



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

EFFECTO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO, ADICIÓN DE ACEITE Y ALMIDÓN EN LA
REOLOGÍA DE MASA Y TEXTURA DE APERITIVOS DE MAÍZ-FRIJOL

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERA EN ALIMENTOS

PRESENTA:

CAROLINA FRANCISCO GONZALEZ

ASESORAS:

DRA. LAURA PATRICIA MARTÍNEZ PADILLA

I.B.Q. NORMA B. CASAS ALENCÁSTER

CUAUTITLÁN, IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

FAMILIA Y AMIGOS

IPN

UNAM

ÍNDICE GENERAL

	Página
Índice de cuadros	iii
Índice de figuras	v
RESUMEN	vii
INTRODUCCIÓN	ix
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	1
1.1 Aperitivos	1
1.2 Ingredientes principales	4
1.2.1 Maíz	4
1.2.2 Frijol	7
1.2.3 Almidón	11
1.2.4 Grasas y aceites	13
1.2.5 Aditivos	15
1.3. Proceso de obtención de aperitivos	17
1.3.1 Preparación de la masa nixtamalizada	18
1.3.2 Tratamiento térmico	20
1.3.2.1 Horneado	20
1.3.2.2 Freído	22
1.3.2.3 Tostado	24
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	26
2.1 Objetivos	26
2.2 Materiales y métodos	27
2.2.1 Materia prima	27
2.2.2 Proceso de elaboración de los aperitivos	27
2.2.3 Pruebas reológicas (cizalla oscilatoria) de las masas	30
2.2.4 Humedad de masas y aperitivos	32

2.2.5 Textura de masas	32
2.2.6 Propiedades de los aperitivos	35
2.2.6.1 Color	35
2.2.6.2 Grosor y densidad	36
2.2.6.3 Textura	36
2.2.6.4 Absorción de aceite	40
CAPÍTULO III. RESULTADOS	41
3.1 Masas	41
3.1.1 Humedad	41
3.1.2 Reología (cizalla oscilatoria)	42
3.1.2 Perfil de textura	52
3.2 Aperitivos	63
2.2.1 Humedad	63
3.2.2 Grosor y densidad	64
3.2.3 Color	66
3.2.4 Fuerza de fractura de aperitivos	67
3.2.5 Carácter crujiente de aperitivos horneados	75
3.2.6 Absorción de aceite	76
3.3 Relación entre las propiedades texturales y reológicas de la masa y la textura de los aperitivos	77
CONCLUSIONES	80
REFERENCIAS	81
ANEXOS	88

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1.1 Categoría de aperitivos y ejemplos de algunos productos	2
Cuadro 1.2 Aperitivos consumidos en México	3
Cuadro 1.3 Composición química del grano de maíz	5
Cuadro 1.4 Análisis químico proximal de la harina de maíz	6
Cuadro 1.5 Composición química del frijol	8
Cuadro 1.6 Análisis químico proximal de la harina de frijol	9
Cuadro 1.7 Propiedades funcionales de las proteínas	10
Cuadro 1.8 Algunas propiedades y aplicaciones de los almidones modificados	12
Cuadro 1.9 Niveles máximos comunes de sal	16
Cuadro 1.10 Formulaciones de polvos para hornear	17
Cuadro 2.1 Formulaciones de los aperitivos de estudio	29
Cuadro 2.2 Cálculo de porcentaje de aceite contenido en las frituras	40
Cuadro 3.1 Humedad de masas con y sin aceite	41
Cuadro 3.2 Parámetros de la función potencia de los módulos elástico G' y viscoso G'' con la velocidad angular (1/s), para las masas sin aceite	44
Cuadro 3.3 Parámetros de la función potencia de los módulos elástico G' y viscoso G'' con la velocidad angular (1/s), para las masas con aceite	48
Cuadro 3.4 Comparación de los parámetros de la función potencia de los módulos elástico G' y viscoso G'' con la velocidad angular (1/s), para las masas de estudio con y sin aceite	50
Cuadro 3.5 Parámetros de perfil de textura de masas maíz-frijol al 20% de compresión con y sin aceite	54
Cuadro 3.6 Parámetros de perfil de textura de masas maíz-frijol al 60 % de compresión con y sin aceite	55

Cuadro 3.7 Dureza de las masas con y sin aceite, maíz (M), frijol (F), almidón (A)	58
Cuadro 3.8 Comparación para la elasticidad instantánea, elasticidad retardada, elasticidad total y cohesividad de las masas con y sin aceite	62
Cuadro 3.9 Humedad de aperitivos horneados y fritos	63
Cuadro 3.10 Grosor de los aperitivos horneados	66
Cuadro 3.11 Densidad de los aperitivos fritos	66
Cuadro 3.12 Valores de Delta E de aperitivos horneados y fritos	67
Cuadro 3.13 Fuerza de fractura de aperitivos fritos	69
Cuadro 3.14 Fuerza de fractura de aperitivos horneados	72
Cuadro 3.15 Carácter crujiente de aperitivos horneados con y sin aceite	75
Cuadro 3.16 Absorción de aceite	77

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1 Sección longitudinal y transversal de grano de maíz	5
Figura 1.2 Sección esquemática de una semilla de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	8
Figura 1.3 Proceso de elaboración de aperitivos a base de maíz	18
Figura 2.1 Diagrama de proceso para la elaboración de aperitivos horneados y fritos de maíz- frijol	30
Figura 2.2 Curva de perfil de textura por compresión	33
Figura 2.3 Curvas de fractura	38
Figura 2.4 Características de fractura	39
Figura 2.5 Equipo utilizado para la prueba de textura	39
Figura 3.1 Módulo elástico (G') y viscoso (G'') en función de la deformación en masa maíz-frijol-almidón 15% sin aceite	42
Figura 3.2 Módulo elástico (G') y viscoso (G'') en función de la deformación en la masa de maíz-frijol-almidón 15% sin aceite, siendo A, B, Y C repeticiones	43
Figura 3.3 Módulo elástico (G') y viscoso (G'') en función de la velocidad angular de las masas estudiadas con aceite	47
Figura 3.4 Módulo elástico (G') y viscoso (G'') en función de la velocidad angular de las masas de estudio sin y con aceite	49
Figura 3.5 Tangente δ o G''/G' en función de la velocidad angular	51
Figura 3.6 Análisis de perfil de textura a) 20% de compresión b) 60% de compresión de masas maíz-frijol sin aceite	53
Figura 3.7 Dureza de las masas de maíz (M), mezcla con frijol (F) y almidón (A) en determinada proporción	57
Figura 3.8 Elasticidad instantánea a diferentes porcentajes de compresión de las masas de maíz (M), mezcla con frijol (F) y almidón (A) en determinada proporción	59

Figura 3.9 Elasticidad retardada a diferentes porcentajes de compresión de las masas de maíz (M), mezcla con frijol (F) y almidón (A) en determinada proporción	60
Figura 3.10 Elasticidad total de las masas de maíz (M), mezcla con frijol (F) y almidón (A) en determinada proporción	61
Figura 3.11 Aperitivos de maíz-frijol-almidón 15%, obtenidos del freído	65
Figura 3.12 Aperitivos de maíz-frijol-almidón 15%, obtenidos del horneado	65
Figura 3.13 Resultados de la prueba de fractura para aperitivos fritos	68
Figura 3.14 Resultados de la prueba de fractura para aperitivos horneados sin aceite	71
Figura 3.15 Resultados de la prueba de fractura para aperitivos horneados sin aceite	71
Figura 3.16 Fuerza de fractura de aperitivos comerciales a) Frito de maíz-trigo, b) Horneado de maíz	73
Figura 3.17 Fuerza de fractura de aperitivos horneados	74
Figura 3.18 Carácter crujiente de aperitivos horneados con y sin aceite, maíz (M), mezcla con frijol (F) y almidón (A) en determinada proporción	76
Figura 3.19 Dureza de la masa contra la dureza del aperitivo horneado	78
Figura 3.20 Dureza de la masa contra la absorción de aceite de los aperitivos fritos	78
Figura 3.21 Dureza de la masa contra la densidad los aperitivos fritos	79

RESUMEN

En esta investigación se presenta el efecto de la adición de almidón modificado y aceite en las características físicas (dureza, color, grosor) de aperitivos elaborados con maíz y frijol, así como la reología y textura de las masas, y su relación con las propiedades de los aperitivos, con la finalidad de proponer alimentos de mayor valor nutritivo y textura aceptable.

Las mezclas fueron elaboradas a base de harina de maíz- frijol en un porcentaje 50-50 % y con 0, 15, 30% de almidón de maíz ceroso entrecruzado y pregelatinizado; también se les adicionó 1.5% de sal y 1.5% de agente leudante para dar un porcentaje de 100% en base seca. El aceite en las masas se agregó en porcentajes entre 6-8% de la formulación total (a las masas para aperitivos fritos no se les adicionó aceite). Las masas obtenidas se laminaron en forma de triángulos isósceles de 9 cm de base por 4 cm de altura y aproximadamente 2.5 mm de grosor, éstas se sometieron a horneado y freído Para la reología de las masas se utilizó un reómetro (Paar Physica, MCR-301) con placa rugosa de 50 mm de diámetro y espacio de 3 mm. Para la medición de textura de las masas se empleó un texturómetro (Texture Analyser, TAX-T2) en donde se realizaron pruebas de compresión con una placa de 75 mm de diámetro al 20 y 60% de deformación relativa aparente de su altura original. Se determinó también la dureza de los aperitivos, así como pruebas de fractura con un dispositivo de tres puntos de apoyo y una esfera de 12.7 mm de diámetro.

Los módulos G' y G'' de las masas disminuyeron al aumentar la concentración de almidón, con y sin aceite adicionado. Siempre predominó el módulo elástico sobre el viscoso, confirmando el predominio del carácter sólido. La textura de la masa mostró que las muestras con aceite eran más duras que las que no lo contenían, mientras que la adición de almidón mostró una disminución de la dureza al

incrementarse la proporción de éste. Contrariamente a la reología de las masas, el almidón aumentó la dureza de los aperitivos horneados, mientras el frijol disminuyó la dureza. Sin embargo, la adición de aceite a la masa disminuyó considerablemente la dureza de los aperitivos obtenidos, al compararlos con los de la masa que no contiene aceite. La formulación sin almidón no se pudo freír, ya que se desmoronaba al contacto con el aceite caliente, probablemente debido a una baja cohesividad de la masa, mientras que con 15 y 30% de almidón, si se pudo llevar a cabo el proceso, resultando más duro el aperitivo con 30% de almidón.

INTRODUCCIÓN

Los cambios actuales en el estilo de vida están causando que la ingesta de alimentos sea más irregular, esto puede dar lugar a grandes intervalos de tiempo entre las comidas, mientras que el cuerpo humano requiere de un suministro de energía constante. Los consumidores están cubriendo esta necesidad de energía comiendo entre comidas aperitivos, por lo que su consumo va en aumento (Bilman y col., 2010). Un aperitivo puede ser definido como una comida ligera tomada entre comidas que incluye una amplia gama de productos de diferente composición y que varían de un país a otro y entre regiones de un mismo país; reciben nombres distintos, como botanas, bocadillos, entradas o “snacks” en países de lengua inglesa (Matz, 1991; Sajilata y Singhal, 2005). A menudo, se piensa que comer entre comidas es dañino y contrario a una alimentación sana. Sin embargo, los aperitivos tipo botanas pueden desempeñar un papel muy útil en una dieta sana y equilibrada (Pérez y col., 2006).

Los cereales y sus derivados como la harina de maíz son productos familiares para casi todos los consumidores, es por eso que los aperitivos elaborados a partir de ellos tienen una gran aceptación; la alimentación humana ha contado siempre con ellos como la principal fuente de calorías y proteínas, pero una nutrición basada sólo en cereales es deficitaria en muchos aspectos, por lo que requiere el complemento de las leguminosas. Los cereales representan una importante fuente de aminoácidos azufrados (metionina y cisteína) y sus niveles son adecuados para compensar los bajos valores existentes en las leguminosas. Al formular cereales y leguminosas en mezcla, se puede obtener un incremento en el balance aminoacídico; por lo tanto, el ingerirlos juntos, proporciona a la calidad de la proteína consumida un valor superior al obtenido si se ingerieran por separado (Hurtado y col., 2001). Los aperitivos, cuentan con atributos específicos de calidad que atraen a la gente, estos atributos están constituidos por la apariencia, sabor, color y textura y este último es

uno de los más importantes y difíciles de obtener (Bourne, 1982). Para mejorar la textura de los aperitivos a base de harina de maíz, se han empleado ingredientes mejoradores de textura como los almidones modificados que contribuyen a los atributos deseables, tales como una mayor expansión, absorción de aceite reducida y mejor textura (Sajilata y Singhal, 2005). Además, constituyentes de la formulación como la materia grasa, promueven diferentes funciones deseables en los alimentos, como la textura, sensación en la boca que generalmente se refieren a la percepción de humedad o grasa (por ejemplo, húmedo, aceitoso, grasoso), integridad estructural; así como en el proceso es utilizada como medio de transferencia de calor (Ghotra y col., 2002). Prácticamente todos los aperitivos a base de harina de maíz requieren de un horneado, freído o un paso de secado, usualmente cerca del final del proceso; mediante estos tratamientos térmicos los alimentos se hacen comestibles, sus principales funciones son: ablandar o modificar la textura de los alimentos, gelatinizar el almidón, cambiar y mejorar el sabor mediante la fritura, tostado, horneado entre otros (Martínez, 2010).

Los aperitivos tipo botana a base de harina de maíz-frijol han sido estudiados por diferentes autores (Navarrete y col., 2006; Pérez y col., 2006; Hurtado y col., 2001; Ward y col., 1998). Se ha evaluado, la caracterización física de extruidos variando el porcentaje de la harina de maíz y frijol, la calidad proteínica al mezclar diferentes tipos de frijol con maíz, aceptabilidad y textura de productos tipo botana a base de estas harinas; sin embargo, no se ha analizado cómo influyen los mejoradores de textura como la adición de aceite, almidón modificado y tratamiento térmico en la textura de éstos. Por lo tanto el objetivo de este trabajo será evaluar el efecto del almidón y presencia de aceite en la textura de aperitivos a base de masas maíz-frijol y el estudio de la reología y textura de las masas.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1 Aperitivos

La palabra “snack” comúnmente se traduce del idioma inglés como “botana”. Ésta puede definirse como una comida pequeña y ligera que debe cumplir con varias condiciones tales como ser fácil de manipular, estar listas para comerse, ser accesibles, ser de tamaño pequeño, ya sea sólido o líquido, consistir en raciones individuales y lo más importante, deben satisfacer la sensación del hambre y necesidades de energía por un pequeño lapso de tiempo (Navarrete y col., 2006).

Existen una gran variedad de aperitivos y por consecuente diferentes procesos y formulaciones (Matz, 1991). Se incluyen una amplia gama de productos como papas fritas, totopos y tostadas, productos inflados/horneados, cacahuates y semillas, pero las definiciones de los aperitivos están siendo modificados para incluir galletas, sándwiches, yogurt y helados incluso (Sajilata y Singhal, 2005). La producción de aperitivos se ha orientado a la búsqueda de productos más nutritivos, con un buen aporte de proteínas, calorías, fibra, ácidos grasos esenciales, vitaminas y minerales (Hurtado y col., 2001). Según muchos estudios, el aporte energético de los aperitivos está superando una cuarta parte del consumo diario de energía. Los aperitivos están asociados con el consumo elevado de sacarosa, almidón y carbohidratos refinados y bajo consumo de fibra, vitaminas y minerales, así como el alto consumo de sodio en forma de refrigerios salados (Sajilata y Singhal, 2005).

El consumo de aperitivos a nivel mundial y nacional es cada vez más importante (Hurtado y col., 2001). El volumen de producción de aperitivos tipo botana en México ha crecido de 234,726 toneladas en el año 2000 a 420,000 toneladas en el año 2008, estimándose que en la actualidad asciende a alrededor de 450,000 toneladas (Canacintra, 2013). El consumo per cápita igualmente creció de 2.35 kilos al año a 3.8 kilos en el 2008, estimándose que actualmente sea de aproximadamente

4 kilos por habitante al año. Las ventas anuales de botanas actualmente son del orden de 3,000 millones de dólares al año, éstas se han triplicado en los últimos diez años (Canacintra, 2013). Clasificar aperitivos es complicado, algunas categorías se muestran en el Cuadro 1.1.

Cuadro 1.1 Categoría de aperitivos y ejemplos de algunos productos (Bawa y Sidhu, 2003).

Categoría	Producto
Aperitivos calientes	Mini-pizzas, pizza baguettes
Aperitivos fríos	Yogurt, mini-cubos de queso
Productos de panadería	Pastel, mini-tartas, galletas
Barras	Granola, chocolate, barras energéticas
Productos salados	Papas fritas, galletas, frituras
Confitería	Galletas
Aperitivos extruidos	A base de cereales, botanas
Otros productos	Palomitas de maíz, cereales inflados, frituras de tortillas, cacahuates, nuez

En cuanto a tipos de aperitivos en México, el Cuadro 1.2 muestra la distribución por categorías, como se puede observar los alimentos tipo aperitivos de mayor consumo en México son elaborados a base de cereales y sus derivados como la harina de trigo y maíz, éstos son productos familiares para casi todos los consumidores, es por eso que los aperitivos elaboradas a partir de ellos tienen una gran aceptación (Hurtado y col., 2001).

En el contexto de los aperitivos se espera que sean sabrosos, de texturas y sabores variados, las principales percepciones con base al sabor en el paladar se describen a continuación en base a Booth (1990).

Cuadro 1.2 Aperitivos consumidos en México (Canacintra, 2013)

Botana	%
Frituras de harina de trigo y maíz	36
Papas fritas	27
Totopos y tostadas	19
Otros productos inflados / horneados	11
Cacahuates y semillas	4
Chicharrón de cerdo	3

- *Neutral*

Relativamente poco distinguible en términos de contribución al sabor y principalmente lo presentan los alimentos cuando no están procesados, esta categoría incluye varios cereales, raíces, vegetales, leche, entre otros.

- *Ácidos*

Las materias primas ácidas tienen otros sabores presentes, los aceites esenciales y otros compuestos aromatizantes naturales que los caracterizan más allá de la acidez. El ácido orgánico está implicado en el sabor de estos alimentos, generalmente es característico de la materia prima como algunos frutos tales como naranja, piña y en productos terminados como el yogurt.

- *Salado*

El sabor salado lo provocan sales inorgánicas de bajo peso molecular, por ejemplo la sal común o de cocina (NaCl), cloruro de potasio (KCl), bromuro sódico (NaBr) o yoduro sódico (NaI). La sal común es la única que puede considerarse puramente salada, y por ello se considera que es la molécula que mejor define al sabor salado. Puede estar presente en cualquiera de los ingredientes del alimento tipo botana o por adición, por lo general se utiliza para fines de conservación o como deshidratante.

- *Amargo*

El sabor amargo es también importante, varias plantas, hierbas, frutas y vegetales confieren este sabor.

- *Dulce*

Generalmente se asocia de forma espontánea con el azúcar, pero existe una amplia gama de compuestos que también confieren un sabor dulce. Entre ellos están por ejemplo los polialcoholes, los conocidos edulcorantes sintéticos, los aminoácidos y muchos otros. Distintos aperitivos dependen del azúcar, no sólo por brindar el sabor dulce, sino por la textura que le pueden aportar.

1.2 Ingredientes principales

A continuación se presenta una descripción de los ingredientes principales del aperitivo en estudio.

1.2.1 Maíz

El maíz surgió aproximadamente entre los años 8 000 y 600 AC en Mesoamérica (México y Guatemala), probablemente a lo largo del acantilado occidental de México Central o del Sur, a 500 km de la Ciudad de México (Acosta, 2009). El grano está constituido por la cascarilla que es la envoltura externa del grano, la testa o tegumento de la semilla, que procede del saco embrionario, está compuesta por varias capas. En la Figura 1.1 se presenta un esquema del grano de maíz.

Los principales constituyentes químicos del grano de maíz varían con el tipo, variedad y condiciones de desarrollo tal como se indica en el Cuadro 1.3, se puede observar que tiene un elevado contenido de carbohidratos principalmente almidón, mientras que el contenido de proteínas es menor (Sala y Barroeta, 2003).

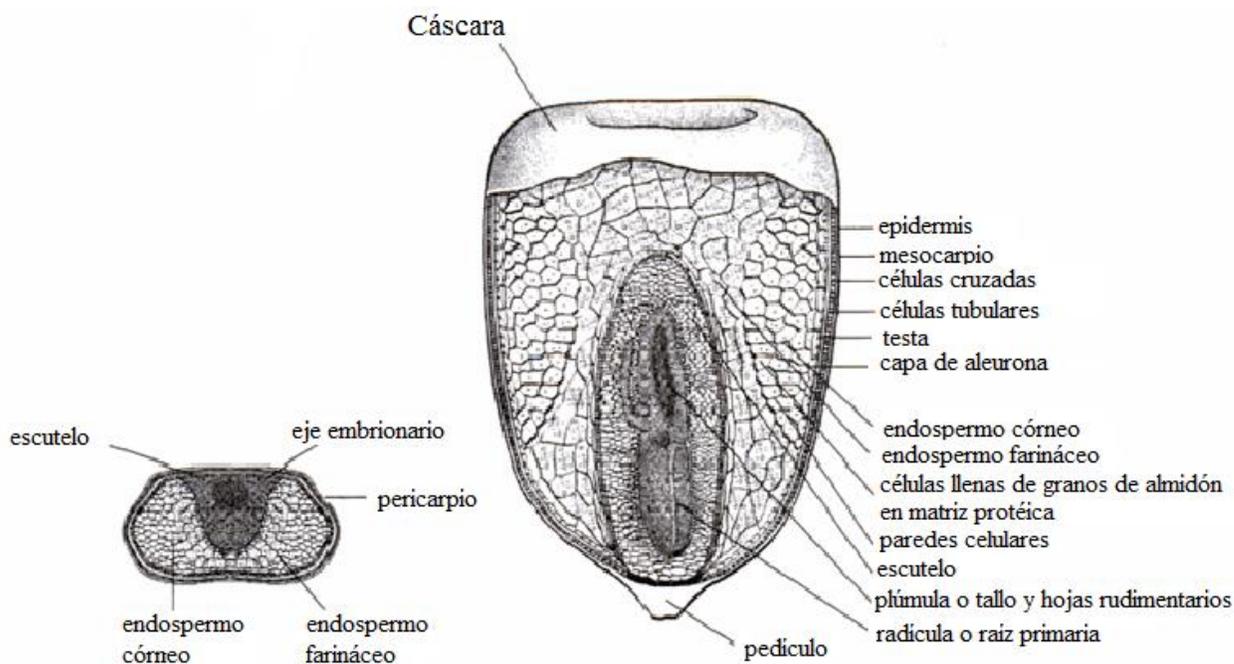


Figura 1.1 Sección longitudinal y transversal de grano de maíz (Sala y Barroeta, 2003).

Cuadro 1.3 Composición química del grano de maíz (Hawthorn, 1983).

Constituyentes	Por 100 g de grano de maíz
Humedad (g)	10.8-13.5
Proteína (g)	9.3-10.0
Grasa (g)	4.0-4.4
Fibra (g)	1.7-2.3
Carbohidratos (g)	68.1-72.0
Cenizas (g)	1.3-1.5
Calcio (mg)	10
Fosforo (mg)	26
Hierro (mg)	2.3
Tiamina (mg)	0.45
Riboflavina (mg)	0.10
Niacina (mg)	2.2
Acido pantoténico	0.6
Piridoxina (mg)	0.6
Vitamina E (mg)	2.5
Vitamina A (µg)	140-900 (Solamente las variedades amarillas)

La industrialización del maíz surgió en México con la intención de satisfacer la demanda, cada vez mayor, para lo cual primero se recurrió a la transformación de maíz en la masa de nixtamal, posteriormente a la elaboración de harina de maíz. El proceso tradicional para obtener harina de maíz consiste en cocer el grano de maíz con agua y álcali, seguido de una molienda para la obtención de masa, ésta puede ser presionada para obtener tortillas, deshidratarse o tamizarse para obtener harina nixtamalizada, la cual se utiliza para preparar masa, tortillas o botanas (Moody y col., 2011).

Existen tecnologías alternativas de producción de harinas nixtamalizadas como secado en tambor, micronización (tratamiento con calor seco), el calentamiento por microondas, y la extrusión (Villegas y col., 2013).

En el Cuadro 1.4 se muestra el análisis proximal de la harina que es el principal derivado del grano de maíz. Las cifras correspondientes a vitaminas y minerales se deben considerar como típicas, existe por supuesto alguna variación (Hawthorn, 1983).

Cuadro 1.4 Análisis químico proximal de la harina de maíz (% en base seca) (Badui, 2006).

Componente	Porcentaje
Proteínas	10.3
Extracto etéreo	4.5
Carbohidratos	83.8
Fibra cruda	2.4
Ceniza	1.4

1.2.2 Frijol

En las plantas leguminosas, los cotiledones constituyen la principal o única fuente de reservas nutritivas, ocupando la mayor parte del interior de las semillas. El frijol se caracteriza por la diversidad en su coloración y tamaño. El grano está constituido por las siguientes partes: epicotilo, hipócolito, los dos cotiledones, el hilio, el micrópilo, la plúmula, las hojas primarias y la radícula como se muestra en la Figura 1.2. (Espíndola, 2004 y Ospina, 2002).

El frijol contiene pocas grasas, tienen alrededor de un 20 % de proteínas y un alto contenido de minerales como se muestra en el Cuadro 1.5, también es fuente abundante de niacina y tiamina, son deficientes en aminoácidos azufrados, pero presentan cantidades abundantes de lisina y triptófano por lo cual, cuando se combina su consumo con los cereales, la calidad nutritiva de la dieta se ve favorecida (Cheftel y col., 1999).

El endospermo está constituido por células perenquimatosas, de paredes muy delgadas, llenas de gránulos de almidón. En la parte más externa del endospermo se encuentra la capa de aleurona, formada por células irregulares que contienen glóbulos de grasa y proteína. El pericarpio, junto con la testa, la capa de aleurona y restos del endospermo (almidón), constituye lo que se conoce con el nombre de salvado (Sala y Barroeta, 2003). En el germen se encuentra el escutelo, plúmula y radícula, es rico en aceite, proteínas, vitaminas y minerales (Smith y col., 2004).

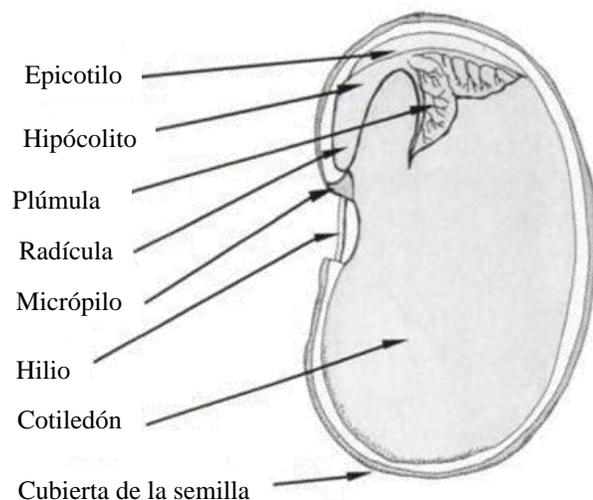


Figura 1.2 Sección esquemática de una semilla de frijol (*Phaseolus vulgaris*) (Espíndola, 2004).

Cuadro 1.5 Composición química del frijol (Cheftel y col., 1999).

Componente	(g/100 g)
Humedad	11
Proteína	22.1
Lípidos	1.7
Fibra cruda	4.2
Carbohidratos	61.4
Minerales	3.8
Niacina	0.018
Tiamina	0.0063
Ribofravina	0.0017

Básicamente la obtención de harina de frijol consiste en someter a secado, molienda y tamizado, al igual que el maíz puede ser sometido a tratamiento térmico (Cabrejas y col., 2009). En el Cuadro 1.6 se presenta el análisis químico proximal de la harina de frijol (Badui, 2006).

Cuadro 1.6 Análisis químico proximal de la harina de frijol (% en base seca) (Badui, 2006).

Componente	Porcentaje
Proteínas	25.0
Extracto etéreo	1.3
Carbohidratos	69.5
Fibra cruda	4.7
Ceniza	4.2

Como se puede observar en el Cuadro 1.6 la harina de frijol tiene un alto contenido de proteínas, las proteínas del frijol son principalmente globulinas, se caracterizan por doblar sus cadenas en una forma esférica apretada o compacta dejando grupos hidrófobos hacia adentro de la proteína y grupos hidrófilos hacia afuera, lo que hace que sean solubles en disolventes polares como el agua (Badui, 2006).

Las características de composición y configuración de las moléculas proteínicas les confieren propiedades funcionales, especialmente en relación a la textura. Las numerosas propiedades funcionales en las que las proteínas pueden participar se producen gracias al establecimiento entre ellas, de diferentes tipos de interacción tales como puente de hidrógeno, hidratación iónica, hidrofóbica e iónica, electrostática, Van der Waals, puentes disulfuro, repulsión estérica y fenómenos de adsorción y atrapamiento físico.

En el Cuadro 1.7 se resumen las principales propiedades funcionales de las proteínas y de los conceptos relacionados con las repercusiones sobre las características de los productos (Alegret y col., 2004).

Cuadro 1.7 Propiedades funcionales de las proteínas (Alegret y col., 2004).

Interacción	Propiedad	Factores asociados	Conceptos relacionados
Proteína-agua	Solubilidad y retención de agua	-Estructura -Fuerza iónica -pH -Porosidad -Volumen -Fuerza iónica -Temperatura	-Hinchado -Hidratación -Poder espesante -Capacidad de retención de agua -Cohesión -Adhesión -Dispersabilidad -Viscosidad
	Gelificación	-Estructura -Disociación -Agregación -Hidrofobicidad -Fuerza iónica -Coagulación -pH -Concentración mínima	-Fuerza -Elasticidad -Estabilidad -Resistencia al flujo -Firmeza
Proteína-proteína	Texturización (Formación de matriz proteica)	-Cohagulación -Formulación de película	
Proteína-volátiles	-Fijación de aromas	-Hidrofobisidad -Desnaturalización -Enlaces no covalentes	-Olor
Propiedades superficiales (Fase acuosa-proteína-fase oleosa o liquido-proteína-gas)	Emulgentes	-Hidrofobisidad -Floculación, coalescencia -Tención interfacial -Viscosidad, solubilidad -Fuerza iónica -Temperatura	-Formación de crema (o sedimentación)
	Espumantes	-Tención entre fases -Viscosidad -Tipo de películas -Desnaturalización	-Poder espumante -Estabilidad

1.2.3 Almidón

Químicamente el almidón es una mezcla de dos polisacáridos muy similares, la amilosa y la amilopectina, el primero es producto de la condensación de D-glucopiranosas por medio de enlaces glucosídicos α -(1,4) que establece largas cadenas lineales con 200 a 2500 unidades y pesos moleculares hasta de un millón de Da; el segundo presenta ramificaciones con enlaces α -(1,6) localizadas cada 15-25 unidades lineales de glucosa. Su peso molecular es muy alto ya que algunas fracciones llegan alcanzar hasta 200 millones de Da (Valdés, 2006).

La concentración relativa de estos dos polímeros está regida por factores genéticos típicos de cada cereal. Tanto la amilosa como la amilopectina influyen de manera determinante en las propiedades sensoriales y reológicas de los alimentos al afectar su capacidad de hidratación y de gelatinización (Valdés, 2006).

El almidón que ha sido tratado térmicamente en condiciones de alta humedad, se considera generalmente como un compuesto en el que los gránulos gelatinizados hinchados, compuestos principalmente de amilopectina, están incrustadas en una matriz de amilosa (Chaudemanche y Budtova , 2008).

- *Almidones modificados*

Los almidones naturales se pueden mediante aplicaciones físicas, enzimáticas, químicas (o una combinación de éstas), para producir cambios físicos que contribuyen a la estabilidad, apariencia, comodidad y funcionamiento en la preparación de alimentos (Abbasy col., 2010). Los almidones modificados en aperitivos sirven como ingredientes funcionales contribuyendo a atributos deseables tales como expansión mayor, absorción de aceite reducida y la calidad de consumo total mejorada (Sajilata y col., 2005), constituyen una excelente materia prima para modificar la textura y consistencia de los alimentos. Su funcionalidad depende del

peso molecular promedio de la amilosa y la amilopectina, así como de la organización molecular de estos glucanos dentro del gránulo (Bello y col., 2002b). Las propiedades de algunos almidones modificados y sus aplicaciones se presentan en el Cuadro 1.8.

Cuadro 1.8 Algunas propiedades y aplicaciones de los almidones modificados (Singh y col., 2007).

Tipos	Propiedades	Aplicaciones
Pregelatinización	Dispersión en agua fría	Alimentos instantáneos
Hidrólisis ácida parcial o hidrólisis enzimática	Peso molecular pequeño, baja viscosidad	Confitería y recubrimientos alimentarios
Oxidación/Blanqueo	Baja viscosidad, estabilidad a baja temperatura	Recubrimientos en repostería, aglutinantes y formadores de película, texturizantes en productos lácteos
Dextrinación	Viscosidad, aumento de la solubilidad, reducción del contenido de azúcar	Recubrimiento para diversos alimentos, sustitutos de grasa en productos de panadería y productos lácteos
Eterificación	Mejora la claridad de la pasta de almidón, mayor viscosidad, reduce la sinéresis	Salsas, rellenos de tartas con frutas y pudines
Esterificación	Baja temperatura de gelatinización y retrogradación, menor tendencia a formar geles	Se utiliza en los alimentos refrigerados y congelados, como estabilizadores de la emulsión y para la encapsulación
Entrecruzado	Mayor estabilidad de los gránulos en el hinchamiento, estable a alta temperatura, alto cizallamiento y condiciones ácidas	Agentes de viscosidad y texturizantes en sopas, salsas, panadería y productos lácteos

- *Almidón de maíz ceroso entrecruzado y pregelatinizado*

El almidón de maíz ceroso entrecruzado, por ser prácticamente libre del componente lineal (amilosa), no tiene propiedades gelificantes y el entrecruzamiento le proporciona resistencia a condiciones drásticas comunes en los procesos de elaboración de alimentos como agitación, calentamiento y pH bajo, dando como resultado que la viscosidad aparente alcanzada no sea afectada por estas condiciones, por lo que es ampliamente utilizado como espesante, estabilizante y texturizante. La pregelatinización en los almidones, facilita su utilización en procesos para el desarrollo de viscosidad en frío, además de conferir claridad a las pastas. Debido a la ausencia de amilosa en este tipo de almidón, sus pastas pueden describirse como sistemas bifásicos formados por una fase continua acuosa y gránulos de almidón hinchados como fase dispersa (Casas y Pardo, 2005).

1.2.4 Grasas y aceites

Las grasas y aceites son predominantemente triésteres de ácidos grasos y glicerol, llamados comúnmente triglicéridos. Son insolubles en agua y solubles en la mayoría de los solventes orgánicos (Lawson, 1999; Matz, 1991).

Las funciones de los lípidos en los alimentos pueden inducir una serie de funciones deseables en los mismos. Éstos son los siguientes (Ghotra y col., 2002):

- Mejorador de textura
- Sensación en la boca
- Integridad estructural
- En el proceso como medio de transferencia de calor
- Vida útil extendida

Las grasas contribuyen en la consistencia de los alimentos y la textura, y pueden dotar a la comida con sus características mecánicas y geométricas, incluyendo

dureza del alimento, cohesividad, adhesividad y la viscosidad; así como la orientación de las partículas de alimentos. Además también pueden contribuir a otras características como sensación en la boca que generalmente se refieren a la percepción de humedad o grasa (por ejemplo, húmedo, aceitoso, grasiento). Dado que la grasa en alimentos sólidos facilita la masticación y la deglución, podría decirse que las cualidades sensoriales de percepción de la grasa pueden hacerse evidente únicamente con el consumo del alimento (Shrager y col., 1989).

En los alimentos sólidos, la grasa determina las propiedades de fractura. La grasa en los alimentos líquidos (leche, crema) puede afectar su viscosidad, y esto puede estar relacionado directamente con las características sensoriales. En los alimentos semi-sólidos y sólidos, la grasa tiene un papel más complejo en donde el mecanismo de fractura se ve afectado. Este efecto depende de las propiedades físico químicas de la grasa y el grado de interacción que tiene la grasa con la matriz del alimento. La influencia de la grasa en las propiedades de fractura significa que cualquier cambio en la grasa afectará la integridad del alimento (Marshall, 1990).

- *Aceite en el freído*

Las características más importantes para un aceite para freír son la estabilidad del sabor, la estabilidad de fritura y la estabilidad oxidativa. Las grasas que contienen niveles significativos de ácido linoléico (como el aceite de soya hidrogenado) no deben utilizarse para freír. Los ácidos grasos insaturados son muy inestables en términos de oxidación y su incorporación en el alimento disminuye la vida útil del producto frito. Los aceites de maíz, girasol, semilla de algodón son los más adecuados para freír. Una mayor estabilidad se consigue mediante el uso de aceites líquidos menos poliinsaturados tales como el de cacahuete o aceite de girasol. Otro requisito previo para las grasas empleadas en el freído es que deben presentar un alto punto de humo que se define como la temperatura a la cual una grasa emite delgadas briznas continuas de humo cuando se calienta bajo condiciones específicas. Las

grasas hidrogenadas de ácido láurico también se utilizan para freír, pero sólo son adecuadas para productos con humedad alta. Debido a que las grasas para freír están presentes en la superficie de los alimentos, un punto de fusión alto puede causar un sabor grasoso o ceroso en la boca. Debido a esta razón, los aperitivos deben ser fritos en una materia grasa de bajo punto de fusión (Ghotra y col., 2002).

1.2.5 Aditivos

Los aditivos son usados para una gama de propósitos en la fabricación de alimentos y en muchos casos desempeñan funciones esenciales. En otros casos, son opcionales, pero pueden mejorar el equilibrio nutritivo, apariencia, textura y la aceptabilidad general de los aperitivos (Booth, 1990).

- *Sal*

La sal puede estar presente en los ingredientes del aperitivo, en forma natural o por adición. Por lo general se agrega para fines conservantes, deshidratantes, como reforzante de sabor o para atribuirle el sabor salado algún alimento como a las galletas saladas. En muchos alimentos la sal es el sabor predominante y es a menudo el único sabor reconocible. También ofrece un medio conveniente para una uniforme distribución de micro-ingredientes de varios tipos (sabores, vitaminas, antioxidantes) en productos terminados. A pesar que la sal se usa en mayor porcentaje para aperitivos salados que en aperitivos dulces, hay una amplia justificación para la inclusión de cantidades significativas de estos ingredientes en este último tipo, debido a sus mejoras de dulzura y su efecto suavizante sobre otros sabores (Booth, 1990; Matz, 1991).

En varios aperitivos, la sal se aplica como una capa final o revestimiento de modo que su impacto es inmediato y el sabor predominante. En estos casos, es razonable afirmar que la sal es el sabor característico de los productos, en el Cuadro 1.9 muestra los niveles de sal en algunos productos tipo botanas (Matz, 1991).

Cuadro 1.9 Niveles máximos comunes de sal (Matz, 1991).

Producto	Nivel máximo de sal (%)
Entremeses	1.5-2
Fritura de maíz	1.5
Tortillas frita	1.0-1.2
Papas fritas	2.0-2.5
Pretzels	4.0-5.0
Palomitas de maíz	1.0-1.5

- *Leudante*

Estos productos también llamados “polvos para hornear” o levaduras químicas” son mezclas de distintos compuestos que tienen la propiedad de generar anhídrido carbónico cuando se ponen en agua, es por eso que se emplean en la elaboración de pan, galletas y algunos aperitivos. Los polvos para hornear están constituidos por bicarbonato de sodio y un ácido o una sal ácida, estos compuestos reaccionan durante el horneado producen gases que generan expansión del producto.

En el Cuadro 1.10 se muestran algunas formulaciones típicas de polvos para hornear, se observa que contienen una proporción alta de almidón que sólo sirve de base para la formulación. El bicarbonato de amonio no se emplea mucho, pues en presencia de agua genera amoniaco que puede llegar a permanecer en el producto horneado (Badui, 2006).

Cuadro 1.10 Formulaciones de polvos para hornear (Badui, 2006).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Bicarbonato de sodio	28.0	28.0	30.0	30.0	30.0	27.0	30.0	30.0	30.0
Fosfato monocálcico monohidratado	35.0		8.7	12.0	5.0		5.0		5.0
Fosfato monocálcico anhidro		34.0							
Almidón de maíz	37.0	38.0	26.6	37.0	19.0	20.0	24.5	26.0	27.0
Sulfato de sodio-alumínico			21.0	21.0	26.0				
Pirifosfato ácido de sodio							38.0	44.0	38.0
Sulfato de calcio			13.7						
Carbonato de calcio					20.0				
Cremor tartárico						47.0			
Ácido tartárico						6.0			
Lactato de calcio							2.5		

1.3. Proceso de obtención de aperitivos de maíz

Diseñar productos aperitivos hoy en día puede ser un proceso complejo, debido a que se deben satisfacer los cambiantes gustos y expectativas del consumidor, por ejemplo "bueno para su salud", "rica fuente de proteína", "oferta un sabor único" (Riaz, 2004).

Las frituras de maíz se preparaban originalmente, simplemente de freír fragmentos de tortillas hechas a mano con masa, pero se ha desarrollado una tecnología compleja y documentada durante los últimos treinta o cuarenta años por tecnólogos, tratando de mejorar la eficiencia y el control del grano y proceso de fabricación.

Existen dos tipos principales de frituras elaboradas de maíz, éstas son las frituras que parten del grano de maíz, posteriormente la nixtamalización, la otra manera es partiendo de harina de maíz nixtamalizada, en ambos casos se obtiene una masa la cual se puede extruir y freír, por otro lado la masa se puede laminar, de aquí se puede hornear, obteniendo tortilla, aperitivo horneado o si se fríe se puede conseguir tortilla chip. Sí después de laminado se fríe, se obtiene un nuevo aperitivo de maíz con diferentes características, los diferentes procesos se esquematizan en la Figura 1.3. El extruido y laminado-cortado están hechos de masa nixtamalizada. Podría ser

más lógico para definir "aperitivos fritos" de maíz como aquellos productos elaborados a partir de harina de maíz en la cual se pueden incluir otros tipos de ingredientes amiláceos además de maíz. Las frituras de maíz con y sin horneado son generalmente hechas de masa, y tienen sabores y texturas similares (Matz, 1991).

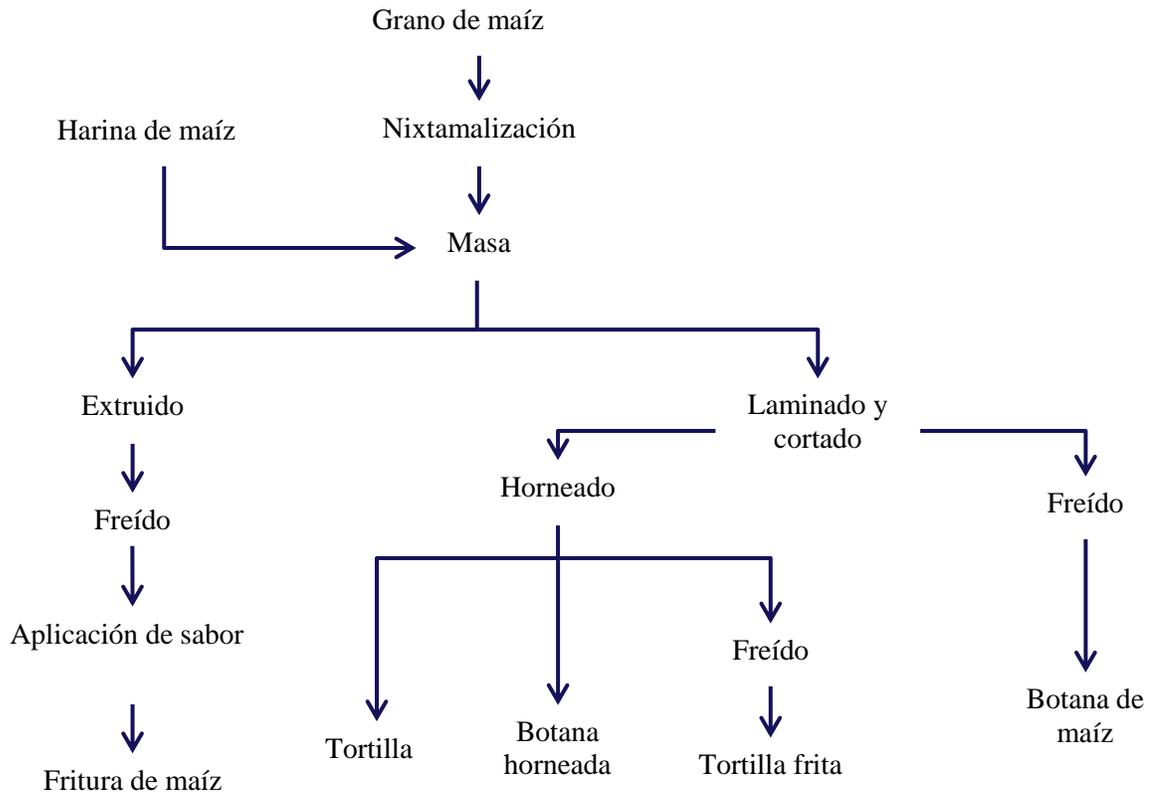


Figura 1.3 Proceso de elaboración de aperitivos a base de maíz (Riaz, 2004 y Matz, 1991).

1.3.1 Preparación de la masa nixtamalizada

La masa de un producto amiláceo se considera como un sistema complejo e inestable que pertenece a un grupo de materiales viscoelásticos, en el cual un alto grado de viscosidad y plasticidad se combina con una considerable elasticidad. La masa de maíz nixtamalizada es una red de moléculas de almidón solubilizadas y gránulos de almidón dispersos, parcialmente gelatinizados, en una fase continua de agua libre, que sostiene los gránulos de almidón no gelatinizados, las piezas de endospermo y los lípidos (Sandoval y col., 2005; Bello y col., 2002a).

A continuación se describen formas de obtención de masas a base de maíz (Bello y col., 2002a). La nixtamalización del maíz es un proceso muy antiguo desarrollado por los aztecas, el cual todavía se utiliza para producir tortillas de buena calidad y otros productos alimenticios (por ejemplo pozole). Durante la nixtamalización, pequeñas cantidades de gránulos de almidón son gelatinizados y la mayor gelatinización se debe a la fricción durante la molienda, durante la cual también se dispersan parcialmente los gránulos hinchados dentro de la matriz, los que actúan como un pegamento que mantienen unidas las partículas de masa.

Después de cocer el maíz con hidróxido de calcio, el producto obtenido, llamado nixtamal, se lava con agua para eliminar el exceso de hidróxido de calcio y posteriormente es sometido a una molienda. La masa obtenida es una mezcla constituida por los polímeros del almidón (amilosa y amilopectina) mezclados con gránulos de almidón parcialmente gelatinizados, gránulos intactos, partes de endospermo y lípidos. Todos estos componentes forman una malla compleja heterogénea dentro de una fase acuosa continua. Además, la reasociación de la amilosa y amilopectina, depende del tiempo y la temperatura, modifica constantemente el contenido total de agua y su distribución dentro de esta matriz. Este proceso tiene la mayor repercusión en las propiedades reológicas y de textura de los productos elaborados a partir de masa (Bello y col., 2002a).

La elaboración de masa no sólo se puede hacer por medio de la nixtamalización también se puede obtener a partir de harina de maíz nixtamalizada. En el caso de las harinas de maíz nixtamalizadas, éstas son obtenidas por molienda utilizando nixtamal con bajo contenido de humedad, lo que no permite la liberación de los gránulos de almidón a partir de los otros componentes presentes en el grano de maíz. En consecuencia, las harinas de maíz nixtamalizadas son diferentes a las de las masas. Las masas tienen cantidades significativas de gránulos libres de almidón con bajo contenido de proteína, mientras que en las de harina de maíz nixtamalizada,

contiene una cantidad de almidón y proteínas similar a la presente en el endospermo del grano de maíz (Bello y col., 2002a).

La ventaja práctica de utilizar harina de maíz nixtamalizada es que únicamente se debe rehidratar con agua para obtener la masa, la cual es moldeada y cocida para obtener las tortillas. Esto reduce considerablemente el costo de mano de obra, la inversión para equipo, los problemas asociados con la adquisición del grano de maíz y la generación de desechos durante la elaboración del nixtamal (Bello y col., 2002a).

1.3.2 Tratamiento térmico

Prácticamente toda la producción de aperitivos a base de maíz requieren ser horneados, freídos, o pasar por una etapa de secado, por lo general cerca del final de la línea de procesamiento. Aunque la cocción de algunos alimentos puede tener lugar en un extrusor, con considerable pérdida de agua, esto se aplica raramente al final del proceso como tratamiento térmico, ya que el producto extruido hinchado, casi siempre presenta un contenido de humedad superior a la que se considera aceptable y adicionalmente carece del desarrollo del sabor y la coloración que resulta del proceso de freír (Matz, 1991).

1.3.2.1 Horneado

El horno hace uso de aire caliente para modificar las características de los alimentos y posee un objetivo secundario, que es la conservación del alimento por destrucción de su carga microbiana y la reducción de la actividad de agua en su superficie. En el horno, el calor pasa al alimento por radiación desde las paredes, por convección del aire circulante y por conducción a través de la bandeja sobre la que descansa, si bien en algunos tipos de alimentos, el calor se transmite en los primeros momentos del horneado por convección, la mayor parte del intercambio calórico se produce por conducción. El aire y otros gases y el vapor de agua, transmiten el calor en el horno

por convección. En la superficie del alimento y en las paredes del horno el calor se convierte en calor de conducción. El alimento se encuentra recubierto por una delgada capa de aire que dificulta la transmisión de calor hacia el interior y la eliminación de vapor de agua. El grosor de esta capa está determinado por la velocidad del aire y las características de la superficie del alimento (Fellows, 1994). Los atributos de calidad de los productos finales (textura, color) son dependientes de la operación de horneado (temperatura del horno, el contenido de humedad) (Ousegui y col., 2010).

Las corrientes de convección en el horno favorecen la distribución uniforme del calor. El calor transmitido por conducción a través de la pared del recipiente incrementa el salto térmico en la zona de contacto del alimento con el recipiente, lo que provoca diferencias en la velocidad de horneado. Los alimentos poseen un coeficiente de conductividad térmica bajo, lo que hace que la transmisión de calor por conducción sea lenta, prolongando el tiempo necesario para la cocción. El tamaño del alimento determina la distancia que el calor tendrá que atravesar hasta alcanzar el centro del mismo (Fellows, 1994).

Al introducir un alimento a un horno el agua de su superficie se evapora y el aire caliente la arrastra. La baja humedad relativa en el horno crea un gradiente de presión de vapor que impulsa el paso de agua desde el interior del alimento a su superficie. La velocidad de evaporación en un alimento específico, depende del alimento en cuestión y de la velocidad de calentamiento (Fellows, 1994).

Los cambios que sufre el alimento horneado son semejantes a los que presenta en la deshidratación por aire caliente, pero al ser las temperaturas más elevadas y la velocidad de calentamiento mayor, se producen cambios complejos en los componentes del alimento en la superficie del mismo. Estos cambios mejoran las

características del alimento y contribuyen a retener la humedad en la masa del mismo (Fellows, 1994).

Durante el proceso de horneado la transferencia de calor y de masa se producen simultáneamente y pueden inducir muchos complejos procesos físico-químicos tales como la evaporación de agua, la formación de corteza, reacciones de oscurecimiento, la desnaturalización de las proteínas, y la gelatinización del almidón (Feyissa y col., 2011).

Los cambios que se producen en la textura dependen de la naturaleza del alimento (contenido en agua y composición de su contenido lipídico, proteínas y carbohidratos estructurales) y de la temperatura y tiempo de calentamiento. En los hornos de panadería, la deshidratación de la capa superficial de la masa se evita calentando inicialmente con vapor el horno. De esta forma, la corteza permanece elástica durante más tiempo. Así se disminuyen roturas de la masa lo que evita que ésta se esponje adecuadamente. La corteza resulta más suave y brillante y la hidrólisis del almidón favorece el oscurecimiento por la reacción de Maillard, con lo que el color se mejora (Fellows, 1994).

1.3.2.2 Freído

El freído es una operación unitaria destinada a modificar las características organolépticas del alimento. Un objetivo secundario del freído 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). Saguy y Dana (2003) definen el freído como la cocción de los alimentos en aceite o grasa a temperaturas elevadas (140-180°C), donde el aceite actúa como trasmisor del calor produciendo un calentamiento rápido y uniforme del producto. La vida útil de los alimentos sometidos a fritura depende esencialmente

de su contenido en agua residual. La vida útil de aquellos que tras el freído retienen un contenido en agua elevado, tienen vida de útil corta, debido a la migración de agua y aceites que se producen durante su almacenamiento. Aquellos alimentos sometidos a procesos de freído más intensos (por ejemplo: papas fritas, botanas a base de maíz, papas y productos extrudidos) se conservan hasta doce meses a temperatura ambiente (Fellows, 1994).

La cantidad de aceite absorbido por los alimentos es una función de muchos factores que influyen en la transferencia de calor y masa entre el aceite y el alimento. Estos factores incluyen el tipo de alimentos, las características del aceite y las condiciones de freído (Tassou y col., 2012).

La temperatura de freído viene determinada por consideraciones económicas y por el tipo de producto a elaborar. Como a temperaturas más elevadas, los tiempos de fritura son lógicamente más cortos. Sin embargo, a estas temperaturas el aceite se altera más rápidamente. Se producen ácidos grasos libres que modifican su viscosidad su sabor y aroma. El aceite debe cambiarse con mayor frecuencia, lo que incrementa los costos de elaboración. Por otra parte, la fritura a elevadas temperaturas provoca pérdidas de aceite por arrastre, lo que también encarece el producto. 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 de la atmósfera (Fellows, 1994).

La temperatura de freído viene también determinada por las exigencias del producto a elaborar. Aquellos alimentos de corteza superficial pero blanda en su interior, se frien a temperaturas elevadas. La rápida formación de la corteza retiene cierta proporción de agua en el interior, al tiempo que dificulta la transmisión de calor hacia el alimento. Aquellos alimentos en los que la fritura debe provocar su deshidratación

se fríen a temperaturas más bajas para que el frente de evaporación se desplace rápidamente hacia el interior antes de que se forme la corteza (Fellows, 1994).

El principal objetivo de la fritura consiste en conseguir que el alimento adquiera en su capa superficial una textura determinada y un color y aroma característicos. Estas características se desarrollan como consecuencia de la reacción de Maillard y de la absorción por el alimento de compuestos volátiles presentes en el aceite. Los principales factores que determinan los cambios de color y aroma en un alimento son, por tanto: (Fellows, 1994).

- El aceite de la fritura
- El historial térmico del aceite y el tiempo de uso
- La temperatura y el tiempo de fritura
- El tamaño y las características superficiales del alimento
- Los tratamientos a los que éste se somete tras la fritura

Todos estos factores influyen también sobre la cantidad de aceite que el alimento retiene. La textura del alimento frito se debe a cambios que se producen en las proteínas, grasas, y carbohidratos poliméricos, semejantes a los que tienen lugar durante el horneado (Fellows, 1994).

1.3.2.3 Tostado

El tostado puede ser definido como el tratamiento térmico en seco llevado a cabo tanto para la deshidratación como para el desarrollo de sabor, color y textura. Un método común para tostado, es por medio de un proceso de transferencia de calor, en donde el aire caliente pasa por los tostadores en los sistemas continuos o por lotes, en virtud de diversas combinaciones de tiempo y temperatura (Alamprese y col., 2009).

El tostado implica una serie de cambios físico-químicos, incluyendo reacciones de deshidratación y químicas. Reacciones de Maillard, en particular, dan lugar a pigmentos marrones y compuestos de pirazina asociados con el desarrollo del sabor típico asado, mientras que desarrolla una deshidratación crujiente y textura crujiente (Alamprese y col., 2009). Tostar aumenta significativamente la palatabilidad de algunos alimentos mejorando su sabor, color, textura y características de apariencia. Estos cambios están relacionados principalmente con el secado y el pardeamiento no enzimático durante el tostado (Ozdemir y Devres, 2000).

El desarrollo del tostado y del aroma depende de la temperatura, tiempo de tostado, humedad, grosor, geometría y equipo utilizado, por ejemplo para tostar almendras se han usado temperaturas de 135°C por 20 minutos; 155-170°C por 40-60 minutos. En el mercado se encuentran equipos para elaborar tostadas y totopos, de diferentes características y tamaños además también se pueden encontrar deshidratadoras (Shakerardekani y col., 2011).

El color es un atributo de calidad importante de los alimentos deshidratados. Muchos autores utilizan el color como un indicador de control de calidad de los procesos porque los pigmentos marrones aumentan a medida que el pardeamiento y las reacciones de caramelización se van presentando en el progreso (Ozdemir y col., 2000)

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Objetivos

Objetivo general

Evaluar el efecto de la concentración de almidón modificado y la adición de aceite, en las propiedades reológicas y texturales de masas de maíz-frijol, así como en la textura de aperitivos horneados y fritos, para proporcionar alternativas de botanas nutritivas.

Objetivos particulares

Objetivo particular 1

Evaluar el efecto de la concentración de almidón modificado y la adición de aceite, en las propiedades viscoelásticas y texturales de masas de maíz-frijol para elaborar aperitivos mediante pruebas dinámicas y perfil de textura.

Objetivo particular 2

Evaluar el efecto del tipo de tratamiento térmico (horneado, freído) en las propiedades texturales de aperitivos elaborados con masas de maíz-frijol mediante pruebas de fractura.

2.2 Materiales y métodos

2.2.1 Materia prima

Para la elaboración de los aperitivos se empleó como materia prima: harina de frijol negro con 6.57% de humedad, que contenía además sal yodatada y bisulfato de sodio (Frijol S.A. de C.V., Jalisco, México); harina de maíz nixtamalizada con 8.09% de humedad (Maseca, Gruma, S.A.B. de C.V., Nuevo León, México); cloruro de sodio con 0.02% de humedad (El elefante, Sales del Istmo, S.A. de C.V., Nuevo León, México); aceite de cártamo (Oleico, Coral Internacional S.A. de C.V., San Luis Potosí, México), que contenía 0.008% de TBHQ como antioxidante; agente leudante (bicarbonato de sodio, sulfato de aluminio y sodio, carbonato de calcio, fécula de maíz y fosfato monocálcico) con 7.94% de humedad (Royal, Kraft Foods de México, S.A. de C.V., Distrito Federal, México); almidón de maíz ceroso entrecruzado y pregelatinizado (National Starch, New Jersey, EUA), y agua baja en sodio (E pura, The Pepsi Bottling Group Mexico, Distrito Federal, México).

2.2.2 Proceso de elaboración de los aperitivos

Para la elaboración de los aperitivos se emplearon las formulaciones que se presentan en el Cuadro 2.1. La proporción maíz-frijol fue de 50-50% que en conjunto con el almidón constituyeron el 97% de los componentes secos. A todas las formulaciones se les agregó 1.5% de sal, 1.5% de agente leudante, para dar un total del 100% de polvos en base seca. El agua fue agregada en medida que lo requirió la mezcla de polvos para formar la masa, esta cantidad se determinó para cada formulación tomando en cuenta el momento en que la mezcla formaba un solo aglomerado, el cual era manipulable y no se pegaba a las manos.

Para las masas con aceite, éste se adicionó en una proporción constante de 15 g, proporcionado porcentajes entre 6-8. Estos valores se encuentran cercanos al 7.2% de aceite agregado a botanas de origen africano (Ward y col., 1998).

Para la elaboración de la masa se pesaron todos los polvos y se mezclaron con una batidora (Kitchen Aid, Heavy Duty, Michigan, EUA) con el accesorio tipo gancho a velocidad media (5) por 5 minutos, después a la misma velocidad se incorporó el agua a 45°C para mejorar la integración de los componentes y se mezcló por 3 minutos más, el agua se agregó en la medida que lo requirió cada formulación para formar la masa, estos valores se indican también en el Cuadro 2.1.

Para las masas con aceite, éste se adicionó con el agua, homogenizando con un homogenizador (L4R, Silverson) por 2 minutos, la cantidad de aceite fue agregado de tal manera que con y sin aceite diera el mismo porcentaje de líquidos totales (Cuadro 2.1).

Una vez obtenidas las masas se dejaron reposar por una hora a temperatura ambiente (23°C) para lograr una perfecta hidratación de la masa, posteriormente se laminaron y se cortaron en forma de triángulo isósceles (9 cm de base por 4 de altura), posteriormente al laminado triangular se le aplicó el tratamiento térmico correspondiente (freído o tostado).

El proceso se esquematiza en la Figura 2.1. El horneado se llevó a cabo en un horno (Superchef-Plus, Moulinex, Distrito Federal, México) a una temperatura de $125\pm 5^{\circ}\text{C}$ por 60 minutos. El freído se realizó en una sartén de 26 cm de diámetro y 2.5 cm de profundidad en una estufa de gas, a temperatura de $150\pm 10^{\circ}\text{C}$ por 3 minutos, empleando 500 mililitros de aceite con la finalidad de que los laminados quedaran totalmente sumergidos.

Cuadro 2.1 Formulaciones de los aperitivos de estudio.

No. Formulación	Composición de sólidos (%)				Composición total			Tratamiento
	Almidón	Harina de frijol	Harina de maíz	Sal y agente leudante	Sólidos (%)	Líquidos (%)		
						Aceite (%)	Agua (%)	
1	0	0	97	3*	42.55	0	57.4	Horneado
2					42.55	6.38	51.1	Horneado
3	0	48.5	48.5	3*	45.45	0	54.5	Horneado
4					45.45	6.81	47.7	Horneado
5	15	0	82	3*	54.04	0	45.9	Horneado
6					54.04	8.1	37.8	Horneado
7	15	41	41	3*	51.28	0	48.7	Horneado
8					51.28	7.69	41	Horneado
9	30	33.5	33.5	3*	55.55	0	44.4	Horneado
10					55.55	8.33	36.1	Horneado
11	0	0	97	3*	42.55	0	57.4	Frito
12	0	48.5	48.5	3*	45.45	0	54.9	Frito
13	15	0	82	3*	54.4	0	45.9	Frito
14	15	41	41	3*	51.28	0	48.7	Frito
15	30	33.5	33.5	3*	55.55	0	44.4	Frito

* A todas las formulaciones se les agregó 1.5% de sal y 1.5% de agente leudante.

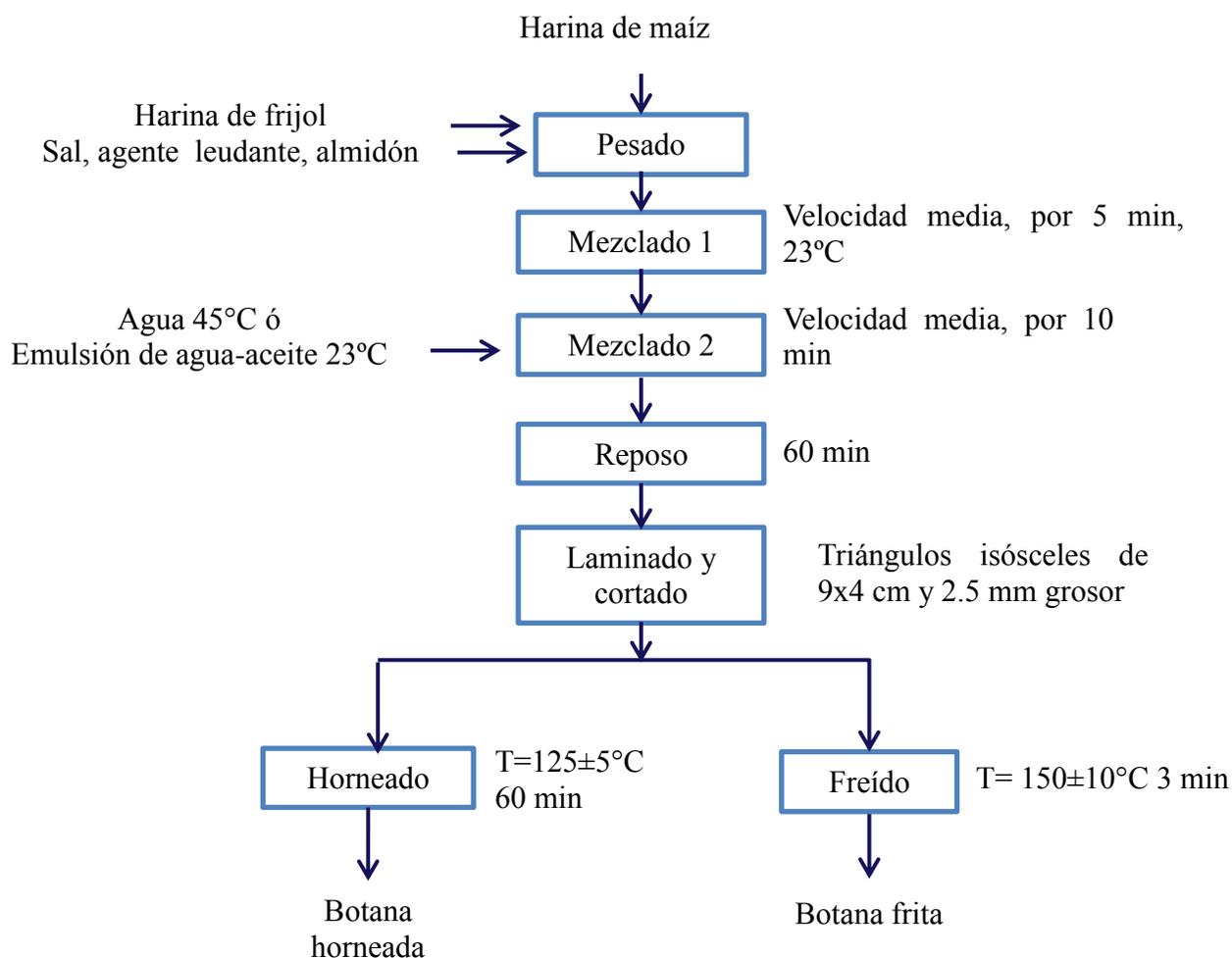


Figura 2.1 Diagrama de proceso para la elaboración de aperitivos horneados y fritos de maíz-frijol.

2.2.3 Pruebas reológicas (cizalla oscilatoria) de las masas

En esta prueba se aplica una pequeña deformación (o esfuerzo) sinusoidal, y se mide el esfuerzo (o deformación) resultante. Estas determinaciones se utilizan para evaluar las propiedades reológicas de los alimentos viscoelásticos (Sandoval y col., 2005).

Para las pruebas reológicas se utilizó un reómetro (MCR-301, Paar Physica, Graz, Austria) con una placa rugosa de 49.976 mm de diámetro y espacio de 3 mm de separación entre placas.

El programa del reómetro proporciona directamente los valores de los módulos: elástico (G') el cual mide la energía almacenada por ciclo y relaciona los eventos moleculares de la naturaleza elástica, viscoso (G'') mide la energía disipada como el calor por ciclo y relaciona los eventos moleculares de naturaleza viscosa. También incluye la relación de G''/G' , definida como la tangente del ángulo de desfase, tangente δ , o tangente de pérdida, que indica el predominio del componente viscoso sobre el elástico.

Por el principio de funcionamiento del reómetro MCR 301, en esta prueba se puede controlar tanto la deformación de cizalla, así como la del esfuerzo de cizalla sinusoidal obteniendo la función respectiva (respuesta sinusoidal) (Martínez-Padilla, 2012).

Para la evaluación de los módulos fue necesario determinar previamente la zona de viscoelasticidad lineal, por lo que se realizó un barrido de deformación de cizalla, considerando un intervalo entre 0.005 y 0.006%, a una frecuencia constante (1Hz), y se midió el esfuerzo de cizalla resultante. La zona viscoelástica lineal se delimitó en donde, G' y G'' no fueron dependientes de la deformación aplicada.

La prueba de cizalla oscilatoria se realizó manteniendo la deformación constante (dentro de la zona de viscoelasticidad lineal), variando la velocidad angular, en el intervalo de 1-100 1/s, y se midió la evolución de los módulos, G' , G'' y el ángulo de desfasamiento (δ), el material presenta un comportamiento puramente elástico si no se desfasa ($\delta=0^\circ$), si se desfasa 90° , el comportamiento es líquido puro

($\delta = \frac{\pi}{2}$ radianes), si el desfaseamiento es intermedio entre ambos ($0 < \delta < \frac{\pi}{2}$ radianes), el material se denomina viscoelástico.

Para la preparación de la muestra, se elaboró la masa de la cual se tomaron 10 g de ésta y se cubrió con una película plástica dejándose reposar por una hora a temperatura ambiente (23°C) para asegurar la hidratación de la masa, al término de reposo se realizó la prueba. Las determinaciones se realizó por triplicado y se realizó una regresión de tipo potencial de los módulos G' y G'' en función de la velocidad angular ($G' = a\omega^b$; $G'' = c\omega^d$) para obtener los parámetros a y b , a los parámetros obtenidos se les aplicó la prueba de diferencia de medias Tukey ($\alpha=0.05$) para determinar si existían diferencias significativas entre los parámetros.

2.2.4 Humedad de masas y aperitivos

El contenido total de agua y su distribución dentro de la matriz de masas tiene la mayor repercusión en las propiedades reológicas y de textura de los productos elaborados a partir de ésta (Bello y col., 2002a). La humedad se determinó por pérdida de peso con una termobalanza (MB45, Ohaus, Suiza) utilizando 5g de masa a una temperatura de 150°C. Para esta prueba se preparó la masa, se protegió con una película plástica y se dejó reposar por una hora, la prueba se realizó por triplicado. Para la húmeda de los aperitivos, se prepararon y se empacaron en una bolsa de polietileno, al día siguiente se realizó la prueba, se tomó un aperitivo se trituró y se procedió a la medida de humedad, la prueba se realizó por quintuplicado, a los resultados obtenidos se promediaron y se les calculó el coeficiente de variación (C.V.).

2.2.5 Textura de masas

El análisis de perfil de textura es una prueba imitativa que se puede llevar a cabo con un analizador de textura. En la prueba, se comprime una porción del alimento dos veces en movimientos recíprocos que imitan la acción de la quijada de una persona,

durante la prueba se capturan datos de fuerza, distancia y tiempo. Un ejemplo del tipo de gráfico que se puede obtener se presenta en la Figura 2.2 (Casas y Pardo, 2005).

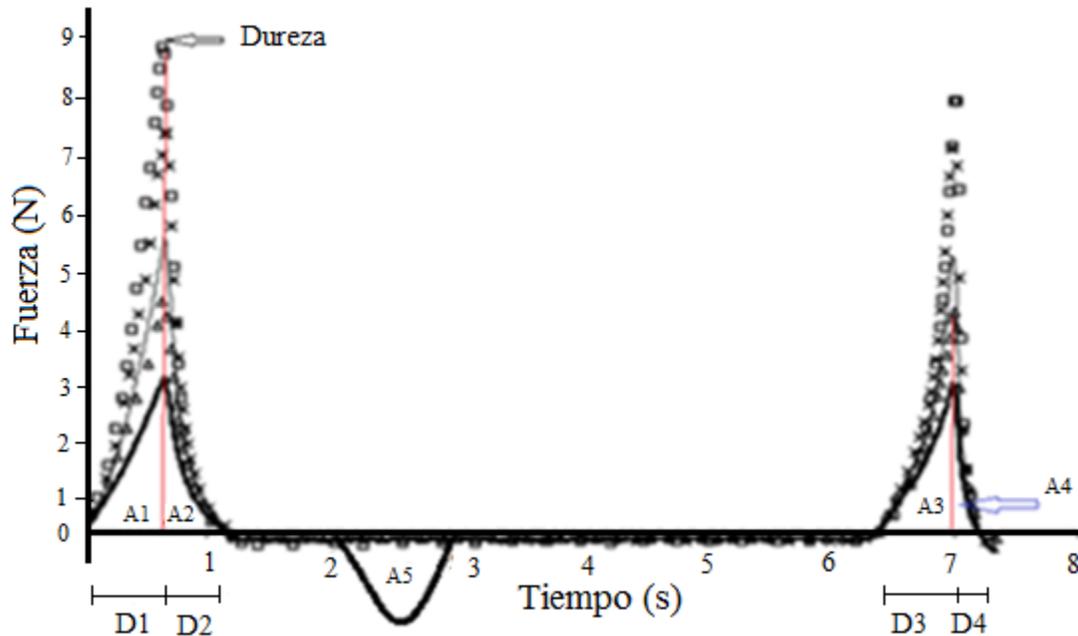


Figura 2.2 Curva de perfil de textura por compresión (Casas y Pardo, 2005).

Los parámetros que se calcularon a partir del gráfico obtenido fueron:

1. Dureza: máxima fuerza registrada durante el primer ciclo de compresión (N).
2. Resiliencia: relación del área de descompresión del primer ciclo sobre el área de compresión del mismo (A_2/A_1) (adimensional).
3. Cohesividad: relación del área de compresión del segundo ciclo entre el área de compresión del primer ciclo (A_3/A_1) (adimensional), se define como la resistencia de los enlaces internos que forman el cuerpo del producto.
5. Elasticidad total: distancia que recupera la muestra entre el término del primer ciclo y el inicio del segundo en relación a la distancia de compresión (D_3/D_1) (adimensional).

6. Elasticidad instantánea: distancia que recupera la muestra durante la descompresión del primer ciclo, con relación a la distancia de compresión (D_2/D_1) (adimensional).

7. Elasticidad retardada: Elasticidad total – Elasticidad instantánea.

Para la textura de la masa se utilizó un texturometro (TAX-T2, Texture Analyser, RU) con celda de carga de 25 kg y una placa de aluminio de 75 mm de diámetro lubricada con aceite vegetal de cártamo por lo que no se calculó la adhesividad. Para moldear la masa, se utilizó un molde de acrílico de geometría cilíndrica con dimensiones internas de 31.1 mm de diámetro y 24.1 mm de altura, se lubricó en su interior con aceite vegetal de cártamo y se colocó sobre una película de polietileno. Se pesaron 35 g de masa, con la que manualmente se formó un cilindro que se introdujo al molde de acrílico presionando para evitar espacios de aire, después se colocó encima de una placa de acrílico y se aplicó presión durante un minuto para estandarizar el empacado de la masa en el molde. El exceso de la masa se retiró con una espátula de acero inoxidable. Se retiró el cilindro de masa del molde, se cubrió con una película plástica y se colocó dentro de una bolsa de polietileno con cierre hermético, donde se dejó reposar por 15 minutos a temperatura ambiente (23°C) para permitir que la masa se relaje después de la manipulación.

Las muestras cilíndricas se comprimieron uniaxialmente 20 y 60% con relación a su altura inicial, con una velocidad de acercamiento, prueba y retirada de 2 mm/s teniendo un tiempo de espera entre dos ciclos de 5 s. La fuerza de contacto fue de 5 g. Los niveles de deformación relativa alrededor de 20% son empleados para manifestar las propiedades elásticas del material, los niveles de compresión hasta 80% permiten evaluar la respuesta de los alimentos a deformaciones altas. La prueba se realizó por quintuplicado, los resultados obtenidos de los parámetros de perfil de

textura se promediaron y se les calculó el coeficiente de variación (C.V.), así mismo se realizó la prueba de diferencia de medias de Tukey ($\alpha=0.05$).

2.2.6 Propiedades físicas de los aperitivos

2.2.6.1 Color

Se considera que el color forma parte de la apariencia de los alimentos, el cual es uno de los atributos en los que se basa la decisión tomada por el consumidor al momento de la compra. El método más utilizado en la industria de alimentos para medición de color es el de colorimetría de triestímulos. El colorímetro de triestímulos consiste en luz blanca proveniente de una fuente de iluminación patrón de la CIE (Internacional Comisión on Illumination), que incide sobre la muestra bajo un ángulo de 0° y es reflejada a un ángulo de 45° (reflexión difusa), o viceversa. La luz reflejada pasa a través de filtros, siendo medida por una fotocélula (Atzingen y Pinto, 2005).

En el sistema de colores CIE-Lab, los valores de luminosidad L^* van de cero (negro) a 100 (blanco), a^* va de una escala verde (-60) a rojo (+60) y b^* va de azul (-60) a amarillo (+60) (Atzingen, y Pinto, 2005, Sharma, 2004).

Es útil conocer la diferencia que existe de un color a otro mediante un valor numérico, la diferencia de la medida numérica entre dos colores se calcula mediante la ΔE , en donde una ΔE amplia entre dos muestras indican que las muestras no tiene similitud en el color, sin embargo pequeñas ΔE sugiere que el color es muy similar al de la muestra.

Las mediciones del color en los aperitivos se llevaron a cabo utilizando un colorímetro (CR-300, Minolta Chroma Meter, Japón) en espacio de color CIE (L , a , b) y a 10 muestras se realizaron 3 mediciones y se les calculó el coeficiente de variación (C.V.). ΔE se calculó mediante la siguiente ecuación (Sharma, 2004).

$$\Delta E = \sqrt{(L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2}$$

Siendo L_1 , a_1 , b_1 la medida de color de la muestra de referencia que en este caso fue la muestra de maíz sin aceite.

2.2.6.2 Grosor y densidad

El grosor de los aperitivos horneados se midió con un Vernier (Mitutoyo, Vernier, Japón) exactitud ± 0.02 mm, a 10 muestras se realizaron cinco mediciones para determinar el grado de expansión del producto. Para los aperitivos fritos, debido a la expansión que sufren durante el proceso se determinó la densidad de la manera siguiente (Juárez y col., 2013).

1. Con la ayuda de una balanza analítica se pesó el aperitivo y se registró la masa del aperitivo.
 2. En una probeta graduada de 500 ml se colocó una pequeña cantidad de semilla de mijo, se introdujo el aperitivo cubierto con una película plástica.
 3. Se cubrió el aperitivo con la semilla verificando que lo esté en su totalidad.
 4. Se llevó a un volumen total de 500 ml. Éste fue considerado el volumen inicial (V_1).
 5. Se sacó el aperitivo con cuidado para no perder volumen y se midió el volumen de la semilla y se registró (V_2). Se calculó la diferencia de volumen ($V_2 - V_1$).
- Finalmente se aplicó la ecuación densidad= masa/volumen, los resultados obtenidos se promediaron y se les calculó el coeficiente de variación en porcentaje (C.V.).

2.2.6.3 Textura

Las pruebas de fractura involucran la deformación del material de alguna forma hasta que se rompa, las deformaciones deben efectuarse en forma controlada de manera que se pueda seguir los cambios en la geometría del alimento. Las características de fractura de un material pueden ser evaluadas por medio de pruebas

de tensión, compresión, doblado o empleando dispositivos adecuados a la forma y tamaño del material. Para provocar la fractura, se deben proporcionar energía para deformar el material, durante la deformación de un material más o menos sólido, el esfuerzo y la deformación son siempre mayores cerca de las zonas no homogéneas; las fracturas se inician cerca o en esta zona. Durante la fractura, estos defectos crecen, se forman nuevas superficies y el material finalmente se separa en dos piezas. Los tipos de fractura son las siguientes (Texture Technologies Corp., 1998):

- Fractura frágil espontánea: hay poca o ninguna deformación plástica antes de la fractura y baja absorción de energía para la fractura (nueces, pasta seca, caramelos duros), la curva fuerza-deformación para la fractura frágil espontánea se presenta en la Figura 2.3a en donde se muestra que la fuerza se incrementa, llegando a un máximo, después la fuerza decae rápidamente.
- Fractura frágil estable: la curva de esta fractura se representa en la Figura 2.4b, en el cual la fuerza aumenta, llegando a un máximo, en este punto se necesita más energía para continuar con la prueba, finalmente el material se fractura.
- Fractura dúctil: hay una importante deformación plástica con alta absorción de energía antes de la fractura. La Figura 2.3c muestra un aumento lento de energía, llegando a un máximo, aquí el material requiere más fuerza para continuar, finalmente la fuerza cae lentamente (Texture Technologies Corp., 1998).

El trabajo de fractura es el área bajo la curva hasta el pico de fractura (a mayor trabajo menos frágil). En la Figura 2.4 a, b, c, d se fracturan a la misma fuerza pero diferente distancia, a es más frágil y más crujiente, d menos frágil y menos quebradizo, dd, e, f, g se fracturan a la misma distancia pero diferente fuerza, g es la más frágil al fracturarse a menor fuerza, dd es la más crujiente; h, i, j, k al tener la misma pendiente son igual de crujientes; k es la más frágil (menor trabajo de fractura) (Texture Technologies Corp., 1998).

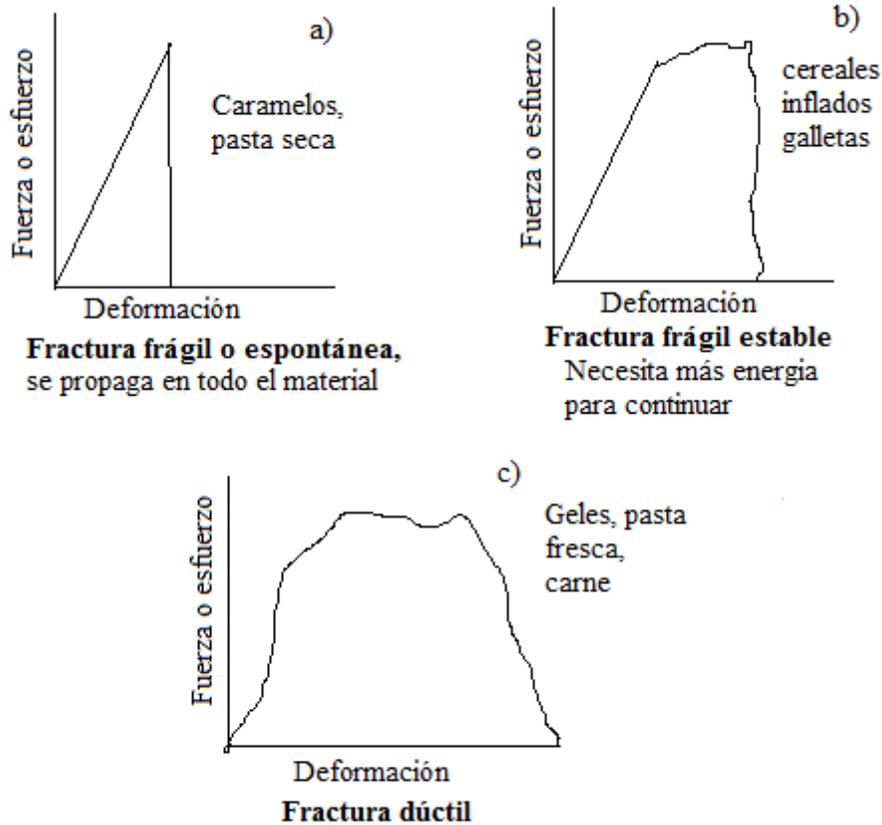


Figura 2.3 Curvas de fractura (Texture Technologies Corp., 1998).

A los aperitivos se les determinó la fuerza de fractura y el valor de la pendiente mediante el uso del texturómetro (TAX-T2, Texture Analyser, Surrey, Reino Unido) con un dispositivo de tres puntos de apoyo y una esfera de 12.7 mm de diámetro como se muestra en la Figura 2.5, la prueba se realizó bajo las condiciones siguientes: fuerza de contacto de 10 g, velocidad de acercamiento y prueba de 2 mm/s, velocidad de retirada 5 mm/s, se midió la distancia y fuerza de fractura (pico más alto), la prueba se realizó a diez muestras de aperitivos por formulación, los resultados obtenidos se promediaron y se les calculó el coeficiente de variación (C.V.), así mismo se realizó la prueba de diferencia de medias de Tukey ($\alpha=0.05$).

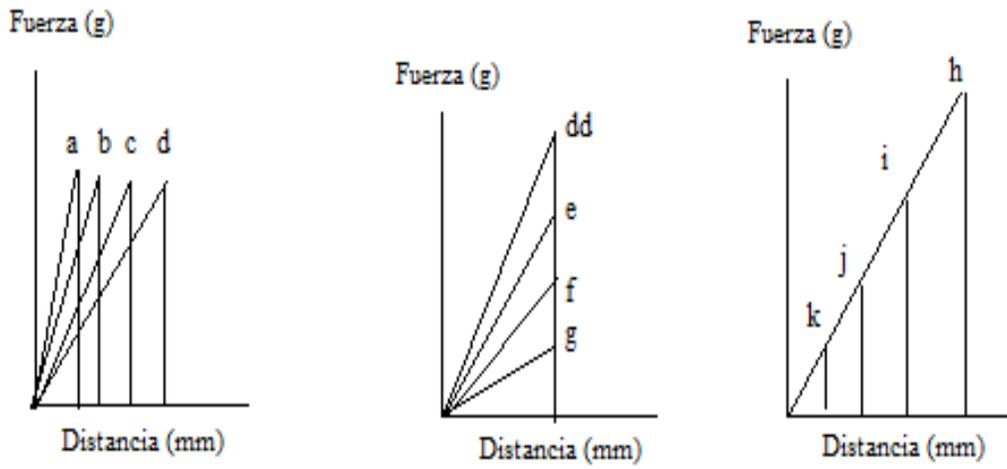


Figura 2.4 Características de fractura (Texture Technologies Corp., 1998).



Figura 2.5 Equipo utilizado para la prueba de textura.

2.2.6.4 Absorción de aceite

El porcentaje de absorción de aceite para los aperitivos fritos se determinó por diferencia de peso y humedad, antes y después de freírse, y se comparó con el peso inicial del aperitivo. Para el porcentaje de aceite se pesaron 5 g de muestra, a la cual se le determinó la humedad con termobalanza (MB45, Ohaus, Suiza) (B1), después se calcularon los gramos de agua contenidos en los 5 g de muestra (C1), finalmente restando los gramos de agua a los 5 g de muestra, se calculó el contenido de sólidos (D1), enseguida se tomaron nuevamente 5 g de muestra del mismo lote de masa, se moldeó, cortó, se realizó el freído, y se dejó escurrir por media hora, al término de esto se pesó (A2), se determinó el contenido de humedad con la misma termobalanza (B2), se calculó el contenido de agua en la fritura (C2) y finalmente se calculó el porcentaje de aceite restándole a la masa después de freír, los sólidos y el agua contenida después de freír, todo esto se dividió entre 5 para obtener el cálculo en porcentaje como se presenta en la Cuadro 2.2. La prueba se realizó por triplicado, los resultados obtenidos se promediaron y se les calculó el coeficiente de variación (C.V.), así mismo se realizó la prueba de diferencia de medias de Tukey ($\alpha=0.05$).

Cuadro 2.2. Cálculo de porcentaje de aceite contenido en las frituras.

Antes de freír				Después de freír			
masa g	% Humedad	Agua g	Sólidos g	masa g	% Humedad	Agua g	% Aceite
5	B1	$C1=5(B1/100)$	$D1=5-C1$	A2	B2	$C2=A2(B2/100)$	$(A2-D1-C2)/5$

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1 Masas

3.1.1 Humedad

La humedad de las masas sin aceite osciló entre valores de 42.5 al 56%, mientras que para las masas con aceite, la humedad se encuentra entre 36.8 y 48.9%. Las masas sin almidón modificado presentaron mayor humedad que las masas que sí lo contenían. La masa que requirió mayor cantidad de agua fue la masa de maíz. Al adicionar frijol, disminuyó la cantidad de agua requerida, y al adicionar el almidón modificado ésta disminuyó aún más, como se muestra en el Cuadro 3.1. El coeficiente de variación (C.V.) fue inferior al 5%, por lo que se considera aceptable la determinación.

Cuadro 3.1 Humedad de masas con y sin aceite.

		Formulación	Agua adicionada (%)	Humedad (%)	C.V. (%)
Horneado	Sin aceite	Maíz	57.4	55.8	0.8
		Maíz-frijol	54.5	56.0	0.3
		Maíz-almidón 15%	45.9	47.5	4.6
		Maíz-frijol-almidón 15%	48.7	46.7	3.2
		Maíz-frijol-almidón 30%	44.4	42.5	0.9
	Con aceite	Maíz	51.1	48.9	0.3
		Maíz-frijol	47.7	47.9	0.5
		Maíz-almidón 15%	37.8	38.0	0.6
		Maíz-frijol-almidón 15%	41	41.3	2.8
		Maíz-frijol-almidón 30%	36.1	36.8	1.1

3.1.2 Reología (cizalla oscilatoria)

En las masas de estudio, la región viscoelástica lineal se encontró entre 0.005 y 0.006% como se muestra en la Figura 3.1, donde se observa la independencia de los módulos de almacenamiento G' (Pa) y pérdida G'' (Pa), en el intervalo de deformación seleccionado.

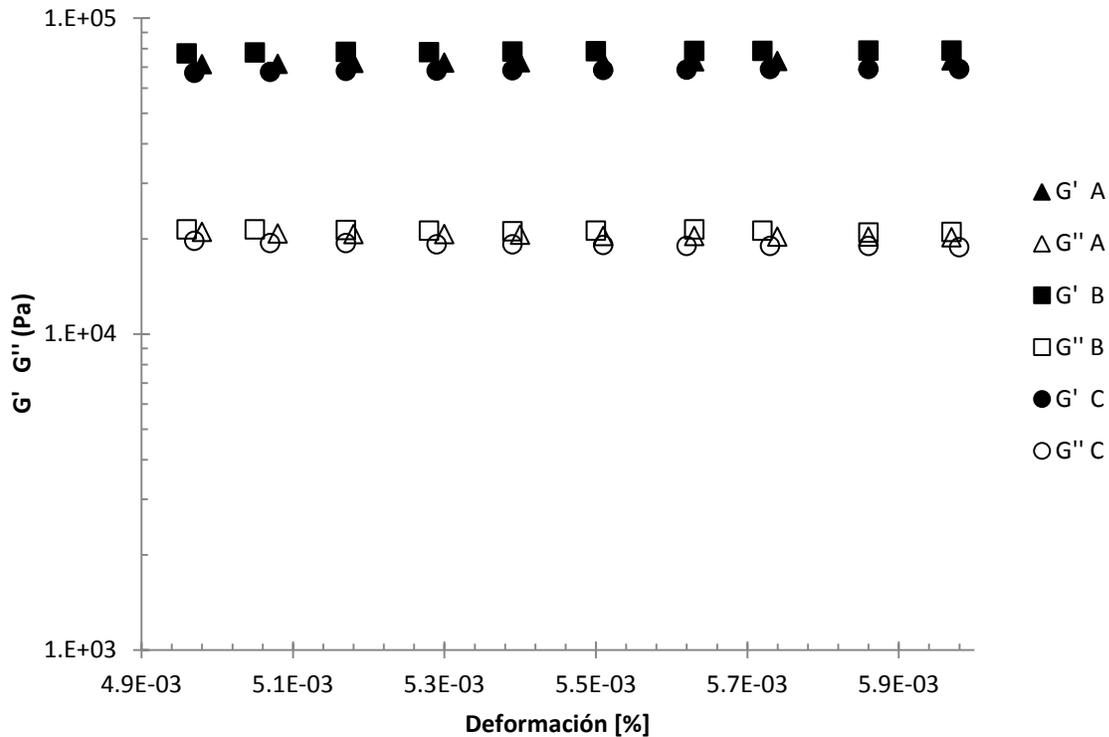


Figura 3.1 Módulo elástico (G') y viscoso (G'') en función de la deformación en la masa de maíz-frijol-almidón 15%, sin aceite (A, B y C réplicas).

La determinación de los módulos se realizó por triplicado, denominadas en el gráfico por las letras mayúsculas A, B, C, y en general se sobreponen los valores. En la Figura 3.2 se muestran los espectros mecánicos representativos para las masas de estudio sin aceite. En el anexo A, se encuentran los espectros con sus réplicas de todas las formulaciones.

En la Figura 3.2 se constata que el módulo elástico G' siempre fue mayor que el módulo viscoso G'' en todo el intervalo de velocidad angular (1 s^{-1}) estudiado. Este comportamiento se observó en todas las masas de estudio y corresponde al de un

material sólido viscoelástico, en el cual parte de la deformación es elástica y recuperable y la otra se disipa en cada ciclo de deformación (Tabilo-Munizaga y Barbosa-Cánovas, 2005).

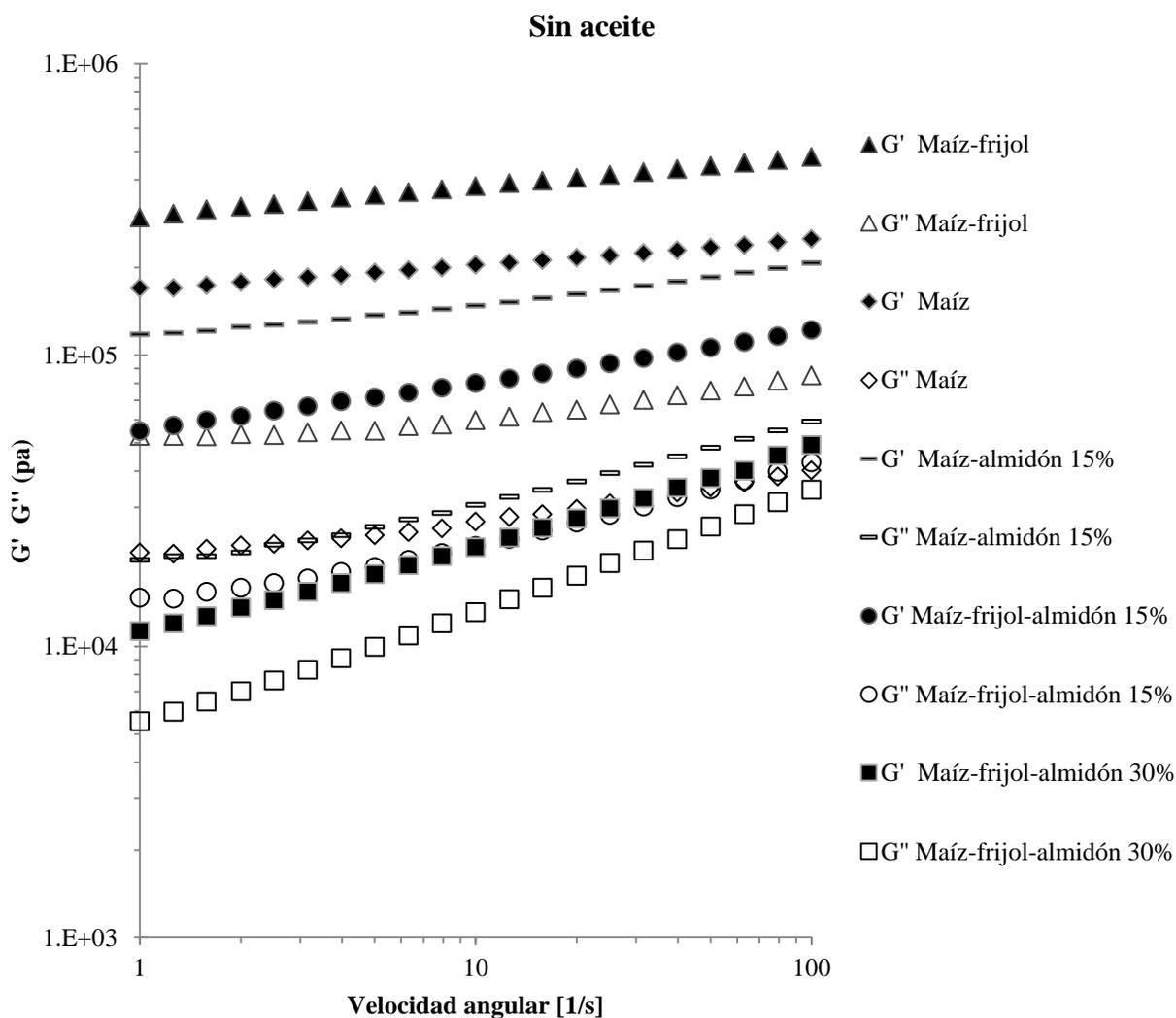


Figura 3.2 Módulo elástico (G') y viscoso (G'') en función de la velocidad angular de las masas estudiadas, sin aceite.

Con la finalidad de comparar las propiedades viscoelásticas, se realizó una regresión de tipo potencial de los módulos con la velocidad angular (ω) ($G' = a\omega^b$; $G'' = c\omega^d$), para obtener los parámetros a , b , c y d . Los resultados se resumen en el Anexo B y en el Cuadro 3.2. En el Anexo B, se pueden observar

coeficientes de variación superiores al 10%, lo que implica valores de desviaciones estándar grandes, característicos de materiales concentrados de estructura compleja y heterogénea, como la masa sin gluten (Juszczak y col., 2012). Por esta razón, se aplicó la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$), cuya finalidad fue comparar los promedios de tratamientos, para determinar si a pesar de los altos coeficientes de variación, había diferencias significativas entre los parámetros del modelo potencia.

Cuadro 3.2 Parámetros de la función potencia de los módulos elástico G' y viscoso G'' con la velocidad angular (1/s), para las masas sin aceite.

Formulación	$G' = a\omega^b$ (kPa)		$G'' = c\omega^d$ (kPa)	
	a (kPa s ^b)	b (-)	c (kPa s ^d)	d (-)
Maíz	186.4 ^b	0.08 ^d	22.2 ^b	0.12 ^c
Maíz-frijol	322.9 ^a	0.10 ^{c,d}	48.7 ^a	0.11 ^c
Maíz-almidón 15%	99.6 ^{b,c}	0.14 ^{b,c}	18.1 ^b	0.24 ^b
Maíz-frijol-almidón 15%	55.2 ^c	0.17 ^b	13.1 ^{b,c}	0.24 ^b
Maíz-frijol-almidón 30%	12.4 ^c	0.28 ^a	5.0 ^c	0.39 ^a

Los valores en cada columna que comparten superíndice son estadísticamente iguales al aplicar la prueba de Tukey con $\alpha=0.05$.

Los valores de G' (evaluados a velocidad angular de 1 s⁻¹) o valores de a , para las muestras sin aceite, oscilaron entre 12.5 y 323 kPa, mientras que los valores de G'' , variaron entre 5 y 49 kPa (Cuadro 3.2). Al comparar los valores de los módulos con los reportados en la literatura científica, para masas de trigo, se pueden encontrar valores menores de G' entre 2.5 y 75.4 kPa y entre 1.2 y 25.2 kPa para G'' (Létang y col., 1999; Magaña-Barajas y col., 2012; Singh y Singh, 2013). Mientras que en masas de harina de arroz, los valores de G' y G'' fueron mayores, de 90 a 500 kPa y de 10 a 80 kPa, respectivamente (Sozer, 2009). En otros estudios en masas sin gluten a base de almidón de maíz, papa y pectina, sin inulina (muestra control), se obtuvieron valores de los módulos mucho menores, G' varió entre 1.5 y 1.6 kPa y entre 0.64 y 0.63 kPa para G'' (Witczak y col., 2012; Juszczak y col., 2012).

En la misma figura también se puede observar que las masas de maíz-frijol presentaron los mayores módulos, lo que es atribuido a la cantidad de proteína presente en el frijol (~25%, Badui, 2006). Además, la mayor absorción de agua se puede atribuir a estas proteínas (globulinas), que por su forma esférica compacta orientan sus grupos hidrófobos hacia adentro y los hidrófilos hacia afuera (Alegret y col., 2004; Badui, 2006; Cheftel y col., 1999). También, se favorecen las interacciones partícula, lo que genera una masa con estructura más rígida provocando el aumento de los módulos G' y G'' , de igual manera a lo reportado por Chen y col. (2008) en una masa fluida a base de harina de trigo y almidón de maíz, donde los módulos G' y G'' aumentaron al adicionar proteína de trigo.

Sin embargo, al adicionar almidón, ambos módulos disminuyeron, sin importar que la masa de maíz sin almidón, presentaba una mayor humedad (57.8 %), al compararla con la masa de maíz con 15% de almidón (47.5%), en donde por efecto de humedad se hubiera esperado menores módulos, como lo reporta Sandoval y col. (2005) en masas de trigo donde los módulos de pérdida y almacenamiento disminuyeron con el incremento del contenido de humedad. De igual manera, a la masa de maíz-frijol cuando se le adicionó almidón en un 15% ó 30%, disminuyeron sus módulos, siendo más importante en la mezcla maíz-frijol con 30% de almidón, presentando el mismo efecto de la humedad.

Este resultado pudiera explicarse porque el almidón céreo modificado, actúa como lubricante evitando interacciones entre partículas proveniente de las harinas, ya que al estar prácticamente libre de amilosa, la amilopectina adicionada no presenta propiedades gelificantes para proporcionar estructura (Vaclavik, 1998). Es por ello que al adicionar almidón céreo modificado, se obtenían módulos menores, en la masa maíz-frijol sin aceite al adicionar 30% almidón, los módulos disminuyeron de 322.9 a 12.4 kPa y con aceite disminuyeron de 240 a 76.8 kPa (evaluados a velocidad angular de 1 s^{-1}).

Al realizar el análisis estadístico en el parámetro a , no se detectaron diferencias significativas entre todas las muestras que contenían almidón modificado, mientras que la formulación de maíz-frijol fue diferente de las otras formulaciones, confirmando el efecto de la proteína del frijol, como se mencionó anteriormente. De igual manera, esta última muestra fue diferente cuando se comparó el parámetro c .

En cuanto a los parámetros b y d , que indican la dependencia con la velocidad angular, en las masas de estudio sin aceite, los valores para G' oscilaron entre 0.08-0.28 y para de G'' de 0.12-0.39. Al compararlos con los reportados en las masas libres de gluten, los valores variaron entre 0.13-0.5 y para de G'' de 0.16-0.22. Por analogía con las soluciones o dispersiones macromoleculares, estos valores se encuentran, entre los de un gel verdadero (0.14-0.37) y una solución concentrada (0.52-0.84) (Steffe, 1996), lo que implica que por el cizallamiento parte de las interacciones entre partículas se pierden y se reacomoda la estructura al incrementar la velocidad angular. Pocos autores que han estudiado la reología de masas reportan la dependencia de G' y G'' con la velocidad angular como una función potencia. Solamente se pueden comparar los valores con los de masas libres de gluten (a base de almidón de maíz, papa y pectina), que como se mencionó anteriormente presentaron menor consistencia. Los parámetros a variaron de 0.83 a 2.41 kPa s ^{b} y los de c variaron de 0.3 a 0.8 kPa s ^{b} (Witczak y col., 2012; Juszczak y col., 2012).

El análisis estadístico de los parámetros adimensionales b y d , mostró que la masa con 30% de almidón modificado era diferente de las demás, tanto para G' como para G'' , como se muestra en el Cuadro 3.2, en donde las formulaciones que tienen la misma letra no presentaron una diferencia significativa. Confirmando el efecto de la adición del almidón modificado, proporcionando una masa con módulos menores y más dependientes de la velocidad angular.

En la Figura 3.3 se muestran los módulos de masas preparados con aceite, se observan nuevamente, mayores módulos en la masa de maíz-frijol y los menores son para la masa de maíz-frijol-almidón 30%.

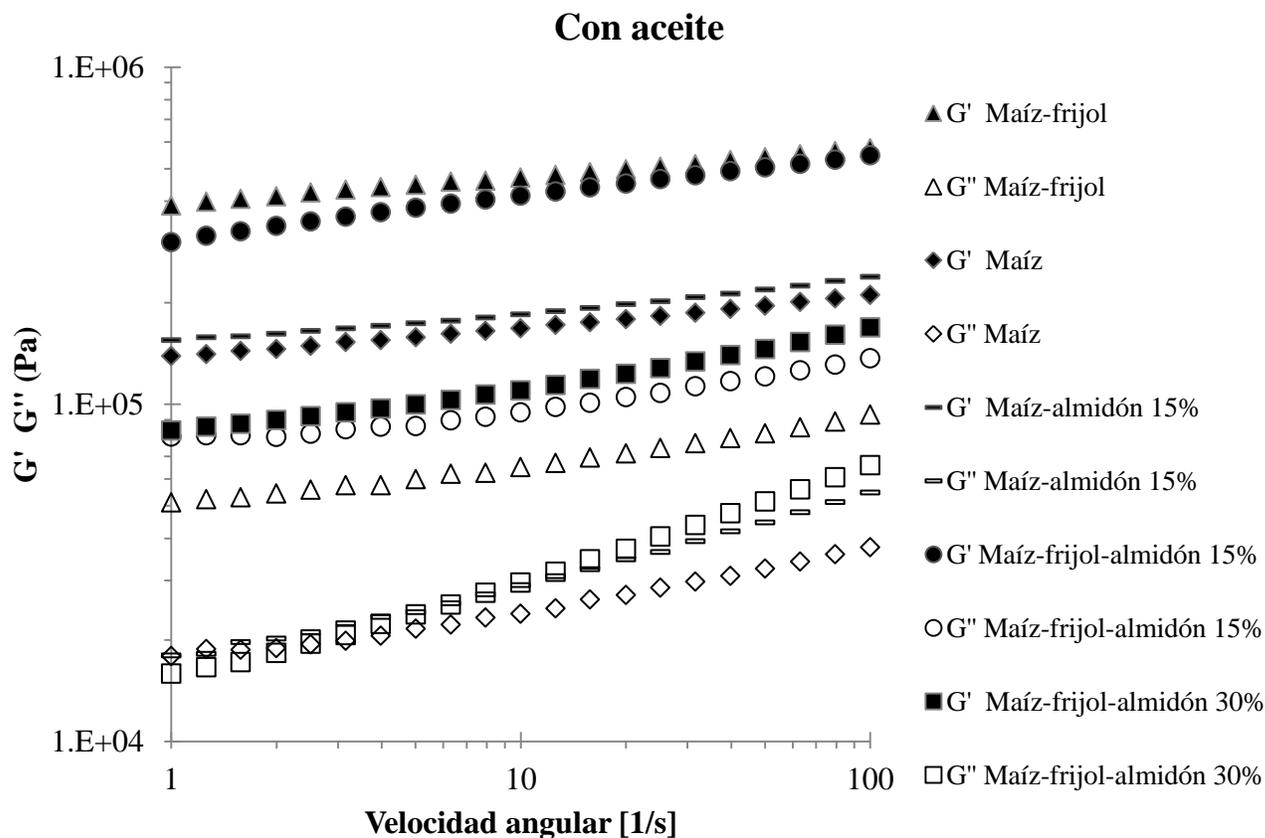


Figura 3.3 Módulo elástico (G') y viscoso (G'') en función de la velocidad angular de las masas estudiadas con aceite.

En el Cuadro 3.3 se muestran los valores de los parámetros a , b , c y d de las masas con aceite. Los valores de G' (evaluados a velocidad angular de 1 s^{-1}) o valores de a y c , de las masas con aceite fueron mayores que las masas sin aceite, solamente para las masas que contenían almidón y oscilaron entre 77 a 400 kPa, mientras que los valores de G'' , variaron entre 15 a 107 kPa. Es importante mencionar que estas masas tienen menor humedad que las masas sin aceite, que pudiera explicar en parte el incremento de los módulos. También se observa que los valores de los parámetros

b y d permanecieron en un intervalo similar (0.08-0.39) al obtenido en las muestras sin aceite. Al realizar la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) para comparar los promedios de tratamientos, de la dependencia de la velocidad angular en G' , en el parámetro a , resultó que cuando se adicionó aceite, las masas con almidón presentaron diferencia entre ellas y las que no presentaron diferencia son la masa sin almidón y la masa de maíz-almidón 15%, sucede lo mismo con G'' . Para el parámetro b , en general no se presentan diferencias entre formulaciones para G' , mientras que para G'' si presentan diferencia el parámetro d , los resultados se muestran en el Cuadro 3.3.

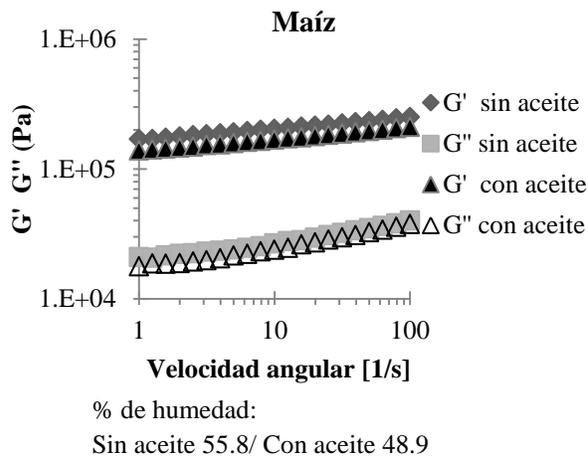
Cuadro 3.3 Parámetros de la función potencia de los módulos elástico G' y viscoso G'' con la velocidad angular (1/s), para las masas con aceite.

Formulación	$G' = a\omega^b$ (kPa)		$G'' = c\omega^d$ (kPa)	
	a (kPa s ^b)	b (-)	c (kPa s ^d)	d (-)
Maíz	144.6 ^{b,c}	0.09 ^a	16.6 ^b	0.19 ^{b,c}
Maíz-frijol	240.4 ^b	0.11 ^b	42.6 ^b	0.12 ^{c,d}
Maíz-almidón 15%	154.9 ^{b,c}	0.09 ^b	17.2 ^b	0.24 ^b
Maíz-frijol-almidón 15%	400.2 ^a	0.09 ^b	106.6 ^a	0.10 ^d
Maíz-frijol-almidón 30%	76.8 ^c	0.16 ^b	15.0 ^b	0.31 ^a

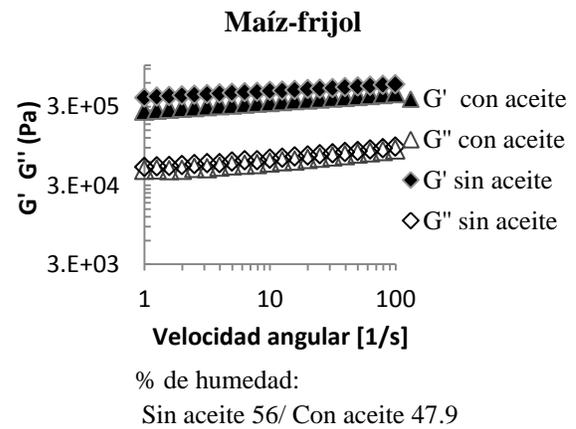
Los valores en cada columna que comparten superíndice son estadísticamente iguales al aplicar la prueba de Tukey con $\alpha=0.05$.

En la Figura 3.4, se comparan los módulos en las masas de estudio con y sin aceite simultáneamente, se puede confirmar que los módulos G' y G'' son mayores para las masas con aceite maíz-frijol-almidón 15% y maíz-frijol-almidón 30%. Por lo que se presupone que el aceite interacciona con el almidón modificado tal como lo describe Vaclavik (1998), en donde se indica que la grasa forma una película alrededor de los gránulos de almidón individuales de manera que cada gránulo se hincha independientemente, por lo que el almidón presente ya no actúa como lubricante entre partículas, proporcionando mayor rigidez a las masas.

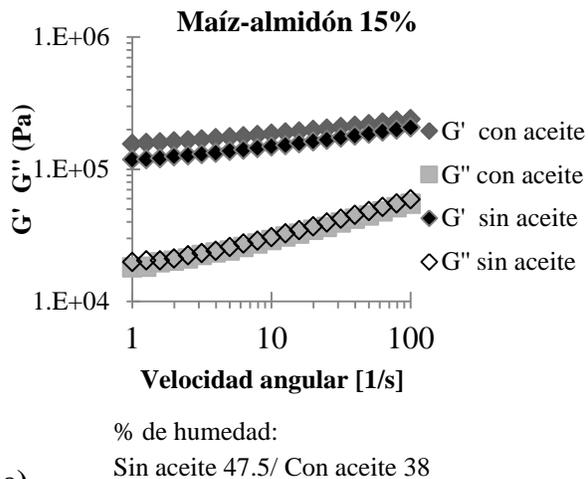
a)



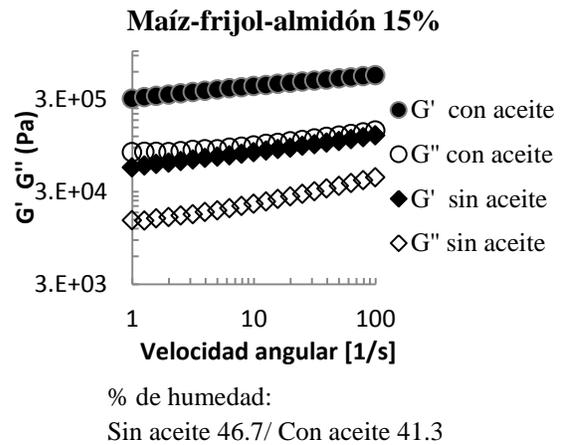
b)



c)



d)



e)

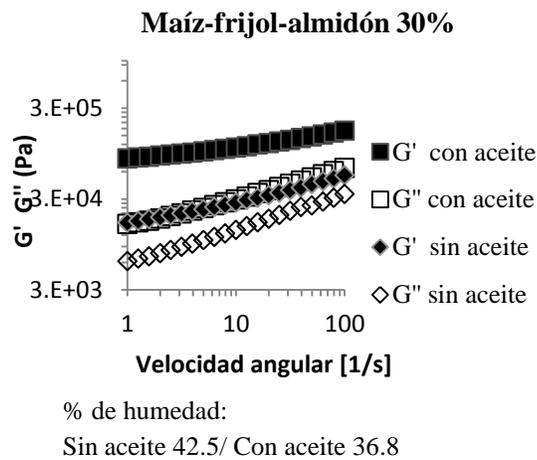


Figura 3.4 Módulo elástico (G') y viscoso (G'') en función de la velocidad angular de las masas de estudio sin y con aceite.

Para comparar las masas cuantitativamente, con y sin aceite, se realizó también un análisis estadístico (prueba de Tukey, $\alpha=0.05$). El análisis mostró que efectivamente las masas que presentaban diferencias significativas son las masas con mayor proporción de almidón (Cuadro 3.4).

Cuadro 3.4 Comparación de los parámetros de la función potencia de los módulos elástico G' y viscoso G'' con la velocidad angular (1/s), para las masas de estudio con y sin aceite.

Formulación	$G' = a\omega^b$ (kPa)		$G'' = c\omega^d$ (kPa)	
	a (kPa s ^b)	b (-)	c (kPa s ^d)	d (-)
Maíz sin aceite	186.4 ^a	0.08 ^a	22.2 ^a	0.12 ^a
Maíz con aceite	144.6 ^a	0.09 ^b	16.6 ^a	0.19 ^a
Maíz-frijol sin aceite	322.9 ^a	0.10 ^a	48.7 ^a	0.11 ^a
Maíz-frijol con aceite	240.4 ^a	0.11 ^a	42.6 ^b	0.12 ^a
Maíz-almidón 15% sin aceite	99.6 ^a	0.14 ^a	18.1 ^a	0.24 ^a
Maíz-almidón 15% con aceite	154.9 ^a	0.09 ^b	17.2 ^a	0.24 ^a
Maíz-frijol-almidón 15% sin aceite	55.2 ^a	0.17 ^a	13.1 ^a	0.24 ^a
Maíz-frijol-almidón 15% con aceite	400.2 ^b	0.09 ^b	106.6 ^b	0.10 ^b
Maíz-frijol-almidón 30% sin aceite	12.4 ^a	0.28 ^a	5.0 ^a	0.31 ^a
Maíz-frijol-almidón 30% con aceite	76.8 ^b	0.16 ^b	15.0 ^b	0.31 ^b

Los valores en cada celda que comparten superíndice son estadísticamente iguales al aplicar la prueba de Tukey con $\alpha=0.05$.

La Figura 3.5 muestra la relación tangente δ ó G''/G' , los valores de la tangente δ para las masas sin aceite, oscilaron entre 0.2-0.5, mientras que para las masas con aceite, variaron entre 0.18-0.75. Al comparar los valores de las masas de estudio con los reportados por diferentes autores, se encontró para masas de trigo valores que oscilaron entre 0.35-0.48, 0.6, 0.3-0.45, dependiendo del estudio (Létang y col., 1999; Magaña-Barajas y col., 2012; Singh y Singh, 2013). Mientras que en masas de harina de arroz, los valores fueron de 0.19-0.3 (Sozer, 2009).

Como se puede observar los valores experimentales así como los reportados en la bibliografía son menores a la unidad, por lo que corresponden a materiales sólidos

viscoelásticos, ya que si el valor de la tangente δ es cercano a cero, el comportamiento que predomina es el sólido. Si los valores son mayores que la unidad, predomina el comportamiento fluido. La tangente δ de las masas que más se acercan a la unidad, son las masas maíz-frijol-almidón 30% con aceite, mientras que las que presentaron valores menores de la tangente δ pertenecen a las masas a base de maíz y maíz-frijol, confirmando el predominio del comportamiento sólido sobre el comportamiento viscoelástico. Este resultado podría implicar que el aceite además de interactuar con el almidón, también está contribuyendo en la magnitud del módulo viscoso.

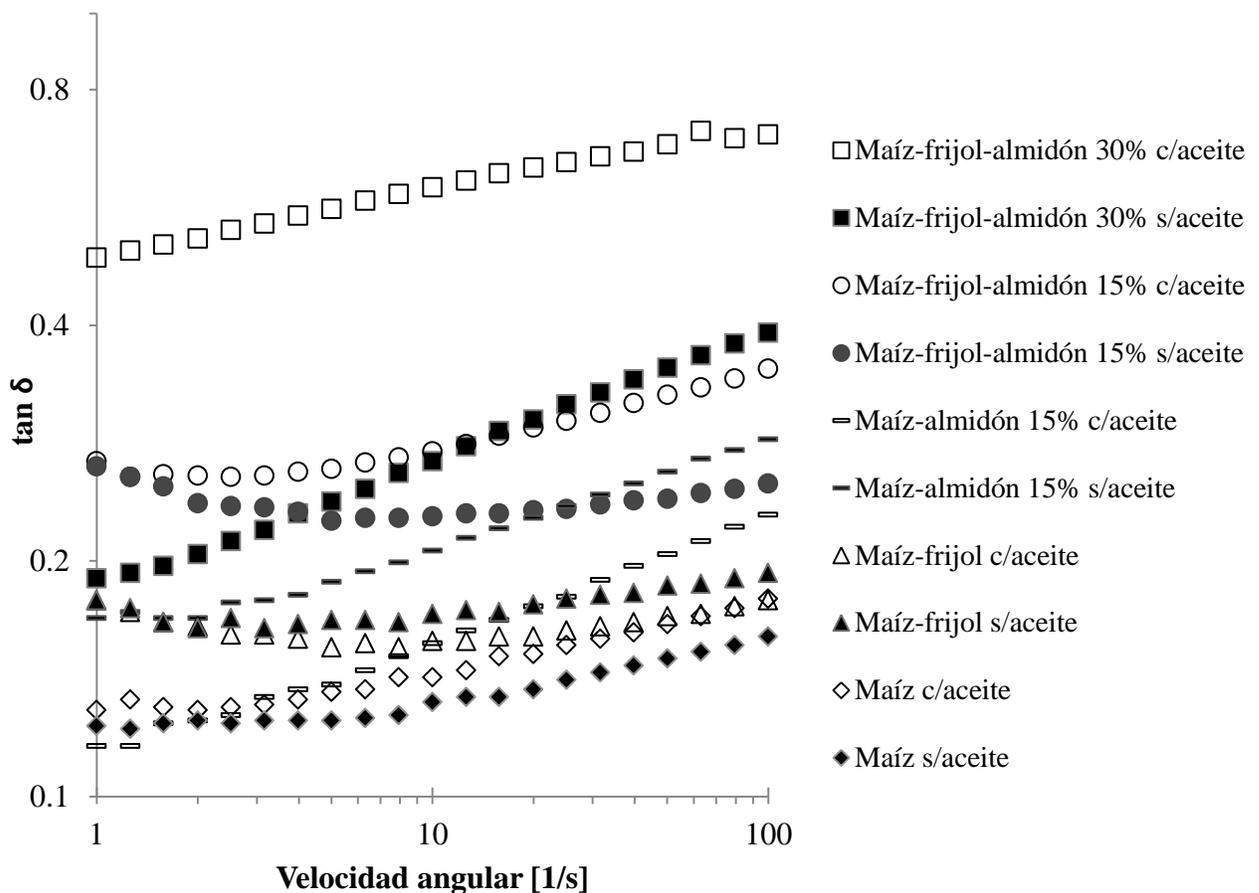


Figura 3.5 Tangente δ o G''/G' en función de la velocidad angular.

3.1.2 Perfil de textura

El perfil de textura a las masas de estudio se realizó por quintuplicado, los valores obtenidos que determinan la textura de la masa se promediaron para cada formulación, a cada parámetro obtenido del perfil de textura se le realizó la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$), la Figura 3.6 muestra las gráficas representativas del perfil de textura de las masas sin aceite a) al 20% de compresión y b) al 60% de compresión. Para la muestra de masas con aceite, se observó un comportamiento similar, por lo que la gráfica se presenta en el Anexo C.

En general, las curvas presentadas en la Figura 3.6 correspondientes al primer y segundo ciclo de compresión, presentaron un aumento de fuerza hasta llegar a un máximo, seguido de una caída de fuerza. La mayor fuerza se registró en el primer ciclo de compresión, siendo mayor para la masa maíz-frijol y la menor para maíz-frijol-almidón 30%. Estos valores corresponden a la dureza de la muestra y son resumidas en los Cuadros 3.5 y 3.6, como se puede observar los coeficientes de variación son mayores al 10% por lo que se aplicó la prueba de Tukey para determinar si había diferencia entre formulaciones. En la misma Figura 3.6 se observa que la pendiente de la primera curva de compresión en el primer ciclo, disminuye conforme aumenta la concentración de almidón modificado; el área correspondiente al segundo ciclo de compresión fue menor que la obtenida en el primero, esto es porque las masas no son totalmente elásticas.

En la Figura 3.6a que corresponde con 20% de compresión, para la curva de maíz-frijol-almidón 30% se observa una gran similitud en el área del primer ciclo con respecto al segundo presentando una alta elasticidad, esta similitud se va perdiendo conforme disminuye la concentración de almidón modificado.

La Figura 3.6b muestra las curvas de perfil de textura con 60% de compresión, se observa que el área bajo la curva es mayor que con 20% de compresión, también se observa que en el segundo ciclo de compresión, las áreas bajo la curva son muy

pequeñas comparadas con las del primer ciclo, por lo que se puede decir que a altos porcentajes de deformación es difícil recuperar la forma original de la masa, porque es menos elástica.

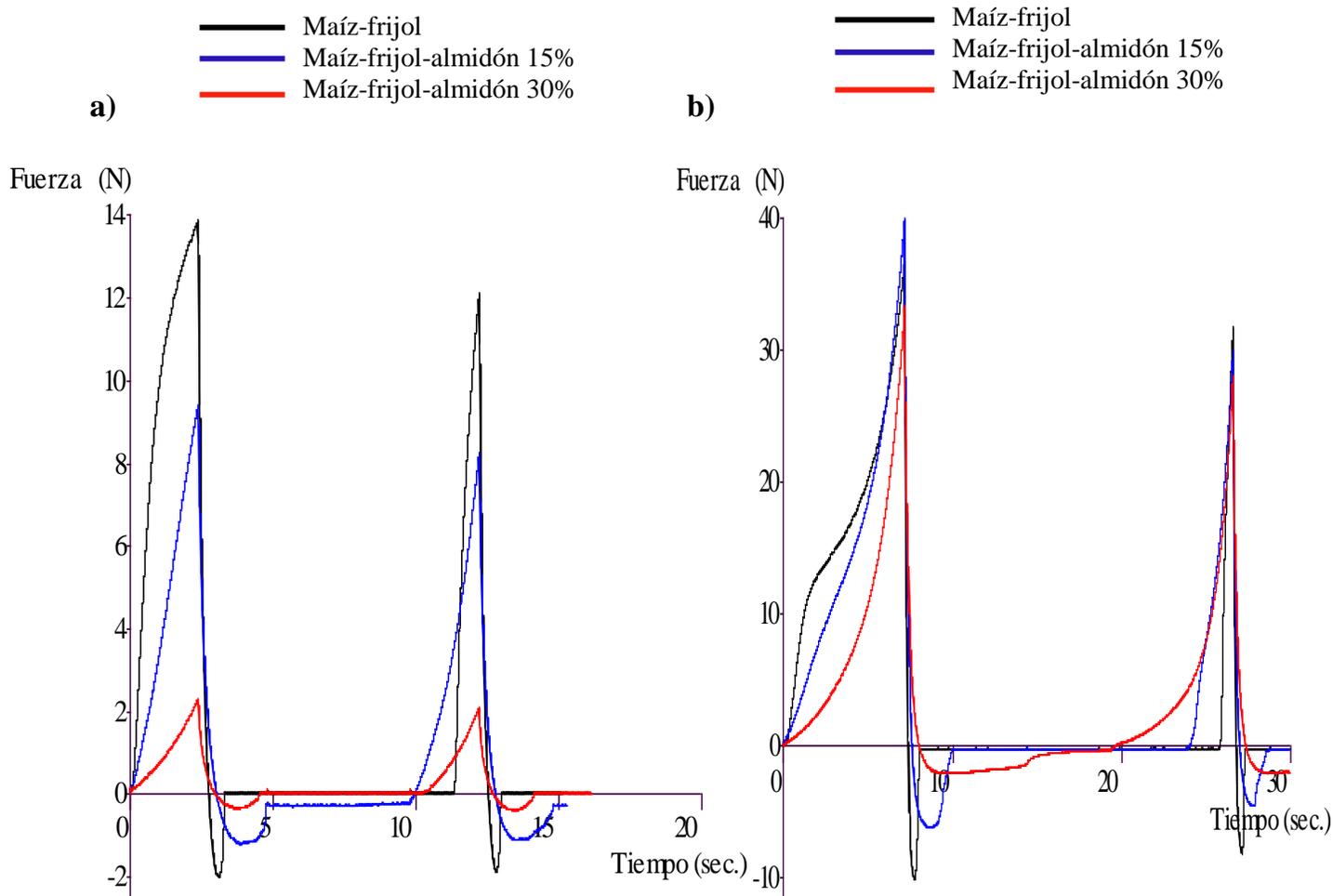


Figura 3.6 Análisis de perfil de textura a) 20% de compresión b) 60% de compresión, de masas maíz-frijol sin aceite.

Cuadro 3.5 Parámetros de perfil de textura de masas maíz-frijol al 20% de compresión con y sin aceite.

	Formulación		Dureza (N)	Elasticidad Instantánea	Elasticidad Retardada	Elasticidad total	Cohesividad
Sin aceite	Maíz	Promedio	30.16^a	0.42^b	0.24^c	0.65^b	0.49^c
		C.V. %	8.15	12.04	7.57	10.24	9.32
	Maíz-frijol	Promedio	16.62^b	0.16^d	0.24^c	0.40^c	0.31^d
		C.V. %	18.19	9.37	5.08	3.89	4.41
	Maíz-almidón 15 %	Promedio	16.43^{a,b}	0.55^a	0.37^b	0.93^a	0.73^{a,b}
		C.V. %	5.98	5.25	10.30	2.75	1.82
	Maíz-frijol-almidón 15%	Promedio	9.53^c	0.28^c	0.64^a	0.92^a	0.66^b
		C.V. %	14.78	6.70	8.05	4.27	5.79
	Maíz-frijol-almidón 30%	Promedio	2.58^d	0.26^c	0.66^a	0.91^a	0.76^a
		C.V. %	0.29	0.13	0.10	0.11	0.10
Con aceite	Maíz	Promedio	25.94^a	0.36^{b,c}	0.26^c	0.62^c	0.45^c
		C.V. %	8.73	6.53	10.34	7.17	3.53
	Maíz-frijol	Promedio	16.40^b	0.17^d	0.26^c	0.43^d	0.31^d
		C.V. %	11.62	12.49	6.91	6.95	5.68
	Maíz-almidón 15 %	Promedio	18.54^c	0.55^a	0.35^b	0.90^a	0.69^a
		C.V. %	7.18	14.13	21.41	1.85	3.16
	Maíz-frijol-almidón 15%	Promedio	11.09^d	0.34^c	0.45^a	0.79^b	0.59^b
		C.V. %	12.15	10.49	7.44	2.94	2.52
	Maíz-frijol-almidón 30%	Promedio	4.28^e	0.44^b	0.43^{a,b}	0.86^a	0.72^a
		C.V. %	8.67	4.67	6.54	1.45	2.05

Los valores en cada columna que comparten superíndice son estadísticamente iguales al aplicar la prueba de Tukey con $\alpha=0.05$.

Cuadro 3.6 Parámetros de perfil de textura de masas maíz-frijol al 60 % de compresión con y sin aceite.

	Formulación		Dureza (N)	Elasticidad instantánea	Elasticidad retardada	Elasticidad total	Cohesividad
Sin aceite	Maíz	Promedio	66.50^c	0.05^a	0.09^c	0.14^c	0.10^c
		C.V. %	7.61	2.77	13.52	8.88	4.84
	Maíz-frijol	Promedio	46.42^d	0.03^b	0.09^c	0.12^c	0.11^c
		C.V. %	6.41	6.63	17.84	13.37	5.33
	Maíz-almidón 15%	Promedio	76.33^a	0.14^{a,c}	0.26^b	0.40^b	0.31^b
		C.V. %	1.60	5.41	12.68	9.90	3.86
	Maíz-frijol-almidón 15%	Promedio	41.52^c	0.06^c	0.27^b	0.33^b	0.28^b
		C.V. %	9.59	3.13	9.53	7.89	7.11
	Maíz-frijol-almidón 30%	Promedio	31.26^b	0.11^d	0.76^a	0.87^a	0.60^a
		C.V. %	18.86	15.87	21.83	17.56	7.74
Con aceite	Maíz	Promedio	66.33^c	0.05^a	0.08^c	0.14^c	0.12^c
		C.V. %	4.26	3.33	3.17	0.71	4.66
	Maíz-frijol	Promedio	46.73^c	0.03^b	0.09^c	0.12^c	0.11^c
		C.V. %	8.01	6.67	31.31	23.43	5.92
	Maíz-almidón 15%	Promedio	94.14^b	0.12^c	0.24^b	0.36^b	0.28^b
		C.V. %	8.93	24.94	22.58	22.03	15.44
	Maíz-frijol-almidón 15%	Promedio	45.76^c	0.03^c	0.10^c	0.13^c	0.11^c
		C.V. %	5.26	7.15	24.88	18.77	1.61
	Maíz-frijol-almidón 30%	Promedio	29.86^a	0.19^d	0.35^a	0.54^a	0.45^a
		C.V. %	0.07	0.05	0.05	0.03	0.02

Los valores en cada columna que comparten superíndice son estadísticamente iguales al aplicar la prueba de Tukey con $\alpha=0.05$.

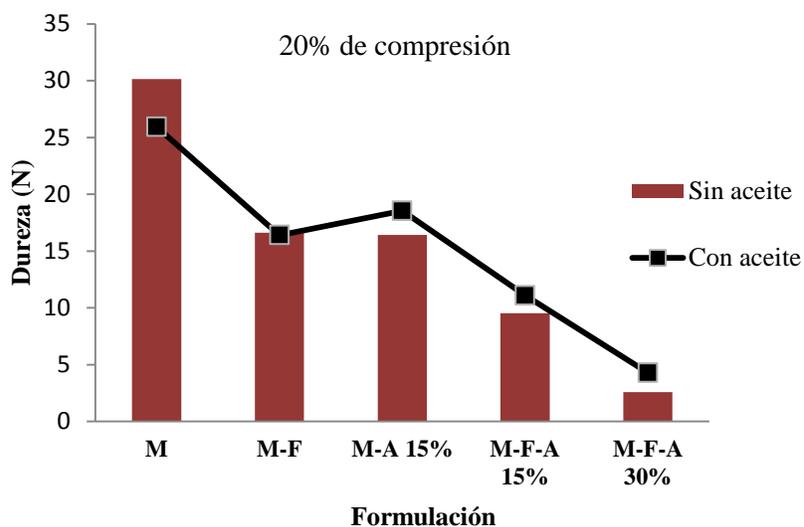
En la Figura 3.7a se graficó la dureza para las masas de estudio tanto con aceite como sin aceite al 20% de compresión, se puede apreciar que la mayor dureza es para la masa a base de harina de maíz y disminuye al adicionar 15% de almidón, lo mismo sucedió cuando a la masa de maíz-frijol se le incorporo 15 y 30% de almidón, siendo estas masas las menos duras, y las que obtuvieron los módulos G' y G'' más bajos. La prueba de Tukey muestra que con 20% de compresión las masas que no presentan diferencias significativas son maíz-frijol y maíz-almidón 15%. Las masas con aceite fueron todas diferentes entre sí, los resultados se presentan en el Cuadro 3.5.

En la Figura 3.7b correspondiente a las masas al 60% de compresión, la mayor fuerza de compresión la presentaron las masas elaboradas a base de sólo maíz y maíz-almidón; la adición de almidón modificado a la mezcla maíz-frijol provocó la disminución de la dureza, las masas que no presentaron diferencias significativas según la prueba de Tukey con 60% por efecto del aceite fueron las masas elaboradas de maíz y de maíz-frijol-almidón 15%, los resultados se presentan en el Cuadro 3.6.

En la Figura 3.7 se grafica la dureza para las masas en estudio, se puede apreciar que en general las masas con aceite son ligeramente más duras, por lo que se infiere que el aceite interacciona con el almidón modificado tal como lo describe Vaclavik (1998), reporta que la grasa forma una película alrededor de los gránulos de almidón individuales de manera que cada gránulo se hincha independientemente, por lo que el almidón ya no actúa como lubricante entre partículas de las proteínas, proporcionando mayor rigidez a la masas. La prueba de Tukey demostró que para una misma formulación con y sin aceite a 20 y 60% de compresión, no presentan diferencias significativas entre ellas, excepto las masas de maíz-almidón 15% y maíz-frijol-almidón 15%, como se muestra en el Cuadro 3.7.

En el Cuadro 3.5 y 3.6 se reportan los parámetros obtenidos del análisis de perfil de textura. La masa que presentó la menor elasticidad total y cohesividad fue la masa maíz-frijol sin almidón modificado, los mayores valores fueron para la masa con 30% de almidón.

a)



b)

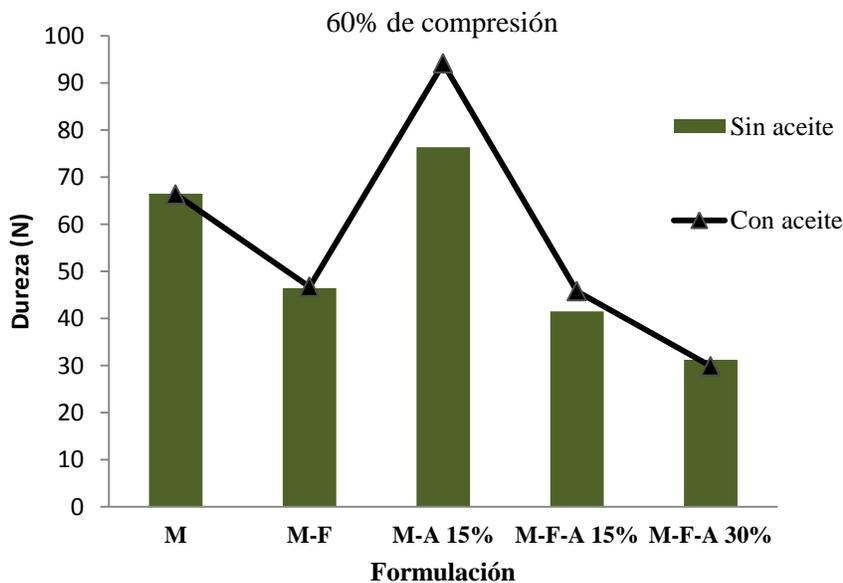


Figura 3.7 Dureza de las masas a diferentes porcentajes de compresión, maíz (M), mezcla con frijol (F) y almidón (A) en determinada proporción.

El análisis de Tukey mostró que con 20% de compresión las masas maíz-frijol con los dos niveles de almidón no presentaron diferencias significativas, al adicionar aceite esa diferencia se pierde, mientras que con 60% de compresión las masas de maíz y maíz-almidón al 15% sin aceite, no presentaron diferencias significativas. Además, las masas de maíz-almidón 15% y maíz-frijol-almidón 15% con aceite, no presentaron diferencias significativas. Los resultados estadísticos se presentan en el Cuadro 3.7.

Cuadro 3.7 Dureza de las masas con y sin aceite.

Formulación	Dureza 20% de compresión	Dureza 60% de compresión
Maíz sin aceite	30.16 ^a	66.50 ^a
Maíz con aceite	25.94 ^a	66.33 ^a
Maíz-frijol sin aceite	16.62 ^a	46.42 ^a
Maíz-frijol con aceite	16.40 ^a	46.73 ^a
Maíz-almidón 15% sin aceite	16.43 ^a	76.33 ^a
Maíz-almidón 15% con aceite	18.54 ^b	94.14 ^b
Maíz-frijol-almidón 15% sin aceite	9.53 ^a	41.52 ^a
Maíz-frijol-almidón 15% con aceite	11.09 ^a	45.76 ^a
Maíz-frijol-almidón 30% sin aceite	2.58 ^a	31.26 ^a
Maíz-frijol-almidón 30% con aceite	4.28 ^b	29.86 ^b

Los valores en cada celda que comparten superíndice son estadísticamente iguales al aplicar la prueba de Tukey con $\alpha=0.05$.

El Cuadro 3.5 muestra que la menor cohesividad para la masa sin aceite al 20% de compresión fue para la de maíz-frijol, por lo que se puede decir que esta masa fue la que obtuvo un menor grado estructural, la mayor cohesividad fue para las masas de maíz-frijol-almidón 30%, con un mayor grado estructural y por tanto enlaces internos más resistentes (Gasca y Casas, 2007), se muestra que las masas de maíz-almidón y maíz-frijol-almidón no presentaron diferencias significativas.

En la Figura 3.8 se graficó la elasticidad instantánea en función de la concentración de almidón, con 20 y 60% de compresión con y sin aceite, se puede apreciar que la mayor elasticidad con 20% de compresión la presentó la masa a base de harina de maíz con 15% de almidón y ésta disminuyó cuando la masa es sólo de harina de maíz y disminuyó aún más cuando la mezcla es de harina de maíz-frijol, pero aumenta con la adición de almidón, al igual que la elasticidad con 60% de compresión, la mayor elasticidad las presentan las masas con almidón.

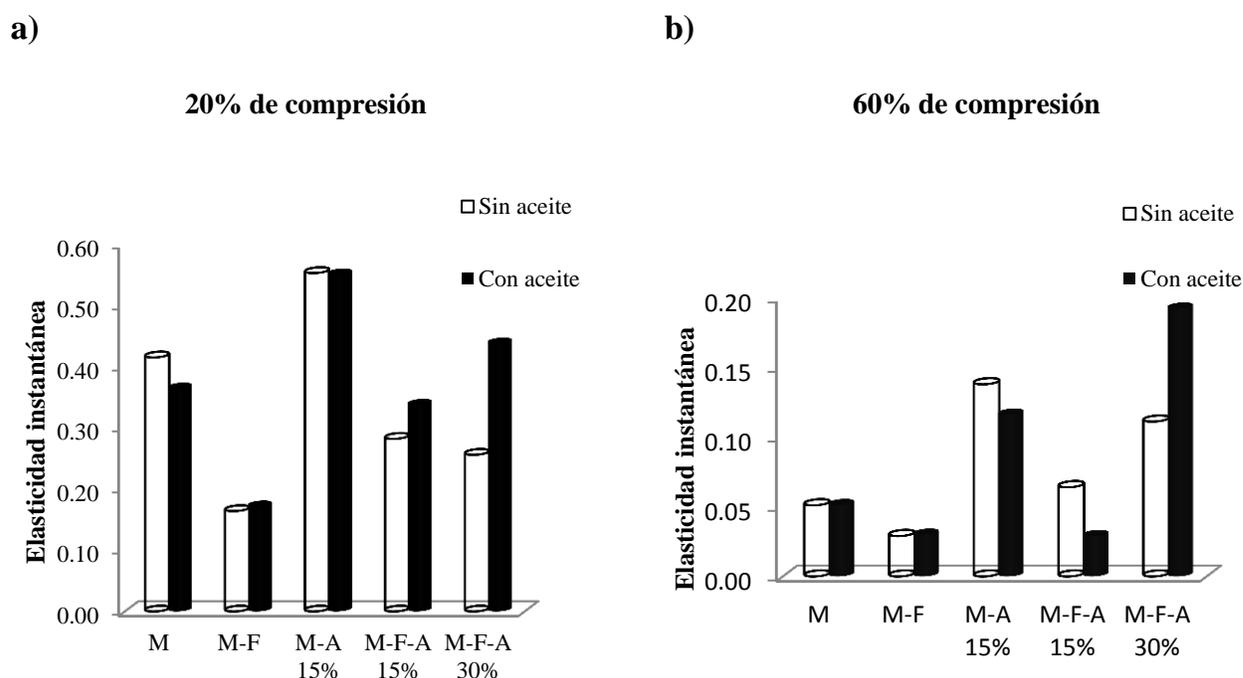


Figura 3.8 Elasticidad instantánea a diferentes porcentajes de compresión de las masas de maíz (M), mezcla con frijol (F) y almidón (A) en determinada proporción.

En la Figura 3.9 se graficó la elasticidad retardada en función de la concentración de almidón al 20 y 60% de compresión con y sin aceite; se observa que en ambos casos la elasticidad es mayor para las masas con maíz-frijol-almidón 15 y 30%, y la de menos elasticidad son las masas de maíz y maíz-frijol, el análisis de Tukey muestra que al 20% de compresión sin aceite las masas con mayor contenido de

almidón no presentan diferencias significativas, y las masas de maíz y maíz-frijol no presentan diferencias significativas, con aceite se muestra la misma tendencia; con 60% de compresión las de maíz y maíz-frijol no presentaron diferencias significativas con y sin aceite, como lo muestra el Cuadro 3.6.

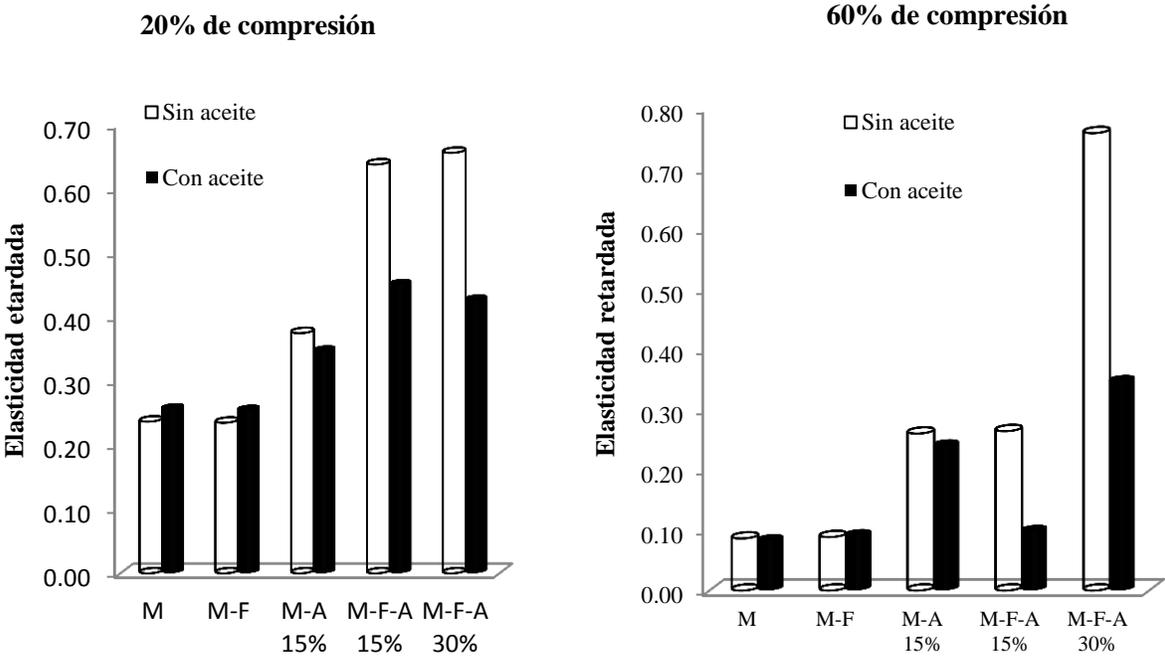


Figura 3.9 Elasticidad retardada a diferentes porcentajes de compresión de las masas de maíz (M), mezcla con frijol (F) y almidón (A) en determinada proporción.

La Figura 3.10 (a,b) presenta la elasticidad total de las masas de estudio al 20 y 60% de compresión respectivamente, la Figura de 3.10a muestra que la mayor elasticidad es para las masas que contienen almidón, sin presentar diferencia entre ellas, esto se explica debido a la adición de almidón modificado que se encuentra en ausencia de amilosa los gránulos producen un acercamiento compacto, debido a que los gránulos individuales interactúan pegándose y apretándose unos con otros afectando al carácter elástico de las masas, tal y como lo explica Arias-Balderas y col. (2008), sin

embargo una masa con alta elasticidad dificulta su manipulación ya que es más difícil moldearla y procesarla (Mancera y Casas, 2007). Mientras que la menor elasticidad la presentaron las masas sin almidón, con 60% de compresión (Figura 3.10b) la elasticidad muestra la misma tendencia que con 20% de compresión, pero la que tiene mayor elasticidad es para la masa con mayor porcentaje de almidón. La prueba de Tukey muestra que al 20% de compresión sin aceite, las masas con almidón no presentaron diferencias significativas en la elasticidad total (Cuadro 3.5). Al 60% de compresión las masas de maíz y maíz-frijol, no presentaron diferencias significativas con y sin aceite (Cuadro 3.6).

El Cuadro 3.8 presenta los valores de la elasticidad instantánea, retardada, total y cohesividad para cada formulación con y sin aceite. Se puede observar que la adición de aceite a la masa solamente produjo diferencias significativas en las masas con maíz-frijol-almidón.

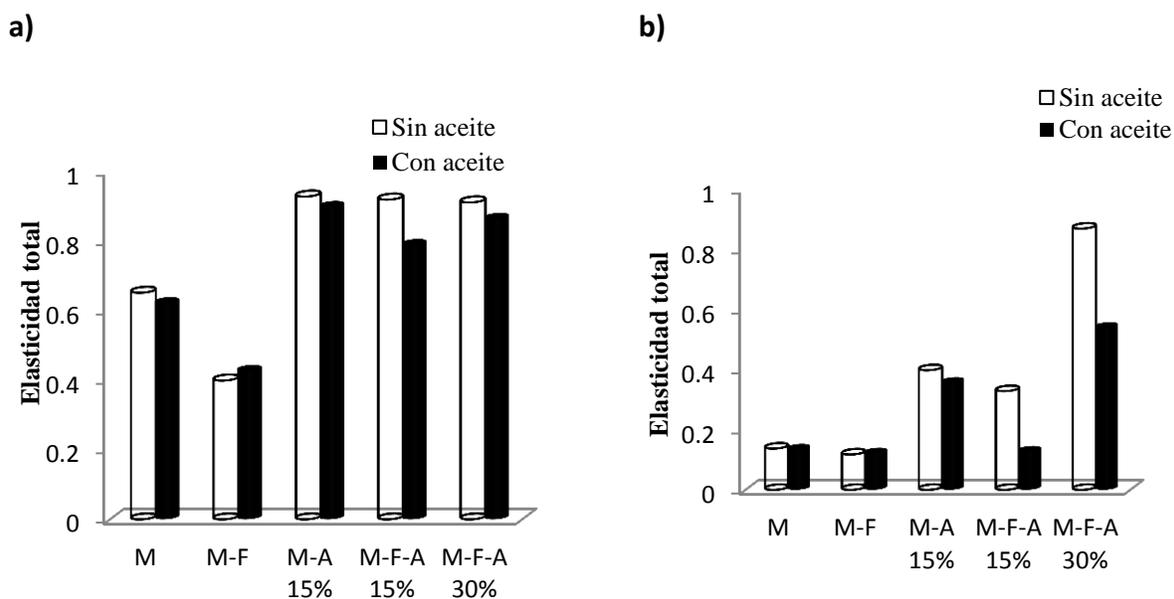


Figura 3.10 Elasticidad total de las masas de maíz (M), mezcla con frijol (F) y almidón (A) en determinada proporción, a) 20% de compresión, b) 60% de compresión.

Cuadro 3.8 Comparación para la elasticidad instantánea, elasticidad retardada, elasticidad total y cohesividad de las masas con y sin aceite.

Formulación	Elasticidad instantánea 20% C.	Elasticidad instantánea 60% C.	Elasticidad retardada 20% C.	Elasticidad retardada 60% C.	Elasticidad total 20% C.	Elasticidad total 60% C.	Cohesividad 20%.	Cohesividad 60% C.
M sin aceite	0.42 ^a	0.05 ^a	0.24 ^a	0.09 ^a	0.65 ^a	0.14 ^a	0.49 ^a	0.10 ^a
M con aceite	0.36 ^a	0.05 ^a	0.26 ^a	0.08 ^a	0.62 ^a	0.14 ^a	0.45 ^a	0.12 ^a
M-F sin aceite	0.16 ^a	0.03 ^a	0.24 ^a	0.09 ^a	0.40 ^a	0.12 ^a	0.31 ^a	0.11 ^a
M-F con aceite	0.17 ^a	0.03 ^a	0.26 ^b	0.09 ^a	0.43 ^a	0.12 ^a	0.31 ^a	0.11 ^a
M-A 15% sin aceite	0.55 ^a	0.14 ^a	0.37 ^a	0.26 ^a	0.93 ^a	0.40 ^a	0.73 ^a	0.31 ^a
M-A 15% con aceite	0.55 ^a	0.12 ^a	0.35 ^a	0.24 ^a	0.90 ^a	0.36 ^a	0.69 ^b	0.28 ^a
M-F-A 15% sin aceite	0.28 ^a	0.06 ^a	0.64 ^a	0.27 ^a	0.92 ^a	0.33 ^a	0.66 ^a	0.28 ^a
M-FA 15% con aceite	0.34 ^b	0.03 ^b	0.45 ^b	0.10 ^b	0.79 ^b	0.13 ^b	0.59 ^b	0.11 ^b
M-F-A 30% sin aceite	0.26 ^a	0.11 ^a	0.66 ^a	0.76 ^a	0.91 ^a	0.87 ^a	0.76 ^a	0.60 ^a
M-F-A 30% con aceite	0.44 ^b	0.19 ^b	0.43 ^b	0.35 ^b	0.86 ^a	0.54 ^b	0.72 ^a	0.45 ^b

Los valores en cada celda que comparten superíndice son estadísticamente iguales al aplicar la prueba de Tukey con $\alpha=0.05$.

3.2 Aperitivos

3.2.1 Humedad

El Cuadro 3.9 muestra los valores obtenidos de humedad de aperitivos horneados y fritos, como se puede observar para aperitivos horneados la humedad varió entre 1.9 y 2.1%, mientras que para los aperitivos fritos varió entre 0.7 y 6.7%. En general los valores de humedad son bajos, similares a los reportados por Figueroa y col. (2010) en totopos a base de maíz-frijol (1.1-5.6% de humedad).

Es importante mencionar que la masa de maíz-frijol no se pudo freír debido a que esta mezcla en el perfil de textura fue la que presentó la menor cohesividad (Cuadro 3.5) y por tanto un menor grado estructural, y al sumergirla en aceite se desmoronaba la lámina formada, por esta razón no se determinaron sus propiedades.

Cuadro 3.9 Humedad de aperitivos horneados y fritos.

		Formulación	Humedad (%)	C.V. (%)
Horneado	Sin aceite	Maíz	2.0	6.4
		Maíz-frijol	1.9	6.2
		Maíz-almidón 15%	1.9	8.5
		Maíz-frijol-almidón 15%	1.9	8.4
		Maíz-frijol-almidón 30%Maíz	2.1	8.2
	Con aceite	Maíz	2.1	2.5
		Maíz-frijol	2.1	6.7
		Maíz-almidón 15%	2.0	8.4
		Maíz-frijol-almidón 15%	2.0	8.9
		Maíz-frijol-almidón 30%	2.1	6.5
Freído	Sin aceite	Maíz	0.7	6.2
		Maíz-frijol	-	-
		Maíz-almidón 15%	2.2	0.6
		Maíz-frijol-almidón 15%	1.5	7.3
		Maíz-frijol-almidón 30%	6.7	6.4

3.2.2 Grosor y densidad

El grosor de los aperitivos horneados en general se encuentra en un intervalo de 2.2 a 3.5 mm, siendo mayor para los aperitivos maíz-frijol-almidón, la incorporación de aceite, no refleja una variación considerable de grosor (Cuadro 3.10).

Las Figuras 3.11 y 3.12 muestran los aperitivos obtenidos del proceso de freído y horneado, como se puede observar los productos obtenidos son diferentes entre sí, y presentan superficies rugosas, lo que dificultó obtener mediciones con buena repetibilidad, es por ello que a lo largo del presente trabajo se encontrarán coeficientes de variación mayores al 10%, valores característicos de productos de estructura no homogénea, como los obtenidos en productos de estructura similar como buñuelos, papas fritas y aperitivos extruidos de harina de maíz y trigo (Moreno y col., 2012; Kayacier y Singh, 2013; Paula y Conti-Silva, 2014).

Sólo a los aperitivos fritos que sufrieron una expansión se les midió la densidad (Cuadro 3.11), los coeficientes de variación son mayores al 10%, debido a que los aperitivos obtenidos, no presentan una forma uniforme como se observó en la Figura 3.11.

La menor densidad fue para el aperitivo maíz-frijol-almidón 30%, seguido del aperitivo maíz-almidón 15%, a su vez las masas de estos aperitivos presentaron en el perfil de textura mayor cohesividad por tanto una mayor grado estructural y por consecuencia una mayor expansión durante el proceso.



Figura 3.11 Aperitivos de maíz-frijol-almidón 15%, obtenidos del freído.



Figura 3.12 Aperitivos de maíz-frijol-almidón 15%, obtenidos del horneado.

Cuadro 3.10 Grosor de los aperitivos horneados.

		Formulación	Grosor (mm)	C.V. (%)
		Horneado	Sin aceite	Maíz
Maíz-frijol	2.3			5.6
Maíz-almidón 15%	2.6			5.6
Maíz-frijol-almidón 15%	2.6			6.0
Maíz-frijol-almidón 30%	3.5			10.0
Con aceite	Maíz		2.5	4.4
	Maíz-frijol		2.3	9.4
	Maíz-almidón 15%		2.7	4.4
	Maíz-frijol-almidón 15%		2.5	7.2
	Maíz-frijol-almidón 30%		3.5	8.6

Cuadro 3.11 Densidad de los aperitivos fritos.

		Formulación	ρ (g/cm ³)	C.V. (%)
Frito		Maíz	0.30	15.2
		Maíz-frijol	-	-
		Maíz-almidón 15%	0.27	10.8
		Maíz-frijol-almidón 15%	0.29	14.2
		Maíz-frijol-almidón 30%	0.22	14.2

3.2.3 Color

El Cuadro 3.12 muestra los valores de ΔE para aperitivos horneados y fritos, los aperitivos que presentaron un menor ΔE son los elaborados de maíz, seguidos de los de maíz-almidón, lo que significa que tiene el color más parecido a la muestra de referencia (maíz sin aceite), los aperitivos con mayor ΔE pertenecen a los aperitivos de maíz-frijol, que son los que menos tienen parecido el color, esto debido a que el frijol usado para este estudio fue de color negro y al elaborar el aperitivo presentó un color marrón, el almidón atenúa la diferencia de color causada por la presencia de frijol.

Cuadro 3.12 Valores de ΔE de aperitivos horneados y fritos.

		Componente	ΔE	C.V. (%)
Horneado	Sin aceite	Maíz	Referencia	
		Maíz-frijol	26.0	8.1
		Maíz-almidón 15%	11.1	12.5
		Maíz-frijol-almidón 15%	13.9	12.5
		Maíz-frijol-almidón 30%	11.5	12.4
Horneado	Con aceite	Maíz	3.5	11.7
		Maíz-frijol	27.3	7.4
		Maíz-almidón 15%	7.1	12.4
		Maíz-frijol-almidón 15%	17.8	6.5
		Maíz-frijol-almidón 30%	12.0	9.7
Freído	Sin aceite	Maíz	3.4	13.9
		Maíz-frijol	-	-
		Maíz-almidón 15%	4.0	11.5
		Maíz-frijol-almidón 15%	21.6	10.7
		Maíz-frijol-almidón 30%	18.9	12.6

3.2.4 Fuerza de fractura de aperitivos

La Figura 3.13 muestra las curvas de fractura de aperitivos fritos, puede observarse que las curvas muestran desde el inicio pequeños picos que corresponden a pequeñas fracturas, para posteriormente presentar un pico máximo que corresponde con la ruptura y se identificará como fuerza de fractura.

Este comportamiento se atribuye a la forma geométrica irregular y composición heterogénea característica de estos productos.

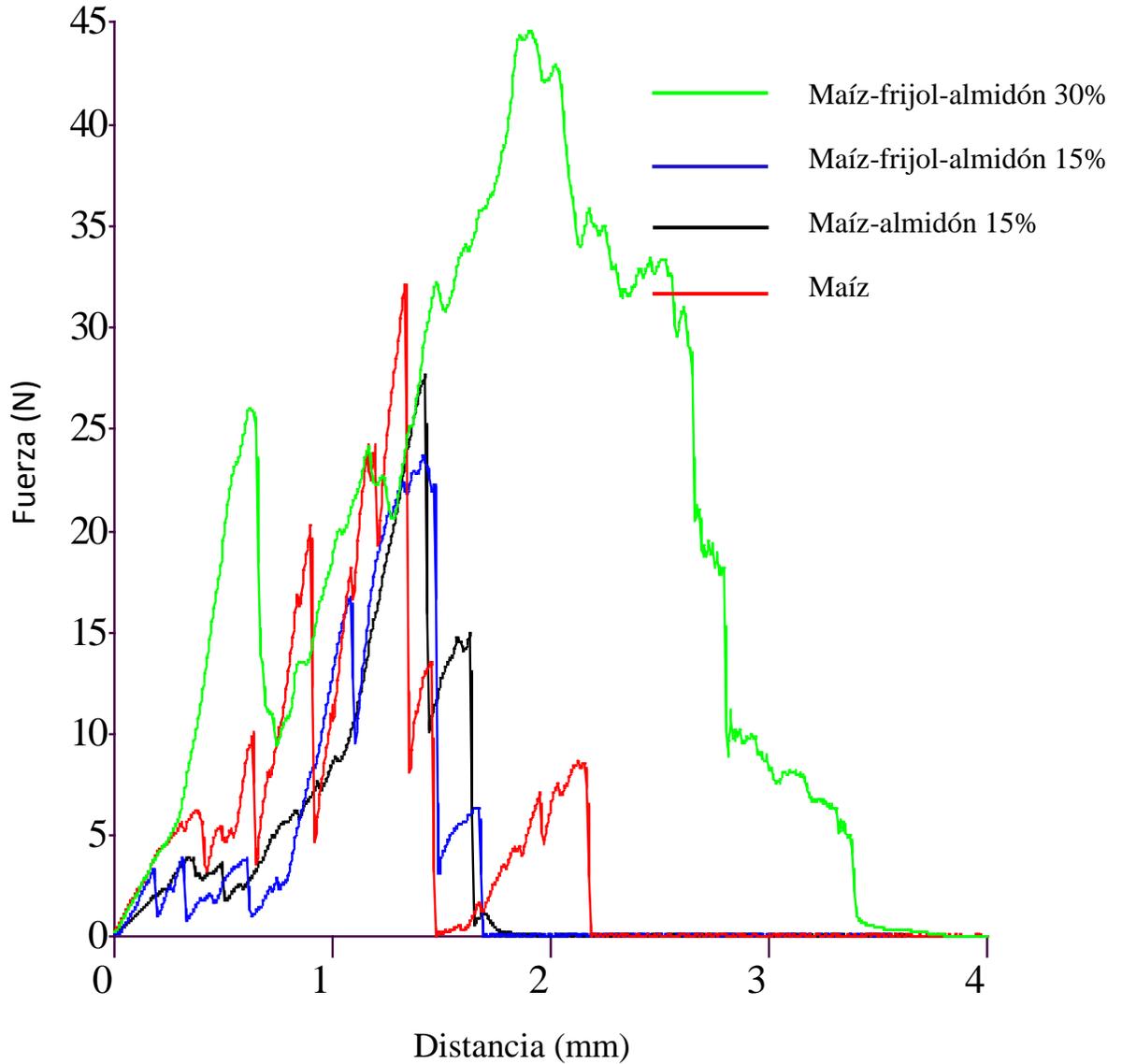


Figura 3.13 Resultados de la prueba de fractura para aperitivos fritos.

Como se puede observar en el Cuadro 3.13, los coeficientes de variación son mayores al 10% debido a que el material no es homogéneo, como se mencionó anteriormente, es por ello que al igual que en las pruebas reológicas se realizó la prueba de Tukey para saber si había diferencia entre formulaciones.

El aperitivo que presentó mayor fuerza de fractura fue el elaborado a base de maíz-frijol-almidón 30%, lo que es atribuido a la alta concentración de almidón y al alto

porcentaje de humedad (Cuadro 3.9), seguido del aperitivo a base de maíz y finalmente los aperitivos de maíz-frijol-almidón 15% y maíz-almidón 15%, sin embargo la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) no mostró diferencias significativas entre formulaciones (Cuadro 3.13), lo cual se puede atribuir a la mayor dispersión de datos debido a la naturaleza heterogénea del material. Los resultados se resumen en el Cuadro 3.13.

Cuadro 3.13 Fuerza de fractura de aperitivos fritos

Formulación	Fuerza de fractura (N)	C.V. (%)
Maíz	30.6 ^a	25.5
Maíz-frijol	-	-
Maíz-almidón 15%	25.8 ^a	28
Maíz-frijol-almidón 15%	23.0 ^a	16.7
Maíz-frijol-almidón 30%	46.1 ^a	13.6

Los valores en la columna que comparten superíndice son Estadísticamente iguales al aplicar la prueba de Tukey con $\alpha=0.05$.

La Figura 3.14 presenta las curvas de fractura de los aperitivos horneados sin aceite, se puede observar que las curvas mostraron una fractura frágil o espontánea (sólo presentaron un pico máximo) y que son diferentes a las de los aperitivos fritos, ya que éstos presentaron varios picos. El aperitivo que requirió mayor fuerza de fractura es el que corresponde a la mezcla de maíz-almidón al 15%. El aperitivo que requirió menor fuerza de fractura, por lo tanto el menos duro, fue el aperitivo elaborado a base de maíz-frijol, que es en proporción la formulación que contiene más frijol (50-50%; Cuadro 2.1).

En un estudio en totopos a base de maíz-frijol realizado por Figueroa y col. (2010) concluyeron que al agregar mayor concentración de frijol, el totopo se hacía más quebradizo lo que concuerda con los resultados de esta investigación.

Es importante mencionar que al combinar las harinas se obtenía una mezcla heterogénea, ya que la harina de frijol presentaba una distribución de tamaño de partícula mayor, entre las que se observaban visualmente polvo fino y restos de partículas grandes de frijol. Por esta razón, la disminución de la fuerza de fractura, puede ser atribuida a la presencia de partículas grandes de frijol, tal y como lo menciona Carvalho y col. (2010) en un estudio del efecto del tamaño de partícula de la harina de maíz en productos extruidos-expandidos.

La Figura 3.14 muestra las curvas de fractura de los aperitivos horneados con aceite, las cuales presentaron menor fuerza de fractura que los aperitivos sin aceite, esto se explica debido a que la grasa juega un papel crucial en la textura de los alimentos y en particular en los alimentos sólidos, ya que su efecto depende de las propiedades físico-químicas de la grasa o aceite agregado, y del grado de interacción que tienen con la matriz del alimento (Marshall, 1990). La disminución de la fuerza de fractura puede atribuirse a que el aceite disminuye el proceso de retrogradación de la amilosa presente, es decir la grasa impide que se formen zonas con una organización cristalina y rígida en los productos horneados (Germani y col., 1983).

También en la Figura 3.14 se observa que el aperitivo con mayor fuerza de fractura es el elaborado a base de maíz-almidón 15% y el de menor corresponde al de maíz-frijol, presentando una fractura dúctil. Para este caso la prueba de Tukey muestra que si existen diferencias significativas entre formulaciones (Cuadro 3.14).

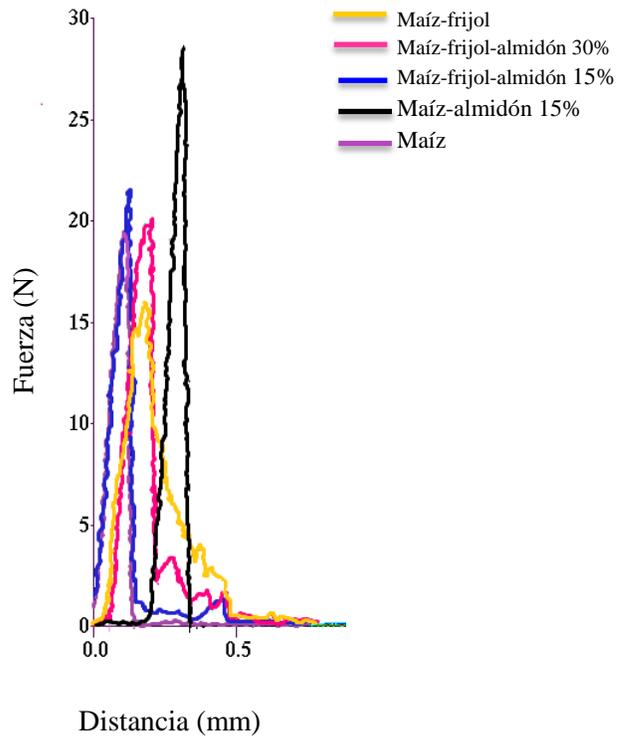


Figura 3.14 Resultados de la prueba de fractura para aperitivos horneados sin aceite.

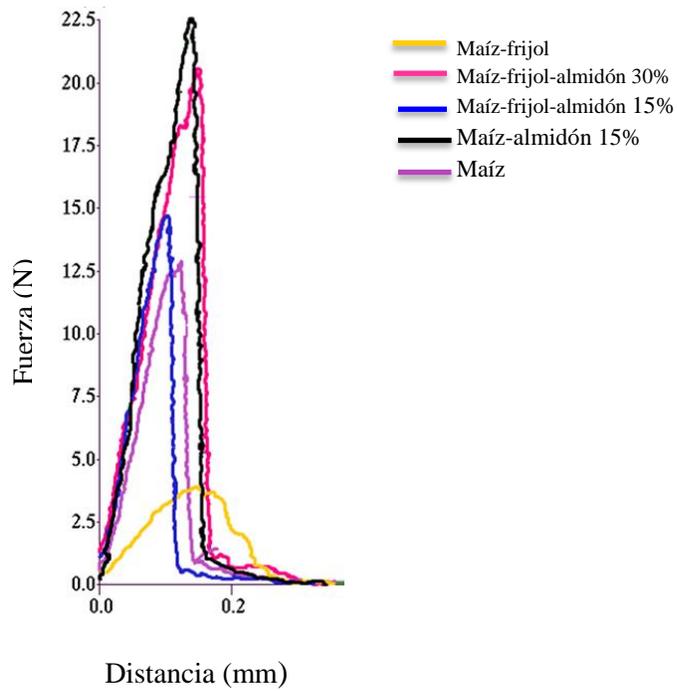


Figura 3.15 Resultados de la prueba de fractura para aperitivos horneados con aceite.

En el Cuadro 3.14 se observa que los aperitivos sin aceite que contienen maíz, maíz-frijol-almidón 15% y maíz-frijol-almidón 30% no presentaron diferencia importante en la fuerza de fractura, lo cual se corroboró con el análisis estadístico de la prueba de Tukey mostrando que los aperitivos de maíz y con mayor porcentaje de almidón modificado no presentaron diferencias significativas.

Al comparar los valores de fuerza de fractura para aperitivos horneados los cuales oscilaron de 3.6 hasta 28.5 N (Cuadro 3.14), con los de los aperitivos fritos, éstos variaron desde 23 hasta 46.1 N (Cuadro 3.13), es decir los aperitivos fritos son más duros. De igual manera los coeficientes de variación fueron mayores al 10%, aun así hubo diferencia estadística entre tratamientos.

Cuadro 3.14 Fuerza de fractura de aperitivos horneados.

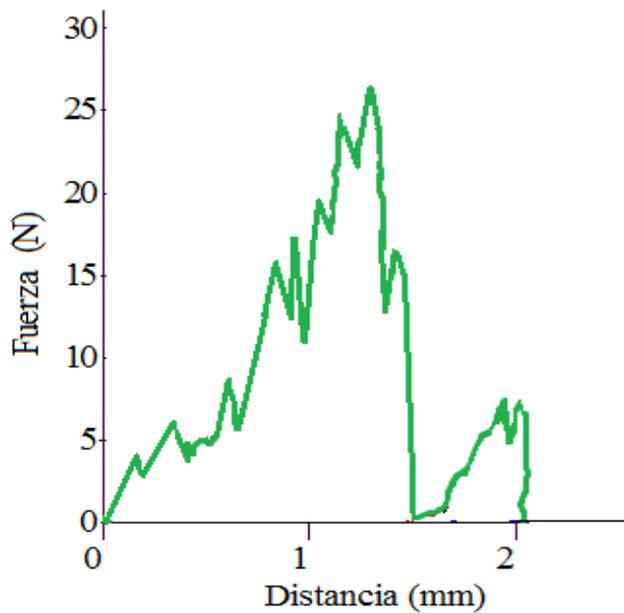
		Formulación	Fuerza de fractura (N)	C.V. (%)
Horneado	Sin aceite	Maíz	20.8 ^b	26.1
		Maíz-frijol	14.2 ^c	13.3
		Maíz-almidón 15%	28.5 ^a	14.8
		Maíz-frijol-almidón 15%	20.8 ^b	3.7
		Maíz-frijol-almidón 30%	19.1 ^{b,c}	22.1
Horneado	Con aceite	Maíz	9.1 ^a	23.1
		Maíz-frijol	3.6 ^b	18.2
		Maíz-almidón 15%	25.5 ^c	11.0
		Maíz-frijol-almidón 15%	12.6 ^d	10.2
		Maíz-frijol-almidón 30%	17.2 ^e	5.9

Los valores que comparten superíndice son estadísticamente iguales al aplicar la prueba de Tukey con $\alpha=0.05$.

En la Figura 3.16 se presenta la gráfica de fractura de productos comerciales uno horneado y uno frito; el producto frito presentó gran cantidad de picos y la fuerza de fractura fue en promedio a 26.5 N, similar a la obtenida en el aperitivo frito a base de maíz-almidón 15% (25.8 N), mientras que el producto horneado presentó una

fractura espontánea con fuerza de fractura en promedio de 19 N, similar a la obtenida en aperitivos horneados a base de maíz-frijol-almidón 30%.

a)



b)

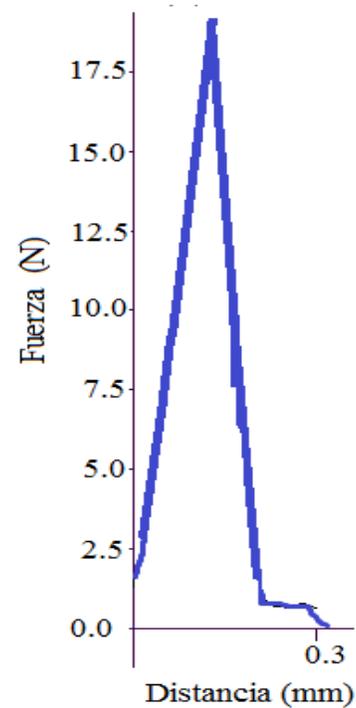


Figura 3.16 Fuerza de fractura de aperitivos comerciales a) Frito de maíz-trigo, b) Horneado de maíz.

En la Figura 3.17 se presentan las gráficas de fuerza de fractura en función de la distancia de fractura para aperitivos horneados con y sin aceite, al incorporar aceite a las masas sin almidón (maíz y maíz-frijol) la fuerza disminuye considerablemente; para el aperitivo de maíz-frijol-almidón 15% esta diferencia disminuye, mientras que la formulación maíz-frijol-almidón 30% y maíz-almidón 15% no presentaron diferencias importantes.

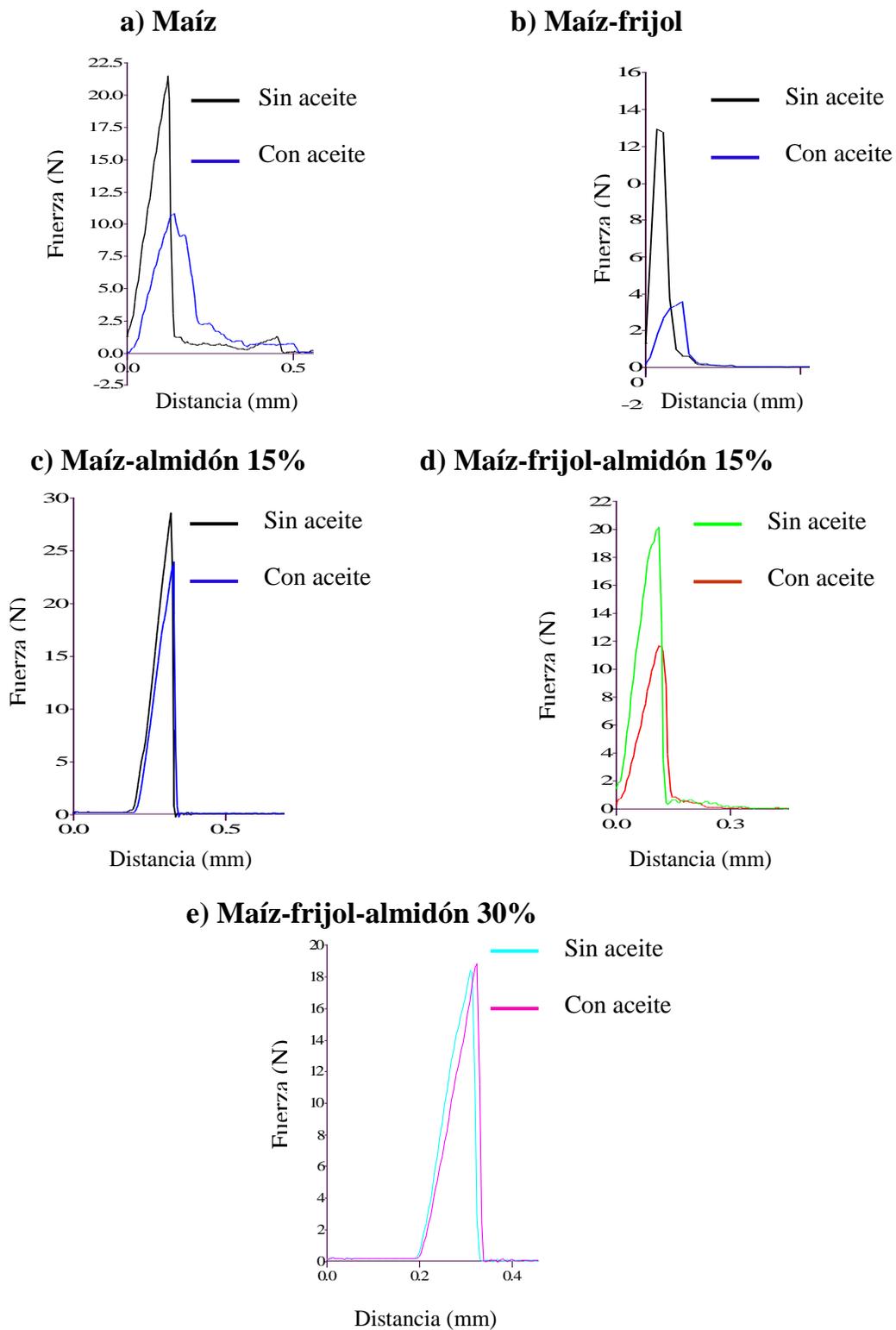


Figura 3.17 Fuerza de fractura de aperitivos horneados.

3.2.5 Carácter crujiente de aperitivos horneados

El Cuadro 3.15 muestra los valores de las pendientes, denominadas carácter crujiente, para los aperitivos horneados, se puede observar que los valores para aperitivos sin aceite oscilan entre 113 a 280 (N/s) mientras que para los aperitivos con aceite se encuentran entre 32 a 220 (N/s). Nuevamente se puede observar los coeficientes de variación son mayores al 10%, debido a la heterogeneidad de la muestra. Aun así el análisis de Tukey demostró que si existen diferencias significativas entre formulaciones de los aperitivos con y sin aceite.

Cuadro 3.15 Carácter crujiente de aperitivos horneados con y sin aceite.

		Componente	Carácter crujiente (N/s)	C.V. (%)
Horneado	Sin aceite	Maíz	200.3 ^a	18.9
		Maíz-frijol	113.1 ^b	18.5
		Maíz-almidón 15%	217.4 ^c	12.3
		Maíz-frijol-almidón 15%	207.7 ^d	16.6
		Maíz-frijol-almidón 30%	280.1 ^e	18.6
Horneado	Con aceite	Maíz	185.0 ^a	15.3
		Maíz-frijol	32.3 ^b	18.4
		Maíz-almidón 15%	149.9 ^c	17.3
		Maíz-frijol-almidón 15%	160.3 ^d	12.8
		Maíz-frijol-almidón 30%	270.6 ^e	11.3

Los valores que comparten superíndice son estadísticamente iguales al aplicar la prueba de Tukey con $\alpha=0.05$.

En la Figura 3.18 se puede observar que los aperitivos con mayor carácter crujiente fueron los que contenían el mayor porcentaje de almidón, debido a la propiedad característica que tiene el almidón ceroso entrecruzado pregelatinizado de tender a mejorar la estructura y el carácter crujiente de aperitivos (Abbas y col., 2010). Así mismo se observa que al adicionar aceite a los aperitivos, el carácter crujiente disminuía al igual que lo observado en la fuerza de fractura, siendo más notorio en

aperitivos a base de maíz-frijol, atribuido a la disminución de la retrogradación de la amilosa, como se explicó previamente.

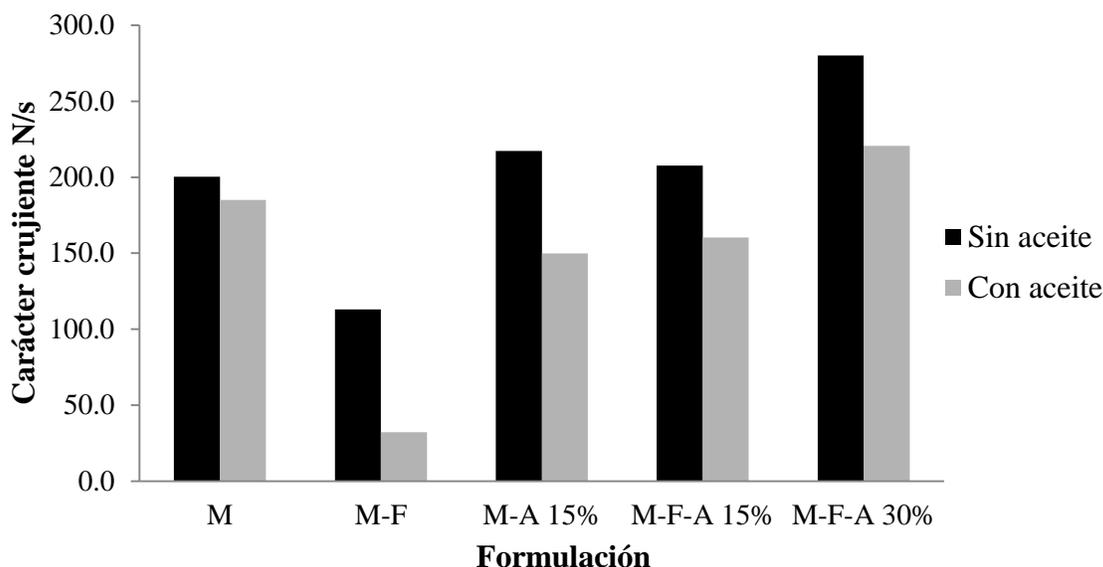


Figura 3.18 Carácter crujiente de aperitivos horneados con y sin aceite, maíz (M), mezcla con frijol (F) y almidón (A) en determinada proporción.

3.2.6 Absorción de aceite

El Cuadro 3.16 muestra los valores obtenidos de la prueba de absorción de aceite, donde la mayor absorción la presentó el aperitivo a base de maíz (51.6%), mientras que al adicionar almidón modificado disminuyó la absorción tal como lo reportan (Sajilata y Singhal, 2005), característica que se busca en aperitivos ya que al disminuir la cantidad de aceite, disminuyen los costos y son mejores para la salud. Es importante mencionar que también la presencia de frijol disminuye la absorción de aceite, lográndose la menor absorción en la mezcla con maíz-frijol-almidón (30%). La prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) muestra que si existen diferencias significativas entre las formulaciones, por lo que se puede decir que el almidón modificado está influyendo en la absorción de aceite.

Cuadro 3.16 Absorción de aceite

Formulación	Humedad				Absorción de aceite (%)	C.V. (%)
	Antes de freír	C.V. (%)	Después de freír	C.V. (%)		
Maíz	55.4	7.6	0.7	6.2	51.6 ^a	0.2
Maíz-frijol	-	-	-	-	-	-
Maíz-almidón 15%	47.3	6.4	2.2	0.6	44.9 ^b	0.3
Maíz-frijol-almidón 15%	42.2	7.6	1.5	12.8	39.3 ^c	0.4
Maíz-frijol-almidón 30%	46.1	5.8	6.7	11.1	31.7 ^d	1.9

Los valores en la columna que comparten letra son estadísticamente iguales al aplicar la prueba de Tukey con $\alpha=0.05$.

3.3 Relación entre la dureza de la masa y la dureza de los aperitivos

Se graficó la fuerza de fractura de los aperitivos en función de la dureza de las masas con que se elaborarán, si se observa la línea con aceite, se aprecia que se encuentra por debajo de la línea que no contiene aceite, presentando una dureza menor (Figura 3.19).

La masa con 30% de almidón presentó la menor dureza, mientras que la masa de maíz con aceite y sin aceite mostró la mayor dureza. Los aperitivos con mayor fuerza de fractura fueron los que contenían maíz-almidón 15%, que presentaron dureza de masa intermedia.

La Figura 3.20 muestra que a mayor dureza de la masa, mayor absorción de aceite, mientras que al tener una masa más suave se obtuvo un aperitivo con menor absorción de aceite que es el aperitivo que contiene mayor porcentaje de almidón modificado. Como se mencionó anteriormente el almidón modificado disminuye la absorción de aceite. La Figura 3.21 también muestra que a mayor dureza de la masa mayor densidad de los aperitivos fritos, la mayor dureza la presentó el aperitivo a base de maíz y nuevamente la menor densidad fue para el aperitivo con mayor

contenido de almidón, siendo éste el aperitivo que logró una mayor expansión en el proceso.

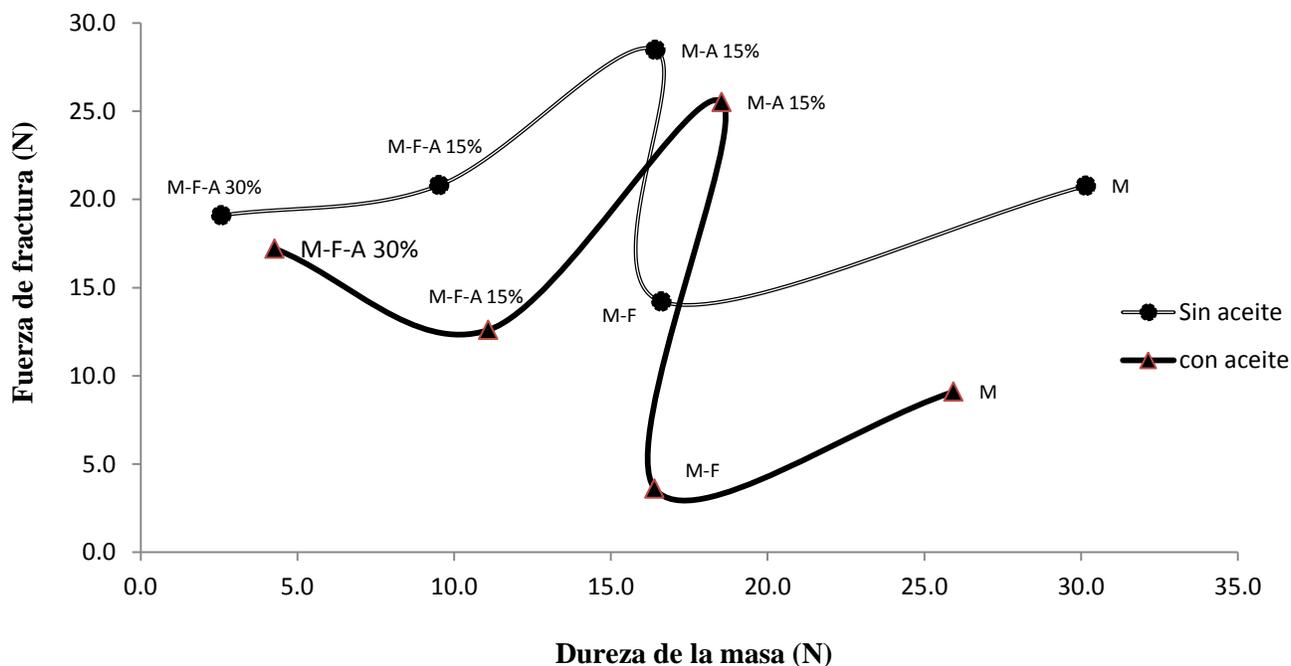


Figura 3.19 Dureza de la masa en función de la dureza del aperitivo horneado.

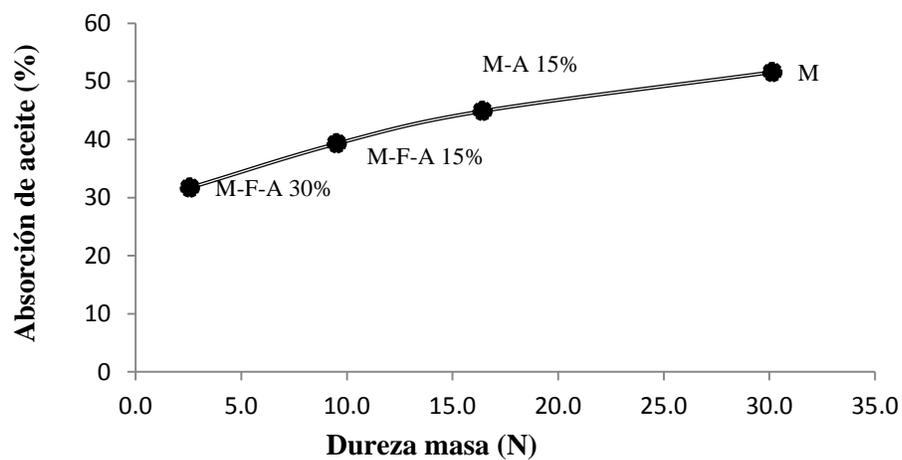


Figura 3.20 Dureza de la masa en función de la absorción de aceite de los aperitivos fritos.

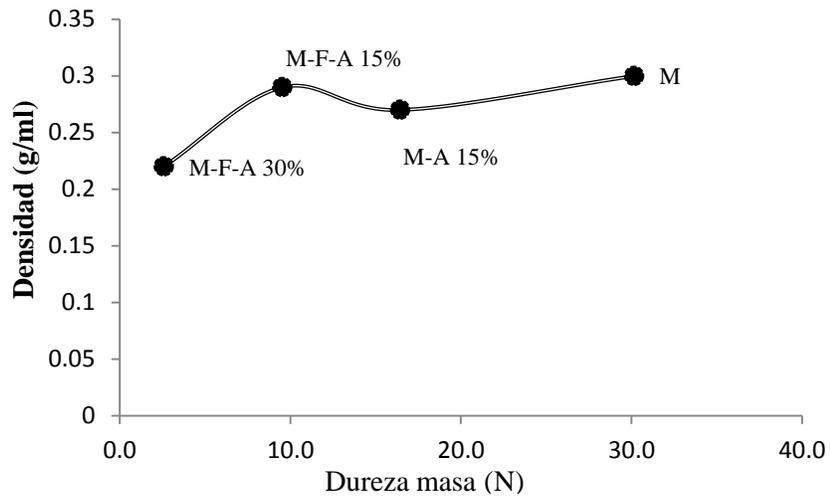


Figura 3.21 Dureza de la masa contra la densidad los aperitivos fritos.

CONCLUSIONES

En cuanto al efecto de la adición de almidón modificado y aceite en la reología de la masa de aperitivos elaborados con maíz y frijol, siempre predominó el módulo elástico sobre el viscoso, confirmando el predominio del carácter sólido de las masas de estudio. Los módulos G' y G'' de las masas disminuyeron al aumentar la concentración de almidón, en las masas sin aceite adicionado, por lo que se infiere que el almidón está actuando como lubricante. Contrariamente, los módulos G' y G'' fueron mayores para las masas con almidón y con aceite. Se confirmó que al adicionar la harina de frijol a la masa, se obtenían masas más sólidas, debido a la proteína presente en el frijol.

La textura de la masa mostró que las muestras con aceite eran más duras que las que no lo contenían, mientras que la adición de almidón mostró una disminución de la dureza al incrementarse la proporción de éste, similarmente a los resultados obtenidos en reología.

Las características físicas (fuerza de fractura, carácter crujiente, color, grosor) obtenidas para los aperitivos dependieron del tratamiento térmico aplicado, siendo productos totalmente diferentes. La textura no fue tan diferente en las muestras de estudio horneadas o fritas, siendo los aperitivos de maíz con 15% de almidón modificado, los que presentaron mayor fuerza de fractura en aperitivos horneados, mientras que en aperitivos fritos fueron los elaborados con mayor contenido de almidón. La fuerza de fractura de los aperitivos horneados con aceite, fue menor al compararlas con los que no contenían aceite. Contrariamente a la reología de las masas, el almidón aumentó la fuerza de fractura de los aperitivos horneados, obteniéndose una relación inversa entre ambas propiedades. En los aperitivos fritos de maíz-frijol con 30% de almidón modificado, además de presentar mayor dureza, presentaron la menor absorción de aceite.

El almidón modificado empleado permite obtener una masa más maleable, de propiedades viscoelásticas dependientes de la proporción de almidón adicionado, pero aperitivos horneados de textura similares entre ellos.

REFERENCIAS

- Abbas, K. A., Khalil, S. K., Hussin, M. S. A. (2010). Modified Starches and Their Usages in Selected Food Products: A Review Study. *Journal of Agricultural Science*, 2, 1-11.
- Acosta, R. (2009). El cultivo del maíz, su origen y clasificación. *Cultivos tropicales*, 30, 113-120.
- Alamprese, C., Ratti, S., R. M. (2009). Effects of roasting conditions on hazelnut characteristics in a two-step process. *Journal of Food Engineering*, 95, 272-279.
- Atzingen, V. C. M., Pinto, M. A. M., (2005). Evaluación de la textura y color de almidones y harinas en preparaciones sin gluten. *Ciencia y tecnología alimentaria*, 4, 319-323.
- Badui, D. S. (2006), Química de los alimentos. 4ª edición. Pearson. México.
- Bawa, S. A., Sidhu, S. J. (2003). Snack foods range on the market. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, 2, 5322–5332.
- Bello, B. A. L., Díaz, O.P., Acevedo, A. E., Santiago, N. C., López, P. O. (2002a). Propiedades químicas, fisicoquímicas y reológicas de masas y harinas de maíz nixtamalizado. *Agrociencia*, 36, 319-328.
- Bello, P. L. A., Aparicio, A. J., Ramos, C.M.S. (2002b). Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano *musa paradisiaca L.* (var. macho). *Agrociencia*, 36, 169-180.
- Bilman, E. M., Van Trijpa, J. C. M., Renes, R. J. (2010). Consumer perceptions of satiety-related snack food decision making. *Appetite*, 55, 639-647.
- Boatella-Riera, J., Codony-Salcedo R. y López-Alegret P. (2004). Química y bioquímica de los alimentos II. U. B. Edicions. España.
- Booth. R.G (1990). Snack food. Springer-Verlag New York, EUA.
- Bourne, M. C. (1982). Food texture and viscosity: Concept and measurement. 2ª edición. Academic press. EUA.

- Cabrejas, M. A. A., Aguilera, Y., Pedrosa, M. M., Cuadrado, C., Hernández, T., Díaz, S., Esteban, M. R. (2009). The impact of dehydration process on antinutrients and protein digestibility of some legume flours. *Food Chemistry*, 114, 1063–106.
- Carvalho, P. W. C., Takeiti, Y. C., Onwulata, I. C., Pordesimo, O. L. (2010). Relative effect of particle size on the physical properties of corn meal extrudates: Effect of particle size on the extrusion of corn meal. *Journal of Food Engineering*, 98, 103-109.
- Casas, A. N. B., Pardo, G. G. D. (2005). Análisis de perfil de textura y propiedades de relajación de geles de mezclas almidón de maíz ceroso entrecruzado-gelana. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 4, 107-121.
- Chaudemanche, B., Budtova, T. (2008). Mixtures of pregelatinised maize starch and j-carrageenan: Compatibility, rheology and gelation. *Carbohydrate Polymers*, 72, 579–589.
- Cheftel, J. C., Cheftel, H., López, F. (1999). Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos. Acribia. España.
- Chen, H. H., Kang, Y. H., Chen D. S. (2008). The effects of ingredients and water content on the rheological properties of batters and physical properties of crusts in fried foods. *Journal of Food Engineering*, 88, 45-54.
- Chung, C., Degner, B., McClements, D.J. (2013). Physicochemical characteristics of mixed colloidal dispersions: Models for foods containing fat and starch. *Food Hydrocolloids*. 30, 281-291.
- Fellows, P. (1994). Tecnología del procesado de los alimentos: Principios y prácticas. Acribia. España.
- Feyissa, A. H., Gemaey, K.V., Ashokkumar, S., Adler-Nissen, J. (2011). Modelling of coupled heat and mass transfer during a contact baking process. *Journal of Food Engineering*, 106, 228-235.
- Figuroa, G. J., Guzmán, M. S., Herrera, H. M., Rumayor, R. A., Alvarado, N. V. (2010). Desarrollo de un totopo nutritivo de harina de frijol enriquecido con

maíz. *Memorias del XII Congreso nacional de ciencia y tecnología de alimentos*. Guanajuato, Gto.

Gasca, M. J. C., Casas, A. N. B. (2007). Adición de harina de maíz nixtamalizado a masa fresca de maíz nixtamalizado. Efecto de las propiedades texturales de masa y tortilla. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 6, 317-328.

Germani, R., Ciacco, C. F., Rodriguez-Amaya, B. D. (1983). Effect of Sugars, Lipids and Type of Starch on the Mode and Kinetics of Retrogradation of Concentrated Corn Starch Gels. *Starch – Stärke*, 35, 377-381.

Ghotra, S. B., Dyal, D. S., Sureshr, N. S. S. (2002). Lipid shortenings: a review. *Food Research International*, 35, 1015-1048.

Hawthorn, J. (1983). *Fundamentos de la ciencia de los alimentos*. Acribia. España.

Hurtado, P. M., Escobar, B., Estévez, M. A. (2001). Mezclas legumbre/cereal por fritura profunda de maíz amarillo y de tres cultivares de frejol para consumo "snack". *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 51, 303-308.

Juszczak, L., Witczak, T., Ziobro, R., Korus, J., Cieslik, E., Witczak, M. (2012). Effect of inulin on rheological and thermal properties of gluten-free dough. *Carbohydrate Polymers*, 90, 353– 360.

Kayacier, A., Singh, K. R. (2003). Textural properties of baked tortilla chips. *LWT - Food Science and Technology*, 36, 463–466.

Khondkar, D., Tester, F., Hudson, N., Karkalas, J., Morrow, J. (2007). Rheological behaviour of uncross-linked and cross-linked gelatinized waxy maize starch with pectin gels. *Food Hydrocolloids*, 21, 1296–1301.

Lawson, H. (1999). *Aceites y grasas alimentarios, tecnología y utilización y nutrición*. Acribia. España.

Létang, C., Piau, M., Verdier, C. (1999). Characterization of wheat flour-water doughs. Part I: Rheometry and microstructure. *Journal of Food Engineering*, 41, 121-132.

Magaña-Barajas, E., Ramírez-Wong, B., Torres-Chávez, P. I., Morales-Rosas, I. (2012) . Use of the stress-relaxation and dynamic tests to evaluate the

- viscoelastic properties. En *Viscoelasticity from theory to biological applications*, de Vicente, J. (editor), Intech, Croacia (Doi: 10.5772/3188).
- Marshall., J. R. (1990). Combined instrumental and sensory measurement of the role of fat in food texture. *Food Quality and Preference*, 2, 117-124.
- Martínez, G. A. (2010). *Técnicas culinarias*. Akal. España.
- Martínez, Padilla Laura Patricia (2012). *Guía rápida de uso del reómetro MCR-301 Physica Anton Paar*. LAPRYFAL FESC UNAM.
- Matz, A. S. (1991). *Chemistry and technology of cereals as food and feed*. 2^a edición. EUA.
- Moody, O. G., Sánchez, M. E., Román, H. A. M., Torres, R. M. (2011). Sistema para producir harina nixtamalizada con transporte de bajo cizallamiento. *Ingeniería Mecánica, Tecnología y Desarrollo*, 4, 33-42.
- Moreno, M. M. M., Rodríguez S. E., Sepúlveda V. J. U. (2012). Evaluación de las propiedades físicas y texturales del buñuelo. *Revista Lasallista de Investigación*, 9, 112-121.
- Munizaga, T. G., Cánovas, B. V. G. (2005). Rheology for the food industry. *Journal of Food Engineering*, 67, 147–156.
- Navarrete, P. C., Estrada, C. H. R., Guerrero, C. L., Ancona, B. D. (2006). Caracterización física de extruidos preparados con mezclas de harinas de maíz QPM (*Zea maíz L.*) y frijol lima (*Phaseolus lunatus L.*). *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 5, 145-155.
- Ousegui, A., Moresoli, C., Dostie, M., Marcos, B. (2010). Porous multiphase approach for baking process – Explicit formulation of evaporation rate. *Journal of Food Engineering*, 100, 535-544.
- Ozdemir, M., Devres, O. (2000). Analysis of color development during roasting of hazelnuts using response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 45, 14-44.

- Paula, A. M., Conti-Silva, A. C. (2014). Texture profile and correlation between sensory and instrumental analyses on extruded snacks. *Journal of Food Engineering*, 121, 9–14.
- Pérez, N. C., Cruz, E. R., Guerrero, L. C., Betancour, D. A. (2006). Caracterización física de extruidos preparados con mezclas de maíz (QPM) (*Zea mais L.*) y frijol (*Phaseolus Lunatus L.*). *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 73, 145-155.
- Phanitcharoen, S., Maliket, A., Siritwongwilaichat, P. (2010). Effect of drying and frying time on textural and sensory characteristics of popped rice. *Asian Journal of Food and Agro-Industry*, 3, 368-372.
- Riaz, N. M. (2004). Snack foods processing. *Encyclopedia of grain science*, 98-108.
- Saguy, I.S., & Dana, D. (2003) Integrated approach to deep fat frying: engineering, nutrition, health and consumer aspects. *Journal of Food Engineering*, 56, 143-152.
- Sajilata, M. G., Singhal, S. R. (2005). Specialty starches for snack foods. *Carbohydrate Polymers*, 59, 131-151.
- Sandoval, R. E., Quintero, F.A., Aponte, A.A. (2005). Reología y textura de masas: aplicaciones en trigo y maíz. *Ingeniería e Investigación*, 25, 72-78.
- Shakerardekani, A., Karim, R., Mohd, G. H., Chin, N.L. (2011). Effect of roasting conditions on hardness, moisture content and colour of pistachio kernels. *International Food Research Journal*, 18, 723-729.
- Shrager, E. E., Caren, L., Stellar, E. (1989). Sugar and Fat: Sensory and Hedonic Evaluation of Liquid and Solid Foods. *Physiology & Behavior*, 45, 177-183.
- Singh, J., Kaur, L., McCarthy, J. O. (2007). Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications. *Food Hydrocolloids*, 21, 1–22.

- Singh, S., Singh, N. (2013). Relationship of polymeric proteins and empirical dough rheology with dynamic rheology of dough and gluten from different wheat varieties. *Food Hydrocolloids*, 33, 342-348.
- Smith, W., Betrán, J., C. A. E., R. (2004). Corn: origin, history, technology, and production. USA.
- Steffe, F. J. (1996). Rheological Methods in Food Process Engineering. 2^a. USA.
- Tabilo-Munizaga, G., Barbosa-Cánovas, V. G. (2005). Rheology for the food industry. *Journal of Food Engineering*, 67, 147–156.
- Tassou, S. A., Karayiannis, T. G., Jouhara, H. (2012). Analysis and simulation of continuous food frying processes. *Applied Thermal Engineering*, 1, 1-8.
- Texture technologies corp. (1998). The texture report, 3.
- Thomas, D. J y Atwell, W. A. (1999). Starches. Practical guides for the food industry. Eagan Press Hand Book Series. USA.
- Vaclavik, A. V. (1998). Essentials of Food Science. Acribia, España.
- Valdés, S. E. (2006). Hidratos de carbono. En Química de los alimentos Badui. 4^a edición. Pearson.
- Villegas, C. A. A., Cortez, G. E., Molina, R. I., López, R. A., Zaragoza, Z. M. L., Vega, M. V., García, R. E. M. (2013). Physicochemical, morphological, and pasting properties of nixtamalized flours from quality protein maize and its particle distribution. *LWT - Food Science and Technology*, 53, 81-87.
- Ward, C. D. W., Resurreccion, A. V. A., McWatters, K. H. (1998). Comparison of acceptance of snack chips containing cornmeal, wheat flour and cowpea meal by us and west african consumers. *Food Quality and Preference*, 9, 327-332.
- Witczak, M., Juszczak, L., Ziobro, R., Korus, J. (2012) Influence of modified starches on properties of gluten-free dough and bread. Part I: Rheological and thermal properties of gluten-free dough. *Food Hydrocolloids*, 28, 353-360.

Páginas en internet

Canacintra (2013). <http://www.canacintra.org.mx/>

Espíndola, D. C. (2004). Prácticas de biología de organismos multicelulares (<http://books.google.com.mx>).

Juárez, J. M., Toro, V. G., Balderas, R. J., Azuceno, L. L., Valerio, B. E. (2013). Manual para laboratorio de fisicoquímica de alimentos. <http://www.biblioteca.upibi.ipn.mx/Archivos/Material%20Didactico/MANUAL%20DE%20FISICOQ.%20DE%20ALIM.pdf>

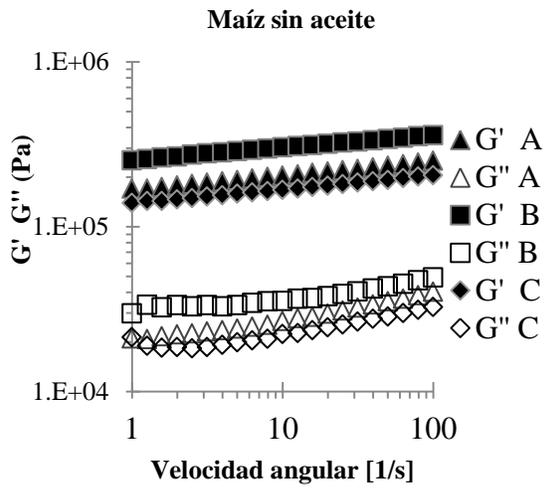
Ospina, J. E. M. (2002). Características físico mecánicas y análisis de calidad de granos. Universidad Nacional de Colombia (<http://books.google.com.mx>).

Sala, R., Barroeta, A. C. (2003). Manual de microscopía de piensos. (<http://books.google.com.mx>).

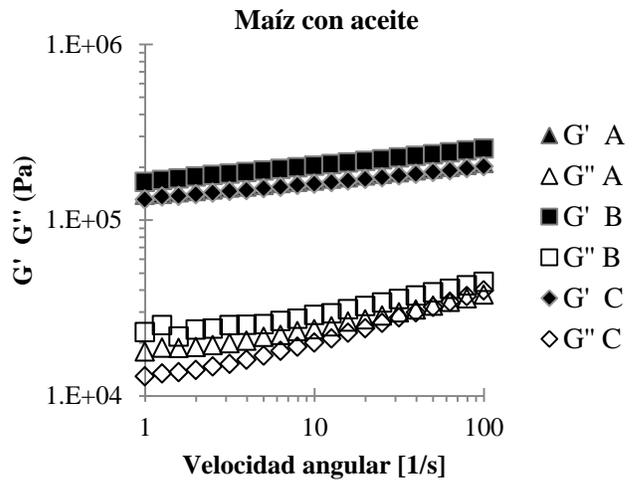
Sharma, A. (2004). Understanding color management (<http://books.google.com.mx>).

ANEXO A

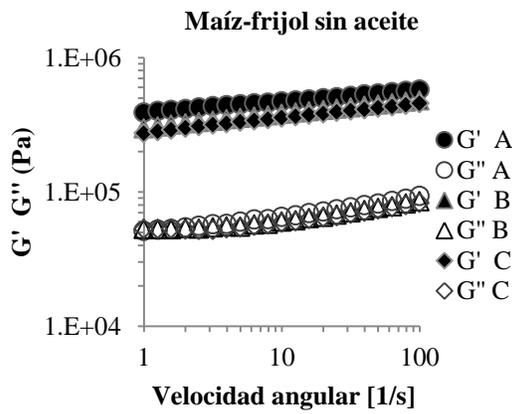
a)



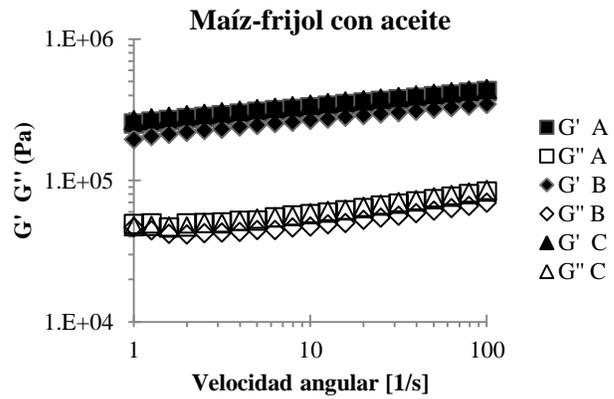
b)



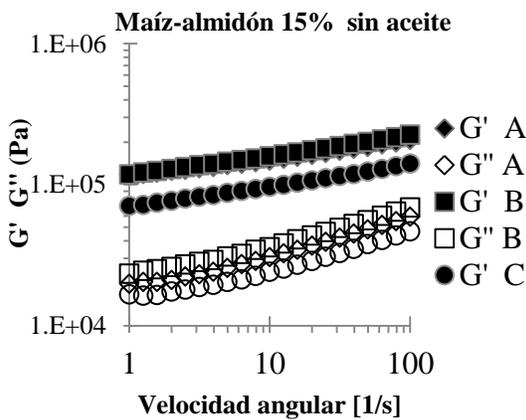
c)



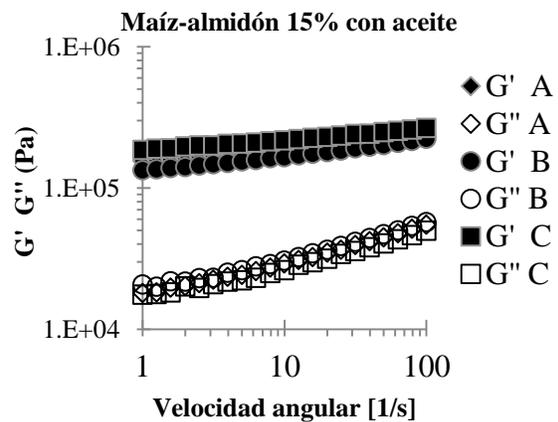
d)



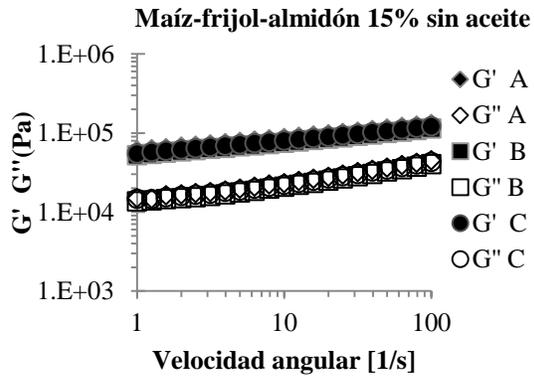
e)



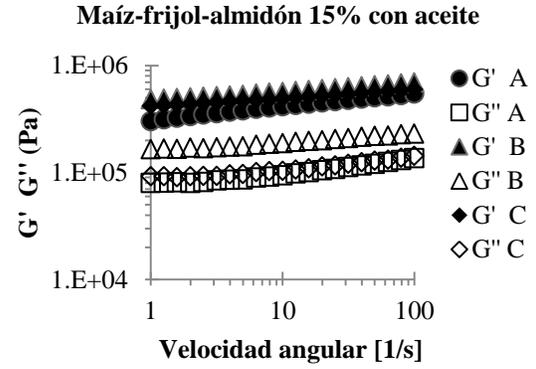
f)



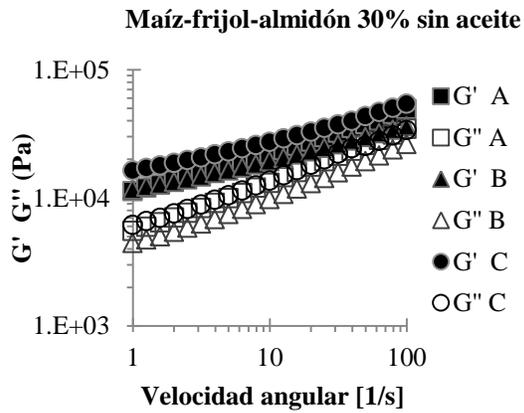
g)



h)



i)



j)

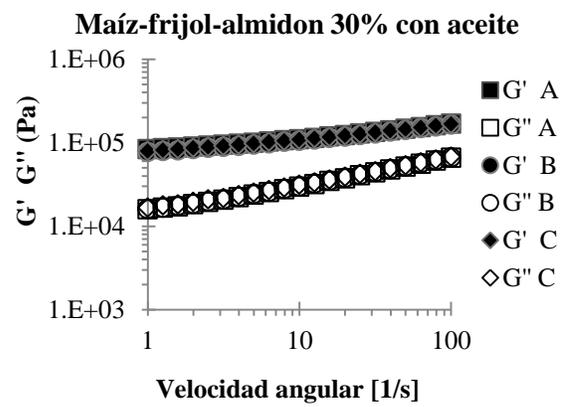


Figura A Módulo elástico G' y módulo viscoso G'' en función de la velocidad angular para la masa de estudio sin aceite y sin almidón.

ANEXO B

Sin aceite

	Replica	$G' = a\omega^b \text{ kPa s}^b$			$G'' = c\omega^d \text{ kPa s}^d$		
		a	b	r2	c	D	r2
Maíz	1	167.6	0.09	1.00	19.6	0.14	0.98
	2	253.6	0.08	1.00	29.9	0.09	0.91
	3	138.1	0.08	0.99	17.2	0.12	0.88
	Promedio	186.4	0.08	1.00	22.2	0.12	0.92
	C.V.	32.18	6.78	0.32	30.41	22.22	5.45
Maíz-frijol	1	391.3	0.0821	0.9981	49.4	0.1287	0.9888
	2	300.2	0.1014	0.9994	48.6	0.1075	0.9372
	3	277.2	0.108	0.9987	48.2	0.1036	0.9191
	Promedio	322.9	0.10	1.00	48.7	0.11	0.95
	C.V.	18.67	13.85	0.07	1.26	11.93	3.81
Maíz-almidón 15%	1	113.5	0.1234	0.9903	17.9	0.2478	0.9871
	2	116.5	0.1389	0.9972	21.8	0.2369	0.9887
	3	68.9	0.1497	0.9972	14.6	0.2365	0.9786
	Promedio	99.6	0.14	0.99	18.1	0.24	0.98
	C.V.	26.71	9.63	0.40	19.97	2.67	0.55
Maíz-frijol- almidón 15%	1	59.3	0.1654	0.9982	13.8	0.24	0.99
	2	51.6	0.1675	0.9987	12.5	0.24	0.99
	3	54.7	0.1693	0.9988	13.2	0.24	0.99
	Promedio	55256.33	0.17	1.00	13.1	0.24	0.99
	C.V.	7.03	1.17	0.03	4.97	1.07	0.22
Maíz-frijol- almidón 30%	1	10.7	0.32	1.00	5.3	0.40	1.00
	2	11.1	0.25	1.00	4.0	0.39	1.00
	3	15.5	0.26	0.99	5.8	0.38	1.00
	Promedio	12.4	0.28	1.00	5.0	0.39	1.00
	C.V.	21.12	13.55	0.21	17.60	3.10	0.15

Con aceite

	Replica	$G' = a\omega^b$ kPa s ^b			$G'' = c\omega^d$ kPa s ^d		
		a	b	r2	c	d	r2
Maíz	1	137.3	0.09	1.00	16.9	0.16	0.98
	2	165.3	0.09	1.00	21.2	0.15	0.95
	3	131.1	0.09	1.00	11.7	0.25	0.99
	Promedio	144.6	0.09	1.00	16.6	0.19	0.97
	C.V.	12.62	0.96	0.09	28.54	29.21	2.08
Maíz-frijol	1	253.5	0.11	1.00	44.8	0.12	0.96
	2	201.0	0.12	1.00	39.2	0.11	0.86
	3	266.8	0.11	1.00	43.7	0.14	0.98
	Promedio	240.4	0.11	1.00	42.6	0.12	0.93
	C.V.	14.47	4.83	0.15	6.99	12.55	6.83
Maíz-almidón 15%	1	151.2	0.09	0.99	16.9	0.25	0.99
	2	129.6	0.11	0.99	18.5	0.23	0.99
	3	183.9	0.08	0.99	16.1	0.23	0.99
	Promedio	154.9	0.09	0.99	17.2	0.24	0.99
	C.V.	17.63	18.86	0.25	7.32	3.24	0.47
Maíz-frijol-almidón 15%	1	309.7	0.13	1.00	74.2	0.12	0.96
	2	476.1	0.08	0.99	160.0	0.08	0.98
	3	414.9	0.08	1.00	85.6	0.10	0.95
	Promedio	400.2	0.09	1.00	106.6	0.10	0.96
	C.V.	21.02	28.12	0.25	43.69	21.63	1.34
Maíz-frijol-almidón 30%	1	80.0	0.15	0.99	14.7	0.32	1.00
	2	74.0	0.16	0.99	14.8	0.32	1.00
	3	76.4	0.16	0.99	15.6	0.31	1.00
	Promedio	76.8	0.16	0.99	15.0	0.31	1.00
	C.V.	3.90	4.10	0.34	3.30	1.33	0.03

ANEXO C

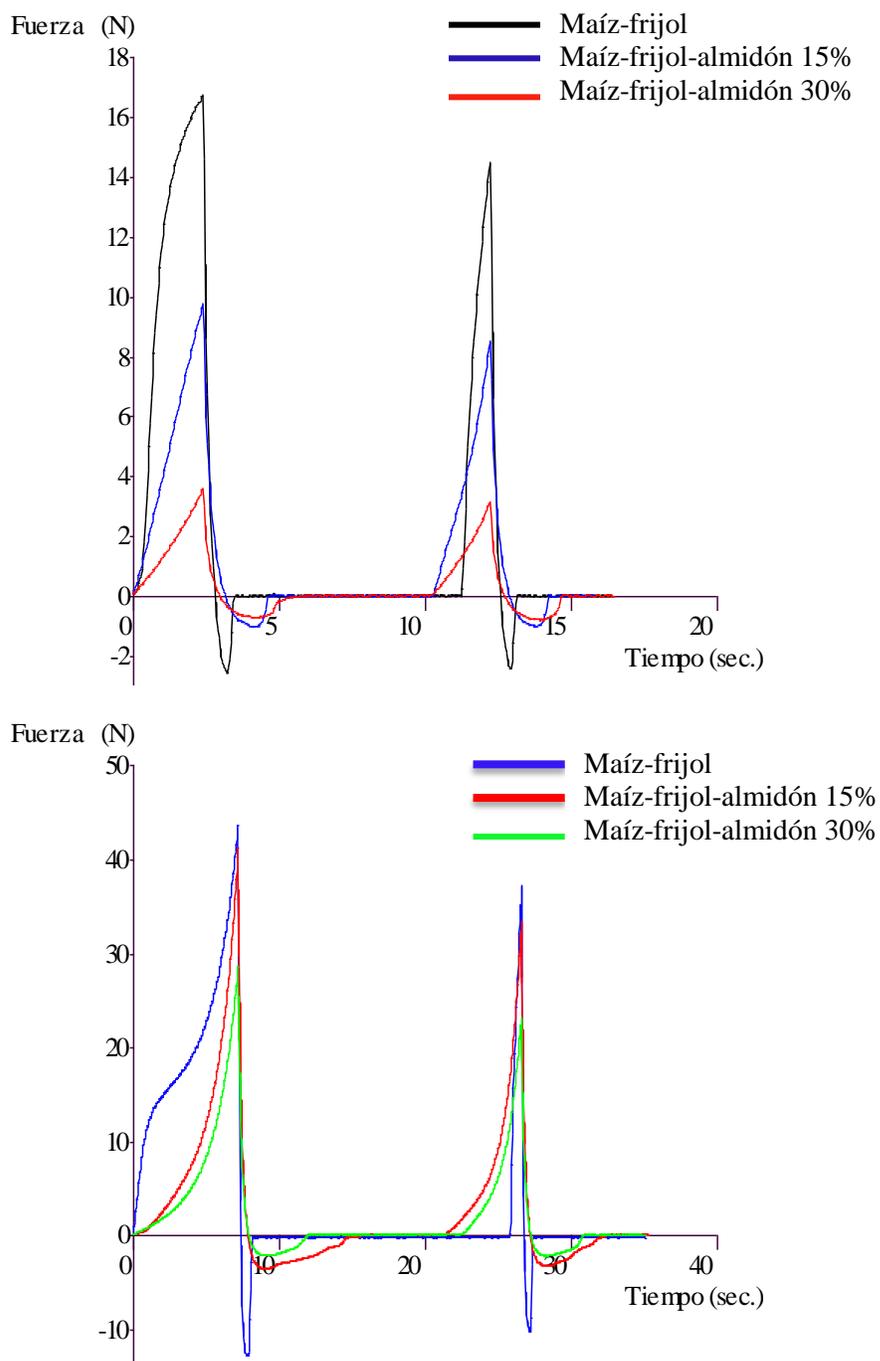


Figura B Análisis de perfil de textura a) 20% de compresión b) 60% de compresión, de masas maíz-frijol con aceite.