Alkaline-cooked corn products* , en *Snack foods processing*, Ed. Lusas, E. W. y Rooney, L. W. Pennsylvania, Technomic publishing company, Inc. pp. 73-113.
69. Magaña, E. (2007). Evaluación de las características viscoelásticas de masas de trigos suaves mexicanos utilizando la prueba de relajación del esfuerzo. México: Universidad de Sonora. Para obtener el grado de maestro en ciencias.
70. Martin, C., Milinsk, M., Visentainer, J., Matsushita, M., De-Souza, N. (2007) Trans fatty acid-forming processes in foods: a review. *Academia Brasileña de Ciencias*, 79, 343-50.
71. Masson, L., Robert, P., Izaurieta, M., Romero, N. (1999). Fat deterioration in deep fat frying of french fries potatoes at restaurant and food shop sector. *Grasas y Aceites*.;50, 460-8. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.3989/gya.1999.v50.i6.695>

72. Matos, M. E., Pérez, E. (1996) Preparación y caracterización fisicoquímica y reológica de almidones de yuca modificados químicamente por fosfatación, acetilación y doble derivación. in: *Memorias de la conferencia internacional almidón propiedades fisicoquímicas, funcionales, nutricionales y usos*. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
73. Mauricio, S.R.A., Figueroa, C., Taba, S., Reyes, V., Rincón, S., Mendoza, G. (2004) Caracterización de accesiones de maíz por calidad de grano y tortilla. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27, 213-222.
74. Mehta, U., Swinburn, B. (2001). A Review of Factors Affecting Fat Absorption in Hot Chips. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*.41 (2), 133-54.
75. Meilgaard, M., Civille, G. V., Carr, T. (2007). Sensory evaluation techniques (3rd ed.). Boca Raton, FL: CRC Press.
76. Mellema, M. (2003). Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods. *Trends in Food Science and Technology*. 14(9), 364–73.
77. Montes, N., Millar, I., Provoste, R., Martínez, N., Fernandez, D., Morales, G., Valenzuela, R. (2016). Absorción de aceite en alimentos fritos. *Revista Chilena de Nutrición*. 43 (1), 87–91.
78. Morais, M. B., Feste, A., Miller, R. G., Lifichitz, C. H. (1996). Effect of resistant starch and digestible starch on intestinal absorption of calcium, iron and zinc in infant pigs. *Paediatric Research*, 39, 872–876.
79. Moreira, R., Sun, X., Chen, Y. (1997). Factors affecting oil uptake in tortilla chips in deep fat frying. *Journal Food Engineering* .31, 485-98.
80. Moreira, R.G., Castell-Perez, M.E., Barrufet, M.A. (1999). Low-fat tortilla chips. En Deep-fat drying. *Fundamental and applications*. Pp. 275-313. Aspen Publishers Inc. Gaithersburg, ML, EU (1999).
81. Morrison, N.A., Clark, R., Talashek, T., Yuan, C.R. (2004). New forms of xanthan gum with enhanced properties. In Gums and stabilizers for the food industry 12, eds. *Williams, P. A., & Phillips, G. O. Cambridge*, p.p. 124-130. Recuperado de: www.sercalia.com/cmc-carboximetil-celulosa/
82. Morrison, W. R., Laignelet, B. (1983). An improved colorimetric procedure for determining apparent and total amylose in cereal and other Starches. *Journal of Cereal Science*, 1, 19-35.
83. Nuñez, L. (2009). Importancia del Almidón (aspectos fisicoquímicos, usos y aplicaciones), México: UNAM. Trabajo monográfico de actualización para obtener el grado de química en alimentos.
84. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y Fundación Iberoamericana de Nutrición (FAO) (2012). Grasas y ácidos grasos en nutrición humana. Consulta de expertos. Ginebra: Estudio FAO alimentación y nutrición; 2012. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/i1953s/i1953s.pdf>
85. Ortega, O. (2017). Mexicanos desperdician 3 de cada 10 tortillas. Recuperado de: <https://www.elfinanciero.com.mx/economia/mexicanos-desperdician-de-cada-10-tortillas.html>
86. Paredes, L. O., Guevara, L. F., Bello P. L. A. (2009). La nixtamalización y el valor nutritivo del maíz. *Redalyc*, 60-70.
87. Paredes, O.; Carabez, A.; Hernandez, D.; Schevenin, M.; (1989). Amaranth starch isolation and partial characterization. *Starch /Stärke*, 41, 203-207.
88. PROFECO (2018). Frituras y botanas de maíz y trigo. EL LABORATORIO PROFECO INFORMA. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/393470/Estudio_Calidad_Frituras_y_Botana.pdf
89. Quintanar-Guzmán, A., Jaramillo-Flores, M.E., Mora-Escobedo, R., Chel-Guerrero, L., Solorza-Feria, J. (2009). Change on the structure, consistency, physicochemical and viscoelastic properties of corn (*Zea mays sp.*) under different nixtamalization conditions. *Carbohydrate Polymers*, 78, 908-916.

90. Quiroga, C.C. (2008). Los almidones resistentes y la salud. *Investigación y Desarrollo*, 1 (8), 130 – 141.
91. Raben, A., Tagliabue, A., Christensen, N. J., Madsen, J., Hols, J. J., Astrup, A. (1994). Resistant starch: the effect on postprandial glycemia, hormonal response and satiety, *American Journal of Clinical Nutrition*, 60, 544–551.
92. Rao, M.A. (1999). Rheology of fluid and semisolid foods: principles and applications, *Maryland, Aspen publications*, pp. 100 – 105.
93. Rao, V. G. (1993). Methods for determining rheological characteristics of doughs: A critical evaluation, *Journal of Food Science*, 30 (2), 77 -87.
94. Reader, D., Johnson, M. L., Hollander, P., Franz, M. (1997). Response of resistant starch in a food bar vs. two commercially available bars in persons with type II diabetes mellitus, *Diabetes*, 46, 254.
95. Rincón-Londoño, N.R.; Vega-Rojas, L.J; Contreras-Padilla, M.; Acosta-Osorio, A.A y Rodríguez-García, M.E. (2016). Analysis of the pasting profile in corn starch: Structural, morphological, and thermal transformations, Part I. *International Journal of Biological Macromolecules*. 91, 106, 114.
96. Robert, P., Masson, L., Romero, N., Dobarganes, M.C., Izaurieta, M., Ortiz, J. (2001). Industrial frying of crisps: Influence of the unsaturation degree of frying fat on the oxidative stability during storage. *Grasas y Aceites*, 52, 389-96. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.3989/gya.2001.v52.i6.349>
97. Rodríguez-Sandoval, E., Fernández-Quintero, A., Alonso-Alcalá, L., Ospina-Patiño, B. (2006). Reología de suspensiones preparadas con harina precocida de yuca. *Ingeniería y Desarrollo*, 19, 17–30.
98. Roessler, E.B., Baker, G.A., Amerine, M.A. (1956). One tailed and two tailed test in organoleptic comparisons. *Food Research International*. 21:117.
99. Rushton, J.H.; Costich, E.W y Everett, H.J. (1950). Chemistry Engineering Program, 395-304.
100. Saguy, I.S., Dana, D. (2003). Integrated approach to deep fat frying: engineering, nutrition, health and consumer aspects. *Journal Food Engineering*. 56:143-52.
101. Sajilata, M.G, Singhal, R.S, Kulkarni, P.R. (2006). Resistant starch-A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 5,1-17.
102. Salinas, Y., Pérez, P., Castillo, J., Álvarez, L. (2003). Relación de amilosa: amilopectina en el almidón de harina nixtamalizada de maíz y su efecto en la calidad de la tortilla. *Revista Fitotecnía Mexicana*. 26 (2), 115-121.
103. Sancho, J., Bota, E., De Castro, J.J. (1999). Introducción al Análisis Sensorial de los alimentos. Ediciones Universitat de Barcelona.
104. Rodríguez, E.; Fernández, A. y Ayala, A. (2005). Modelos reológicos aplicados a masas de trigo y maíz. *Revista ingeniería e investigación*, 25 (2), 87 – 93.
105. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2018). México prepara lineamientos para atender la pérdida y desperdicios de alimentos. Recuperado de: <https://www.gob.mx/semarnat/prensa/mexico-prepara-lineamientos-para-atender-la-perdida-y-desperdicios-de-alimentos>
106. Silverthorn, D.U. (2009). Fisiología humana: un enfoque integrado. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana; (cited 2014 Apr 28). Recuperado de: <https://goo.gl/kS1f8E>.
107. Sosa, M.E., Vélez, J.F. (2009). Effects of frying and combined treatments on fried foods. *En Food Processing and Engineering Topics*. 437- 562. Ed. Nova Pub. Nueva York, EU.
108. Srichuwong, S., Jane, J. (2007). Physicochemical properties of starch affected by molecular composition and structures: a review. *Food Science and Biotechnology*. 16 (5), 663-674.
109. Steffe, J. (1996). Rheological methods in food process engineering, Michigan, Freeman, pp. 1- 10, 258 - 262, 295 - 317.
110. Suarez, T., Palma, G., Nájera, H. (2009). Almidón ¿enemigo o aliado?, *Revista Ciencia y Desarrollo*, 35 (227), 22-27.

111. Tetlow, I. J., Morelli, M. K., Emes, M. J. (2004). Recent developments in understanding the regulation of starch metabolism in higher plants. *Journal of Experimental Botany*, 55, 2131–2145.
112. Thomas, H. D., Atwell, W. A. (1999). Starches. Practical guides for the food industry. *American Association of Cereal Chemist*. St. Paul Minnesota, USA: Egan Press, p. 1-87.
113. Tovar, J. H., Björck, N. G. (1990). Starch Content and α -amylolysis Rate in Precooked Legumes Flours. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38 (9), 1818-1823.
114. Ufheil, G., Escher, F. (1996). Dynamics of Oil Uptake during Deepfat Frying of Potato Slices. *Lebensm Wiss Technol*; 29, 640-644.
115. Valderrama-Bravo, C.; Domínguez-Pacheco, A.; Hernández-Aguilar, C.; Zepeda-Bautista, R.; Pahua-Ramos, M.E.; Arellano-Vázquez, J.L. y Moreno-Martínez, E. (2017). Physical and chemical characterization of masa and tortillas from parental lines, crosses, and one hybrid. *International Agrophysics*. 31, 129-138
116. Valenzuela, A., Morgado, N. (1999). Trans fatty acid isomers in human health and in the food industry. *Biological Research*. 32(4), 273-287.
117. Wang, F.C., Sun, X.S. (2002). Creep-recovery of wheat flour doughs and relationship to other physical dough test and breadmaking performance. *Cereal Chemistry*, 79 (4), 567-571.
118. Wang, L. Z., White, P. J. (1994). Structure and physicochemical properties of starches from oats with different lipid content. *Cereal Chemistry*, 71 (5), 443-450.
119. Wikström, K. (1997). Rheology of wheat flour dough at large deformations and the relation to baking quality and physical structure, Lund, Suecia, 111 p., trabajo de grado (doctorado en ingeniería en alimentos), Universidad de Lund, Facultad de Ingeniería en Alimentos.
120. Williams P.A. (1984) Gums and stabilizers for the food industry 2, (Eds.) *Elsevier Applied Science and Publishers*, Barking, England.
121. Yadav, B., Sharma, A., Yadav, R. (2009). Studies on effect of multiple heating/cooling cycles on the resistant starch formation in cereals, legumes and tubers, *International Journal of Food Sciences and Nutrition*; 60, 258-272.
122. Yagüe, M.A. (2003). Estudio de utilización de aceites para fritura en establecimientos alimentarios de comidas preparadas. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona. Disponible en: <http://avdiaz.files.wordpress.com/2008/08/mangeles-aylon-blog.pdf>
123. Zobel, H. F. 1988. Molecules to Granules: A Comprehensive Starch Review. *Starch/Stärke*, 40: 44–50.