VNIVERSDAD NACIONAL
AVTONOMA DE
MEXICO

UNIVERSDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

Efecto de la proporción de harina de soya y arroz en las características texturales y de imagen de donas libres de gluten

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERA EN ALIMENTOS
PRESENTA
LOIS GUADALUPE TEJEDA OLMEDO
ASESORAS:DRA MARÍA GUADALUPE SOSA HERRERA
I.A. MARITZA ROCANDIO PINEDA

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 9 DE JUNIO DE 2023

Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM
Biblioteca Central
Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

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.

ÍNDICE

Índice de Figuras III

Índice de cuadros IV

RESUMEN 1

INTRODUCCIÓN 2

CAPÍTULO I ANTECEDENTES 4

1.1 Panificación 4

1.1.1 Tipos de pan 4

1.1.2 Donas 5

1.2 Funcionalidad de los ingredientes para donas 7

1.2.1 Harina de trigo 8

1.2.2 Sustitutos de harina de trigo 11

1.2.2.1 Harina de arroz 11

1.2.2.2 Harina de soya 14

1.2.2.3 Hidrocoloides 17

1.2.3. Otros ingredientes 19

CAPÍTULO II METODOLOGÍA 21

2.1 Objetivos 21

2.2 Materiales 21

2.3 Preparación de muestras 21

2.3.1 Formulaciones realizadas 22

2.4 Métodos 23

2.4.1 Caracterización de la masa 23

2.4.2 Caracterización de la dona (producto frito) 24

CAPÍTULO III RESULTADOS.....26

3.1 Propiedades de la masa 26

3.2 Propiedades de la dona.....31

CONCLUSIONES.....39

REFERENCIAS.....40

Índice de Figuras

Figura 1. 0Curva representativa de una prueba de perfil de textura (Torres y col., 2015)……24

Figura 2.0 Curva de fuerza en función del tiempo, representativa del perfil de textura obtenido de las masas de las formulaciones realizadas……....27

Figura 3.0 Comparación de los valores de dureza de las distintas formulaciones…….28

Figura 4.0 Adhesividad de las masas elaboradas con las diferentes formulaciones…….…30

Figura 5.0 Elasticidad de masas elaboradas con las diferentes formulaciones…….31

Figura 6.0 Curvas representativas del Perfil de Textura de las formulaciones realizadas.……..33

Figura 7.0 Dureza de donas elaboradas con las diferentes formulaciones…….……34

Figura 8.0 Cohesividad de donas elaboradas con las diferentes formulaciones ……34

Figura 9.0 Elasticidad de las donas en función de la proporción de las harinas empleadas ……..35

Figura 10.0 Imágenes digitalizadas de las donas elaboradas……...…….37

Figura 11.0 Comparativo de los atributos de análisis de imagen…….38

Índice de cuadros

Cuadro 1.0 Comparación de formulaciones de donas……6

Cuadro 2.0 Clasificación de las harinas de soya según su solubilidad (Mundo Alimentario, 2008)…….....15

Cuadro 3.0 Formulaciones para la propuesta experimental…….....22

Cuadro 4.0 Atributos texturales de donas para las diferentes formulaciones evaluadas……27

Cuadro 5.0 Atributos texturales de donas para las diferentes formulaciones evaluadas……33

Cuadro 6.0 Resultados densidad donas……...36

Cuadro 7.0 Atributos de análisis de imagen de las donas elaboradas con diferentes formulaciones…….....37

RESUMEN

Este trabajo consistió en realizar donas sin gluten utilizando diferentes tipos de harina como la de arroz y soya, empleando además diferentes hidrocoloides como la goma xantana y la hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC).

Las harinas de soya y arroz se combinaron en diferentes proporciones, una de ellas de 50/50 de arroz y soya, otra de 75/25, respectivamente, las concentraciones de los hidrocoloides variaron para xantana de 0.2 -0.5% y para HPMC de 0.3-0.6% (en peso). Por lo que se estudió la relación de las harinas, y el efecto de la interacción de dichos hidrocoloides sobre las propiedades adhesivas y dureza de la masa.

En las donas se midieron los parámetros de TPA como son la dureza, cohesividad, adhesividad, elasticidad y masticabilidad, también como las propiedades morfogeométricas y las de análisis de imagen comparándolo con la dona tradicional hecha a base harina de trigo para así poder elegir la más adecuada en la sustitución de harina de trigo.

Con base en los resultados de las donas elaboradas en este trabajo y comparándolas con la dona tradicional se obtuvo que al mayor porcentaje de harina de arroz y la concentración más alta de HPMC empleada, hay similitud entre las propiedades de una dona tradicional y las obtenidas en este estudio.

INTRODUCCIÓN

En la industria de la panadería la harina de trigo es la más utilizada para la elaboración de distintos panes (Sciarini et al., 2017), esto es por la formación del gluten que ayuda a que el pan tenga esa característica que hace que lo haga suave y agradable al consumidor, sin embargo, esta proteína no se puede consumir por toda la población, lo que ha hecho que se utilicen otros tipos de cereales, aunado a los cambios en el consumo de productos a base de trigo.

Entre los cereales considerados aptos para ser consumidos por la población con intolerancia al gluten se encuentran avena, soya, maíz, arroz y sorgo, los cuales han sido objeto de estudios para intentar sustituir al trigo en la formulación de productos panificados, el arroz es el más utilizado (Sarriga, 2003). Sin embargo, estos cereales tienen la imposibilidad de formar una fase continua y estructura de masa. Por lo que para lograr su aceptabilidad es necesario que los panes libres de gluten, formulados con estos cereales, tengan características de calidad similares a los panes elaborados con harina de trigo, por lo que se utilizan otros ingredientes para mejorar la calidad del producto y así obtener características similares al pan con gluten.

La harina de arroz ha sido el principal sustituto debido a su amplia disponibilidad, sabor suave y color blanco (Pico et al., 2017). Sin embargo, ésta contiene niveles de nutrientes como proteínas, fibra y minerales más bajos que los de la harina de trigo. Por lo tanto, los productos sin gluten a base de arroz a menudo presentan una textura y apariencia inferiores al estándar de los productos de trigo, esto se debe a la falta de una red de gluten viscoelástica, por lo que la producción de productos horneados y fritos con levadura a partir de fuentes no relacionadas con el trigo es un desafío, ya que el pan resultante tiene un volumen bajo y una miga firme por lo que se da a la necesidad de utilizar hidrocoloides y algunos productos funcionales (Hager et al., 2014).

En este sentido, los hidrocoloides se utilizan en la mayoría de los casos, ya que tienen la capacidad de modificar la reología y la textura (Roudot, 2004), de formar dispersiones o disoluciones viscosas y/o geles que se mezclan con agua ya que son un grupo amplio de

polímeros de cadenas largas. En panificación, los hidrocoloides favorecen a la masa, retienen la humedad y mejoran la apariencia. En productos sin gluten son ingredientes fundamentales para obtener una estructura similar a la que proporciona el gluten, se utiliza frecuentemente la goma xantana, goma guar, carboximetilcelulosa (CMC), hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) y almidones modificados (Sharma & Dhuldhoya, 2011). Los hidrocoloides mencionados también producen un aumento en la viscosidad de la masa, a través de la formación de una red tridimensional capaz de retener gases y expandirse durante la fermentación, por lo que se usaron goma xantana y HPMC siendo esto los más comunes en la industria alimentaria (Kim et al., 2015; Özer et al., 2018).

CAPÍTULO I ANTECEDENTES

1.1 Panificación

El término panificación usualmente se aplica a los alimentos que están hechos a base de harina de cereales como el trigo y maíz, entre otros. También de diferentes tipos de harinas que no contienen gluten y en donde se adicionan hidrocoloides.

El objetivo de la panificación es convertir la mezcla de ingredientes en una estructura esponjosa como lo es la miga de pan, para ello se siguen una serie de procesos que se llevan a cabo en conjunto, que permiten la obtención de una masa con las propiedades mecánicas apropiadas para la retención de gases y como resultado una estructura de miga pareja (Gan et al., 1990). Esto es por medio de procesos que consisten en mezclar y desarrollar la masa (amasado y la fermentación), formar una estructura tipo espuma (moldeado y la fermentación) y estabilizar la estructura porosa alterando la configuración molecular de los componentes que serían las paredes de los alvéolos por medio de la aplicación de calor (Kent 1987).

Independientemente de la manera en que se realicen el amasado y la fermentación, existirán los diferentes tipos de pan; tres hechos que ocurren dentro de este proceso son la hidratación, que tiene como función distribuir el agua entre los polímeros, el segundo, por consiguiente es el desarrollo del gluten, aunque algunas de las proteínas presentes en la harina son solubles en agua, es en las proteínas insolubles, conocidas colectivamente como gluten, donde se enfocan los estudios que se pretenden elucidar el tercer hecho en el cual se transforman en una masa cohesiva (Weegels, 1996).

Cuando la masa se desarrolla, las proteínas forman una red viscoelástica que retiene el aire y contiene a los gránulos de almidón y otros materiales, como el salvado. El óptimo desarrollo del gluten durante el amasado es vital para la formación de la estructura de la miga. Existen diferentes formas de explicar cómo se da la panificación y es de una manera química que es realmente lo que sucede cuando hay presencia de gluten.

1.1.1 Tipos de pan

La diferencia entre tipos de pan radica en el proceso de cocción, horneado y los diferentes ingredientes que tiene cada pan. Dentro de la clasificación encontramos el pan común que se define como el de consumo habitual en el día, elaborado con harina de trigo, sal, levadura y agua, al que se le pueden añadir ciertos coadyuvantes tecnológicos y aditivos autorizados. Se encuentra el pan bregado, de miga dura, español o candeal, después tenemos pan de flama o de miga blanda, es el obtenido con una mayor proporción de agua que el pan bregado (Mesas y Alegre, 2002).

Por otro lado, existe el pan especial, es aquel que, por su composición se incorpora algún aditivo o coadyuvante especial, por el tipo de harina, por otros ingredientes especiales (leche, huevos, grasas, cacao entre otros), por no llevar sal, por no haber sido fermentado, o por cualquier otra circunstancia autorizada, no corresponde a la definición básica de pan común. Como ejemplos de pan especial tenemos: pan integral, es aquel en cuya elaboración se utiliza harina integral, es decir, la obtenida por trituración del grano completo, sin separar ninguna parte del mismo; pan de Viena o pan francés, es el pan de flama que entre sus ingredientes incluye azúcares, leche o ambos a la vez; pan de molde o americano, es el pan de corteza blanda en cuya cocción se emplean moldes; pan de cereales, es el elaborado con harina de trigo más otra harina en proporción no inferior al 51%, recibe el nombre de este último cereal (Mesas y Alegre, 2002).

Existe también otro tipo de pan que es el pan dulce que tiene azúcares, agua potable, sal yodada adicionada o no de grasas y/o aceites comestibles, ingredientes opcionales y aditivos alimentarios permitidos por la Secretaría de Salud. Dentro de este grupo de productos se encuentra la dona que se caracteriza como un pan frito con cuyos ingredientes se elabora un batido o masa fermentada o leudada químicamente; su cocción se realiza en grasas y/o aceites comestibles a alta temperatura, pudiendo estar relleno o no (NOM, 1978).

1.1.2 Donas

Hablando más profundamente de la donas se han hecho estudios sobre este tipo de pan frito y también sobre la sustitución de la harina de trigo. Ahora bien, en el proceso de la dona se han realizado diferentes estudios en formulaciones para sustituir al gluten

mediante el uso de harinas de leguminosas, se encontró que usaban la harina de soya, harina de arroz y algunos hidrocoloides como HPMC y goma xantana, como se muestra en el Cuadro 1.0 donde diferentes autores emplearon distintas formulaciones para la elaboración de la dona.

La importancia de la formulación se basa en las propiedades texturales que se le mide a la dona porque en diversos estudios lo que se ha querido es sustituir la harina de trigo pero que tenga esas mismas o similares propiedades texturales que una dona tradicional. Se encontraron distintitas investigaciones como Kim et al. (2015), en la absorción de aceite y textura de rosquilla de soya sin gluten en donde se le hicieron pruebas de textura como la dureza, adhesividad, cohesividad, elasticidad, tomando como referencia ciertos puntos en este estudio se concluyó que la harina de soya y el HPMC a mayor concentración de este hidrocoloide absorbía menor aceite y la textura fue tres veces más dura, que una dona tradicional, en el volumen disminuyo al 30% que una dona comercial.

Cuadro 1.0 Comparación de formulaciones de donas.

	Formulación a base de harina de maíz (Özer et al., 2018)		Formulación a base de harina de soya (Kim et al., 2015)		Formulación a base de harina de trigo (Alpaslan & Hayta, 2010)	
	G	%	g	%	g	%
Harina	500	79.55	100	63.49	100	42.92
Levadura en polvo	5	0.8	3	1.9	…..	……
Sal	6	0.95	0.5	0.32	3	1.29
Aceite de girasol	15	2.39	……..	…….	20	8.58
Leche	100	15.91	4	2.54	10	4.29
Huevo	……..	……	40	25.4	60	25.75
Mantequilla	…….	……	5	3.17	…….	…….
Agua	…….	……	…….	……	40	17.17

Tomando como referencia el Cuadro 1.0 donde se comparan formulaciones de distintos autores como Özer et al. (2018) en donde se estudia el efecto de harina de grano de arroz inmadura estabilizada por infrarrojos en la preparación de un pan sin gluten, donde se emplean distintos niveles de sustitución de arroz, del 30%, 50%, 70% y 100% estudiando la textura y las propiedades sensoriales del pan; después de las pruebas de

dureza, adhesividad y masticabilidad concluyeron que aumentaron notablemente en comparación a un pan comercial dichas propiedades, los investigadores reportaron este aumento en los panes con la adición de salvado de cereales o fibra y dieron como causa el engrosamiento de las paredes que rodean las burbujas de aire en la miga.

Por otro lado, en otro estudio, Kim et al. (2015), usaron harina de soya recubierta como control y se realizaron donas en tres condiciones diferentes: únicamente con soya, soya con HPMC y por último soya recubierta con HPMC, las pruebas de textura fueron en un analizador de textura modelo TA-TX2 con una celda de 5 kg, donde se le hicieron pruebas a la masa y a la dona, para la dureza se ocupó una sonda cilíndrica de 20 mm y penetró un 40% del grosor de la masa con una velocidad 2 mm/s y para la dona las condiciones fue una penetración del 35% con una velocidad de 1 mm/s, midiendo los parámetros de dureza cohesividad, elasticidad, masticabilidad y adhesividad, los resultados fueron una disminución de absorción de aceite cuando se agrega el HPMC por último se concluye que en cuanto a la textura no coinciden con una dona tradicional por que disminuye un 30% de volumen y es tres veces más dura en comparación con una dona tradicional. Finalmente, en un estudio del efecto de suplemento de harina de soya, harina de arroz y semolina sobre las propiedades texturales y sensoriales de la masa y un producto frito (Alpaslan & Hayta, 2010) se hizo una masa de trigo frita, con el fin de ver el efecto de la suplementación con otras harinas como lo son la de arroz y soya, para medir la textura utilizaron un analizador de textura modelo TA-TX2 con una celda de 50 kg, una base cilíndrica de 20 mm de diámetro con una penetración del 25% y una velocidad 1mm/s las muestra se comprimieron dos veces y los parámetro medidos fueron la dureza, la elasticidad y la adhesividad; se concluyó que al tener soya el producto tuvo mayor dureza, hubo un aumento en cuanto a la consistencia mientras que en la harina de arroz no existió mayores cambios al compararlas.

Con las anteriores referencias se ajustó una nueva formulación para realizar las donas y las propiedades texturales que se iban a medir, el tipo de harina con el cual se sustituyó a la harina de trigo.

1.2 Funcionalidad de los ingredientes para donas

Los ingredientes utilizados en la panificación soy muy variantes entre ellos se encuentra la harina de trigo por ser el principal ingrediente utilizados después de ahí se derivan los

siguientes como el agua, levadura, mantequilla y sal entre otros, de los que se hablará a continuación.

1.2.1 Harina de trigo

Uno de los ingredientes más importantes es la harina de trigo que se obtiene de la molienda del grano maduro, entero, quebrado, y seco del trigo. La calidad panadera de una harina viene determinada por un ciclo que se inicia con un análisis químico que aporta valores referidos a la composición (proteínas, almidón, agua, sales minerales, glúcidos, lípidos, vitaminas) (Sarriga, 2003).

La harina debe madurar entre dos o cuatro semanas, dependiendo del tiempo, de la variedad de trigo y de las condiciones ambientales, tanto de la temperatura como de la humedad. Durante la maduración se produce una ligera oxidación de los ácidos grasos de la harina que provoca a la vez una oxidación de las proteínas insolubles de la misma. El resultado es una mejora de las características plásticas de la harina durante el proceso de panificación. Por otro lado, durante este tiempo de maduración se produce en la harina una serie de pequeñas pero significativas reacciones encaminadas a mejorar sus cualidades físicas e incluso reológicas. Estas reacciones las podríamos resumir en los siguientes puntos: que es el inicio de actividad de la amilasa sobre gránulos de almidón, que provoca dextrinas y maltosa, directamente relacionada con la primera, después se forman nutrientes que serán utilizados de manera directa por la levadura en los primeros momentos de la fermentación, es decir, tras su inmediata incorporación en la amasadora y por último la producción de calor, humedad, así como la absorción de oxígeno del aire causado por la respiración propia de la harina (Sarriga, 2003).

Las proteínas contenidas en la harina de trigo, con adición de agua y la acción mecánica del amasado forman lo que llamamos gluten. Este será encargado de retener el gas carbónico producido por la levadura, cediendo a la vez al impulso de este mismo gas, gracias todo ello a las características de elasticidad, tenacidad y extensibilidad que les confieren a las dos proteínas que contribuyen dicho gluten (Sarriga, 2003).

Gluten

Como ya se mencionó, el gluten, una proteína compuesta de prolamina (en trigo llamada gliadina) y glutelina (en trigo llamada glutenina), se encuentra en el endospermo de

diversos cereales como el trigo, el triticale, el centeno, la avena y la cebada y es considerado como uno de los ingredientes alergénicos. (Sarriga, 2003).

Las proteínas que integran el gluten se encuentran localizadas en cuerpos proteínicos en el endospermo del grano; durante el amasado se produce la ruptura de estos cuerpos y su hidratación, formando una red tridimensional continua en donde se encuentra embebido el almidón. Las interacciones de tipo covalentes y no covalentes entre los polipéptidos más grandes que forman la masa producen una matriz elástica y extensible. El gluten es una mezcla compleja de proteínas que varían en su proporción, estructura y propiedades.

A pesar de los numerosos estudios realizados sobre la estructura de las proteínas del gluten y la base molecular existente, su rol en el procesamiento del pan no es totalmente comprendido (Shewry et al., 2003). Como ya se mencionó, las subunidades de gluteninas de alto peso molecular están presentes en forma de polímeros (macro polímero de gluteninas). La importancia de tales polímeros en la viscoelasticidad del gluten ha sido apreciada durante muchos años, aunque su tamaño, complejidad y baja solubilidad limita el estudio detallado. Los enlaces disulfuro son entonces considerados esenciales para la viscoelasticidad del gluten, sin embargo, entre las proteínas del gluten se supone que hay gran cantidad de puentes de hidrógeno debido a la alta proporción de glutamina y prolamina. Otro aporte importante son las interacciones hidrofóbicas, ya que aproximadamente el 35% de los aminoácidos poseen cadenas laterales de naturaleza apolar (Hoseney, 1994). La subunidad de gluteninas de alto peso molecular (high-molecular-weight glutenin subunit o HMW-GS) forman la columna vertebral del polímero; estas HMW-GS se encuentran unidas entre sí a través de puentes disulfuro intermoleculares ubicados en los extremos. Esta columna vertebral de gluteninas de alto peso molecular sirve de base para que se unan a ella las subunidades de bajo peso molecular (low-molecular-weight glutenin subunit o LMW-GS) mediante puentes disulfuro formando puntos de ramificación. Las gliadinas, consideradas tradicionalmente por contribuir a la viscosidad del gluten, interactúan principalmente con los polímeros de gluteninas mediante interacciones no covalentes. Interacciones puentes de hidrógeno ocurren probablemente entre las amidas de los residuos de glutamina presentes en el dominio central HMW-GS. Estas interacciones son importantes porque contribuyen a la viscoelasticidad de la masa (Ewart, 1989).

Belton (1999) propuso un modelo para explicar la elasticidad del gluten. Este investigador describió al gluten formado por una estructura de bucles y colas ("*loops and trains*"), regiones donde existen interacciones polímero-solvente y regiones con interacciones polímero-polímero, respectivamente. En este modelo las proteínas del gluten están estabilizadas por interacciones no covalentes entre moléculas paralelas. Las HMW-GS inicialmente presentan una conformación en forma de bucle que es estirada durante la extensión del gluten para formar polímeros alineados, en los cuales la formación de altas proporciones de estructuras de hoja plegada β se encuentra favorecida. Por esta razón, tales polímeros son altamente resistentes a la extensión. El estiramiento de los polímeros produce, primero, la deformación de los bucles y posteriormente, el de las colas, a la vez que se rompen las interacciones no covalentes. Durante la extensión, los puentes disulfuro se rompen y se restablecen, derivando en una red alineada en dirección a la extensión. Sin embargo, puede producirse la restauración del equilibrio de bucles y colas espontáneamente, que resulta en la relajación de la estructura del polímero. Estos modelos estructurales fueron extensamente relacionados con la viscoelasticidad del gluten y con la estabilidad de los polímeros además de que, observaron que el número y el patrón de puentes disulfuro en los polímeros de gluteninas del trigo afectan la fuerza de la masa. Por lo tanto, reafirman que las estructuras de hoja plegada β y los puentes disulfuro contribuyen a la estabilización de los polímeros, como fue propuesto por Belton (2005). En resumen, la calidad de una harina que permita desarrollar un gluten con buenas propiedades viscoelásticas va a depender del tipo y la cantidad de gluteninas y gliadinas que posee y de la capacidad de estas proteínas de formar enlaces intermoleculares mediante puentes disulfuro. En este sentido, promover un mayor grado de entrecruzamiento en la red polimérica podría traducirse en mejores características reológicas de las masas, por lo que al tener esta proteína la harina de trigo resulta complejo su sustitución con otro tipo de harinas como por ejemplo de otros cereales como el arroz, la soya y el maíz, que contienen las prolaminas, las cuales no desencadenan esta función, porque tienen un nivel bajo y aparte la proteína es muy reducida lo que hace que no tenga gluten (Sciarini et al., 2017). Es por ello por lo que se busca otra forma de sustituir a productos con gluten y que den características similares a una masa hecha por gluten, adicionando otros tipos de harinas en combinación con hidrocoloides.

Como se mencionó anteriormente, las gliadinas son mayormente proteínas monoméricas ricas en glutamina y prolaminas además que poseen un bajo nivel de aminoácidos cargados. Constituyen un tercio de las proteínas de la harina y son clasificadas en alfa, beta y gamma. Las γ-gliadinas poseen ocho residuos de cisteínas que se encuentran localizados en el dominio C-terminal y forman cuatro enlaces disulfuro intramoleculares, por lo que tampoco son capaces de formar enlaces covalentes con otras proteínas del gluten. Las α-gliadinas poseen seis residuos de cisteínas igualmente ubicados como en las γ-gliadinas que forman tres enlaces disulfuro también intramoleculares. Sin embargo, estos enlaces disulfuro son importantes para retener el plegado de la estructura de las gliadinas que determina la naturaleza de las interacciones no covalentes con la red de gluteninas. Algunos investigadores proponen que son las responsables de la cohesividad de las masas aunque otros sugieren que controlan el potencial de volumen de pan (Hoseney, 1994).

Ahora bien, las gluteninas forman agregados proteicos unidos por puentes disulfuro y fuerzas no covalentes intermoleculares. La posibilidad de establecer enlaces covalentes entre diferentes moléculas es el rasgo distintivo de estas proteínas y explica sus elevadas masas moleculares, que varían desde 500 KDa a más de 10 000 KDa (Wieser, 2007). Dentro de la panificación estas proteínas son importantes ya que con ellas se realiza que el pan se obtiene una estructura característica y comestible.

1.2.2 Sustitutos de harina de trigo

Entre estos tipos de harinas encontramos la harina de soya y de arroz, ambas con un mínimo de gluten, están compuestas básicamente por almidón (90%) y su contenido en proteína es básicamente nulo por lo que llega a ser una harina no panificable. Estas harinas se obtienen de los granos ya previamente secos con una molienda; este tipo de cereal tiene un nivel bajo de prolaminas, reportándose solo alrededor del 5 al 10% de las proteínas totales de la semilla (Sarriga, 2003).

1.2.2.1 Harina de arroz

La harina de arroz al tener un porcentaje alto de almidón tiene propiedades espesantes en los productos panificables, por lo que la hace que se ocupe en productos como salsas, papillas y diferentes tipos de panes, aparte de que digiere muy bien. Por este motivo la

harina de arroz es utilizados para productos libres sin gluten, se utilizan también combinaciones de esta harina con otras.

La harina de arroz obtiene diferentes características nutricionales que son favorables para el consumo diario de las personas ya que posee un contenido calórico de 351 kcal, en hidratos de carbono con un 80%, proteínas 7%, y 1% de grasas, y además es beneficioso para las personas que padecen ciertas enfermedades no transmisibles como en, hipertensos, celiacos o con intolerancia al gluten ya que es un alimento muy bajo en grasa, sodio, y colesterol (Wieser, 2007).

Esta harina se extraída de la molturación de granos de arroz blanco o integral contiene un 90% de almidón, cuyos gránulos son más pequeños que en otros tipos de harina, lo cual lo hace ideal como espesante.

Desde que se recepción la materia prima hasta que se envasa, el producto no tiene contacto directo con el operario, evitando así posibles alteraciones. Además, en la cadena de producción se identifican los puntos críticos y se revisan de manera estandarizada y periódica permitiéndonos identificar posibles problemas antes de que ocurran.

Una vez recibida la materia prima, ésta pasa por una serie de cribados que aseguran su pureza. Superado ese primer control el arroz se muele, pasando por distintos procesos, cribas, clasificaciones y remoliendas que aseguran que el producto obtenido cumple las exigencias. Antes de pasar a envasado se hace circular por un cernedor de seguridad que garantiza que el polvo que se va a empaquetar tiene todas las cualidades, composiciones. (Wieser, 2007)

La primera característica importante de la harina de arroz es su ausencia de gluten, esto la hace apta para el consumo de las personas celiacas o sensibles al gluten. La harina de arroz es un producto con un alto índice energético (351 Kcal). Su componente más importante son los carbohidratos (80%), seguido de las proteínas (7 %) y conteniendo solamente un 1% de materia grasa. Este aporte de carbohidratos lo hace en forma de almidón por lo que es muy adecuada para las personas con diabetes ya que este tipo de azúcar es de metabolización lenta, lo que asegura un suministro continúo minimizando así el riesgo de padecer hipoglucemia. Es además un alimento

muy recomendable para la salud cardiovascular por su muy bajo contenido en materia grasa y colesterol, así como en sodio, por lo que es parte fundamental de la dieta de las personas hipertensas. Además, aporta un alto contenido en minerales como el calcio y el hierro y en vitaminas (niacina, vitamina D, tiamina y riboflavina). En resumen, la harina de arroz es un alimento recomendable para todo el mundo, pero especialmente para las personas celiacas, diabéticas, hipertensas o con problemas cardiovasculares. La harina de arroz tiene muchísimos usos, tanto a nivel doméstico como industrial. No sólo es utilizada como parte de productos destinados a la alimentación. La industria cosmética la lleva utilizando desde hace mucho tiempo como base para algunos preparados y como aditivo de talcos (por sí misma es ya un desecante muy recomendado para pieles sensibles). También se utiliza en jabones y mascarillas siendo un exfoliante natural muy apreciado. Además, forma parte de algunos preparados para curtimiento de pieles. A nivel alimentario sus usos se multiplican y aparecen nuevos cada año descubriéndose nuevas propiedades. La harina de arroz es uno de los ingredientes básicos para galletas, pasteles y panes. A parte de aportar muchas cualidades que no pueden aportar otras harinas, por su ausencia de gluten. Se ha utilizado desde tiempo inmemorables para hacer tempuras y rebozados, dada su escasa capacidad para absorber aceite. Eso deriva en una capa exterior crujiente y mucho menos calórica que el equivalente con harina de trigo. (Hoseney, 1994).

Recientemente, en el año 2002, un grupo de científicos suecos descubrieron la aparición de cantidades elevadas de acrilamida en alimentos ricos en carbohidratos al ser cocinados a altas temperaturas. Todo indica que la acrilamida podría ser un importante cancerígeno y hay multitud de iniciativas científicas investigando el tema. El químico Fred F. Shih del ARS y su equipo determinaron que la cantidad de acrilamida podía reducirse en un 60 % cambiando la harina de trigo por la de arroz en las muestras que sometían a un tiempo determinado de fritura (Alpaslan y Hayta, 2010). Así pues, hacer la tempura o rebozado con harina de arroz, aparte de todas las propiedades organolépticas que le confiere, es mucho más saludable desde el punto de vista médico.

La harina de arroz también es utilizada como agente extensor. Un agente extensor es un producto que se utiliza para sustituir a una parte de otro sin mermar con ello las

cualidades nutricionales del resultado final. Así, la harina de arroz es utilizada como extensor, por ejemplo, en la industria cárnica. Aunque posiblemente su cualidad más conocida en la industria es su capacidad para espesar salsas, preparados cárnicos, chocolates, solubles etc. Así tanto en la cocina doméstica como en industria alimentaria es muy utilizada como espesante natural libre de gluten. Un agente espesante es aquel que consigue aumentar la viscosidad de un producto sin cambiar de manera importante tanto el sabor como el resto de las propiedades.

Sus propiedades nutricionales excepcionales han hecho que los especialistas en nutrición infantil hayan incluido la harina de arroz en muchísimos de los cereales de desayuno, papillas y demás alimentos para los más pequeños. Por supuesto también forma parte de muchos de los preparados de cereales para adultos. También es utilizada en la elaboración de aperitivos y snacks, como ingrediente base, que mezclado con otros cereales y luego extruido, dan origen a pasta para freír. En esta misma industria también se utiliza para conseguir la adhesión de la sal a las pipas. (Hoseney, 1994).

En bebidas y alimentos en estado líquido es utilizado en unas ocasiones como ingrediente principal de los mismos y en otras como agente estabilizante. Un agente estabilizante es aquel que consigue mezclar ingredientes que no lo harían de forma natural o que pasado un tiempo se separarían. Hay multitud de estabilizantes, pero la harina de arroz aparece como una opción muy interesante por ser natural y libre de gluten.

La harina de arroz es capaz además de conseguir la ausencia de apelmazamiento o pegado de algunos alimentos. Así es muy conocido su uso para que la masas no se adhieran a moldes o superficies, pero no lo es tanto que, por ejemplo, los tan apreciados higos secos consiguen no apelotonarse gracias a la harina de arroz. (Harinas Climent SL, 2021).

1.2.2.2 Harina de soya

La harina de soya en la panificación se ha usado como sustituto de la harina de trigo debido a sus propiedades funcionales y mayor absorción de agua, lo cual aumenta y mejora el rendimiento de la masa, retarda la absorción de grasa en donas y aumenta la calidad y cantidad de proteínas en los productos de panificación (Kim et al., 2015).

Dentro de las características de los productos de soya está el contenido de proteína y se clasifican de acuerdo con ella en los que encontramos la harina integral (40%), harina desgrasada (50%), concentrado (70%) y aislado al (90%). En general, la proteína de soya tiene gran avidez por el agua por lo que a mayor proteína mayor será la retención de agua. También encontramos el contenido de grasa que es un componente principal del aceite de soya que es la lecitina, esta misma tiene un sin número de funcionalidades que son muy útiles dentro de la panificación, dentro de los usos se encuentra que actúa como emulsificante y como agente que facilita la homogeneización de las mezclas y ayuda a despegar los productos de sus moldes de fabricación. La lecitina también es un antioxidante natural que realiza la estabilidad de las vitaminas en productos de panificación (Mundo Alimentario, 2008).

El aceite de soya y la lecitina actúan de manera benéfica en diversos productos de panificación, e incluso se han desarrollado una serie de productos que contienen estos ingredientes funcionales. Estos productos se utilizan en donde un emulsificante es necesario y donde la acción de ahorrar grasa es necesario y por último tenemos la solubilidad de la proteína de soya que se refiere a una medida del porcentaje total de la proteína soluble en agua bajo condiciones controladas y es una medida del grado de tratamiento térmico al cual ha sido sometida la hojuela de soya. La solubilidad proteínica está íntimamente relacionada con las propiedades funcionales dentro de la panificación. Varios métodos se utilizan para determinar la solubilidad de la proteína siendo las pruebas más importantes, el índice de solubilidad de nitrógeno y el índice de dispersabilidad de proteína. (Harinas Climent SL, 2021).

Cada una de estas pruebas indica el porcentaje total del nitrógeno soluble en agua y el intervalo de valores, así como su aplicación se pueden observar en el Cuadro 2.0.

Cuadro 2.0 Clasificación de las harinas de soya según su solubilidad (Mundo Alimentario, 2008)

Grado de tostado	**Valores IDP***	**USOS**
NINGUNO	90-95	Agente blanqueador para pan blanco, materia prima para aislado de soya
LIGERO	60-80	Productos horneados y cereales para infantiles

MODERADO	35-40	Productos cárnicos
FUERTE	110-20	Alimentos para bebés y productos cárnicos

**IDP: índice de polidispersidad*

Las principales enzimas presentes en la harina de soya son la lipoideas, la ureasa, la amilasa, la lipasa y la proteasa. Durante el proceso de panificación la enzima lipoxigenasa tiene la habilidad de oxidar grasa y de blanquear pigmentos carotenoides, dando como resultado una miga de color más claro. La lipooxigenasa también produce peróxidos al actuar sobre ciertas grasas; debido a que los peróxidos son oxidantes, contribuyen a dar fuerza al gluten.

Los usos de la harina de soya son muy variados como en el uso de pan y bizcochos, los usos más comunes son del 1- 3% en base a la harina en pan y bizcochos, la harina de soya aumenta la absorción de agua, requiriéndose aproximadamente una parte adicional de agua por cada parte de harina de soya, mejorando el cuerpo de la miga y el color de la corteza; su uso en pasteles también es empleado a un nivel de uso del 3 al 6% de harina de soya, algunos de sus beneficios es que mejora la distribución de espacios de aire y una mayor textura homogénea; en el uso de las donas se da un mejoramiento en un 2-4% de harina de soya desgrasada por que la función de esta proteína forma una estructura sólida y durante el freído la absorción y la retención de agua produce un aumento en el rendimiento y en la vida de anaquel (Mundo Alimentario, 2008).

Se han hecho muchos estudios en donde la harina de soya se dice que tiene usos más prometedores, esto es por la fortificación de productos a base de cereales, como productos horneados que se debe a los aminoácidos en la soya que son complementarios a los de la mayoría de los cereales (Kim et al., 2015).

La adición de harinas de soya a los productos fritos reduce la penetración de grasas así ayudando a la retención de éstas, que probablemente se deba a la desnaturalización, debida al calor, de la superficie que contiene proteínas actuando como barrera (SPC, 1987). Actualmente se ocupa la harina de soya como sustituto de la harina de trigo ya que se ha identificado como un ingrediente funcional debido a sus efectos como la capacidad de retención de agua y espuma durante el proceso de cocción (Kim et al., 2015).

1.2.2.3 Hidrocoloides

Al elaborar un pan sin gluten es necesario adicionar diferentes tipos de aditivos o hidrocoloides que ayudarán a que el producto tenga características similares a un pan tradicional, dentro de los aditivos más comunes se encuentran algunos hidrocoloides como los polisacáridos.

Los polisacáridos complejos de alto peso molecular. Están exentos de grasas, son solubles en agua y tienen la propiedad de formar geles bajo determinadas condiciones. Debido a su capacidad de absorber hasta 100 veces su peso en agua se han utilizado como retenedores de humedad para evitar el envejecimiento de los productos. Al formar geles de gran viscosidad contribuyen a estabilizar la estructura de la masa. Dentro de los hidrocoloides utilizados habitualmente en la panificación se encuentran: la goma xantana el agar, las cartagenina, la HPMC, la goma guar y la goma garrofin (Josep, 2004).

Como se mencionó, la goma xantana es muy utilizada dentro de la industria alimentaria para la sustitución de algunas proteínas, es un polisacárido producido por las bacterias *Xanthomonas campestris* en un proceso de fermentación. Esta bacteria es un patógeno que se encuentra en vegetales crucíferos como la col y la coliflor. El microorganismo se cultiva a escala industrial por fermentación aerobia en un medio formado básicamente por jarabe de glucosa obtenido a partir de hidrólisis del almidón de maíz. Su estructura formada por un esqueleto de unidades de D-glucosa unidas entre sí por enlaces β (1-4).; una de cada dos glucosas se encuentra unida por un enlace β (1-3) a una cadena lateral formada por dos manosas con un ácido glucurónico entre ellas. Alrededor de la mitad de las manosas terminales de la cadena lateral están unidas a un grupo de piruvato y el 90% de las manosas más próximas a la cadena central están acetiladas en el carbono 6. Suele ser un polvo fino, sin olor, de color blanco cremoso a color crema, utilizada principalmente como estabilizante, espesante y emulsificante en productos alimenticios (San Miguel, 2013).

La goma xantana es completamente soluble en agua caliente o fría, se hidrata fácilmente produciendo soluciones altamente viscosas, tiene un perfil reológico fluidificante. La buena solubilidad y estabilidad de la goma xantana bajo condiciones ácidas o alcalinas, su estabilidad en presencia de sales y su resistencia a las enzimas la ha convertido en

uno de los principales polímeros utilizados en la industria alimentaria (Sharma & Dhuldhoya, 2011).

Dentro de las aplicaciones de la goma xantana se encuentran bebidas que se usan para darles cuerpo, cuando estas bebidas contienen partículas de pulpa de fruta, se puede incluir este polisacárido que ayuda a mantener la suspensión de dicho producto, la goma xantana tiene una solubilidad rápida y completa a pH bajos y una excelente suspensión de insolubles y es compatible con la mayoría de los componentes de las bebidas; en los lácteos, la goma xantana con otra mezcla con goma guar, goma de algarrobo, o ambas, pueden ser empleadas como estabilizantes para helados, sorbetes y leches chocolatadas. La goma xantana combinada también con metilcelulosa y carboximetilcelulosa funciona bien en lácteos congelados; en las salsas y aderezos salados este hidrocoloide proporciona estabilidad a las emulsiones por periodos de hasta un año; en los productos de panificación y bollería se usa para la retención de agua durante la cocción y el almacenamiento extendiendo así la vida útil de los productos de panadería y las masas refrigeradas. En algunos tipos de pan la goma xantana se puede utilizar como sustituto de huevo, en concreto se puede reducir el contenido de huevo, también es ampliamente empleado en productos sin gluten para suplir la ausencia de dicho polímero, en este caso se combina con HPMC (hidroxipropilmetil celulosa) (Sharma & Dhuldhoya, 2011).

Uno de los hidrocoloides que ya se mencionó es la HPMC que es una celulosa parcialmente esterificada por grupos metilos y que contiene una pequeña proporción de grupos hidroxipropilos de sustitución. Esta modificación química le convierte en un polímero soluble en agua con una alta capacidad de hidratación, incluso con cambios bruscos de temperatura. El HPMC tiene una gran capacidad de retención de agua. Tras someterlo a calentamiento, se forma un gel y a la vez que se produce una liberación simultánea del agua. Durante la gelificación, se cree que el HPMC forma enlaces hidrófobos fuertes con otras cadenas de HPMC, dando lugar a redes de gel más fuertes cuando se aplican temperaturas más altas. Las relaciones variables de sustitución de HPMC influyen en la solubilidad y en la temperatura de gelificación (San Miguel, 2013).

La HPMC tiene usos muy diversos, principalmente como un agente espesante, presenta la propiedad de gelificación térmica, además de la resistencia de absorción de grasa de

alimentos que suelen freírse, en este caso como las donas. En la industria de panadería la HPMC presenta superficies activas en su estructura que le otorgan características de hidratación- deshidratación durante cambios de temperatura. Se ha observado que la adición del HPMC mejora el volumen del pan debido a que al hidratar sus cadenas expuestas a altas temperaturas presenta una fuerte interacción, consecuentemente, se crea una cadena temporal que se desintegra a medida que el producto se enfría, por lo cual la expansión es mayor. La cadena formada da fuerza a las células de gas en la masa y durante el horneado se expande con menor pérdida de gas, mejorando el volumen del pan, es por ello por lo que se utiliza en muchos productos donde se busca quitar el gluten. (Mundo Alimentario, 2008).

1.2.3. Otros ingredientes

Entre otros ingredientes se encuentra el agua que en la panificación es importante porque es el segundo componente mayoritario de la masa y es el que hace posible el amasado de la harina. El agua hidrata a la harina así facilitando la formación del gluten, con ello y con el trabajo mecánico del amasado se le confieren a la masa sus características plásticas como la cohesión, la elasticidad, la plasticidad y la tenacidad o nervio.

Uno de los ingredientes ocupados en la panadería son las levaduras, que es el componente microbiano que se integra a la masa con el fin de hacerla fermentar de modo que se produzca etanol y CO_2. Este CO_2 queda atrapado en la masa, por lo cual se esponja y aumenta de volumen. A este fenómeno se le denomina levantamiento de la masa. Existen diferentes tipos de levadura en las que encontramos: levadura natural o levadura de masa que se prepara a partir en el microbiota de la propia harina, para ello consiste en 4 etapas sucesivas, se mezcla harina y agua, se amasa y se deja reposar la masa para que fermente de modo espontáneo. Es poco utilizada en la actualidad como levadura única, salvo en elaboraciones artesanales muy concretas, tiene su principal aplicación en la elaboración de la masa madre empleada en el sistema de elaboración mixto; otro tipo de levadura es la levadura comercial o levadura de panadería que se prepara industrialmente a partir de cultivos puros generalmente de *Saccharomyces cerevisiae.* Se comercializa en distintas formas por ejemplo prensada, líquida, deshidratada activa o instantánea, en escamas (Mesas y Alegre, 2002).

Dentro de los ingredientes también tenemos la sal que actúa como regulador de la fermentación, favorece la coloración de la corteza durante la cocción y aumenta la capacidad de retención de agua en el pan, fortalece el gluten que va aumentado la fuerza y tenacidad, otra funcionalidad es ayudar al gluten a absorber más agua, permitiendo así la elaboración de masas con porcentajes altos de hidratación, llega a frenar la actividad de la levadura en porcentajes altos de sal (Josep, 2004).

Por otro lado, el huevo es un ingrediente en la panificación que da a la miga un color amarillo natural, la vuelve más sedosa, aumenta la conservación del producto y le da un sabor característico, adicionalmente, las yemas son la grasa del huevo que actúa como un puente entre los demás ingredientes del pan, permitiendo que otras grasas se combinen, actuando como un emulsificante, sin éste, el pan quedaría duro; contribuye en la capacidad de retención de gas y al contenido de proteína de la masa dando así un aporte estructural extra y un mayor volumen. Otra posible utilización del huevo es como fuente de brillo en la corteza de los productos de panificación (Josep, 2004).

En la investigación se encontraron otros ingredientes como la margarina, sus principales funciones de este tipo de grasas es darle una estructura más uniforme al pan. La margarina es un sustituto de la mantequilla, a base de una grasa vegetal o animal mezclada por lo general con agua, se caracteriza por dar lubricación en el gluten impidiendo así la fuga de humedad en el producto y como estabilizante que se encuentra estrechamente relacionado con la función aireadora de la masa en la panificación, sirve para acondicionar al gluten dando un adecuado desarrollo (Josep, 2004).

Hablando de otro ingrediente como es el azúcar, en este caso siendo un endulzante, uno de sus aportes más importante es brindarle alimento a la levadura que se utiliza en la panificación, también de mejorar el sabor del pan, y darle color, esto sucede en el proceso de caramelizarse en la corteza cuando se realiza la cocción del pan.

Por último, tenemos ingredientes complementarios que mejoran el sabor del producto como lo es la vainilla que es una esencia que actúa como saborizante, entre otros

CAPÍTULO II METODOLOGÍA

2.1 Objetivos

Objetivo general

Determinar el efecto de dos tipos de harina e hidrocoloides como sustitutos del gluten sobre la masa para donas y el producto frito, mediante la caracterización de propiedades texturales, de morfología, densidad y análisis de imagen de las donas; delimitando las concentraciones de hidrocoloides que permita obtener un producto que se asemeje en mayor medida a los elaborados a base de harina de trigo.

Objetivo particular 1

Caracterizar el efecto de la combinación de xantana y HPMC (hidroxipropilmetil celulosa) como hidrocoloides en dos niveles y diferentes proporciones de harina de soya y arroz, con base en un diseño experimental, sobre el perfil de textura de masa para donas.

Objetivo particular 2

Caracterizar las donas fritas elaboradas con diferentes combinaciones de xantana y HPMC, como hidrocoloides, y harina de soya y arroz, con base en un diseño experimental, determinando su efecto sobre los principales atributos texturales, así como en sus características morfológicas y densidad, estableciendo así la formulación que más se parezca al producto elaborado a base de harina de trigo.

2.2 Materiales

Para el proceso de las donas se utilizaron harina de trigo (Selecta, grupo Molinera de México S de C.V.), harina de soya (Xiloj all natural), harina de arroz (Tres estrellas), azúcar (Member´s Mark), levadura (La Florida), vainilla (Pro-Gourmet), extracto natural de vainilla, sal (La Fina, sal yodada), huevo (San Juan), agua purificada (Epura), margarina (Iberia, sin sal), xantana (Fufeng), HPMC (dicoisa).

2.3 Preparación de muestras

Elaboración de la masa

Se hizo un reajuste en cuanto a la formulación del Cuadro 1.0, la harina de trigo se

sustituyó con harina de arroz y soya en dos distintos porcentajes: P1, que es de 75% de harina de arroz con 25% de harina de soya y P2, 50% de harina de arroz y 50% de harina de soya 50%.

En primer lugar, se activa la levadura mediante un proceso de fermentación dejándola calentar a una temperatura de 30 °C, con un tiempo de 10 minutos, para después mezclarla con la harina, ya preparada.

Para preparar la harina primero se mezclan los demás ingredientes, junto con la mezcla de harinas, por último, la levadura; el tiempo de amasado es de 10 minutos.

El tiempo en el que se fermenta la masa es de 1 hora, a una temperatura de 30 °C.

Después de fermentar se vuelve a amasar 2 minutos más para finalmente hacer el corte para la dona o formar los cubos para las pruebas en masa.

El freído de las donas se realizó usando aceite comestible vegetal de canola y/o girasol (123, Fábrica de Jabón La Corona S.A. de C.V.) a 180 °C, por 5 minutos, posteriormente se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se procedió a realizar las pruebas correspondientes.

2.3.1 Formulaciones realizadas

Para establecer las formulaciones a evaluar se realizó un diseño factorial, 2^3, en el cual las variables fueron harina de arroz y soya a dos diferentes proporciones (P), 50/50 y 75/25; dos hidrocoloides a dos distintas concentraciones, goma xantana (0.3 y 0.5) y HPMC (0.2 y 0.6).

En resumen, se obtuvieron 8 corridas en las cuales se establecieron las diferentes combinaciones y las pruebas se realizaron por triplicado (Cuadro 3.0).

Cuadro 3.0 Formulaciones para la propuesta experimental

Harina	Xantana	HPMC
C1: A75/S25	0.5	0.2
C2: A50/S50	0.3	0.2
C3: A75/S50	0.3	0.2
C4: A50/S50	0.5	0.2

C5: A50/S50	0.3	0.6
C6: A75/S25	0.5	0.6
C7: A50/S50	0.5	0.6
C8: A75/S25	0.3	0.6

A: harina de arroz, S: harina de soya, X: Xantana, H: Hidroxipropil metil celulosa.

2.4 Métodos

2.4.1 Caracterización de la masa

Se realizó el análisis de perfil de textura (TPA) que consiste en comprimir dos veces una pieza del alimento, del tamaño para ser mordida (usualmente un cubo de 1cm) para simular la acción de masticación con los dientes. La compresión usualmente es de 80% de la longitud original de la muestra. Como resultado del TPA se puede determinar de un modo objetivo las propiedades tales como la gomosidad, la cohesividad, entre otras. Los parámetros para considerar para la masa son la dureza que nos dirá que tan firme puede estar y la adhesividad para ver la relación entre las fuerzas adhesivas y cohesivas de la masa. La curva de fuerzas generada en función del tiempo se conoce como perfil de textura. Puesto que el instrumento comprime la muestra dos veces, se obtiene dos curvas positivas y negativas, en caso de observarse adhesividad (Sumnu y Sahin, 2009). Las pruebas se realizaron en un texturómetro TA-TX2 (Stable micro systems) a 25 °C con una velocidad de prueba de 3 mm/s y una distancia de compresión establecida como el 40% de la altura de la muestra muestra, que para el caso específico de la masa fue de un prisma rectangular de 2 cm x 2 cm x 1 cm, con una celda de carga 25 kg y una placa de 70 mm de diámetro, una fuerza de contacto de 0.5 N.

Como resultados se obtuvo la curva de fuerza en función del tiempo, a partir de la cual se estimó la dureza (pico máximo de fuerza de la primera curva) y la adhesividad (área negativa bajo la curva, después de la primera descompresión). Como se muestra en la Figura 1.0

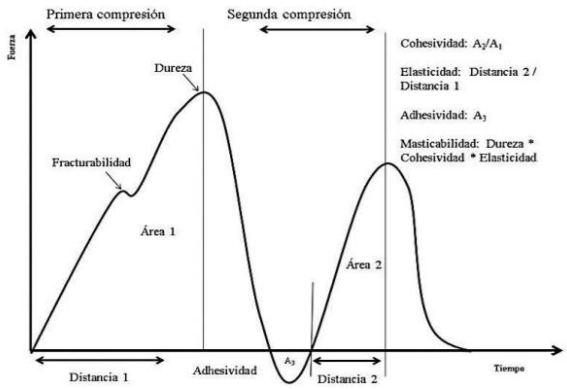

Figura 1.0 Curva representativa de una prueba de perfil de textura (Torres y col., 2015).

2.4.2 Caracterización de la dona (producto frito)

Al igual que para la masa, el perfil de textura para la dona, se realizó en un texturómetro TA XT2 a una temperatura de 25 °C, las condiciones de la prueba una distancia de 40% de la muestra, usando una placa de 70 mm, velocidad de 3mm/s y una fuerza de contacto de 0.5 N, para la dona se cortaron cubos con una medida de 20´mmx 20 mm x 25 mm.

Los parámetros que se obtuvieron a partir de la curva de fuerza en función del tiempo fueron: dureza (pico máximo de fuerza de la primera curva), cohesividad (relación entre el área de compresión área 2 yel área 1), elasticidad (la relación del recorrido durante la compresión de la primera y segunda curva), masticabilidad (producto de gomosidad y elasticidad, es una forma de explicar que siendo un sólido se le hará este tipo de prueba que es la energía necesaria para deformar dicho producto).

Densidad

Determinación de la densidad por diferencia de volumen: La densidad es una propiedad intensiva y su valor depende de la temperatura y de la presión. Se define como la masa de una sustancia presente en la unidad de volumen; mediante el método de empuje de desplazamiento los cuales se basan en el principio de Arquimides.

Se utilizó el método de desplazamiento por semilla. Mediante la ecuación 2:

$$Vol1\ y\ vol2\ =\ h\pi r2 \qquad (1)$$

$$d = \frac{masa\ de\ la\ dona}{vol2 - vol1} \ldots\ldots (2)$$

Análisis de imagen

Se empleó el software image Pro-plus para analizar imágenes digitalizadas (multifuncional Epson L395), a partir de lo cual se obtuvieron los valores de fineza, uniformidad, poros y la fracción vacía para ver el efecto que causan las harinas y los hidrocoloides en cuanto a estas características presentes.

El área evaluada se obtuvo con la ecuación 3:

$$\acute{a}rea\ evaluada: \frac{\acute{a}rea\ del\ poro}{perimetro\ poro} \ldots\ldots (3)$$

Los valores de área y per-área el programa los proporciona para así determinar el área de análisis que se empleará. Se hace un promedio para obtener el área evaluada.

La fineza se obtiene mediante la ecuación 4:

$$fineza: \frac{número\ de\ objetos\ medidos}{area\ evaluada} = \frac{1}{cm^2} \ldots\ldots (4)$$

Mientras que la fracción vacía y la uniformidad con las ecuaciones 5 y 6, respectivamente:

$$fracción\ vacía: \frac{área\ total\ de\ poros}{área\ evaluada} \ldots\ldots (5)$$

$$uniformidad: \frac{número\ de\ poros\ menores\ a\ 1mm}{número\ de\ poros\ mayores\ a\ 1\ mm} \ldots\ldots (6)$$

Para obtener el valor del número de poros mayores a 1 mm = número de objetos medidos – número de poros menores a 1mm, en este caso los datos que nos muestra el programa debemos ordenarlos de menor a mayor para hacer este cálculo.

Cada prueba se realizó por triplicado.

CAPÍTULO III RESULTADOS

3.1 Propiedades de la masa

En la Figura 2.0 se muestra una curva representativa del perfil de textura de las masas, el cual fue similar en todos los casos, variando principalmente en los valores de los picos de fuerza. Desde el punto de vista cualitativo, la curva es característica de un material poco elástico, además de poco adhesivo y cohesivo, esto con base en que de la curva del segundo ciclo de compresión-descompresión, su pico de fuerza máxima, el área bajo la curva y el desplazamiento desde el inicio de la compresión a la fuerza máxima son claramente menores que lo que se aprecia en la curva del primer ciclo de compresión. Adicionalmente, la forma ligeramente cóncava de la curva de fuerza del primer ciclo indica que el producto está comprimido. En el área bajo la curva negativa los picos máximos negativos manifiestan poca adhesividad, en comparación con la fuerza máxima obtenido en el proceso de compresión.

Con relación a los resultados cuantitativos de los atributos texturales de dureza, adhesividad y elasticidad de las diferentes masas, estos se resumen en el Cuadro 4.0. Con relación a la dureza, se aprecia que existen diferencias significativas ($p<0.05$) entre las formulaciones estudiadas. Para fines prácticos, en la Figura 3.0 se muestran las gráficas de barras que representan los valores de dureza, estos se encuentran agrupados en primera instancia de acuerdo con la proporción de harina empleada, con lo cual es posible visualizar que las masas donde la proporción de harinas de arroz y de soya fue de 50/50, fueron las más duras, en comparación con aquellas donde la proporción de harina de arroz fue de 75%, con respecto al total de harina empleada. Esto pone en evidencia que la harina de soya produce masas más duras.

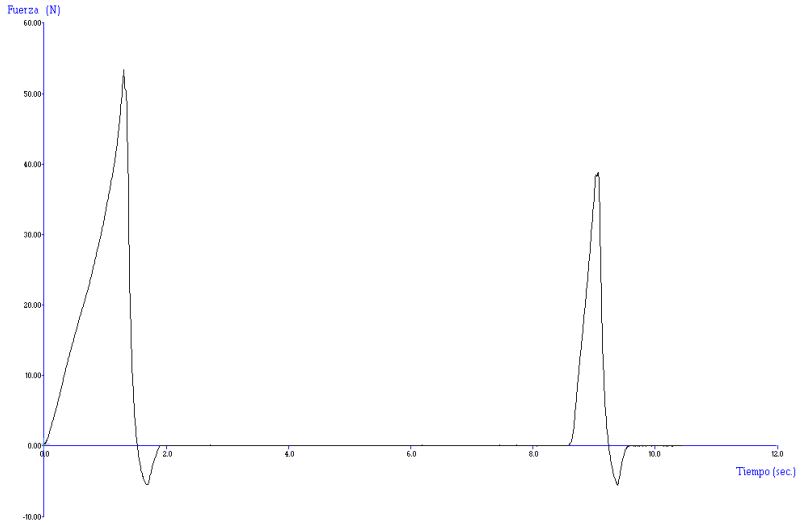

Figura 2.0 Curva de fuerza en función del tiempo, representativa del perfil de textura obtenido de las masas de las formulaciones realizadas.

Cuadro 4.0 Atributos texturales de las masas para las diferentes formulaciones evaluadas

Corrida	Descripción	Dureza (N)	Adhesividad (N s)	Elasticidad
1	A75S25-X0.5H0.2	13.92 ± 0.80^{D}	-1.69 ± 0.13^{A}	0.277 ± 0.012^{A}
2	A50S50-X0.3H0.2	70.72 ± 8.18^{A}	-1.65 ± 0.10^{A}	0.279 ± 0.030^{A}
3	A75S25-X0.3H0.2	12.52 ± 0.05^{D}	-1.10 ± 0.06^{A}	0.289 ± 0.012^{A}
4	A50S50-X0.5H0.2	43.25 ± 2.80^{B}	-1.06 ± 0.06^{A}	0.286 ± 0.014^{A}
5	A50S50-X0.3H0.6	40.30 ± 2.95^{BC}	-2.54 ± 0.15^{A}	0.318 ± 0.047^{A}
6	A75S25-X0.5H0.6	11.12 ± 0.79^{D}	-0.30 ± 0.05^{A}	0.222 ± 0.001^{A}
7	A50S50-X0.5H0.6	40.29 ± 6.61^{BC}	-0.56 ± 0.07^{A}	0.264 ± 0.003^{A}
8	A75S25-X0.3H0.6	22.88 ± 1.56^{CD}	-0.34 ± 0.06^{A}	0.149 ± 0.005^{A}

A: harina de arroz, S: harina de soya, X: Xantana, H: Hidroxipropil metil celulosa.

La masa que presentó mayor dureza, además de estar elaborada con una proporción de harina de arroz y de soya 50/50, en su formulación es la que menor cantidad posee de hidrocoloides, que es en donde se usó la menor concentración de xantana (0.3%) y de

HPMC (0.2%). Es probable que, a mayor concentración de hidrocoloides, estos interfieran con la formación.

Si lo comparamos con el estudio que hizo y donde nos mencionan que las donas de soya tuvieron puntajes significativamente más bajos que el control de trigo ($p < 0.05$) en todos los parámetros, excepto en el sabor. La aplicación de HPMC a las rosquillas de soja, especialmente para las rosquillas de soja añadidas y recubiertas con HPMC, proporcionó una mejora eficaz de la preferencia en términos de apariencia, color y textura.

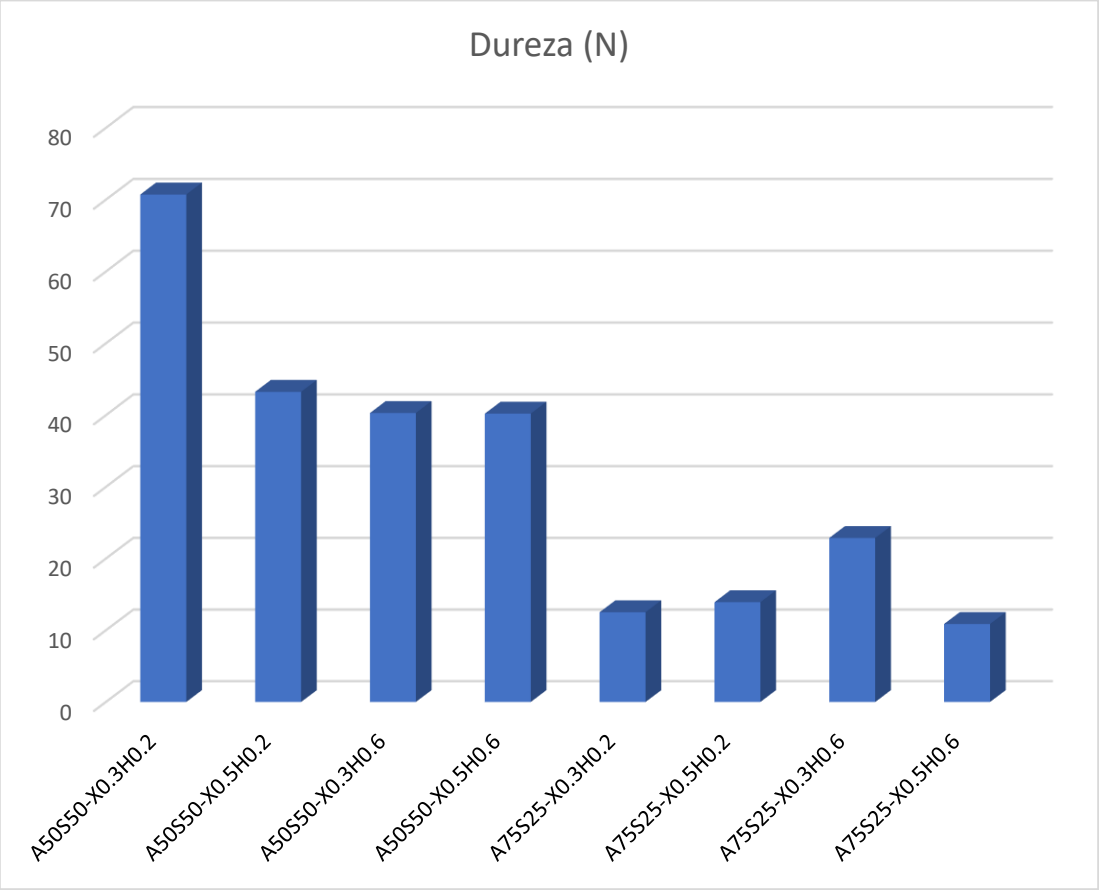

Figura 3.0 Comparación de los valores de dureza de las distintas formulaciones
A: harina de arroz, S: harina de soya, X: Xantana, H: Hidroxipropil metil celulosa.

En la Cuadro 4.0 es posible apreciar más claramente las diferencias significativas entre las distintas muestras, donde las formulaciones C1 A75/S25, C3 A75/S50 y C6 A75/S25, que de acuerdo con el cuadro 3.0 corresponden a aquellas donde hay mayor cantidad de harina de arroz (A75S25), estas son significativamente similares ($P<0.79$)

ver el cuadro 4.0, sin importar las concentraciones de xantana o HPMC empleados; seguido de ellas se encuentra la formulación C8 A75/S25, con la misma proporción de harinas, pero con la mayor concentración de HPMC (0.6%) y la menor empleada de xantana (0.3%), particularmente esta muestra se caracteriza por ser significativamente similar con las formulaciones de menor dureza así como con las de mayor dureza.

Con lo que relacionamos que los componentes principales de la harina de soya es la lecitina. La lecitina tiene un sinnúmero de propiedades funcionales que son muy útiles en la elaboración de panes al tener esta característica de actuar como emulsificante y homegenizador de mezclas nos ayuda a que los productos tengan una menor dureza .

Con respecto a la adhesividad de las masas, los valores reportados son pequeños y estadísticamente similares donde P va de los 0.05-0.13. Al comparar mediante gráfica de barras (Figura 4.0) y l el cuadro 4.0 con los intervalos de desviación estándar se aprecian diferencias entre las muestras, sin embargo, no son significativas dichas diferencias debido a que la desviación estándar es grande, en proporción con los valores promedio que ($P<0.277$). Esto probablemente se pueda atribuir a la sensibilidad del instrumento aquí se usó una celda de carga de 25 kg, debido a que son valores pequeños de adhesividad, así como a la heterogeneidad de las muestras, ya que al ser productos fermentados incorporan aire que se distribuye de diferente forma en el interior de la estructura de la masa.

Otros autores nos dicen que el comportamiento viscoelástico de la masa sin gluten se hacen pequeñas mediciones de deformación, como el barrido de deformación/tensión de fluencia. Cuando las masas se prueban en su rango lineal, su respuesta de tensión medida será proporcional a la tensión o tensión aplicada. (Bonet et al., 2006).

No obstante que estadísticamente no se pueden indicar diferencias, si es posible apreciar que el cambio en los valores de adhesividad, a diferencia de los de dureza, no dependen de la proporción de harinas, sino más bien de la concentración de HPMC empleado, ya que, de acuerdo con el cuadro 4.0 las formulaciones C6 A75/S25 , C7 A50/S50 y C8 A75/S25 que contienen 0,6% de HPMC son las que presentaron menor adhesividad y se agrupan en una zona de la gráfica. La excepción a ello es la muestra C5 A50/S50, que a pesar de contener 0,6% de HPMC, presentó la mayor adhesividad.

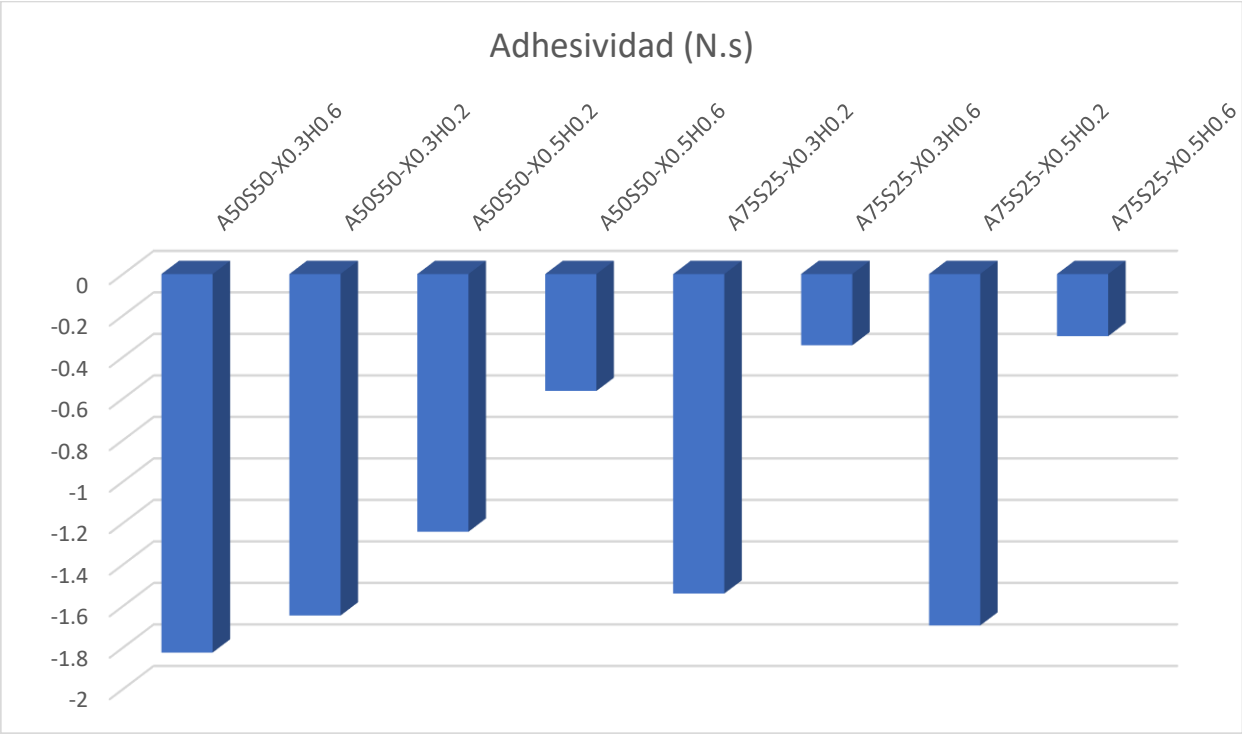

Figura 4.0 Adhesividad de las masas elaboradas con las diferentes formulaciones

Finalmente, la elasticidad de las masas, al igual que la adhesividad, estadísticamente es similar entre las diferentes formulaciones $P<0.13$. En este caso, los valores son bajos y en general más cercanos entre ellos, como se puede apreciar en la Figura 5.0, además de que se orientan mostrando una misma tendencia, a pesar de que los valores de los intervalos de desviación estándar son comparativamente grandes, con respecto a los valores promedio (Cuadro 4.0). Destaca la formulación C8 A75/S25, por ser la menos elástica seguida de la formulación C6 A75/S25, en ambas muestras la proporción de harinas es la misma (A75/S25) así como la concentración de HPMC (0.6%), siendo la diferencia la concentración de xantana que para la formulación C8 A75/S25 fue de 0.5% mientras que, para la C6 A75/S25, de 0.2%.

Otros autores mencionan que las masas sin gluten tiene 1% de tensión. Por lo general aquí también podemos decir que la dureza de los panes sin gluten es menora su elasticidad lo que limita la posibilidad de migas esponjosas (Dana et al. 2014). La elasticidad (tasa a la que un material deformado regresa a su condición inicial).

En general, los espectros mecánicos de las masas sin gluten elaboradas con harina de arroz exhibieron un comportamiento menos elástico que viscoso. (Dana et al. 2014)

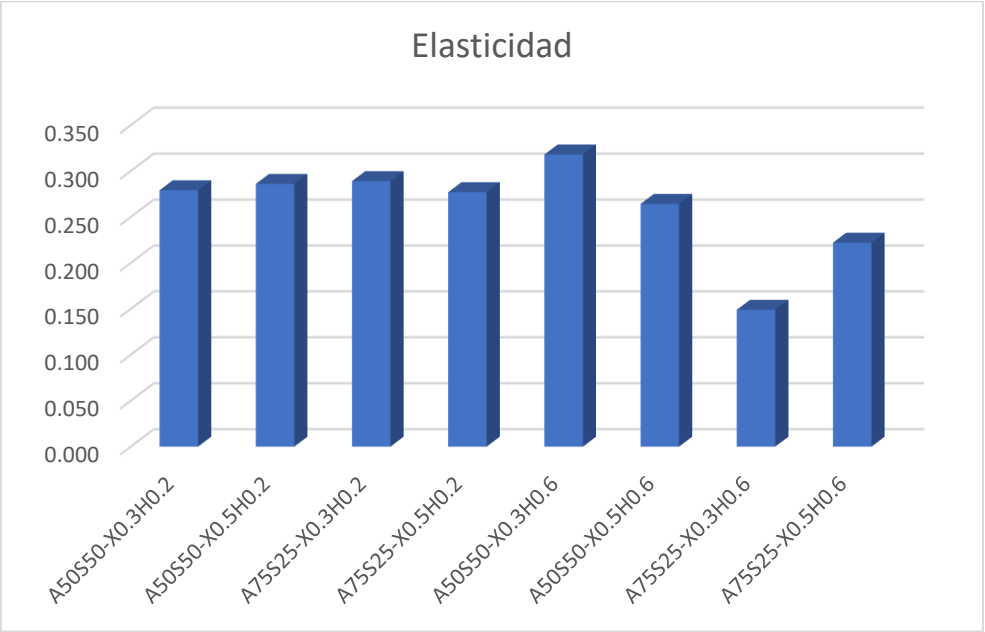

Figura 5.0 Elasticidad de masas elaboradas con las diferentes formulaciones A: harina de arroz, S: harina de soya, X: Xantana, H: Hidroxipropil metil celulosa.

3.2 Propiedades de la dona

En la Figura 9.0 y 10. se muestran las curvas representativas del análisis de perfil de textura correspondientes a las distintas formulaciones elaboradas. En el gráfico de la formulación a base de harina de trigo (control), se observa que la muestra es firme, con un ligero punto de cedencia que indica que la muestra se comprime inicialmente.

El segundo trazo tiene un límite de elasticidad sustancialmente más bajo y la segunda área mucho menor que la primera compresión, lo que indica una cohesión baja. En general, los gráficos de perfil de textura para las muestras con la proporción A75S25 presentaron una tendencia similar a la formulación control, la excepción fue la muestra con X0.2H0.6, la cual presentó un punto de fractura característico de un material plástico, no una falla quebradiza y su valor corresponde con la mayor dureza; algo similar se obtuvo también con la formulación A50S50X0.5H0.6. La formulación A75S25-X0.5H0.2 mostró la presencia de colas largas en la retirada de la primera compresión y al inicio de la segunda, lo que indica que la muestra exhibió más elasticidad que las otras. Por otro lado, la dona elaborada con A50S50X0.3H0.2 fue la

única que presentó una fractura sustancial, lo que refleja una estructura frágil y quebradiza.

En el Cuadro 4.0 Se reportan los atributos texturales de las donas elaboradas con las distintas formulaciones. Se incluyen dureza, cohesividad y elasticidad como atributos relevantes. Con relación a la dureza es posible apreciar, en conjunto con la Figura 7.0 que las muestras el mayor contenido de HPMC (0.6%) son las que presentaros mayor dureza. La excepción fue la muestra A75S25X0.5H0.6 la cual se distingue además de poseer el mayor contenido de HPMC, por contener la menor concentración de xantana (0.5%) así como la mayor proporción de harina de arroz, por lo cual sería posible asumir una probable interferencia de la xantana en combinación con la harina de arroz, con la acción de HPMC. Cabe hacer notar que la dureza de las dona con una concentración de HPMC de 0.2 presentaron valores de dureza significativamente similares a la dona elaborada con harina de trigo, tal como se puede apreciar en la Cuadro 5.0 se muestra estadísticamente los intervalos de variación se identifican claramente dos grupos bien definidos: los de baja y alta dureza, significativamente diferentes.

Con relación a la cohesividad, la dona elaborada con harina de trigo presentó la mayor cohesividad, lo que refleja un sistema con mayor estructura o fuerza estructural. Sin embargo, la dona de trigo fue significativamente similar con las formulaciones que contenían la menor cantidad de HPMC, siendo nuevamente el ingrediente clave para tal efecto. Esto se puede apreciar más claramente en la Figura 8.0 donde, por un lado, se distingue los mayores valores de cohesividad en las muestras con 0.2% de HPMC, siendo además significativamente similares entre ellas y con la dona a base de harina de trigo.

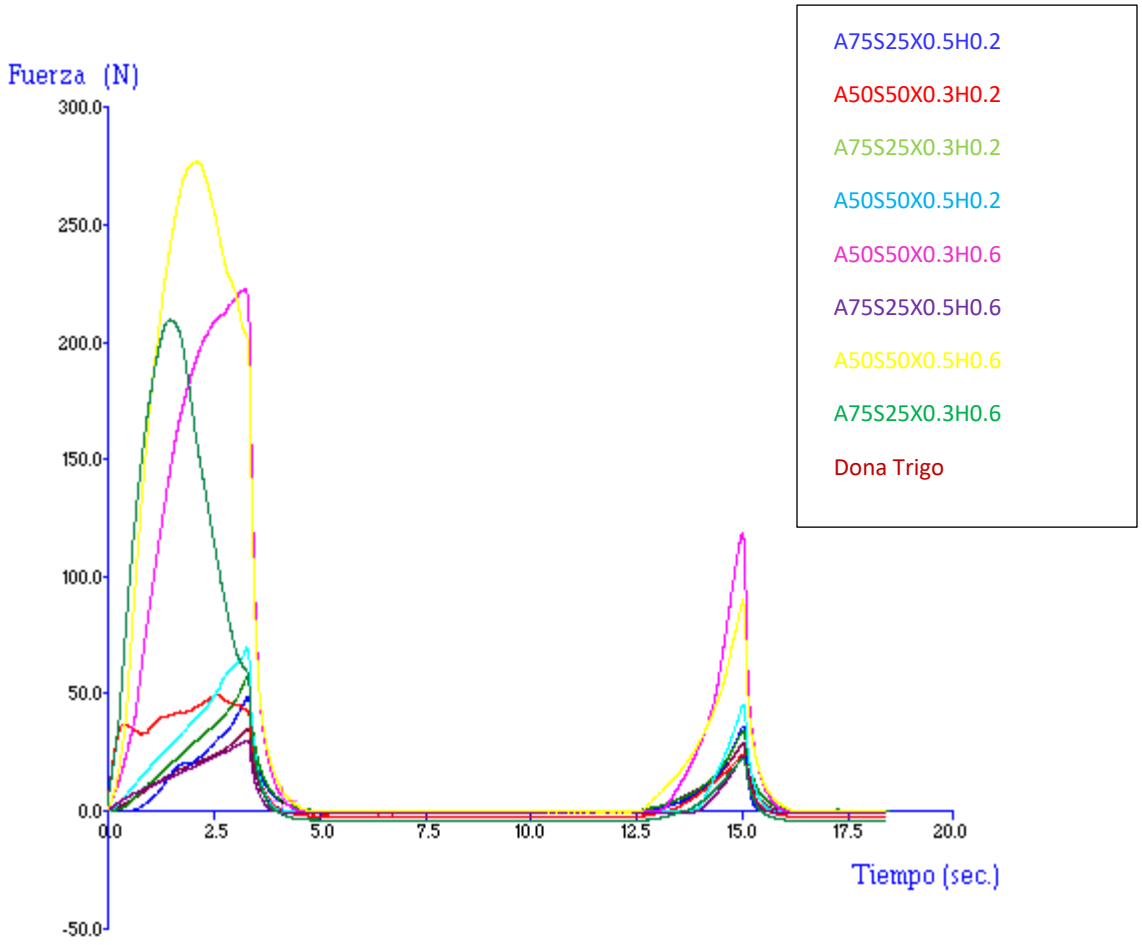

Figura 6.0 Curvas representativas del Perfil de Textura de las formulaciones realizadas.

Cuado 5. 0 Atributos texturales de donas para las diferentes formulaciones evaluadas

Corrida	Descripción	Dureza (N)	Cohesividad	Elasticidad
1	A75S25-X0.5H0.2	45 ± 6.88^{C}	0.42 ± 0.03^{AB}	0.76± 0.10^{A}
2	A50S50-X0.3H0.2	54 ± 9.4^{C}	0.22 ± 0.03^{ABC}	0.66± 0.06^{AB}
3	A75S25-X0.3H0.2	60 ± 2.7^{C}	0.40 ± 0.04^{AB}	0.74± 0.07^{AB}
4	A50S50-X0.5H0.2	69 ± 5^{C}	0.25 ± 0.04^{ABC}	0.40± 0.04^{CD}
5	A50S50-X0.3H0.6	206 ± 31.9^{B}	0.20 ± 0.02^{BC}	0.55± 0.07^{BC}
6	A75S25-X0.5H0.6	30.6 ± 1.8^{C}	0.21 ± 0.01^{BC}	0.30± 0.03^{D}
7	A50S50-X0.5H0.6	263 ± 32.4^{A}	0.23 ± 0.03^{BC}	0.71± 0.02^{AB}
8	A75S25-X0.3H0.6	211 ± 26.1^{B}	0.16 ± 0.01^{C}	0.68± 0.07^{AB}

	Trigo	36 ± 3.23^{C}	0.43 ± 0.03^{A}	0.72± 0.06^{AB}

A: harina de arroz, S: harina de soya, X: Xantana, H: Hidroxipropil metil celulosa.

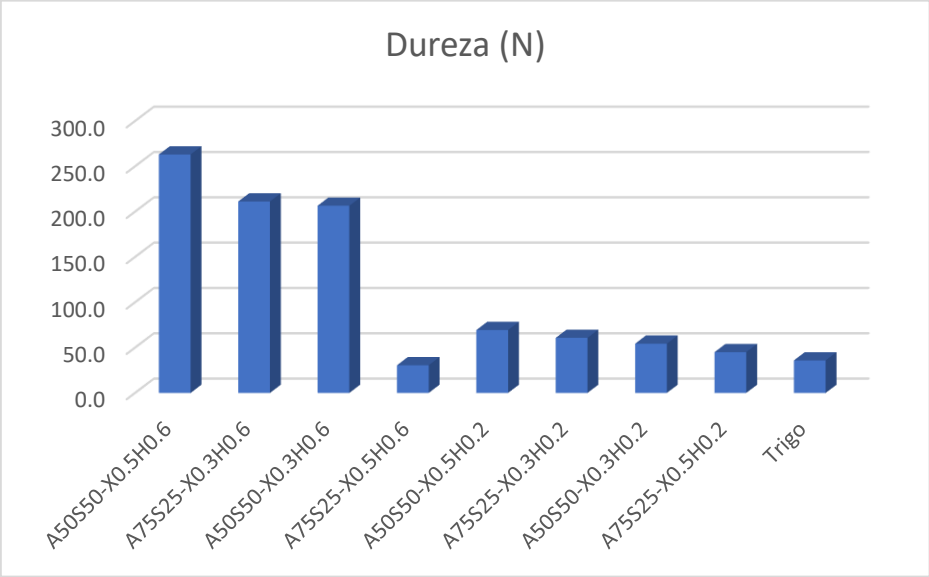

Figura 7.0 Dureza de donas elaboradas con las diferentes formulaciones

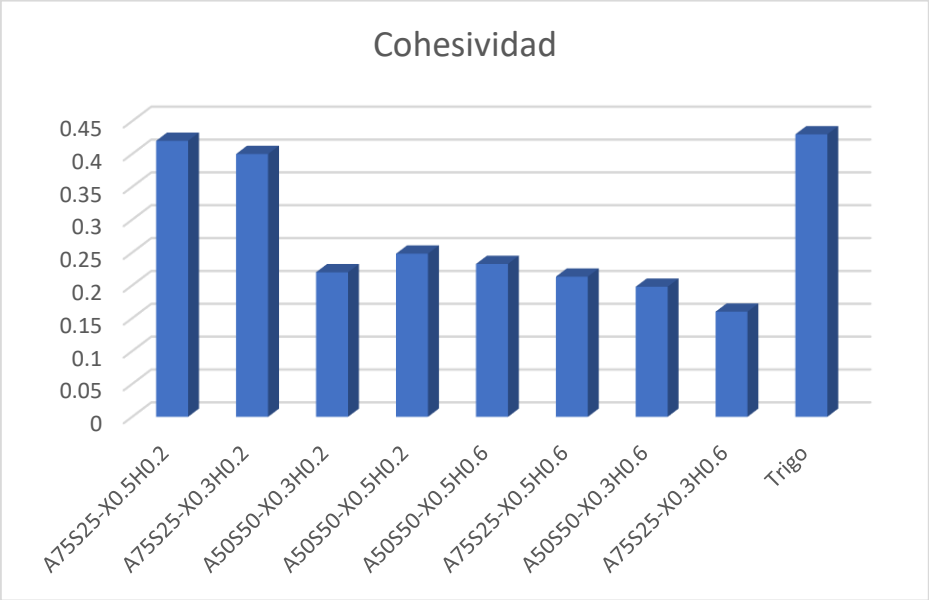

Figura 8.0 Cohesividad de donas elaboradas con las diferentes formulaciones

Otro de los atributos texturales que se consideró importante dentro de las propiedades de mayor impacto fue la elasticidad de las donas. Con relación a este atributo no se

aprecia una clara tendencia o efecto, sin embargo, se puede distinguir en la Figura 9.0 que las muestras que presentaron una elasticidad similar a la de la dona de trigo, la mayoría son las que contenían 0.2% de HPMC, siendo más evidente en el cuadro 5.0 como se encuentran agrupadas las distintas muestras, siendo 5 de ellas cercanas a la de trigo y significativamente similares. En el grupo donde se localizan las muestras que no fueron similares, no presentan algún rasgo en común que las pueda caracterizar, es decir, presentan alguna la misma combinación entre harina de arroz y trigo, y una tercera es diferente su combinación de harinas, así como también contienen diferentes concentraciones de xantana y HPMC.

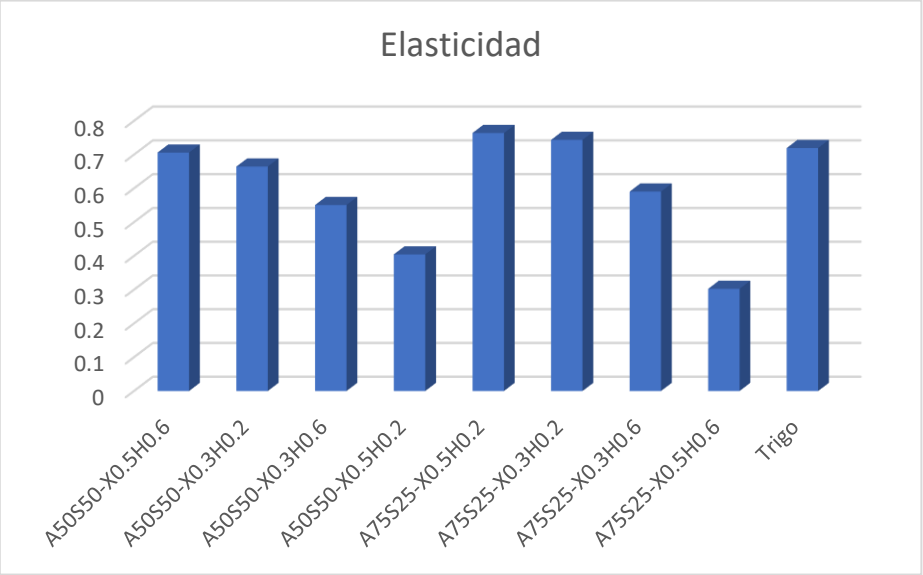

Figura 9.0 Elasticidad de las donas en función de la proporción de las harinas empleadas

Como parte del análisis de imagen, se presenta la Figura 10.0, donde se ilustra la imagen digitalizada de las donas obtenidas, las cuales se partieron por la mitad de manera horizontal. Del análisis cuantitativo de los espacios huecos observados se obtuvieron los atributos de fineza, fracción vacía y uniformidad de acuerdo con las ecuaciones 4, 5 y 6, respectivamente, mencionadas en la metodología; los resultados se resumen y comparan en el Cuadro 6.0 y la Figura 10.0. Con relación a la fracción vacía se distingue la formulación A75S25-X05H0.2, al ser la que presentó la mayor fracción vacía con una marcada diferencia significativa con el resto de las formulaciones

empleadas; entre estas últimas no se aprecia algún claro efecto dependiendo de la proporción o de las concentraciones de hidrocoloides empleadas.

Cuadro 6.0 Resultados densidad donas

Muestra	Densidad (kg/m^3)	Desviación estándar	Coeficiente de variación
A75S25-X0.5H0.2	732.5^{BC}	104.74178	14.3
A50S50-X0.3H0.2	899.8^{AB}	49.577327	5.51
A75S25-X0.3H0.2	901.9^{AB}	98.30383	10.9
A50S50-X0.5H0.2	926.7^{AB}	102.86037	11.1
A50S50-X0.3H0.6	887.6^{AB}	67.89987	7.65
A75S25-X0.5H0.6	953.3^{AB}	115.34446	12.1
A50S50-X0.5H0.6	953.3^{AB}	115.34446	12.1
A75S25-X0.3H0.6	1050.5^{A}	64.815233	6.17
Trigo	556.7^{C}	45.204852	8.12

La densidad de la dona a base de trigo es significativamente menor que la de la mayoría de las donas elaboradas con las distintas formulaciones, a excepción de la dona A75S25-X0.5H0.2 que se caracteriza por tener una mayor proporción de harina de arroz, así como la mayor concentración de xantana empleada. La densidad de las donas refleja la cantidad de aire incorporado, por lo que la harina de trigo es la que incorpora más aire al momento del horneado. En el resto de las formulaciones empleadas no se apreciaron diferencias significativas entre ellas.

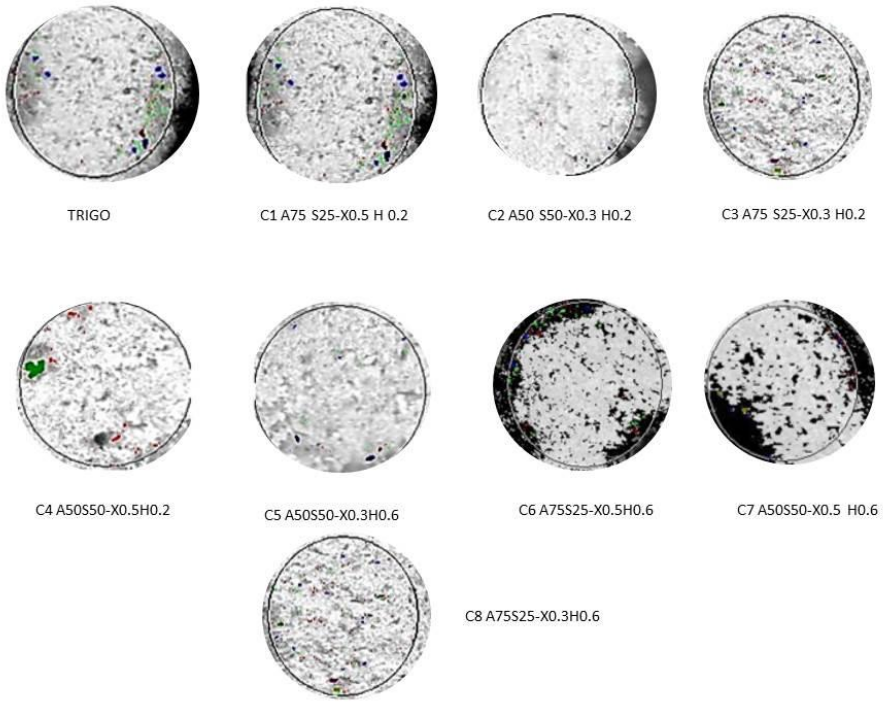

Figura 10.0 Imágenes digitalizadas de las donas elaboradas

Cuadro 7.0 Atributos de análisis de imagen de las donas elaboradas con diferentes formulaciones.

Corrida	Descripción	Fracción vacía	Fineza	Uniformidad
1	A75S25-X0.5H0.2	0.2587 ± 0.0105^{A}	0.3645 ± 0.0019^{A}	0.0345 ± 0.0038^{C}
2	A50S50-X0.3H0.2	0.0033 ± 0.0001^{D}	0.1634 ± 0.0135^{D}	0.0892 ± 0.0105^{A}
3	A75S25-X0.3H0.2	0.0185 ± 0.0038^{C}	0.2344 ± 0.0223^{C}	0.0320 ± 0.0027^{C}
4	A50S50-X0.5H0.2	0.0072 ± 0.0010^{CD}	0.0438 ± 0.0038^{E}	0.0674 ± 0.0016^{B}
5	A50S50-X0.3H0.6	0.0049 ± 0.0005^{D}	0.1887 ± 0.0080^{D}	0.0896 ± 0.0062^{A}
6	A75S25-X0.5H0.6	0.0066 ± 0.0001^{CD}	0.1604 ± 0.0139^{D}	0.0749 ± 0.0037^{AB}
7	A50S50-X0.5H0.6	0.0347 ± 0.0037^{B}	0.2758 ± 0.0253^{B}	0.0655 ± 0.0059^{B}
8	A75S25-X0.3H0.6	0.0112 ± 0.0005^{CD}	0.2307 ± 0.0076^{C}	0.0863 ± 0.0039^{A}

A: harina de arroz, S: harina de soya, X: Xantana, H: Hidroxipropil metil celulosa.

Con relación a la fineza, cuando se empleó la concentración de HPMC de 0.2 el efecto de la proporción de harina de arroz y de soya empleada fue más marcado, de tal forma

que se obtuvo mayor fineza cuando se empleó mayor proporción de harina de arroz. Sin embargo, cuando se usó la concentración de HPMC de 0.6, el efecto de las proporciones entre las harinas, es menor.

Con relación a la uniformidad se observó que en las formulaciones que contenía la proporción A50S50, fueron las que presentaron mayor uniformidad, siendo en la mayoría de los casos significativamente similares entre ellas. Las muestras con menor uniformidad fueron las que contenían HPMC al 0.2% y proporción de harinas de A75S25, sin presentar diferencias significativas entre ellas, a pesar de contener diferentes concentraciones de xantana.

En un estudio sobre escaneo se menciona que muestran la estructura de la superficie interna de las rosquillas utilizando un escaneo. La migración de agua, que está relacionada con el nivel de absorción de aceite, se muestra por la microestructura variable de la rosquilla de soya. Es decir, las células rotas con alta porosidad resultan de la migración de agua durante el proceso de fritura. El escaneo de la rosquilla de trigo muestra la presencia de células rotas debido a la migración de agua durante el proceso de fritura que aumentan la porosidad de la masa.

Este estudio anterior también mostró que cuando se añadía HPMC a la dona de soja, había menos porosidad y una estructura interna más densa (Bonet et al., 2006). Bárcenas y Rosell (2005) también demostraron que la adición de HPMC al pan dio como resultado migas con una estructura superficial lisa y menos espacios vacíos. (Bonet et al., 2006).

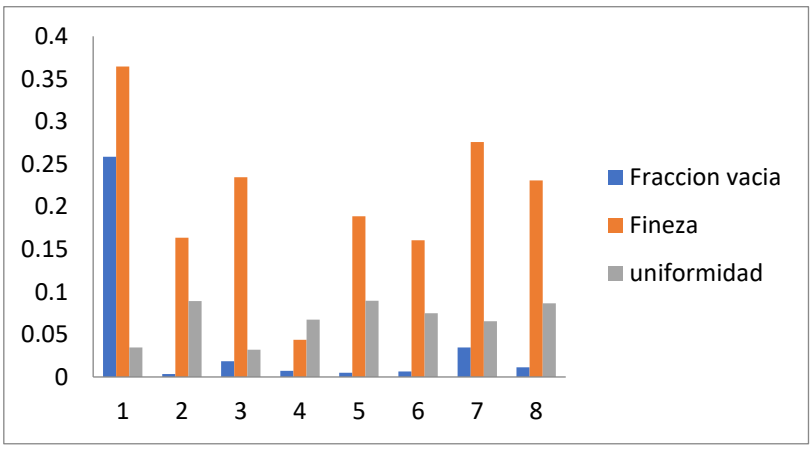

Figura 11.0 Comparativo de los atributos de análisis de imagen

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados encontrados, se concluye que en el caso de las masas, un factor clave es la proporción del tipo de harinas que se empleó, ya que fue lo que tuvo un mayor efecto sobre las características texturales de la masa, siendo más favorable el uso de mayor proporción de harina de arroz (75%). En el caso del producto después de freído, es decir en las donas, quien desempeña un papel más importante sobre las características de textura y de estructura es la HPMC, la cual a la concentración de 0.2 resultó generar un producto con propiedades más similares al producto control; en segundo término, se establece que la proporción de harinas también tuvo impacto, siendo más favorable la proporción con 75% de arroz.

REFERENCIAS

Alpaslan, M. & Hayta, M. (2010). Effect of soy flour, rice flour and semolina supplementation on the textural and sensory properties of dough and a deep-fried product. *Journal of Food Processing and Preservation*, *34*, 490–500.

Belton, P. . (2005). New approaches to study the molecular basis of the mechanical properties of gluten. *Journal of Cereal Science*, *41*, 203–2011.

Mundo Alimentario (2008). Aplicaciones de los productos de soya en panificación http://bibliotecavirtual.corpmontana.com/bitstream/123456789/2110/7/M000453.pdf

Ewart, J. A. . (1989). Hypothesis for how linear glutenin holds gas in dough. *Food Chemistry*, *32*, 135–150.

Gan, Z.; R.E. Angold, M.R. Williams, P.R. Ellis, J. ., & Galliard, V. and T. (1990). The microstructure and gas retention of bread dough. *Journal of Cereal Science*, *12*, 15–24.

Hager, A., Bosmans, G., & Delcour, J. A. (2014). Physical and Molecular Changes during the Storage of Gluten-Free. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.

Hoseney, R. C. (1994). Principles of Cereal Science and Technology. *American Association of Cereal Chemists*, 378. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/star.19870390416

Josep, B. R. . C. S. R. . L. A. P. (2004). *Quimica y bioquimica de los alimentos II* (Publicacio).

Kent, L., N. (1987). *Tecnología de los cereales* (ACRIBIA SA). ACRIBIA usar mayúsculas y minúsculas SA.

Kim, J., Choi, I., Shin, W. K., & Kim, Y. (2015). Effects of HPMC (Hydroxypropyl methylcellulose) on oil uptake and texture of gluten-free soy donut. *LWT - Food Science and Technology*, *62*(1), 620–627.

Mellema, M. (2003). Mechanism and reduction of fat uptake in deep-fat fried foods. *Trends in Food Science and Technology*, *14*, 364–373.

Mesas, J. M. & Alegre, M. T. (2002). EL PAN Y SU PROCESO DE ELABORACIÓN usar mayúsculas y minúsculas. *Ciencia y Tecnologia Alimentaria*, *3*, 307–313.

NOM. (1978). Normas, Nmx-F516-1992 Foods Bakery Products. Definitions and Clasification. Norma Mexicana Direccion Genral De Normas. *Direccion General de Normas*, 1–6.

Özer, M., Yılmaz Tuncel, N., & Tuncel, N. B. (2018). The effects of infrared stabilized immature rice grain flour in gluten-free bread preparation. *Cereal Chemistry*, *95*(4), 527–535.

Pico, J., Martínez, M. M., Bernal, J., y Gómez Pallarés, M. (2017). Un estudio explora por primera vez el débil aroma de los panes sin gluten. Sinc La Ciencia Es Noticia. https://www.agenciasinc.es/Noticias/Un-estudio-explora-por-primera-vez-el-debil-aroma-de-los-panes-sin-gluten

Roudot, A. C. (2004). *Reología y Análisis de Textura de los Alimentos* (Acribia S.). Acribia S.A.

Sarriga, X. (2003). *Panaderia artesana, tecnologia y produccion* (R. Palomo (ed.); MONTAGUD E). MONTAGUD EDITORES SA.

Sciarini, L. S., Steffolani, M. E., & León, A. E. (2017). El rol del gluten en la panificación y el desafío de prescindir de su aporte en la elaboración de pan. *AgriScientia*, *33*(2), 61–74.

https://revistas.unc.edu.ar/index.php/agris/article/view/16574/16382
Sharma, B. R., & Dhuldhoya, N. C. (2011). La Goma Xantana en la Industria Alimentaria. *Mundo Alimentario*, 20–25.
Shewry, P.R.; N.G. Halford, A.S. Tatham, Y. Popineau, D., & Belton, L. and P. S. (2003). The high molecular weight subunits of wheat glutenin and their role in determining wheat processing properties. *Advances in Food and Nutritional Research*, *45*, 219–301.
Shih, F. F., Bett-Garber, K. L., Daigle, K. W., & Ingram, D. (2005). Effects of rice batter on oil uptake and sensory quality of coated fried okra. *Journal of Food Science*, *70*, 18–21.
Sumnu, G., S., & Sahin., S. (2009). *Propiedades fisicas de los alimentos* (ACRIBIA SA).
Veraverbeke, W. S. and J. A. D. (2002). Wheat protein composition and properties of wheat glutenin in relation to breadmaking functionality. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *42*, 179–208.
Weegels, P. L. . R. J. H. and J. D. S. (1996). Functional properties of wheat glutenin. *Journal of Cereal Science*, *23*, 1–18.
Wieser, H. (2007). Chemistry of gluten proteins. *Food Microbiology*, *24*, 115–119.