

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE FRANCISCO I. MADERO



**“Análisis de las propiedades fisicoquímicas de
tostadas de maíz y frijol ayocote
(*Phaseolus coccineus*)”**

PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS
ALIMENTOS**

PRESENTA:

MARLENE VÁZQUEZ MENDOZA

DIRECTORES DE TESIS:

**DRA. ELBA RONQUILLO DE JÉSUS
DR. ERICH VON BORRIES MEDRANO**



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE FRANCISCO I. MADERO

SE APRUEBA EL TRABAJO TITULADO: “ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DE TOSTADAS DE MAÍZ Y FRIJOL AYOCOTE (PHASEOLUS COCINNEUS)”

QUE PRESENTA: MARLENE VÁZQUEZ MENDOZA.

PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO ACADÉMICO DE:
MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS

DRA ELBA RONQUILLO DE JESÚS
DIRECTOR

DR. ERICH VON BORRIES MEDRANO
CODIRECTOR



DRA. PATRICIA LÓPEZ PEREA

FRANCISCO I. MADERO HGO., MAYO DE 2021



Domicilio conocido, Tepatepec,
Francisco I. Madero, Hgo., C. P. 42660
738 724 1174
www.hidalgo.gob.mx
www.upfim.edu.mx

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por permitirme culminar un peldaño más, en mi vida profesional y personal.

A mi hija Ingrid y a mi esposo por su comprensión, apoyo y disposición para realizar este trabajo y cumplir con una más, de mis metas en mi formación profesional.

A la Universidad Politécnica de Francisco I. Madero, Instituto que me brindo un espacio para continuar con mi formación profesional.

Al Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo, a las autoridades educativas que gestionan la continua formación académica de su personal docente para fortalecer la formación educativa de los estudiantes en el Programa educativo de Ingeniería en Industrias Alimentarias.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero agradecimiento al programa de posgrado de Ciencia y Tecnología de los alimentos de la Universidad Politécnica de Francisco I. Madero, por permitirme realizar mis estudios de maestría.

Al Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional por facilitar sus instalaciones, reactivos y técnicas para desarrollar este proyecto.

Al Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo (ITSOEH), por la gestión administrativa por parte de los directivos, para facilitarme el tiempo y los permisos necesarios, para cursar la Maestría en Ciencia y Tecnología de alimentos.

A la Dra. Elba Ronquillo de Jesús y al Dr. Erich von Borries Medrano por su asesoría y valioso tiempo dedicado, igualmente por compartirme sus conocimientos en el desarrollo del presente trabajo.

A todos y cada una de las doctoras y doctores que, con sus conocimientos brindados, me dejaron conocimientos y experiencia en esta etapa de estudios de posgrado.

A mis compañeras y compañeros de la Maestría, por el trabajo colaborativo y compañerismo brindado.

RESUMEN

En la presente investigación se elaboraron tostadas de maíz y frijol, utilizando un diseño experimental central compuesto con dos variables: la proporción de harina de frijol y harina de maíz (30:70, 50:50 y 70:30) y el tamaño de partícula (420, 250 y 177 μm) respectivamente, estudiando las propiedades fisicoquímicas, texturales y estructurales en la harina de las tostadas horneadas. La interacción de la harina de frijol y maíz elevaron el contenido de proteína en 11 % en proporciones de 30:70; en el estudio del perfil de textura la dureza en las tostadas enteras con proporciones de 30:70 y 177 μm fue de 13.52 N., y con mayor rigidez hasta de 1.44 mm.

En el perfil reológico, la viscosidad en la harina de las tostadas con proporciones de 70:30 originan una disminución en el pico de viscosidad máxima hasta del 50% comparado con las tostadas de 30:70. En los espectros de FTIR con proporciones de 70:30 mostraron estructuras proteicas α -hélice en el número de onda de 1650 y asociaciones moleculares inter en 1625 e intra en 1616 cm^{-1} y bandas de amida III comparadas con las tostadas de harina de maíz 100 % (control). En la colorimetría prevalecieron las tonalidades de luminosidad y el valor amarillo para las tostadas de harina de frijol 100 % y entre los productos formulados con las mezclas se encontraron diferencias significativas para los valores de rojo (a) y amarillo (b). Las características sensoriales de las tostadas se evaluaron con una escala hedónica de cinco puntos en 14 jueces consumidores, la aceptabilidad general de todas las formulaciones fue superior al nivel de 3.5 señalando que es un producto de calidad.

En general, la combinación de harina de frijol y harina de maíz posibilitan el desarrollo de productos con mayor contenido de proteína formulados a partir de materias primas tradicionales, que son de habitual consumo en la dieta mexicana.

Palabras clave: Propiedades fisicoquímicas, harina de frijol, harina de maíz.

ABSTRACT

In the present investigation, corn and bean tostadas were elaborated, using a central experimental design composed of two variables: the proportion of bean flour and corn flour (30:70, 50:50 and 70:30) and the particle size (420, 250 and 177 μm) studying the physicochemical, textural and structural properties in the flours of baked toast. The interaction of corn flour and beans raised the protein content 11 % in proportions of 30:70; in the study of the texture profile, the hardness in whole toasts with proportions of 30:70 and 177 μm , the hardness was 13.52 N., with greater rigidity up to 1.44 mm.

In the rheological profile, the viscosity in the flour of the toasts with proportions of 70:30 originate a decrease in the peak of maximum viscosity up to 50 % compared to the toasts of 30:70. In the FTIR spectra with proportions of 70:30 α -helix protein shows at the wave number of 1650 and inter molecular associations at 1625 and intra at 1616 cm^{-1} and amide III bands compared to the roasted corn flour 100 % (control), in the colorimetry, the brightness tones and the yellow value prevailed for the 100 % bean flour toasts and between the products formulated with the mixtures, significant differences were found for the values of red (a) and yellow (B). The sensory characteristics of the toasts were evaluated with a five-point hedonic scale, applied to 14 untrained consumers the general acceptability of all the formulations was higher than the level of 3.5 indicating that it is a quality product.

In general, the combination of bean flour and corn flour makes it possible to develop products with higher protein content formulated from traditional raw materials, which are commonly consumed in the Mexican diet.

Keywords: Physicochemical properties, bean flour, corn flour.

ÍNDICE

Contenido	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 El frijol (<i>Phaseolus</i> spp.)	3
2.2 Origen y extensión	4
2.2.2 Descripción botánica y taxonómica.....	5
2.3 Composición química.....	6
2.4 El Maíz (<i>Zea Mays</i> L.). Origen y extensión.....	6
2.5 Clasificación taxonómica.....	7
2.6 Composición química.....	8
2.7 El proceso de nixtamalización del maíz	10
2.7.1 La tortilla de maíz	11
2.7.2 Las tostadas de maíz.....	11
2.8 Métodos de análisis	11
2.8.1. Métodos para la determinación del perfil de viscosidad.	11
2.8.2 Espectroscopia infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR).	13
2.8.2.1. Zonas del espectro de Infrarrojo.	14
2.8.2.2 La región de los grupos funcionales.....	17
2.8.2.3. Análisis de espectros de FTIR de muestras alimenticias	20
2.8.3 El color de los alimentos	21
2.8.4. Evaluación sensorial	24
III. JUSTIFICACIÓN	27
IV. HIPOTESIS	28
V. OBJETIVOS	29
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	30
6.1 Lugar de la investigación	30
6.2 Material biológico	30
6.3 Material químico y equipos	30
6.4 Obtención de harina de frijol.	31

6.5 Preparación de las muestras	32
6.6 Proceso hidrotérmico	32
6.7 Secado o deshidratado	32
6.8 Tamaño de partícula	32
6.9 Diseño experimental	36
6.10 Obtención de las tostadas.....	37
6.11 Composición proximal.....	37
6.12 Análisis de perfil de textura	38
6.13 Análisis de viscosidad	39
6.14 Espectroscopia Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR)	40
6.15 Análisis colorimétrico	40
6.16 Evaluación sensorial	41
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
7.1 Análisis proximal en la harina de frijol crudo y en la harina de las tostadas	43
7.2 Análisis del perfil de textura (APT)	44
7.3 Análisis del perfil de viscosidad.....	49
7.4 Análisis de FTIR.....	54
7.5 Análisis colorimétrico	64
7.6 Evaluación sensorial	66
VIII. CONCLUSIONES	67
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	69
X. ANEXO	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Categorías taxonómicas superiores del frijol.	5
Tabla 2. Clasificación taxonómica del maíz.....	7
Tabla 3. Composición química de maíz blanco (g 100g ⁻¹).....	8
Tabla 4. Zonas del espectro infrarrojo.....	14
Tabla 5. Interpretación de los espectros infrarrojo naturales.	16
Tabla 6. Interpretación de los espectros infrarrojo normalizados.....	17
Tabla 7. Atributos del color.....	23
Tabla 8. Diseño central compuesto.	36
Tabla 9. Codificación de las muestras de tostadas del diseño experimental.	41
Tabla 10. Muestras de tostadas seleccionadas para la evaluación sensorial.	42
Tabla 11. Análisis bromatológico de la harina de frijol.....	43
Tabla 12. Contenido proteico de las tostadas.....	44
Tabla 13. Enlaces químicos en las harinas de frijol y maíz 100 % de 420, 250 y 177 µm.....	54
Tabla 14. Grupos funcionales en las tostadas de 250 µm.....	59
Tabla 15. Grupos funcionales en la harina de las tostadas de 177 µm.....	61
Tabla 16. Parámetros de color de las tostadas del diseño experimental.	65
Tabla 17. Evaluación sensorial de las tostadas.....	66
Tabla 18. Perfil de textura en las harinas de frijol y maíz 100%.	78
Tabla 19. Perfil de textura de las tostadas de 420 µm.....	78
Tabla 20. Perfil de textura de las tostadas de 250 µm.....	79
Tabla 21. Perfil de textura de las tostadas de 177 µm.....	79
Tabla 22. Perfil de viscosidad de las harinas de frijol y maíz 100%.....	80
Tabla 23. Perfil de viscosidad de la harina de las tostadas de 420 µm.....	80
Tabla 24. Perfil de viscosidad de la harina de las tostadas de 250 µm.....	81
Tabla 25. Perfil de viscosidad de la harina de las tostadas de 177 µm.....	81
Tabla 26. Resumen de promedios de los atributos sensoriales de las tostadas.	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Perfil de viscosidad.	13
Figura 2. Representación general de los tipos de enlaces que aparecen en distintas regiones de un espectro de infrarrojo.	19
Figura 3. Resumen de las regiones de principales bandas de absorción originadas por los compuestos mayoritarios en alimentos.	20
Figura 4. Proceso de obtención de la harina de frijol y elaboración de tostadas.	31
Figura 5. (A y B) ejemplar de frijol ayocote.	33
Figura 6. (A, B y C) preparación preliminar de la muestra.	33
Figura 7. (A, B y C) muestra con tratamiento hidrotérmico.	34
Figura 8. (A, B y C) secado del frijol en estufa.	34
Figura 9. (A, B y C) muestra molida y tamizada.	35
Figura 10. (A) (B y C) formulación de harina de frijol y harina de maíz.	35
Figura 11. (A y B) análisis de perfil de textura en las tostadas.	38
Figura 12. A y B) análisis de viscosidad en la harina de tostadas.	39
Figura 13. (A y B) análisis de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR).	40
Figura 14. Propiedades mecánicas de las tostadas con 100 % harina de frijol-maíz (A); Propiedades mecánicas de las tostadas con proporciones de 30:70, 50:50 y 70:30 con tamaño de partícula de 420 μm (B); Propiedades mecánicas de las tostadas con proporciones de 30:70, 50:50 y 70:30 con tamaño de partícula de 250 μm (C); Propiedades mecánicas de las tostadas con proporciones de 30:70, 50:50 y 70:30 con tamaño de partícula de 177 μm (D).	45
Figura 15. Dureza de las tostadas modelo de superficie de respuesta.	46
Figura 16. Propiedad mecánica de fracturabilidad modelo de superficie de respuesta	47
Figura 17. La rigidez de las tostadas expresada en el modelo de superficie de respuesta.	47
Figura 18. Perfil de viscosidad de la harina de frijol-maíz con tamaño de partícula de 420, 250 y 177 μm (A); Perfil de viscosidad de las tostadas con tamaño de partícula de	

420 μm (B); Perfil de viscosidad de las tostadas con tamaño de partícula de 250 μm (C); Perfil de viscosidad de las tostadas con tamaño de partícula de 177 μm (D).	51
Figura 19. Modelo de superficie de respuesta viscosidad máxima en la harina de las tostadas.	52
Figura 20. Modelo de superficie de respuesta en la viscosidad final de la harina de las tostadas.	53
Figura 21. Espectro de 4000 a 500 cm^{-1} (A); espectro de 1500 a 500 cm^{-1} (B); espectro con ampliación de 2500 a 1500 cm^{-1} (C); en las harinas de frijol y maíz con tamaño de partícula de 420, 250 y 177 μm	56
Figura 22. Espectro en el intervalo de 4000 a 500 cm^{-1} (A); espectro con ampliación en el intervalo 1500 a 500 cm^{-1} (B); espectro en el intervalo de 2500 a 1500 cm^{-1} (C); de la harina de las tostadas con tamaño de partícula de 420 μm	58
Figura 23. Espectro en el intervalo de 4000 a 500 cm^{-1} (A); espectro con ampliación en el intervalo de 1500 a 500 cm^{-1} (B); espectro en el intervalo de 2500 a 1500 cm^{-1} (C); de la harina de las tostadas con tamaño de partícula de 250 μm	60
Figura 24. Espectro en el intervalo de 4000 a 500 cm^{-1} (A); espectro con ampliación en el intervalo de 1500 a 500 cm^{-1} (B); espectro en el intervalo de 2500 a 1500 cm^{-1} (C); de la harina de las tostadas con tamaño de partícula de 177 μm	63

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente la seguridad alimentaria en el mundo y en países en vías de desarrollo como México es vulnerable, ya que depende de diferentes factores como los: sociales, económicos, tecnológicos, ambientales y culturales, mismos que son determinantes en una sociedad para la disponibilidad de la calidad de alimentos con alto valor nutritivo. Los cereales y leguminosas entre otros granos y semillas son de mayor consumo en la dieta mexicana, también son utilizados como fuente de alimento para mitigar los problemas de nutrición (FAO, 2003).

Históricamente, las legumbres han constituido la base de la alimentación, apreciadas por su sabor, características nutritivas, precios bajos y alta disponibilidad. Son la base proteica y calórica fundamental de la alimentación humana, y fuente principal de energía y aminoácidos esenciales provistos de forma balanceada y nutritiva, especialmente cuando son combinadas con cereales.

Por otro lado, el Frijol (*Phaseolus coccineus*) es considerado como una de las leguminosas de importancia agronómica, alimenticia e industrial por su composición química principalmente en proteínas, almidones y compuestos con una alta actividad biológica como: fibra dietética, oligosacáridos, compuestos minerales y vitaminas. El almidón presente en los frijoles corresponde a uno de los componentes más alto, las proteínas en altas proporciones, que ha sido sujeto de análisis en el comportamiento de las propiedades reológicas (Watson, 1987).

El Maíz (*Zea Mays L.*) es uno de los cereales de importancia en la dieta alimenticia en algunos países y principalmente de México, las proteínas del maíz presentan bajos niveles de aminoácidos esenciales como el triptófano y lisina, los carbohidratos y los almidones (amilopectina-amilosa) representan hasta el 70 % del grano; por otro lado, las vitaminas, pigmentos carotenoides: betacaroteno, zeaxantina, luteína y criptoxantina pueden ayudar a mantener la visión normal y reducción del estrés oxidativo (Watson, 1987).

Bello (1999), en sus estudios reporta que el almidón es un carbohidrato que favorece principalmente en las propiedades de textura de productos alimenticios y es utilizado por sus características en la industria alimentaria como un agente espesante, estabilizador coloidal, gelificante, agente de relleno o como medio de retención de agua.

Vargas (2004), encontró que en determinadas condiciones epidemiológicas puede existir una relación benéfica por el consumo de leguminosas como el frijol ayocote, además, entre el consumo de leguminosas secas existe bajo riesgo en el desarrollo de enfermedades metabólicas como la diabetes y enfermedades cardiovasculares, ya que una de las propiedades de valía de estas es la digestión lenta del almidón que resulta en un bajo índice glucémico (IG). Esta propiedad de digestión lenta se debe a la presencia de estructuras de tejido intactas que rodean los gránulos de almidón, alto contenido de amilosa (25-65 %), y fracciones solubles de fibra con alta viscosidad y el contenido de componentes inhibidores de la digestibilidad.

Con base a lo anterior es de particular relevancia desarrollar alimentos que presenten un valor nutrimental, así como también, una digestibilidad lenta que impidan la presencia de enfermedades como diabetes y obesidad en la población mexicana por el alto consumo de carbohidratos de alta digestibilidad.

El objetivo de este estudio fue evaluar las características químicas y estructurales de diferentes proporciones de frijol y maíz, utilizando técnicas de análisis reológicos y estructurales, para optimizar la formulación de las mezclas en las tostadas horneadas; como alternativa de alimentos en la dieta diaria de la población mexicana.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 El frijol (*Phaseolus spp.*).

El frijol (*Phaseolus coccineus* L.) pertenece a la familia de las Fabáceas. Los nombres comunes con los que se suele identificar principalmente en algunas regiones son: *castellano*: ayocote que es el nombre de origen náhuatl en la región centro de México (Watson, 1987).

De acuerdo con Watson (1987), los cinco principales países productores de frijol son los países de Birmania, India, Brasil, México y Estados Unidos, son países que conjuntamente representan más del 65 % de la producción mundial.

Los frijoles de la especie *Phaseolus vulgaris* L. pertenecen a la familia *Fabaceae*, es uno de los alimentos más antiguos de acuerdo con los primeros registros en la historia de la humanidad, es una de las especies más cultivadas de este género lo que representa aproximadamente en un 95 % de la producción en el mundo y los granos se preparan para el consumo mediante la cocción, que es responsable del ablandamiento, y la gelatinización del almidón tiene una influencia importante en las propiedades reológicas de los derivados del frijol (Marquezi, 2016).

México es reconocido como el centro de origen del frijol, de 47 de las 52 especies clasificados en el género *Phaseolus* fueron identificados en nuestro país. México posee el tipo de variedades de las cinco especies cultivadas de este género, es decir, *P. vulgaris*, *P. acutifolius*, *P. lunatus*, *P. coccineous* y *P. polianto* (Sousa et al., 1994).

Castellanos et al., (1997), estimaron que el consumo per cápita anual de frijol en México es de 22 kilogramos e indicó que el 74 % de la población consume esta leguminosa 5 días a la semana. En años anteriores mencionaron que las legumbres son benéficas para la salud, por su bajo índice glucémico.

Tharanathan y Mahadevamma (2003), reportaron que los frijoles son nutritivos y una fuente económica de proteínas entre 20-25 % y carbohidratos de 50-60 % para un gran parte de la población mundial, principalmente en países en desarrollo.

Los componentes principales en los frijoles son el almidón y las proteínas en altas proporciones, lo que ha originado investigaciones sobre las propiedades reológicas.

2.2 Origen y extensión

Vargas et al., (2007), mencionan que México es el centro de origen del frijol ayocote o patol (*Phaseolus coccineus* L.).

Aremu et al., (2010), describen que el género *Phaseolus* es muy diverso, de las 52 especies de las que se tiene registro, alrededor de 40 son originarias de México y no todas están completamente caracterizadas desde el punto de vista nutracéutico, como por ejemplo el *Phaseolus coccineus* o frijol ayocote, el cual puede contener hasta 20 % de proteína, lo que lo convierte en una fuente promisoría de péptidos bioactivos.

Llaca et al., 1994; Sicard et al., 2005; reportaron que el frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) es una leguminosa que tiene su centro de origen y domesticación en México.

Además, Santalla et al., 2004; Rodiño et al., 2007; reportaron que el frijol ayocote en México es poco cultivado y consumido, en regiones de Europa principalmente España, Holanda y Reino Unido, donde su consumo se ha sustituido por el frijol común (*P. vulgaris* L.) y se consume principalmente en presentación de ejote y de grano seco en el sur de Italia. En Japón se cultiva principalmente en zonas montañosas y su semilla es apreciada por su excelente calidad culinaria (Watanabe et al., 2006).

En los estudios realizados por Vargas et al., 2007; Saburido et al., 2015; Schwember et al., 2017; mencionaron que las especies domesticadas del género *Phaseolus spp.*,

el frijol ayocote es la segunda especie en importancia económica, el cultivo tradicional ocurre en pequeña escala. Además de que, en Centroamérica, el frijol ayocote se cultiva casi exclusivamente en asociación con maíz (*Zea mays* L.).

Dado que los frijoles son un elemento importante en el auto abasto de poblaciones rurales, además de ser la leguminosa de grano más importante constituye la fuente principal de proteína de calidad a bajo costo, con diversas variaciones en cuanto a formas de cultivo, uso y maneras de preparación para consumo humano (Svetleva et al., 2003).

2.2.2 Descripción botánica y taxonómica

Heike (2009), clasifica al ayocote cultivado como *Phaseolus coccineus* y el silvestre como *Phaseolus formosus*. Pero, se mostró que no hay diferencia clara entre los dos taxa, y que el ayocote es simplemente la forma domesticada, así que ahora se utiliza el mismo nombre para las dos formas.

Los especímenes muestran variación gradual de caracteres tales como tamaño y color de la flor, tamaño de las brácteas, tamaño y pubescencia de las bractéolas. presenta las categorías taxonómicas superiores del frijol Tabla 1. (Heike, 2009).

Tabla 1. Categorías taxonómicas superiores del frijol.

Reino	Plantae
Subreino	Traqueobionta (plantas vasculares)
Superdivisión	Spermatophyta (plantas con semillas)
División:	Magnoliophyta (plantas con flor)
Clase	Magnoliopsida (dicotiledóneas)
Subclase	Rosidae
Orden	Fabales

2.3 Composición química

Los alimentos que contienen carbohidratos, el almidón representa el carbohidrato principal, proporcionando características físicas y químicas a los alimentos y la energía después del consumo. El almidón se puede clasificar en fracciones nutricionales de acuerdo con sus tasas de hidrólisis como: almidón digerible (almidón de digestión rápida y lenta) y (resistente que no se digiere en el tracto gastrointestinal superior), (Englyst et al., 1992).

Una de las características que determina la calidad nutricional del almidón es su digestibilidad, es decir, su capacidad de conceder más o menos glucosa, de manera más o menos rápida, a medida que ocurre el proceso de digestión en el organismo. A su vez, esta digestibilidad parece estar influenciada fuertemente por las características microestructurales (estado físico) de los distintos tipos de almidones presentes en los alimentos. Es por esto que, la relación entre microestructura y digestibilidad de los almidones es importante con el fin de controlar el aporte de glucosa y la calidad nutricional de los productos ricos en almidones (Berti et al., 2004).

Aguilera (2005), mencionó que, la microestructura de los alimentos determina la calidad nutricional así también, presentó en una revisión científica con tendencia para evaluar el efecto de la microestructura de los almidones (aislados y/o en alimentos) y en la respuesta glicémica que éstos producen al ser consumidos.

2.4 El Maíz (*Zea Mays L.*). Origen y extensión

El maíz surgió aproximadamente entre los años 8 000 y 600 A.C., 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 (Schwember et al., 2017).

Wilkes, 1995 y el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) 2006, reportaron que, el maíz se originó en una parte restringida de México y los tipos

de maíz más desarrollados emigraron posteriormente hacia otros sitios de América (McClintock, 1981).

El maíz (*Zea mays ssp. mays*) es un pasto de la familia botánica *Poaceae* o *Gramineae*. Este cultivo se originó mediante el proceso de domesticación que llevaron a cabo los antiguos habitantes de Mesoamérica, a partir de los “teocintles”, gramíneas muy similares al maíz, que crecen de manera natural principalmente en México y en parte de Centroamérica (Kato, 1984).

El maíz es la base de la alimentación de México y de otras culturas. México es el centro de origen del maíz y su nixtamalización es importante en el aporte nutricional de este cereal. Los productos de maíz nixtamalizado como las tortillas y botanas, se consumen en países tan diversos como China y Australia (Agama et al., 2005, 2008).

2.5 Clasificación taxonómica

La Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo, (OECD) (2003). De acuerdo con la clasificación para el maíz del hemisferio occidental, los géneros *Zea* y *Tripsacum* son incluidos en la Tribu Maydeae. La clasificación taxonómica del maíz se presenta en la Tabla 2. (Doebley, 1993).

Tabla 2. Clasificación taxonómica del maíz

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Género	<i>Zea</i>
Especie	<i>Zea mays</i>

2.6 Composición química

En los trabajos realizados por Agama, et al., 2005; Utrilla et al., 2009; hacen referencia en que la composición química del grano de maíz es afectada por el genotipo (variedad), por el medio ambiente y por las condiciones de cultivo. El contenido promedio de proteína del maíz es de 10 % y una gran parte se encuentra en el endospermo del grano.

En la tabla 3 se presenta la composición química del maíz blanco reportada por Agama et al., 2004; Salinas et al., 2013; en donde, el contenido de lípidos en el grano de maíz oscila en porcentajes de alrededor del 5 % y están localizados principalmente en el germen.

Tabla 3. Composición química de maíz blanco (g 100g⁻¹).

Humedad	Proteínas	Cenizas	Lípidos	Carbohidratos	Referencia
6.6	9.3	1.2	4.8	78.2	Agama et al., 2005.
6.3	7.5	0.6	0.2	78.7	Utrilla et al., 2009.
Almidón			Amilosa		
60.21			27.2		Agama et al., 2004.
70.9-76.2			20.5-32.8		Agama et al., 2013.

De acuerdo con La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), Hernández et al., (2020), mencionó que el maíz contiene naturalmente un alto nivel del aminoácido isoleucina, este aminoácido inhibe la absorción del triptófano. El triptófano, a su vez, es un aminoácido indispensable que es poco abundante en las proteínas de los cereales como el maíz. Cuando se nixtamaliza, la proporción isoleucina/leucina se balancea, permitiendo una mejor absorción de triptófano, que es precursor de niacina (Vitamina B₃) que se genera en el cuerpo.

El acceso a la niacina, que se logra por la nixtamalización, permite una mejor nutrición de los mexicanos, también favorece la producción de almidón resistente, generando que parte del almidón que se encuentra en las tortillas no sea digerible, este se comporta como fibra soluble y brinda beneficios a la salud y a la microbiota intestinal (Hernández et al., 2020).

Por otra parte, el contenido de nutrientes y fitoquímicos son de interés en las variedades nativas del maíz y existen varios trabajos donde se ha determinado la presencia de componentes bioactivos, compuestos fenólicos y antocianinas en maíces pigmentados y en sus productos, en los cuales mencionan que pudieran generar beneficios en la salud.

El maíz blanco y amarillo son los más consumidos para la elaboración de productos nixtamalizados, pero en otras regiones, sobre todo en el centro de México, se usan variedades pigmentadas con colores rojo, azul, morado y negro, los cuales se deben a las antocianinas presentes, principalmente, en el pericarpio y la capa de aleurona (Agama et al., 2008).

Englyst et al., (1992), reportaron que uno de los componentes más altos en el maíz, es el almidón y los productos a base de este cereal representan un suministro importante de glucosa en la dieta humana. A principios de la década de 1990 se observó que había una fracción del almidón que no se hidrolizaba y lo llamaron almidón resistente (AR). El consumo de AR fue relacionado con diversos beneficios a la salud, por lo que, varios alimentos fueron analizados para conocer la cantidad de AR.

Por otro lado, diferentes autores como Muir et al., 1994; Kritchevsky, 1995; Cummings et al., 1996; reportaron la identificación de un tipo de AR que se forma cuando los alimentos ricos en almidón son cocinados y almacenados, debido al fenómeno de retrogradación del almidón, el cual consiste en un re-arreglo de su estructura que no es reconocido por la amilasa salival y pancreática, y no puede ser

hidrolizado, siguiendo su tránsito hacia el intestino grueso, donde es fermentado por las bacterias del colon.

Agama et al., (2005), reportaron en las tortillas de maíz nixtamalizado de granos de color blanco o amarillos, el incremento de AR que fue directamente proporcional al tiempo de almacenamiento y a temperatura de 4 °C.

2.7 El proceso de nixtamalización del maíz

El maíz es la base de la alimentación de México y otras culturas. México es el centro de origen del maíz y la nixtamalización es importante en el aporte nutricional de este cereal. Los productos de maíz nixtamalizado, como las tortillas y botanas, se consumen en países tan diversos como China y Australia (Bello, 2016).

En la Norma Oficial Mexicana NOM-187-SSA1/SCFI-2002, para Productos y servicios de masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración y establecimientos donde se procesan, en esta norma se encuentran las especificaciones sanitarias, la información comercial, los métodos de prueba y en el apartado (3) define al maíz nixtamalizado o nixtamal, al maíz que ha sido sometido a cocción parcial con agua en presencia de hidróxido de calcio (cal, óxido de calcio). La masa es definida como el producto obtenido de la molienda húmeda de granos de maíz nixtamalizado y agua.

En esta misma norma se define que la harina de maíz nixtamalizado, es el producto deshidratado que se obtiene de la molienda de los granos de maíz nixtamalizado. Además, menciona que la harina preparada para elaborar masa, tortillas o tostadas, es el producto resultante de la mezcla de harina de trigo o de maíz nixtamalizado u otros cereales integrales o no, con ingredientes opcionales y aditivos para alimentos, y que se prepara conforme a las instrucciones del fabricante.

2.7.1 La tortilla de maíz

Rick (2000), describe a las tortillas de maíz elaboradas con el maíz nixtamalizado, que es el producto del proceso termo alcalino para obtener una masa maleable, que es regularmente elaborada de forma circular y aplanada, es consumida combinada con diversos alimentos. El origen de la tortilla de maíz en Mesoamérica se remonta antes del año 500 a.C. Los aztecas y otros hablantes de náhuatl llamaban tortillas tlaxcalli.

También la Norma Oficial Mexicana NOM-187-SSA1/SCFI-2002, define que las tortillas son el producto elaborado con masa que puede ser mezclada con ingredientes opcionales, sometida a cocción.

2.7.2 Las tostadas de maíz

Las tostadas son consideradas como un platillo típico mexicano ("antojito"), de igual manera en otros países como Guatemala, tienen como base la tortilla frita (Rick, 2000).

En la Norma Oficial Mexicana (2002), se define a las tostadas como el producto elaborado a partir de la tortilla o de la masa que puede ser mezclada con ingredientes opcionales sometida a un proceso de horneado, freído, deshidratado o cualquier otro, hasta obtener una consistencia rígida y crujiente.

2.8 Métodos de análisis.

2.8.1. Métodos para la determinación del perfil de viscosidad.

von Borries (2017), reportó que se emplean varias técnicas para caracterizar la transición térmica del almidón y para distinguir entre el comportamiento sólido y líquido de los alimentos. Estos pueden ser útiles para reconocer interacciones y fallas estructurales que solamente el almidón puede presentar.

El perfil de viscosidad es medido con un viscosímetro (RVA) para obtener las propiedades de empastamiento (Viscosidad máxima, viscosidad final, temperatura de inicio del hinchamiento de los gránulos del almidón, temperatura de pico, ruptura, región de restitución, restitución total y fuerza de cohesión) y los parámetros relacionados con este fenómeno. Los ciclos de calentamiento y enfriamiento se programan de acuerdo con un programa térmico inherente al equipo. De éste equipo se pueden obtener perfiles de viscosidad, funcionamiento y otros parámetros del almidón que han sido clasificados de acuerdo con la Figura 1. (Saunders et al., 2011).

Temperatura de empastamiento: Es el punto en el que la temperatura alcanza la gelatinización y se induce al hinchamiento de los gránulos de almidón, que conlleva un incremento en la viscosidad.

Pico de viscosidad: Es el punto máximo de viscosidad alcanzado durante el calentamiento.

Temperatura de pico: Es la temperatura a la que ocurre el máximo de viscosidad.

Fuerza de cohesión: Asociada a la capacidad de retención de agua del almidón.

Viscosidad de ruptura: Viscosidad que expresa la desintegración de los gránulos de almidón a medida que se calientan.

Viscosidad final: Es la viscosidad a la cual llega la muestra después de finalizar la prueba.

Restitución: Es la diferencia entre la viscosidad media y la viscosidad final, asociada con la retrogradación del almidón.

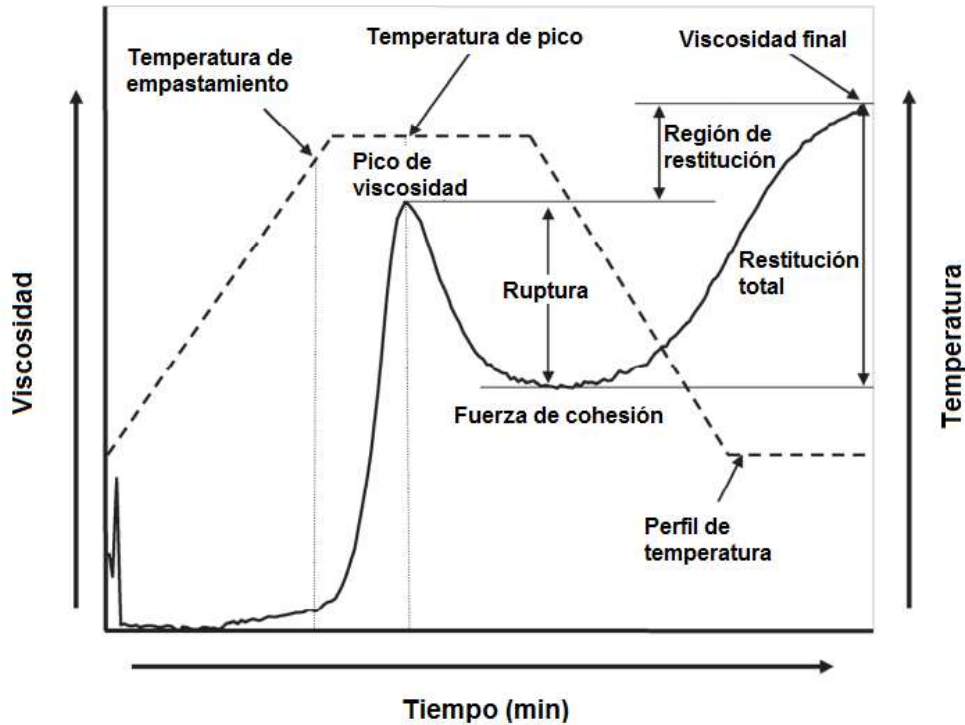


Figura 1. Perfil de viscosidad.

2.8.2 Espectroscopia infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR).

La espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier es una técnica que permite la obtención de un espectro típico de absorción del infrarrojo para una determinada sustancia, utilizando para ello el modelo de transformación de Fourier en el análisis de los datos obtenidos cuando la muestra es colocada entre un detector y un haz de luz de infrarrojo cuya distribución es alterada por un espejo móvil (Mermelstein, 2009).

La muestra absorbe selectivamente la energía infrarroja produciéndose cambios en la intensidad de la luz que llega al detector. La intensidad de la luz utilizada está en función de la posición del espejo móvil, por lo que se tienen diferentes espectros de absorción para cada posición, pero mediante la transformación de Fourier, se convierte toda esta información en un solo espectro típico de la muestra, el cual solo está en función de la longitud de onda (usándose aquí el valor recíproco, o inverso expresado

en cm^{-1} que es una unidad de energía en espectroscopia, valor proporcional a la frecuencia del fotón de luz) (Mermelstein, 2009).

2.8.2.1. Zonas del espectro de Infrarrojo.

Para la obtención de los grupos funcionales presentes se siguen unas reglas sencillas par el análisis de espectros infrarrojo. El fundamento de las reglas es: las bandas dónde se presentan las vibraciones fundamentales de los elementos son fijas y presentan lecturas marcadas, es decir, significativas mientras que las bandas que presenten lecturas débiles en IR se tratarán, seguramente, de un sobre tono. Para la interpretación de los espectros de infrarrojo, son divididos en función de las regiones principales en el espectro observado por el equipo, identificadas como las zonas del espectro infrarrojo como se presenta en la Tabla 4. (Hernández, 2019).

Tabla 4. Zonas del espectro infrarrojo.

Regiones	Enlaces simples, estiramiento	Triples enlaces	Dobles enlaces	Huella digital
Intervalo de número de onda (cm^{-1})	4000-2500	2500-2000	2000-1500	1500-400
Descripción	Absorción de enlaces simples C-H, O-H, N-H	Absorción de triples enlaces: C=C y C=N	Absorción de dobles enlaces C=C, C=O	Absorción debida a otras deformaciones del enlace: rotación, tijeras y algunas flexiones.

Es importante considerar que dentro del espectro infrarrojo medio existen bandas de vibraciones, que significan intervalos de número de onda y representan vibraciones de moléculas definidas. Esta característica permite de forma particular desarrollar estrategias de interpretación de bandas, las cuáles toman en cuenta las diferentes variaciones que las moléculas pueden presentar en las bandas de vibración.

En el análisis de un espectro obtenido directamente resulta en una interpretación de las moléculas y las posibles estructuras moleculares presentes en la muestra problema, llegando así a una interpretación propuesta, cuya validación debe de ser comparada con referencias de los espectros de los compuestos presentes en la muestra por separado. Por lo que, la interpretación propuesta es válida bajo ciertos parámetros de interpretación, cuyas limitantes se verán afectadas por el conocimiento previo que se tenga de la prueba, por ejemplo, existen bandas que significan la presencia de diferentes compuestos, dependiendo de la forma que toman y no tanto por el intervalo al que pertenecen. Para algunas bandas la concentración del compuesto afectará el número de onda, por lo que las vibraciones esperadas pueden desplazarse y generar un falso positivo (Hernández, 2019).

Para la correcta interpretación de las bandas de absorción, existen tres características que se deben de observar con detenimiento ya que proveen diferente información sobre la vibración que se está analizando:

Forma: Provee información sobre la función de la molécula y el ambiente químico de la muestra.

Posición: Indica el tipo de vibración que la molécula presenta.

Intensidad relativa de las bandas: Representa de manera cualitativa la cantidad presente del enlace, es decir, mientras más fuerte sea la señal de la vibración habrá más enlaces de ese tipo, los espectros infrarrojo naturales y normalizados, como se presenta en las tablas 5 y 6 (Hernández, 2019).

Tabla 5. Interpretación de los espectros infrarrojo naturales.

Alcanos		
Intervalos (cm⁻¹)	Lecturas	Interpretación
3000-2800	4 señales	Presencia de estructuras CH ₂ y CH ₃
1465-1475	1 señal	La estructura observada presenta una estructura lineal.
1385-1365	1 señal (Sencilla)	
730-710	1 señal	Estructura (CH ₂) _n donde n es mayor o igual a 4
Alquenos y aromáticos		
1550-1490	No hay presencia	
1610-1550	de doble señal	
1680-1610	Señal pequeña	Presencia de Alquenos
1870-1750	Ausencia de señal	Verificar el tipo de sustitución
Grupo carbonilo		
1850-1540	Ausencia de señal	No hay aromáticos
Polímeros		
1800-1700	Ausencia de señal	Presencia de polietileno, polipropileno, hule natural, hule butil
2920	Si hay señal	
1600-1500	Ausencia de señal	y nylon

Tabla 6. Interpretación de los espectros infrarrojo normalizados.

Alcanos		
Intervalos (cm⁻¹)	Lecturas	Interpretación
3000-2800	4 señales	Presencia de estructuras CH ₂ y CH ₃
1465-1475	1 señal	La estructura observada presenta una estructura lineal.
1385-1365	1 señal (sencilla)	
730-710	1 señal	Estructura (CH ₂) _n donde n es mayor o igual a 4
Alquenos y aromáticos		
1550-1490	Si hay señal	Presencia de aromático
1610-1550	doble	
900-650	1 señal	A pesar de que se detecta la presencia de aromáticos no existe una configuración de señales características de sustituciones en aromáticos que satisfagan las vibraciones de bandas del espectro obtenido.
2000-1650	1 señal	
Grupo carbonilo		
1850-1540	Ausencia de señal	No hay aromáticos
Polímeros		
1800-1700	Ausencia de señal	Presencia de polietileno, polypropileno, hule natural, hule butil y nylon.
2920	Si hay señal	
1600-1500	Ausencia de señal	

2.8.2.2 La región de los grupos funcionales.

Stuart, 2004; Larkin, 2018; reportaron que, un grupo funcional es aquel que absorbe radiación en un intervalo específico de frecuencias, independientemente de que este unido en una molécula. Es decir, la banda que se genera en un espectro se ubica siempre en la misma zona.

En la figura 2, se muestra la región de los grupos funcionales que se encuentra comprendida entre 4000 y 1500 cm⁻¹. Las bandas que aparecen en la región de 4000 a 2500 cm⁻¹ se encuentran relacionadas con enlaces de estiramiento de O-H, C-H y N-H. El enlace O-H, del agua, genera una banda muy amplia y alta que se localiza

entre 3500 y 3200 cm^{-1} , la banda de este mismo enlace, pero ubicado en otra molécula, tiene una apariencia puntiaguda y poco intensa. El enlace de estiramiento C-H aparece entre la región de 3400 y 3200 cm^{-1} con una apariencia menos amplia que el enlace O-H del agua. Entre 3000 y 2800 cm^{-1} aparecen las bandas ligadas al enlace de estiramiento C-H. Debido a que el agua es un compuesto presente en la mayoría de los alimentos, por lo tanto, si la muestra tiene residuos, en esta zona se presenta una banda ancha alrededor de 3500 a 3200 cm^{-1} , la cual se debe a vibraciones de estiramiento del enlace O-H.

A menudo de 2500-2000 cm^{-1} en la región de un espectro no aparecen bandas, y en caso, de que llegaran a aparecer tienen una apariencia muy débil, y frecuentemente no son relevantes para la interpretación de un espectro. Por lo tanto, se recomienda hacer énfasis en la interpretación de otras bandas del espectro. En caso, de aparecer, estas bandas tienen su origen en enlaces triples, por ejemplo, $\text{C}\equiv\text{C}$, $\text{C}\equiv\text{O}$ y $\text{C}\equiv\text{N}$.

La región de 2000 a 1500 cm^{-1} , también llamada de los dobles enlaces, principalmente aparecen los enlaces de vibración $\text{C}=\text{C}$ y $\text{C}=\text{O}$. La banda asociada con el enlace $\text{C}=\text{O}$ es intensa y aparece, y dependiendo del compuesto, entre 1830 y 1650 cm^{-1} , por ejemplo, en esta región se encuentra el grupo carbonilo $\text{C}=\text{O}$. En las proteínas, el grupo amida ($\text{C}=\text{O}$) aparece alrededor de 1650 cm^{-1} , el enlace $\text{C}=\text{N}$ suele aparecer en esta región, pero a menudo la banda no es muy intensa. Si la muestra tiene residuos, en esta zona se presenta una banda ancha alrededor de 1650 cm^{-1} , la cual se debe a vibraciones de estiramiento del enlace H-O-H. En esta zona la presencia de esta banda puede ocultar la presencia de otras.

En la región de huella digital se registra de 1500 a 600 cm^{-1} las bandas que aparecen en esta región son producto de varios tipos de vibraciones del enlace, por lo cual a menudo es difícil de asignar su origen a una banda en particular. Las vibraciones de enlace originan una fuerte interacción entre enlaces vecinos. Pero, gracias a esta complejidad, cada muestra tendrá un particular espectro, por lo que en esta región de un espectro se le conoce con el nombre de "huella dactilar" o huella digital en muchos

espectros es muy importante, ya que permite su identificación en forma rápida y clara. Por ejemplo, en la familia de los carbohidratos aparece un pico muy alto ente los 1100 y 1000 cm^{-1} , el cual cambia de posición en función del tipo específico de carbohidrato ensayado.

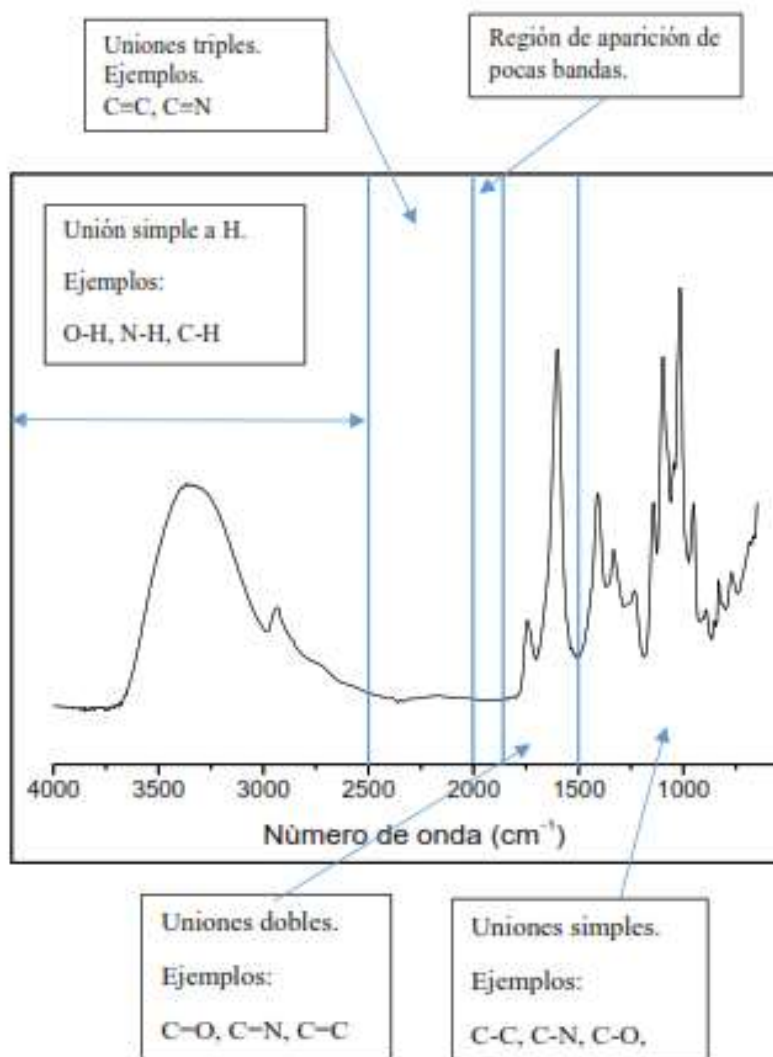


Figura 2. Representación general de los tipos de enlaces que aparecen en distintas regiones de un espectro de infrarrojo.

2.8.2.3. Análisis de espectros de FTIR de muestras alimenticias

En la figura 3 se muestran las regiones espectrales donde aparecen las bandas asociadas con los componentes mayoritarios en los alimentos como las (proteínas, carbohidratos y lípidos). También se muestra la posición de las bandas del agua, compuesto que aparece casi siempre en los alimentos (Stuart, 2004 y Larkin, 2018).

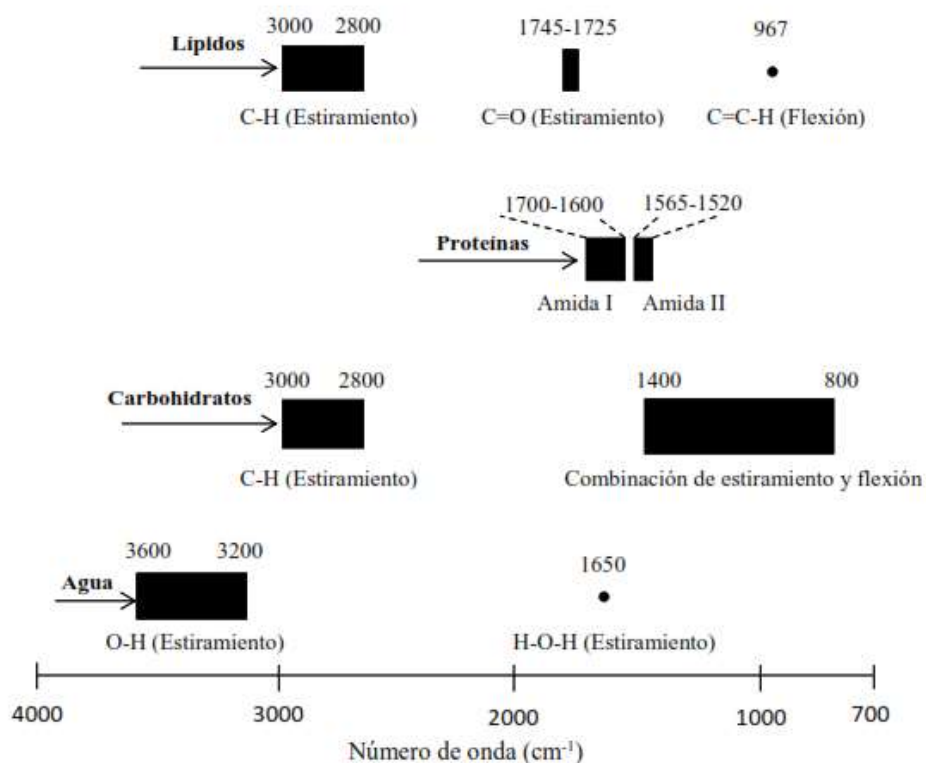


Figura 3. Resumen de las regiones de principales bandas de absorción originadas por los compuestos mayoritarios en alimentos.

2.8.3 El color de los alimentos

Moreno (2017), describió a la colorimetría como una ciencia que cuantifica y describe físicamente el color como lo percibe el ser humano. Se ha identificado que el color, es la primera sensación que se percibe de los alimentos. Es la inmediatez de la visión la que otorga capital importancia a su apariencia y quizás por ello, se considera que es el primer atributo que determina la aceptabilidad y preferencias del consumidor.

La teoría tricromática fue propuesta por Thomas Young en la que, supone que el ojo detecta diferentes colores porque, contiene tres tipos de receptores en donde cada uno de ellos es sensible a una única tonalidad del color. El ojo humano es sensible a un rango limitado de longitudes de onda (λ), identificado como espectro de luz visible, que constituye sólo una pequeña parte del espectro electromagnético. Se extiende aproximadamente entre 380 y 780 nm.

Badui (2006), definió el color como la parte de la energía radiante que el humano percibe mediante las sensaciones visuales que se generan por la estimulación de la retina del ojo. Los colores de los alimentos se deben a distintos compuestos, principalmente orgánicos, algunos que se producen durante el manejo y procesamiento y otros que son pigmentos naturales o colorantes sintéticos añadidos.

Bello (2008), define, refiere que un cuerpo presenta generalmente el color de la radiación luminosa que refleja y esto es, una función relacionada con la presencia de las moléculas de ciertos grupos funcionales orgánicos que integran sus estructuras químicas, por cada ingrediente de la formulación. Para que una estructura química presente la propiedad de ser colorante, necesita responder a tres requisitos esenciales:

- (1) la presencia de grupos cromóforos. Entre los ejemplos más comunes se encuentran los licopenos, los β -carotenos y las antocianinas. Algunos ejemplos de estos cromóforos se encuentran en la clorofila, usada para la fotosíntesis en

los vegetales, la hemoglobina y la hemocianina y de la mioglobina en el almacenamiento muscular del oxígeno, entre otros son capaces de absorber parte de las radiaciones luminosas dentro de una determinada longitud de onda.

- (2) la formación de pigmentos colorantes como consecuencia de reacciones químicas o enzimáticas. Un ejemplo muy conocido es el cambio de color durante la cocción o en general un tratamiento térmico de los alimentos. Estos desarrollan tonalidades que van desde un ligero amarillo hasta un café intenso, mediante las reacciones de Maillard y de caramelización, por ejemplo, el color de la corteza del pan.
- (3) la adición intencionada de sustancias químicas colorantes para dar el color a las bebidas refrescantes y (4) el efecto físico de los sistemas fisicoquímicos presentes en el alimento y relacionado con la dispersión de la luz.

Munsell (1905), definió el color en tres atributos: matiz, croma y brillo. En los últimos años Wu y Sun (2013), mencionan que la medición de color es realizada de forma visual con el ojo humano, o instrumentales con un colorímetro, o utilizando la visión digital como se presenta en la Tabla 7., (Munsell, 1905).

Tabla 7. Atributos del color.

Atributo	Descripción	Ejemplo
Matiz	Tono, tinte, color, " <i>hue</i> ". Es caracterizado por la longitud de onda de la radiación y hace diferente un color de otro. Representa un espacio en el diagrama de cromaticidad.	Rojo-amarillo o verde-amarillo
Cromaticidad	Saturación, intensidad, pureza, " <i>chroma</i> ". Define la intensidad o pureza espectral del color que va desde los tonos grises, pálidos, apagados a los más fuertes y vivos. Es el grado de color (incoloro, brillo, palidez).	Brillante rojo- amarillo o pálido-rojo amarillo
Luminosidad	Brillante, brillo, " <i>brightness</i> ". Es dado por el contenido total de energía. Da lugar a los colores claros y oscuros. Es el grado entre la oscuridad y el brillo máximo.	Rojo brillante-amarillo o rojo oscuro-amarillo

Zilić et al., (2013), en sus estudios realizados menciona que el color cambia, por ejemplo, durante el proceso de extrusión y estos cambios podrían ser atribuidos principalmente a las reacciones desencadenadas por las alta temperaturas y contenido de harina de frijol utilizado. El aumento del pardeamiento, expresado por el aumento en el valor CIE a^* , podría estar asociado con la formación de color marrón, que son polímeros llamados melanoidinas durante las reacciones de Maillard, lo que podría ser indicativo de la magnitud de esta reacción.

Por otro lado, Estrada et al., (2015), reportaron que el aumento en el valor CIE b^* indica la formación de productos de color amarillo en etapas intermedias de la reacción de Maillard, junto con la oxidación térmica de ciertos lípidos en la muestra.

En otras investigaciones realizadas, algunos investigadores han especulado que los compuestos cromóforos de bajo peso molecular podrían ser responsables de la formación de colorantes en alimentos procesados térmicamente. Mientras, otros autores han demostrado que existe una correlación directa entre moléculas de bajo peso molecular atrapadas en proteínas polímeros de alto peso molecular (es decir,

complejos llamados melanoidinas) y el color característico del pardeamiento de los alimentos (Fogliano et al., 1999).

En los estudios realizados por Morales et al., (2010), en donde estudio el efecto combinado del secado y freído en tortillas tostadas correspondientes a cuatro marcas comerciales mexicanas (Charras, Delicias, Milpa Real y Totopos), en el análisis de color de las muestras, la luminosidad fue de (L: 23-25) y el grado de amarillez (b: 1,3-3,3) resultaron diferentes al 95 % de confianza, mientras que el parámetro rojizo (a: 0,04-0,18) no se encontraron diferencias significativas con ($p > 0.05$) entre marcas comerciales.

2.8.4. Evaluación sensorial

La evaluación sensorial es el análisis de alimentos u otros materiales por medio de los sentidos (Anzaldúa, 1994).

El Instituto de Tecnólogos de Alimentos de EE.UU. (IFT), define la evaluación sensorial como la disciplina científica utilizada para evocar, medir, analizar e interpretar las reacciones a aquellas características de alimentos y otras sustancias, que son percibidas por los sentidos de la vista, olfato, gusto y oído.

También se define como la ciencia relacionada con la evaluación de los atributos organolépticos mediante los sentidos, (ISO/FDIS 5492:2007).

Las propiedades sensoriales son los atributos de los alimentos que se detectan por medio de los sentidos y son, por tanto, la apariencia, el olor, el aroma, el gusto y las propiedades quinesísticas o texturales (Anzaldúa, 1994).

Los parámetros texturales incluyen un número de sensaciones físicas diferentes que se identifican como táctiles, visuales y auditivos. Los parámetros de textura

pueden ser considerados de gran importancia en el control de calidad de los alimentos, (Foegeding et al., 2011).

La apariencia representa todos los atributos visibles de un alimento, se puede afirmar que constituye un elemento fundamental en la selección de un alimento. La primera impresión que se recibe siempre es la visual que cumple el rol de factor de decisión al momento de la compra. De la combinación de las propiedades ópticas, la forma física y el modo de presentación surge la imagen del producto que se quiere describir con el objeto de asignarle identidad y calidad (Picallo, 2009).

El olor es la percepción por medio de la nariz de sustancias volátiles liberadas por los alimentos (Anzaldúa, 1994).

Una característica del olor es la intensidad o potencia de éste. Además, la relación entre el olor y el tiempo es muy importante, ya que el olor es una propiedad sensorial que presenta dos atributos contradictorios entre sí, como la persistencia, o sea, que aún después de haberse retirado la sustancia olorosa, la persona continúa percibiendo el olor. La otra característica, está relacionada con la mente y es que las personas se acostumbran a los olores después de un cierto tiempo (Picallo, 2009).

El sabor está directamente relacionado con los sentidos del gusto y el olor y es de gran importancia en la evaluación sensorial de los alimentos. El gusto se detecta en la cavidad oral, específicamente en la lengua, donde se perciben los cinco gustos básicos: dulce, salado, ácido, amargo y umami. El flavor consiste en la percepción de las sustancias olorosas o aromáticas de un alimento después de haberse puesto éste en la boca. Dichas sustancias se disuelven en la mucosa del paladar y la faringe, y llegan a los centros sensores del olfato a través de las trompas de Eustaquio (Anzaldúa, 1994).

Cuando los alimentos están en la boca, los componentes volátiles percibidos por la nariz, por vía retronasal determinan el aroma. La textura encuentra numerosas

definiciones. Varios autores han intentado describirla de manera apropiada, sin embargo, la definición más clara la expresa Picallo.

La textura es la propiedad sensorial de los alimentos que es detectada por los sentidos del tacto, la vista y el oído y que se manifiesta cuando el alimento sufre una deformación. Las propiedades de la textura tienen tres tipos de atributos: mecánicos, geométricos y de composición (Picallo, 2009).

Los atributos mecánicos indican el comportamiento mecánico del alimento ante la deformación. Los atributos geométricos se relacionan con la forma o la orientación de las partículas de un alimento, por ejemplo, la fibrosidad, la granulosidad, la porosidad, la esponjosidad, etc. Los atributos de composición son los que indican la presencia de algún componente en el alimento, como serían la humedad, carácter graso, harinosidad, etc. La textura, al ser evaluada sensorialmente, debe ser considerada en diferentes etapas, ya que, se manifiestan diferentes propiedades de textura en diferentes momentos (Bourne, 2002).

Específicamente la dureza en los productos amiláceos indica su grado de frescura, mientras que la crujencia arroja información sobre su estructura interna y características de composición, (Castro et al., 2003; Granados et al., 2014).

III. JUSTIFICACIÓN

Uno de los principales problemas actuales de la sociedad mexicana es la prevalencia de diabetes, sobrepeso y obesidad en los adultos, por lo que es preponderante promover una correcta alimentación. Los cereales y legumbres destacan por el aporte de nutrientes en la dieta diaria con alimentos elaborados a base de maíz y frijol.

Las tendencias actuales de investigación de la industria alimentaria enfatizan en la necesidad de desarrollar productos alimenticios de alto valor nutrimental que puedan equilibrar beneficios en la salud, incluidas mayores cantidades de proteínas.

De lo anterior, el objetivo de la presente investigación destaca en la especial relevancia para determinar la viabilidad en la combinación de las mezclas de harina de frijol ayocote *Phaseolus coccineus* y harina de maíz para la elaboración de tostadas como uno de los alimentos básicos de mayor consumo en la dieta de la población mexicana.

IV. HIPOTESIS

Las proporciones de harina de frijol-maíz y el tamaño de partícula influirán en las propiedades fisicoquímicas de las tostadas.

V. OBJETIVOS

General

Determinar la influencia del tamaño de partícula en las mezclas de harina de frijol y harina de maíz en las propiedades fisicoquímicas de tostadas.

Específicos

- Determinar la composición proximal en la harina de frijol y tostadas (Método AOAC).
- Determinar las propiedades mecánicas de dureza, fracturabilidad y rigidez en las tostadas, mediante un texturómetro.
- Obtener las propiedades de empastamiento: viscosidad máxima y viscosidad final de las harinas frijol-maíz, utilizando un analizador de viscosidad.
- Analizar los cambios moleculares y la interacción de los grupos funcionales en las harinas de las tostadas, por medio de FTIR.
- Determinar los cambios de color de las tostadas, por colorimetría digital.
- Determinar el grado de aceptación de las tostadas, mediante análisis sensorial.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Lugar de la investigación

El procesamiento y caracterización del frijol, se llevó a cabo en el laboratorio de Biomateriales del Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (Unidad CICATA-LEGARIA), del Instituto Politécnico Nacional de la Ciudad de México.

6.2 Material biológico

El frijol ayocote (*Phaseolus cocinneus*), color amarillo, fue adquirido en un mercado local de Texcoco, Estado de México, a principios del mes de enero de 2019.

6.3 Material químico y equipos

Se utilizaron los siguientes reactivos grado analítico: etanol, éter de petróleo, ácido sulfúrico 95-98 % de pureza de la marca Baker, hidróxido de sodio solución, indicador mixto especial para titulaciones de amoníaco y catalizador Kjeldahl, ácido bórico, ácido clorhídrico, ácido sulfúrico.

Equipos: Unidad de digestión, (Bloc-Digest), Colector/Extractor de humos, unidad de destilación con tritación integrada (Buchi, B-324); extractor de grasas y aceites (Hanon Sox-500); horno de laboratorio ajustado a 105 °C., (Felisa, FE-292D); Mufla (Felisa, FE-363); Extractor para la determinación de celulosas y fibras (Velp científica, F30540200); balanza analítica (Ohaus, Pionner) de 220 g con grado de sensibilidad de 0.0001.

6.4 Obtención de harina de frijol.

En la figura 4 se presenta el diagrama general para la obtención de la harina de frijol, elaboración y análisis en la harina de frijol, maíz y en las tostadas.

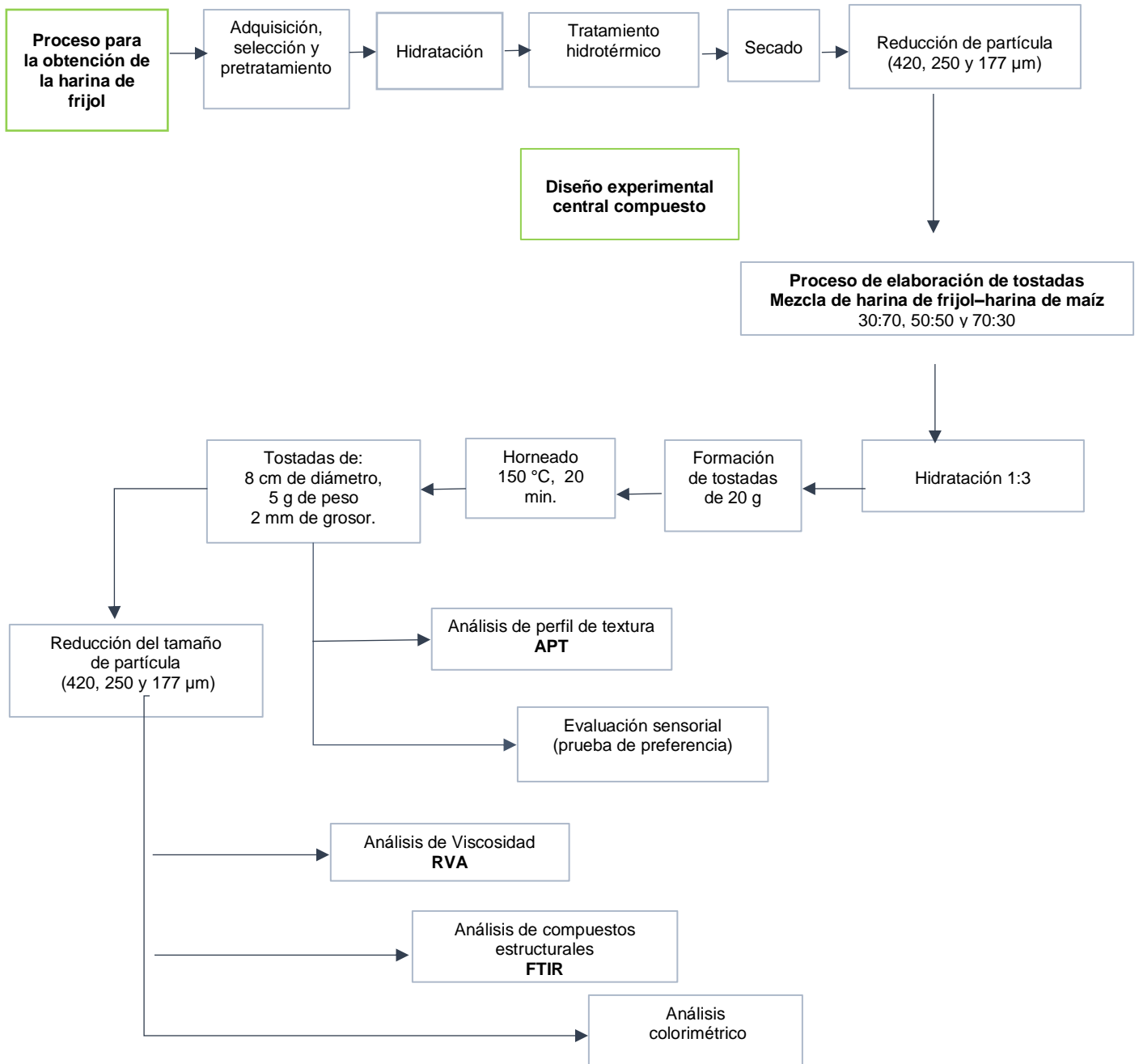


Figura 4. Proceso de obtención de la harina de frijol y elaboración de tostadas.

6.5 Preparación de las muestras

La preparación de la muestra previo a la cocción, se inició con la limpieza preliminar y selección de los granos de frijol, eliminando los quebrados y dañados por insectos o condiciones climáticas. Los frijoles seleccionados se lavaron con agua potable eliminando el polvo, posteriormente se eliminó el exceso de agua del lavado y se procedió a hidratar o remojar los frijoles con agua purificada en relación 1:1, durante tres horas.

6.6 Proceso hidrotérmico

El frijol previamente remojado, fue cocinado, en una olla de presión (Presto, 75484) con capacidad de 6 L y presión de trabajo de 80 KPa.), utilizando 1 kg de frijol y tres litros de agua purificada, la cocción se mantuvo durante 30 minutos, a partir de la temperatura de ebullición de aproximadamente 92 °C, terminada la cocción el agua se drenó.

6.7 Secado o deshidratado

Finalizada la cocción, los frijoles fueron distribuidos sobre charolas de aluminio para su deshidratación, utilizando una estufa de secado Felisa, FE-294AD durante 48 h, a 50 °C.

6.8 Tamaño de partícula

Una vez que la muestra se deshidrató, se procedió a disminuir el tamaño de partícula, triturando el material biológico, en un molino con cuchillas de acero inoxidable y función de pulso (Krups, GX4100). Las harinas obtenidas se pasaron por un tamizador de alimentos, con diámetros de malla de: 420, 250 y 177 μm .

En la figura 5. (A y B) se aprecian las muestras del ejemplar de la leguminosa (*Phaseolus coccineus*), color amarillo, adquiridas en el mercado local de Texcoco, Estado de México.



Figura 5. (A y B) ejemplar de frijol ayocote.

La figura 6. muestra las operaciones de pesado, limpieza y selección del frijol ayocote (*Phaseolus coccineus*).



Figura 6. (A, B y C) preparación preliminar de la muestra.

En la figura 7. (A, B y C) se presenta la preparación preliminar al tratamiento hidrotérmico de la leguminosa a temperatura de 92 °C por 30 minutos.



Figura 7. (A, B y C) muestra con tratamiento hidrotérmico.

Figura 8. Después del proceso de cocción se continuo con el secado del frijol en una estufa a 50 °C por 24 Horas.



Figura 8. (A, B y C) secado del frijol en estufa.

Figura 9. (A) Molienda del frijol deshidratado entero en el equipo procesador Krups, (B) tamizado de la harina obteniendo el tamaño de partícula de 420, 250 y 177 μm y (C) tamizador.



Figura 9. (A, B y C) muestra molida y tamizada.

Figura 10. (A) La harina de maíz y frijol obtenida en el paso anterior (B) se pesó y mezcló (C) para realizar las formulaciones, posterior hidratación y boleo para la obtención de las tostadas.



Figura 10. (A) (B y C) formulación de harina de frijol y harina de maíz.

6.9 Diseño experimental

Se utilizó un diseño central compuesto de dos factores como se presenta en la tabla 8, para elaboración de las tostadas. Se empleó un diseño estadístico central compuesto, con un total de 13 experimentos y 5 repeticiones en el punto central.

Tabla 8. Diseño central compuesto.

Prueba	X ₁	X ₂	A	B
1	-1	-1	70:30	177
2	1	-1	50:50	177
3	-1	1	30:70	177
4	1	1	70:30	250
5	-1.41	0	50:50	250
6	1.41	0	30:70	250
7	0	-1.41	70:30	420
8	0	1.41	50:50	420
9	0	0	30:70	420
10	0	0	50:50	250
11	0	0	50:50	250
12	0	0	50:50	250
13	0	0	50:50	250

Variables de estudio:

A= Formulación: Harina de frijol - Harina de Maíz.

B= Tamaño de partícula: 420, 250, 177 micras.

Para el análisis proteico se utilizaron las muestras con la codificación siguiente:

1. Muestra de malla No. 40 con tamaño de partícula de 420 μm ., con proporción de 70 partes de harina de frijol y 30 partes de harina de maíz (M473).
2. Muestra de malla No. 40 con tamaño de partícula de 420 μm ., con proporción de 30 partes de harina de frijol y 70 partes de harina de maíz (M637).
3. Muestra de malla No. 60 con tamaño de partícula de 250 μm ., con proporción de 70 partes de harina de frijol y 30 partes de harina de maíz (M673).
4. Muestra de malla No. 80 con tamaño de partícula de 177 μm ., con proporción de 30 partes de harina de frijol y 70 partes de harina de maíz (M837).
5. Muestra de malla No. 80 con tamaño de partícula de 177 μm ., con proporción de 70 partes de harina de frijol y 30 partes de harina de maíz (M873).
6. Muestra con 100% harina de frijol con tamaño de partícula de 177 μm ., (HF1).
7. Muestra con 100% de harina de maíz con tamaño partícula \geq a 177 μm ., (HM1).

6.10 Obtención de las tostadas

En la elaboración de las tostadas se utilizaron 30 g de harina maíz-frijol de acuerdo al diseño experimental (tabla 8), que fueron horneadas en un horno Coriat, HC-35, de gas L.P, con charolas de dos niveles, la temperatura de horneado fue a 150 °C por 20 minutos. Finalizado el horneado las tostadas fueron enfriadas, pesadas y envasadas en bolsas de cierre hermético.

6.11 Composición proximal

El análisis proximal se realizó de acuerdo con las metodologías de la AOAC, (2000), para determinar humedad la metodología 44 -19, fibra bruta 991.43, extracto etéreo 30-25, proteína 46 -13, cenizas 08-01 y extracto libre de nitrógeno por diferencia de componentes en la harina de frijol crudo en cada análisis por triplicado.

6.12 Análisis de perfil de textura

Las tostadas obtenidas de acuerdo con el diseño experimental fueron analizadas en el equipo Analizador de textura para alimentos (Texture Technologies Corp., TA-XT2i), utilizando una sonda de tipo esfera de 1.5 cm. La prueba consistió en la inserción de la sonda en la muestra a una profundidad de 10 mm, la velocidad del ensayo fue de 60 mm/min, con una fuerza de 15.00 N, la muestra se colocó sobre una base de cilindro hueco de 5.5 y 6.0 cm de diámetro interno y externo respectivamente, la muestra se fracturó y se registró el valor máximo o pico que representa la fuerza como se muestra en la figura 11.

La fuerza de ruptura (N), la fracturabilidad (mm), medida como la distancia de ruptura inicial y la rigidez (calculada como la fuerza de ruptura dividida por la distancia) se determinaron a partir de la curva fuerza-deformación. Se realizaron 5 pruebas por cada muestra.

La figura 11. (A y B) representa el análisis de perfil de textura prueba de dureza y fracturabilidad de las muestras de tostadas utilizando el Analizador de textura para alimentos y sonda de tipo esfera de 1.5 cm de diámetro.

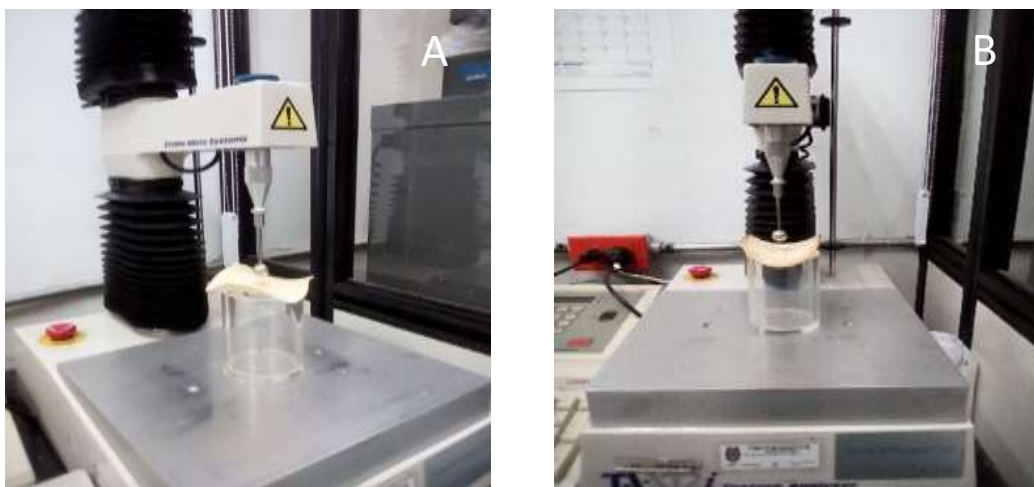


Figura 11. (A y B) análisis de perfil de textura en las tostadas.

6.13 Análisis de viscosidad

Se determinó el perfil de viscosidad en las harinas del frijol, maíz y las tostadas con el Analizador de viscosidad (RVA-4D; Newport Scientific Pty, Warriewood, Australia). Con este equipo son obtenidos los perfiles de viscosidad, utilizando el método propuesto por Saunders et al., (2011). Se utilizaron 3.15 g de cada muestra y se hidrataron con 25.3 ml de agua destilada para acondicionarlas a 14 % de humedad. Durante los primeros 10 segundos del análisis, la muestra se mantuvo a temperatura ambiente, para estabilizar y asegurar una dispersión uniforme. Luego se calentó desde 50 a 90 °C durante 5 min y se mantuvo a 90 °C por 4.5 min. Finalmente, las muestras se enfriaron hasta 50 °C durante 5.5 min. La viscosidad se reportó en mPa·s y las muestras se analizaron por duplicado.

La figura 12. (A y B) representa el material utilizado para realizar el análisis de viscosidad de cada muestra de la harina de las tostadas. (B) preparación de las muestras y materiales.



Figura 12. A y B) análisis de viscosidad en la harina de tostadas.

6.14 Espectroscopia Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR)

En este estudio se utilizó la harina de las tostadas para la identificación de los grupos funcionales, mediante espectroscopia FTIR (Agilent Technologies, Cary 630, USA) equipado con un detector (DLATGS) usando un accesorio de reflexión atenuada (ATR) de ZnSe. La resolución del espectro fue de 2 cm^{-1} con 40 scans en promedio. Las mediciones fueron realizadas con un back ground sin muestra y por triplicado.

En la Figura 13 (A) se presenta la programación y (B) el análisis de muestras en el equipo FTIR, se analizaron 17 muestras para determinar las interacciones de los grupos funcionales en las muestras de harina de las tostadas.

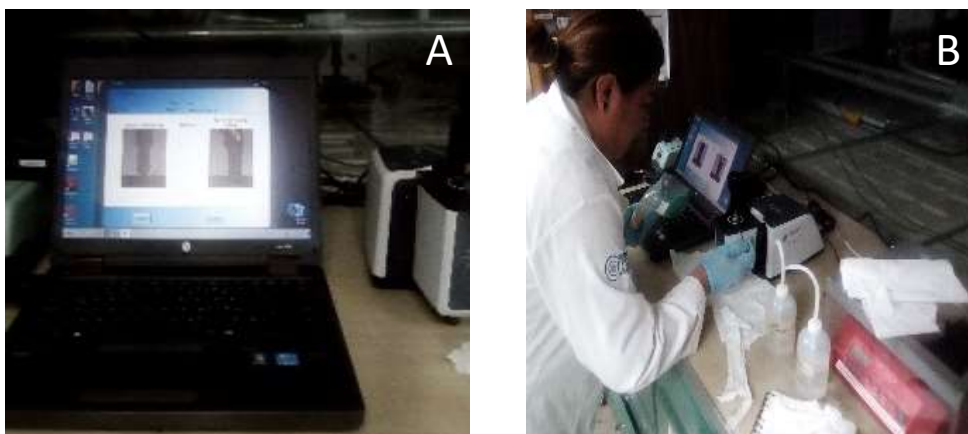


Figura 13. (A y B) análisis de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR).

6.15 Análisis colorimétrico

Los parámetros de color en las tostadas fueron caracterizados con un colorímetro portátil NH300 (3nh, Shenzhen, China), usando una fuente de luz D65 con componente espectral incluido y calibración de blanco y negro automática. Los valores de color L^* , a^* y b^* corresponden a luminosidad (negro: $L^* = 0$ y blanco: $L^* = 100$), coordenadas de verde (-a) y rojo (a) y coordenadas de azul (-b) y amarillo (b).

Las muestras utilizadas para el análisis de color fueron seleccionadas a partir del diseño experimental propuesto, con la codificación que se presenta en la tabla 9.

Tabla 9. Codificación de las muestras de tostadas del diseño experimental.

No.	Muestra-Mezcla de harina de frijol-harina de maíz
1.	Maíz 100
2.	Frijol 100
3.	M403070
4.	M405050
5.	M407030
6.	M603070
7.	M605050
8.	M607030
9.	M803070
10.	M805050
11.	M807030

6.16 Evaluación sensorial

En este análisis, se realizó una prueba de aceptación de los atributos sensoriales de apariencia, sabor, aroma, textura y fracturabilidad con tostadas seleccionadas de acuerdo a la tabla 10., y para la evaluación se utilizó una boleta de registro (Anexo 1) a 14 consumidores de ambos sexos, entre 11 a 60 años de edad, utilizando una escala hedónica de 5 puntos. En la evaluación se explicó a los consumidores el propósito, se leyeron las instrucciones para el llenado de la boleta, se les proporcionaron 8 muestras diferentes identificadas con el código siguiente: 637, 655, 673, HM1, 837, 855, 873 y HF1, se proporcionó aproximadamente 1 g por cada muestra, un vaso con agua purificada para el enjuague del paladar después de probar cada una de las muestras evaluadas.

Tabla 10. Muestras de tostadas seleccionadas para la evaluación sensorial.

Prueba	Mezclas de Harina de frijol-harina de maíz	Tamaño de partícula en micras	Código asignado a la muestra
1	30:70	250	M637
2	50:50	250	M655
3	70:30	250	M673
4	HM100	177	HM1
5	30:70	177	M837
6	50:50	177	M855
7	70:30	177	M873
8	HF100	177	HF1

La escala hedónica utilizada fue la siguiente:

1 = Me disgusta mucho

2 = Me disgusta

3 = No me gusta ni me disgusta

4 = Me gusta

5 = Me gusta mucho

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Análisis proximal en la harina de frijol crudo y en la harina de las tostadas.

7.1.1 Análisis proximal de la harina de frijol crudo.

De acuerdo a la tabla 11, el porcentaje de proteína en la harina de frijol ayocote crudo fue de 19.55 %, este porcentaje es parecido al reportado por Teniente et al., (2016), para frijol ayocote color negro y color morado, con 23.80 y 21.93 % de proteína respectivamente. Así mismo, en los estudios reportados por Álvarez et al., (2009), en la variedad de frijol ayocote petaco el contenido de proteína fue del 23.46 %, en el ayocote escarlata reportó 20.97 % y en el ayocote blanco-Tlaxcala, reportó un contenido proteico de 20.46 %. La variabilidad en el porcentaje de proteína es atribuida a la variedad, lugar de origen y condiciones agroclimáticas.

Tabla 11. Análisis bromatológico de la harina de frijol.

Análisis	Harina de frijol crudo (%)
Humedad	9.55 ± 0.13
Extracto etéreo	3.66 ± 0.14
Fibra bruta	4.94 ± 0.59
Proteína	19.59 ± 0.40
Cenizas	3.59 ± 0.05
Extracto libre de nitrógeno	58.70 ± 0.26

7.1.2 Contenido de proteína en las tostadas

En la tabla 12 se muestran los porcentajes de proteína de las harinas de las tostadas de frijol y maíz al 100 % (9.33 y 5.71 %) respectivamente, estos últimos tomados como control.

Tabla 12. Contenido proteico de las tostadas.

Proporción Harina de frijol-harina de maíz	Tamaño de partícula (µm)	Código	Proteína (%)
70:30	420	M473	10.00 ± 0.10
30:70	250	M637	9.06 ± 0.90
70:30	250	M673	8.45 ± 0.09
30:70	177	M837	11.16 ± 0.85
70:30	177	M873	9.71 ± 0.29
100	177	HF1	9.33 ± 0.32
100	177	HM1	5.71 ± 0.29

La adición en proporciones de 30, 50 y 70 % de la harina de frijol en la harina de maíz incrementa el contenido de proteína en las tostadas, la combinación de los componentes proteicos de la harina de maíz con 5.71 % y de la harina de frijol de 9.33 %, en las mezclas de 30:70 alcanza un valor desde 9.06 hasta 11.16 % en proteína mejorando el valor nutrimental del producto final.

7.2 Análisis del perfil de textura (APT)

En el análisis de APT se determinaron las propiedades mecánicas de dureza, fragilidad y rigidez de las tostadas de proporciones de 30:70, 50:50 y 70:30, con tamaño de partícula de 420, 250 y 177 micras que se observan en la figura 14. Los datos del perfil de textura fueron utilizados para realizar los modelos de superficie de respuesta expuestos en las figuras 15 - 17, (Anexo 1, Tabla 18 - 21).

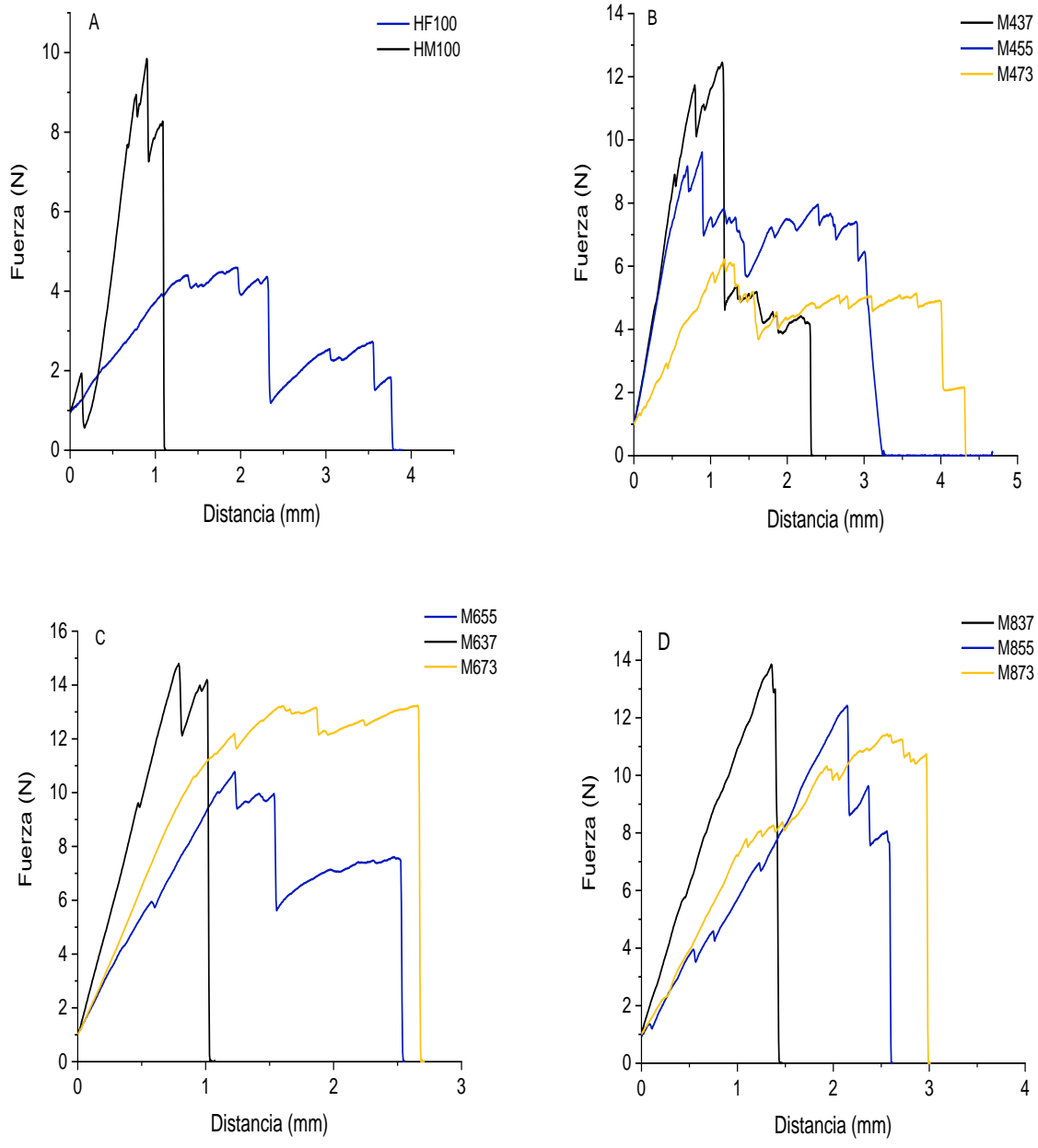


Figura 14. Propiedades mecánicas de las tostadas con 100% harina de frijol-maíz (A); Propiedades mecánicas de las tostadas con proporciones de 30:70, 50:50 y 70:30 con tamaño de partícula de 420 μm (B); Propiedades mecánicas de las tostadas con proporciones de 30:70, 50:50 y 70:30 con tamaño de partícula de 250 μm (C);

Propiedades mecánicas de las tostadas con proporciones de 30:70, 50:50 y 70:30 con tamaño de partícula de 177 μm (D).

La dureza se define como la fuerza máxima necesaria para romper un material. Se observaron mejores características de dureza en las tostadas de 30:70 en las que se obtuvo 13.8 N, mientras que, en las tostadas con proporciones de 50:50 y 70:30 la dureza fue de 12.42 y 11.422 N respectivamente, con tamaño de partícula de 177 micras. En la figura 15 se muestra que el aumento en la dureza es inversamente proporcional a la cantidad de harina de frijol adicionada. Por tanto, se deduce que la cantidad de harina de maíz determina una mayor dureza en las tostadas.

Por otro lado, el tamaño de partícula influye significativamente en la dureza. En las tostadas de 420 y 177 μm , la dureza fue de (6.143 y 11.422 N) respectivamente, en proporciones de 70:30. A través del análisis de estos datos se observó, que un menor tamaño de partícula confiere mayor dureza a las tostadas debido a una mayor interacción y cohesión de las partículas y a la disponibilidad de los componentes de las harinas.

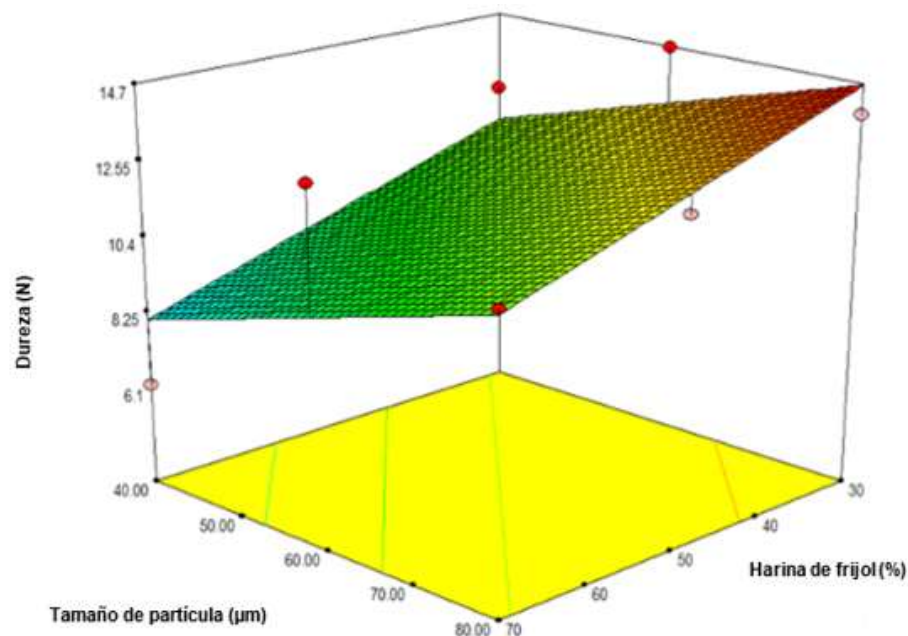


Figura 15. Dureza de las tostadas modelo de superficie de respuesta.

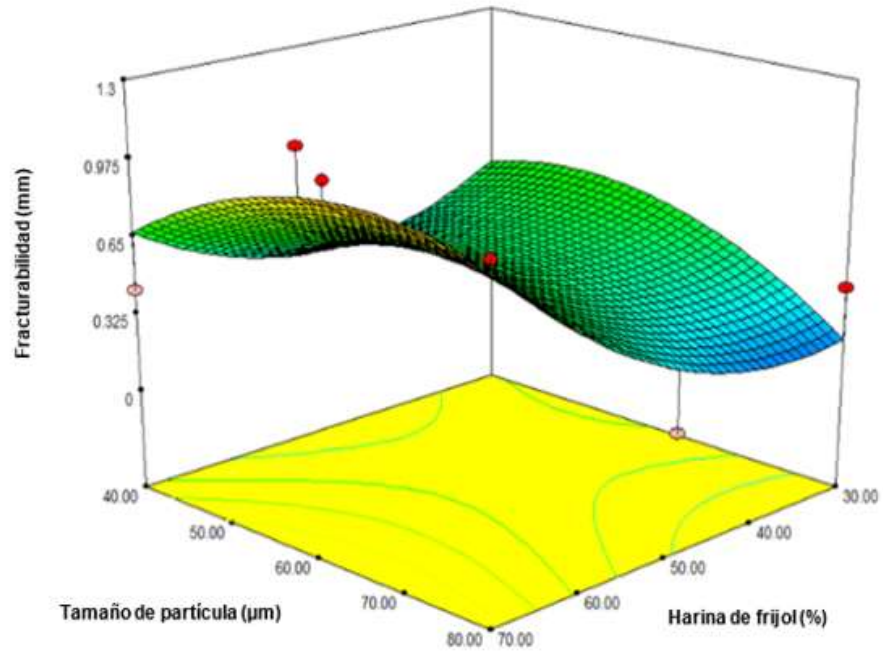


Figura 16. Propiedad mecánica de fracturabilidad modelo de superficie de respuesta.

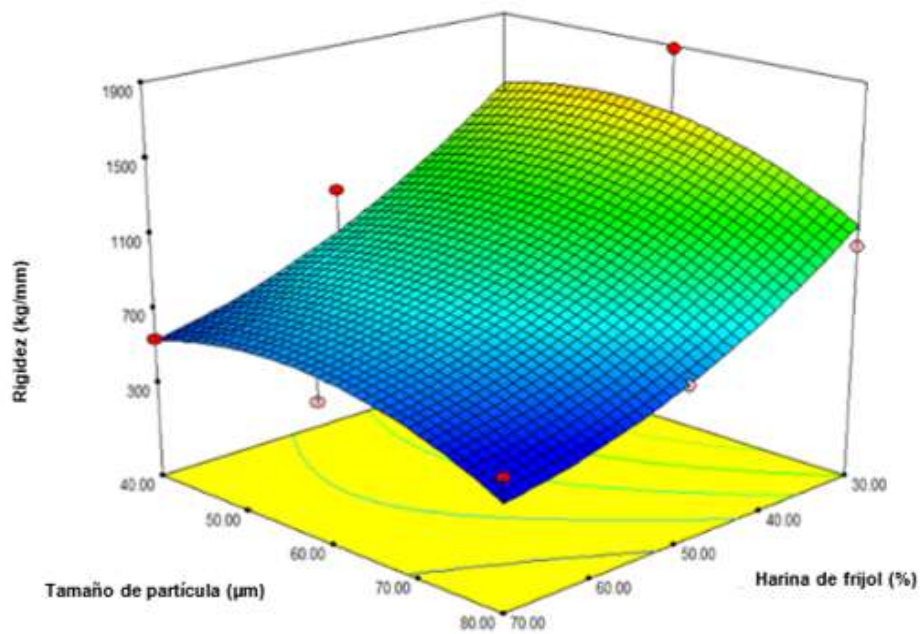


Figura 17. La rigidez de las tostadas expresada en el modelo de superficie de respuesta.

La fracturabilidad es la distancia a la cual se genera la primera ruptura de un material por una fuerza ejercida. Con lo cual, un valor mayor de fracturabilidad refleja una mayor elasticidad. En la figura 16, se puede observar que en las tostadas con tamaño de partícula de 177 μm con una mayor proporción de harina de frijol (70:30), se obtiene un valor de fracturabilidad de 0.99 mm comparado con las tostadas de proporciones de 30:70 en las que se obtuvo 0.44 mm. De esta manera, se puede inferir que el aumento en la fracturabilidad es proporcional al incremento de la cantidad de harina de frijol en las tostadas. Esta propiedad se ve afectada por la composición de fibra y proteínas en la harina de frijol que contribuye en la elasticidad.

La rigidez, la cual se define como la capacidad de las tostadas para resistirse a la fuerza ejercida para doblarse o romperse. En la figura 17, se presentan los datos de rigidez en donde se observó que en las proporciones de 30:70 con tamaño partícula de 177 micras, se obtuvo una rigidez de 1042.3 kg/m comparado con las tostadas de 70:30 en las que se obtuvo 454.81 kg/m.

De esta manera se entiende que una mayor proporción de harina de maíz produce una mayor rigidez en las tostadas, así entonces, esta propiedad presenta una correlación con la dureza.

Lo anterior se confirma con las superficies de respuesta, en donde es evidente que incrementando la proporción de harina de maíz se obtiene una mayor resistencia a la ruptura y por lo tanto una mayor rigidez, por otro lado, la adición de harina de frijol en estas proporciones genera una mayor elasticidad y disminuyen la fragilidad de las tostadas, favoreciendo la manipulación de estos productos.

Los resultados de la dureza (9.8 N) en las tostadas de harina de maíz en este estudio, son comparables con los reportados por Morales (2010) y Gómez (2013), en tostadas de maíz comerciales en un rango de 5.80 a 12.54 N.

En las tostadas de maíz con 100 % (Anexo 1, Tabla 18) la dureza fue de 9.8 N, la fracturabilidad de 0.13 mm y la rigidez de 1115.18 Kg/m, mientras que, en las tostadas de 30:70 con partícula de 177 micras la dureza fue de 13.8 N, la fracturabilidad de 0.44 mm y la rigidez de 1042.38 kg/m. Con lo que se observa que las propiedades

mecánicas de las tostadas fueron optimizadas debido a la adición de la harina de frijol, mejorando su resistencia a la ruptura, elasticidad y manteniendo su rigidez.

7.3 Análisis del perfil de viscosidad

Los perfiles característicos de viscosidad se presentan en la figura 18. Los cambios de viscosidad en las tostadas dan información de los cambios ocurridos en el proceso de horneado.

En la figura 18. A, se presentan los perfiles de viscosidad máxima de los controles de harina de frijol y maíz. En la harina de maíz el pico de viscosidad máxima fue de 198.43 mPa·s y en la harina de frijol de 74.02 mPa·s con tamaño de partícula de 177 micras. Esta viscosidad mayor podría atribuirse al mayor contenido de almidón presente en la harina de maíz, comparado con la harina de frijol. En la harina de frijol de las tostadas se observaron viscosidades máximas de 68.11 y 88.26 mPa·s., con tamaño de partícula de 420 y 250 μm respectivamente. La viscosidad máxima está relacionada con la disponibilidad del almidón sin gelatinizar. Durante el tratamiento hidrotérmico del grano frijol y en el proceso de horneado de las tostadas los gránulos del almidón fueron gelatinizados en su mayoría, lo que resultó en picos de viscosidad bajos.

En la figura B, se muestran los perfiles de viscosidad máxima de las harinas de las tostadas con tamaño de partícula de 420 μm y proporciones de 30:70 con viscosidad máxima de 69.44 mPa·s, en las proporciones de 70:30 la viscosidad máxima fue de 51.25 mPa·s, y en proporciones de 50:50 la viscosidad máxima alcanzada fue de 49.439 mPa·s, se confirma con este análisis que en las muestras con mayor proporción de harina de maíz y contenido más elevado de almidón disponible producen el pico de viscosidad máxima.

La figura C, presenta los productos con proporciones de 30:70 y tamaño de partícula de 250 micras, en donde el pico de viscosidad máxima fue de 65.60 mPa·s, en los

productos con proporciones de 70:30 se alcanzó el pico de viscosidad máxima de 58.41 mPa·s, finalmente, en esta figura para los productos con proporciones de 50:50 el pico de viscosidad máxima fue de 47.45 mPa·s, este comportamiento podría ser atribuido que a medida de que el tamaño de partícula en la harina de frijol se redujo fue posible una mejor cohesión de las partículas con la harina de maíz y una mayor disponibilidad de los gránulos de almidón no gelatinizados que aporta la harina de frijol, que durante los tratamientos térmicos a los que se sometió no fueron afectados.

La figura D, presenta el comportamiento del pico de viscosidad máxima en los productos con proporciones de 30:70 que fue de 63.03 mPa·s, con el tamaño de partícula de 177 μm , en los productos con proporciones de 50:50 el pico de viscosidad máxima fue de 63.21 mPa·s, y en los productos con proporciones de 70:30 el pico de viscosidad máxima fue de 45.60 mPa·s menor a la viscosidad de los productos anteriores en este análisis, lo que indica que ante mayor adición de harina de frijol en las tostadas, el pico de viscosidad máxima disminuye, aun cuando el tamaño de partícula sea menor.

En las figuras B y C el pico de viscosidad máxima no se encuentran visiblemente pronunciados como en la figura D, debido a que el tamaño de partícula es más pequeño lo que, promueve la separación de los componentes en las harinas como las proteínas, fibra y almidón con lo cual, el almidón puede interactuar libremente con el agua.

La harina de las tostadas que contienen una mayor proporción de harina de maíz presentan el pico de viscosidad más alto. Esto es a consecuencia de que el porcentaje de almidón en el maíz oscila en un rango de 60.21 y 76.20 % (Agama et al., 2004; Agama et al., 2013), y es mayor en comparación con la harina de frijol (30 al 50 %) (Miranda, 2013). Por lo tanto, las tostadas con un contenido de maíz más elevado tienen una mayor cantidad de almidón disponible y pueden desarrollar viscosidades más altas.

La viscosidad final se puede interpretar como el fenómeno que ocurre durante el descenso de la temperatura de 90 a 50 °C en los gránulos de almidón gelatinizados, donde las moléculas de amilosa y amilopectina se reasocian y el agua que es liberada después de la hidrólisis del almidón se asocia con los componentes de proteína y fibra por lo que, en el intervalo entre 700 y 1000 segundos la viscosidad se mantiene constante. Los datos de viscosidad final en todas las harinas de las tostadas analizadas muestran el mismo comportamiento que los datos de viscosidad máxima descritos anteriormente.

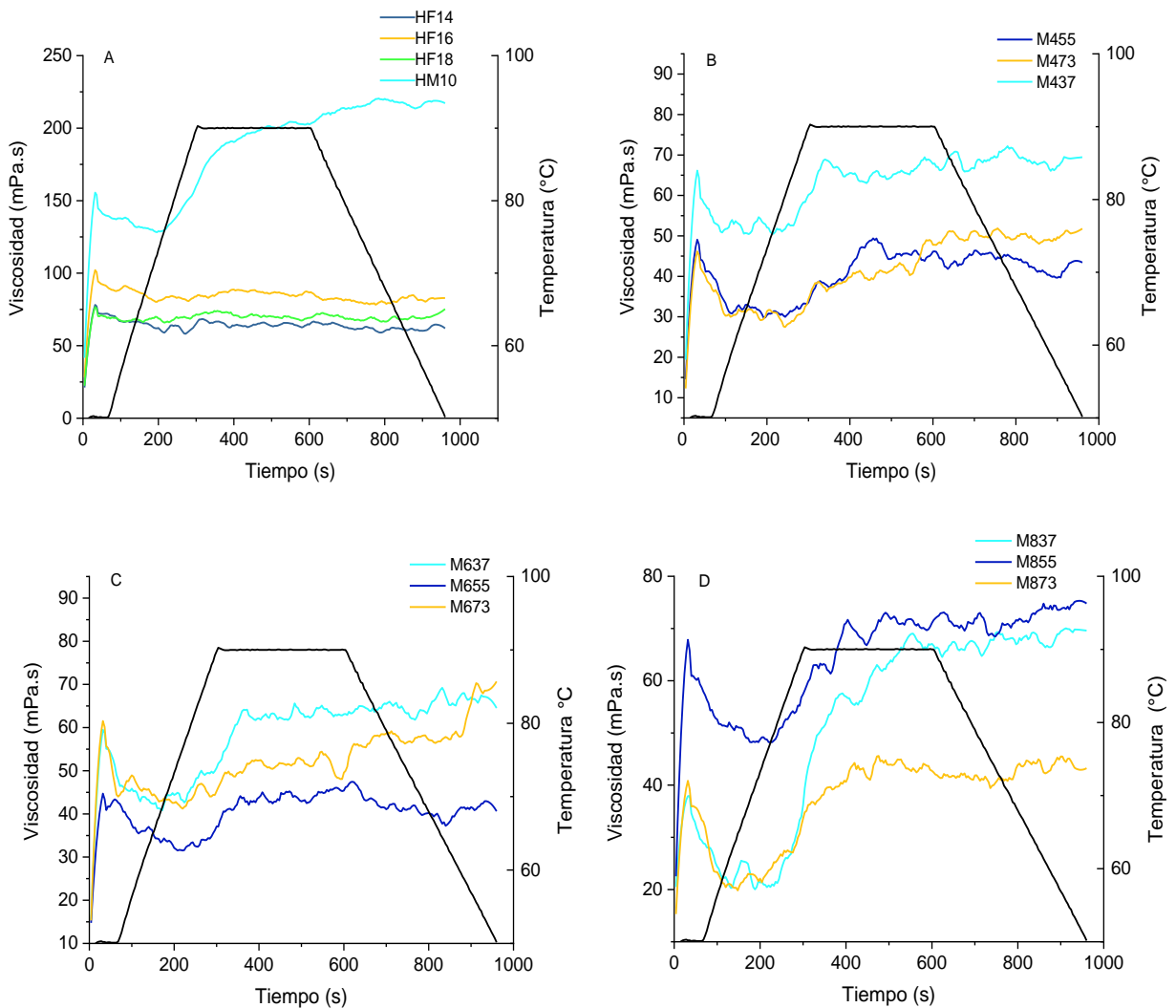


Figura 18. Perfil de viscosidad de la harina de frijol-maíz con tamaño de partícula de 420, 250 y 177 μm (A); Perfil de viscosidad de las tostadas con tamaño de partícula de

420 μm (B); Perfil de viscosidad de las tostadas con tamaño de partícula de 250 μm (C); Perfil de viscosidad de las tostadas con tamaño de partícula de 177 μm (D).

En la figura 19 en el modelo de superficie de respuesta se observa el efecto de las variables de estudio; la combinación de las proporciones de harina de frijol-maíz y el tamaño de partícula, sobre el pico de viscosidad máxima.

Por otro lado, la figura 20 representa la superficie de respuesta de la viscosidad final característica del proceso de retrogradación. Ambos modelos fueron significativos con una $P < 0.05$ indicando que el modelo se ajustó satisfactoriamente a los datos experimentales. En ambos casos, se observó que el contenido de harina de frijol y el tamaño de partícula en los productos, fueron los factores que afectaron significativamente el desarrollo de la viscosidad. El pico de viscosidad máxima en las harinas disminuyó conforme se incrementó la proporción de harina de frijol de 30 a 70 % y a medida que disminuyó el tamaño de la partícula de 420 a 177 μm esto podría deberse a la capacidad de absorción de agua, la interacción y unión de las partículas mezcladas.

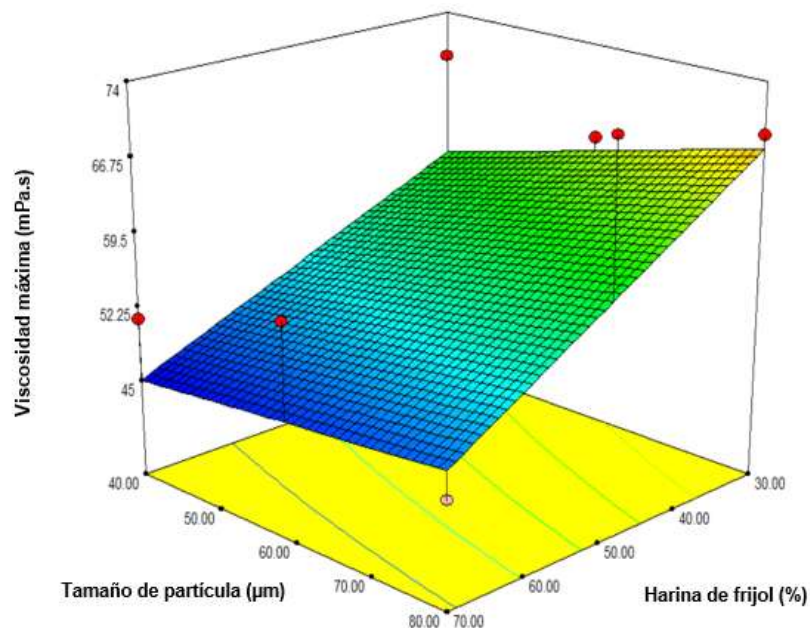


Figura 19. Modelo de superficie de respuesta viscosidad máxima en la harina de las tostadas.

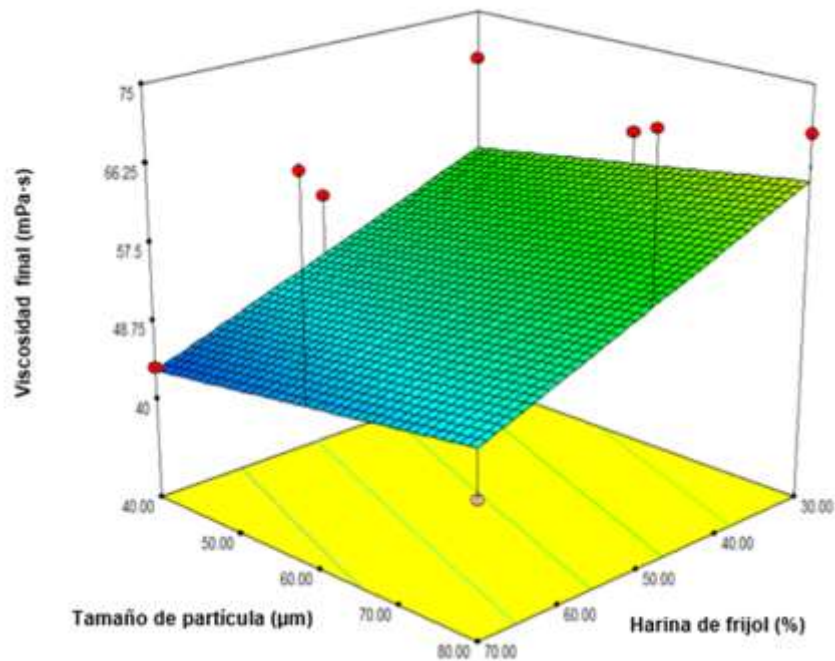


Figura 20. Modelo de superficie de respuesta en la viscosidad final de la harina de las tostadas.

Finalmente, en la harina de las tostadas con proporciones de 70:30, conducen a una disminución de la viscosidad máxima (45.60 mPa-s) de 27.75 %, en comparación con las muestras de proporción de 30:70, en donde el pico de viscosidad máxima fue de 63.03 mPa-s. El aumento en el pico de viscosidad máxima en la harina de las tostadas con proporciones de 30:70 y 50:50 con tamaño de partícula de 177 µm se atribuye a la unión e interacción entre los componentes de las harinas.

7.4 Análisis de FTIR

La espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR), fue empleada para identificar la huella dactilar de la harina de frijol crudo, harina de maíz 100 % y de la harina de las tostadas. Las muestras absorben la onda infrarroja de acuerdo con los enlaces químicos y estructurales de las moléculas, la espectroscopia muestra estructuras específicas de las biomoléculas como los carbohidratos, lípidos y proteínas que se encuentran en los alimentos, a través de una serie de bandas en las que se identifican los grupos funcionales.

Se analizaron los espectros obtenidos de las proporciones de 30:70, 50:50, 70:30, con tamaño de partícula de 420, 250 y 177 μm . Los grupos funcionales y los enlaces químicos identificados en las proporciones de harina se presentan en la Tabla 13.

Tabla 13. Enlaces químicos en las harinas de frijol y maíz 100 % de 420, 250 y 177 μm .

Muestras- Tamaño de partícula	No. de onda cm^{-1} 1500-500	No. de onda cm^{-1} 2500-1500	No. de onda cm^{-1} 3500-2500
Harina de Maíz 100 %	994.52	1644.20	2923.93
	C-H	C=N	C-H
	1022	1744.23	3316.55
	C-H-O	C=N	O-H
	1360.96	2105.99	(Alcoholes, fenoles)
	N-O	C \equiv C	
Harina de Frijol 100 % 250 micras (Malla 60)	1022	1522.09	2919.01
	C- H- O	C=C Aromático	C-H
	1232.21	1632.35	
	C-O Aromáticos	N-H Aminas primarias	3272.02
	1380.71	2123.18	O-H
	C-H	C-C, C \equiv C	
Harina de Frijol 100 % 177 micras (Malla 80)	1022	1513.74	2934.27
	C- H- O	C=C Aromático	C-H
	1117.37	1623.73	3279.15
	C-O ésteres	C-N	O-H
	1237.84	C=N	
	C-O Aromáticos		
	1379.52		
	C-H		

La figura 21. A, muestra el espectro completo con intervalo de 4000 a 500 cm^{-1} se encontraron enlaces simples de C-H, N-O, y en 2500 a 1500 cm^{-1} se encontraron enlaces dobles de C=N y C=C en la harina de maíz con 100 %. En el espectro de la harina de frijol 100 % con tamaño de partícula de 250 μm se identificaron enlaces simples de C-O, ésteres, C-O aromáticos en el número de onda de 1632.5 y 1522.09 cm^{-1} . Se identificaron enlaces de N-H, aminas primarias, amida II de las proteínas en el intervalo del número de onda 1565 a 1520 cm^{-1} y a partir del intervalo de 1700 a 1600 cm^{-1} los grupos amida I. En la harina de frijol (HF18) se encontraron enlaces simples de C-N enlaces dobles de C=C aromático y C=N en el número de onda de 1623.73 y 1513.74 cm^{-1} .

En la figura 21. B, el espectro con ampliación, en el número de onda de 1500 a 500 cm^{-1} se identificaron enlaces simples de C, H, O y en el número de onda 1022 cm^{-1} se observan vibraciones de flexión. Se identificaron principalmente carbohidratos en la harina de las tostadas con el código: HM10, HF14, HF16 y HF18, en este número de onda igualmente, es identificada la región de la huella dactilar o digital en el espectro.

La figura 21. C, representa el espectro con ampliación en el intervalo de 2500 a 1500 se identificó en el número de onda de 1522.09 los enlaces dobles de C=C aromático y en 1623.73 los enlaces simples de C-N y enlaces dobles de C=N (enlaces amida). La muestra de HM10 mostró un estiramiento menor en la banda, lo que supone una menor presencia de los grupos funcionales, lo anterior es debido a que la harina de maíz contiene menor cantidad de proteínas que la harina de frijol.

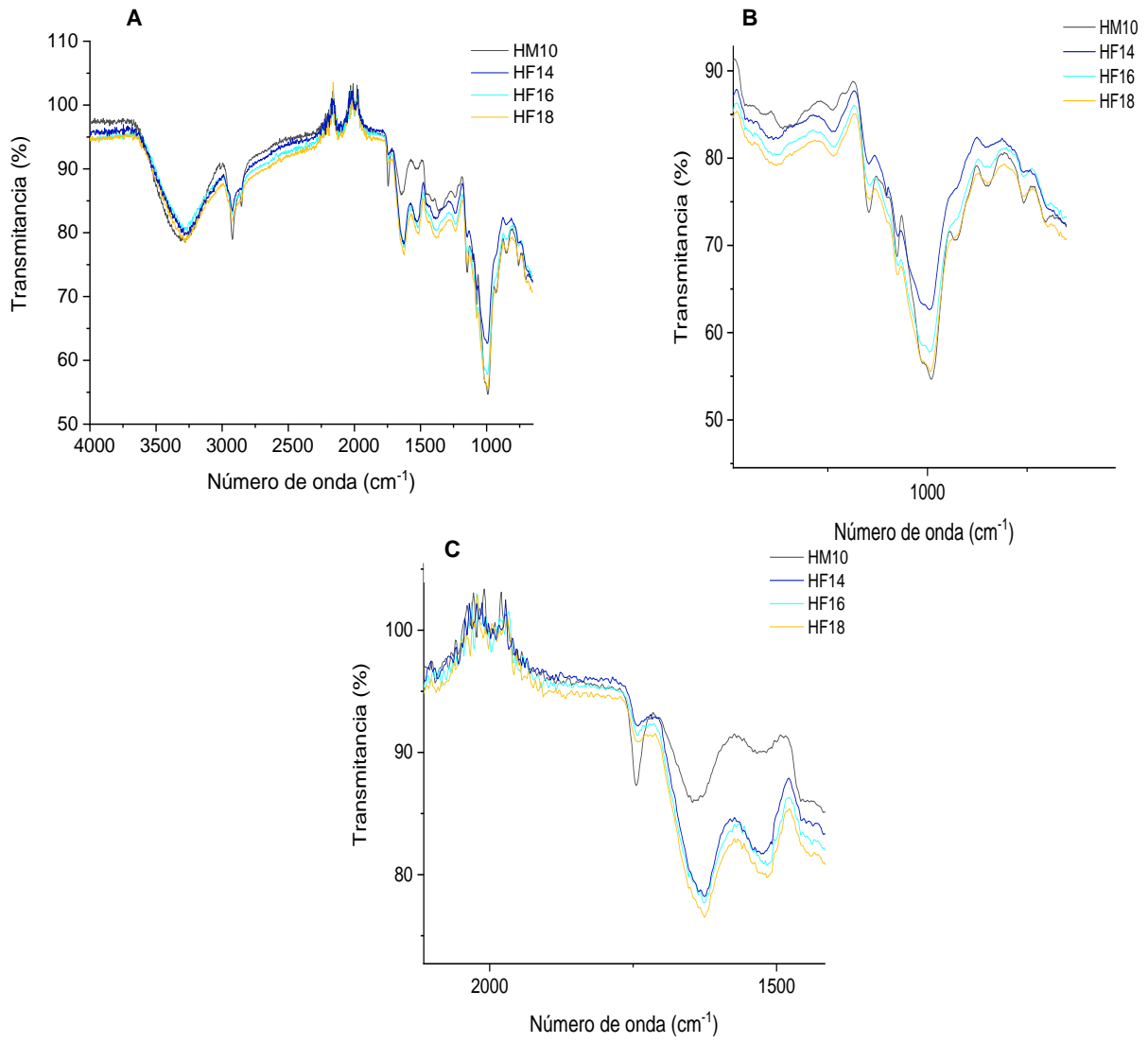


Figura 21. Espectro de 4000 a 500 cm⁻¹ (A); espectro de 1500 a 500 cm⁻¹ (B); espectro con ampliación de 2500 a 1500 cm⁻¹ (C); en las harinas de frijol y maíz con tamaño de partícula de 420, 250 y 177 μm.

En la figura 22. A, se presenta el espectro completo en el intervalo de 4000 a 500 cm^{-1} en las proporciones de 30:70, 50:50 y 70:30 con tamaño de partícula de 420 μm de harina de frijol-maíz respectivamente, se mostraron bandas en el número de onda de 1200 a 800 cm^{-1} en este intervalo se identificó la presencia de carbohidratos.

En la figura 22. B, se observa el espectro con ampliación en el intervalo de 1500 a 500 cm^{-1} en donde, la harina en proporciones de 50:50 con tamaño de partícula de 420 μm influye en una mejor unión de las matrices y la combinación equilibrada entre los componentes de las harinas. En la proporción de 30:70 se mostró la banda con menor estiramiento en el intervalo de 1200 a 800 cm^{-1} lo que puede ser atribuido debido a una menor cantidad de harina de maíz y en consecuencia menor cantidad de carbohidratos.

Figura 22. C, presenta los espectros con ampliación en el intervalo de 2500 a 1500 cm^{-1} en las harinas con proporción de 50:50 y 70:30 se localizan aminas primarias - NH_2 en el intervalo de 1640 a 1560 cm^{-1} , y vibraciones de flexión del enlace N-H con intensidad mediana, que son identificables como flexiones de tijera en aminas alifáticas y aromáticas.

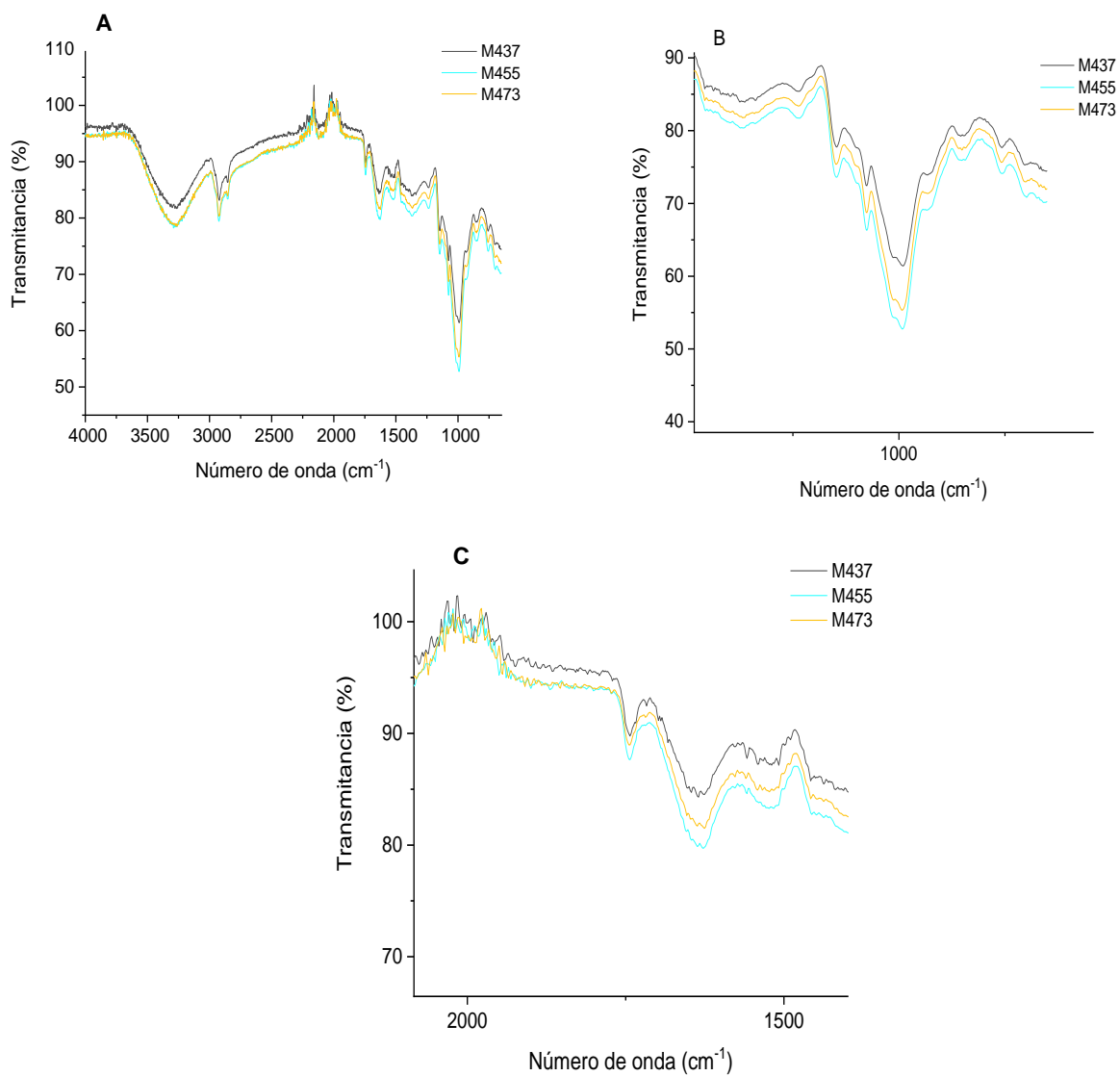


Figura 22. Espectro en el intervalo de 4000 a 500 cm⁻¹ (A); espectro con ampliación en el intervalo 1500 a 500 cm⁻¹ (B); espectro en el intervalo de 2500 a 1500 cm⁻¹ (C); de la harina de las tostadas con tamaño de partícula de 420 μm.

En la tabla 14 se presentan los grupos funcionales y los enlaces químicos, identificados en los espectros de la harina de las tostadas con tamaño de partícula de 250 μm y en proporciones de 30:70, 50:50 y 70:30 harina de frijol-maíz.

Tabla 14. Grupos funcionales en las tostadas de 250 μm .

Muestras- proporción	No. de onda cm^{-1} 1500-500	No. de onda cm^{-1} 2500-1500	No. de onda cm^{-1} 3500-2500
Muestra 30:70	977.25 C-H 1379.52 C-H	1636.78 N-H Amina primaria	2927.67 C-H
Muestra 50:50	994.52 C-H	1639.53 C=N	3285.70 O-H
Muestra 70:30	1002.-94 C-H-O 1345.07 N-O compuestos nitro	1631.12 C-N C=N	2927.67 C-H

La figura 23. A, presenta el espectro en el intervalo de 4000 a 500 cm^{-1} de la harina de las tostadas con tamaño de partícula de 250 μm , en las proporciones de 30:70, 50:50 y 70:30 harina de frijol-maíz respectivamente, se identificaron carbohidratos principalmente, en el intervalo de 1200 a 800 cm^{-1} .

El espectro con ampliación de 1500 a 500 correspondiente a la figura 23. B, permitió identificar los cambios ocurridos, después de la gelatinización del almidón presente en los productos con mayor proporción de harina de maíz en combinación con el almidón presente y disponible en la harina de frijol. Los cambios producidos en los procesos hidrotérmico y de horneado redujeron la intensidad de ciertas bandas en el número de onda de 1047 y 1022 cm^{-1} visibles en el espectro, que representa el orden de corto alcance, esto es representativo en las tostadas que contienen mayor proporción de harina de frijol.

En el espectro con ampliación en el intervalo de 2500 a 1500 cm^{-1} de la harina con proporciones de 50:50 se identificaron enlaces dobles de C=N y con la ampliación del

espectro se confirmó la intensidad en el estiramiento de la banda, comparado con las bandas de las harinas con proporciones de 30:70 y 70:30 (figura 23. C).

En la harina con proporciones de 70:30 se encontraron enlaces de N-H aminas primarias, enlaces simples y dobles de C=N en el número de onda en el intervalo de 2500 a 1500 cm^{-1} , la presencia de estos enlaces se atribuye a la incorporación de harina de frijol y a la unión entre las harinas con menor tamaño de partícula.

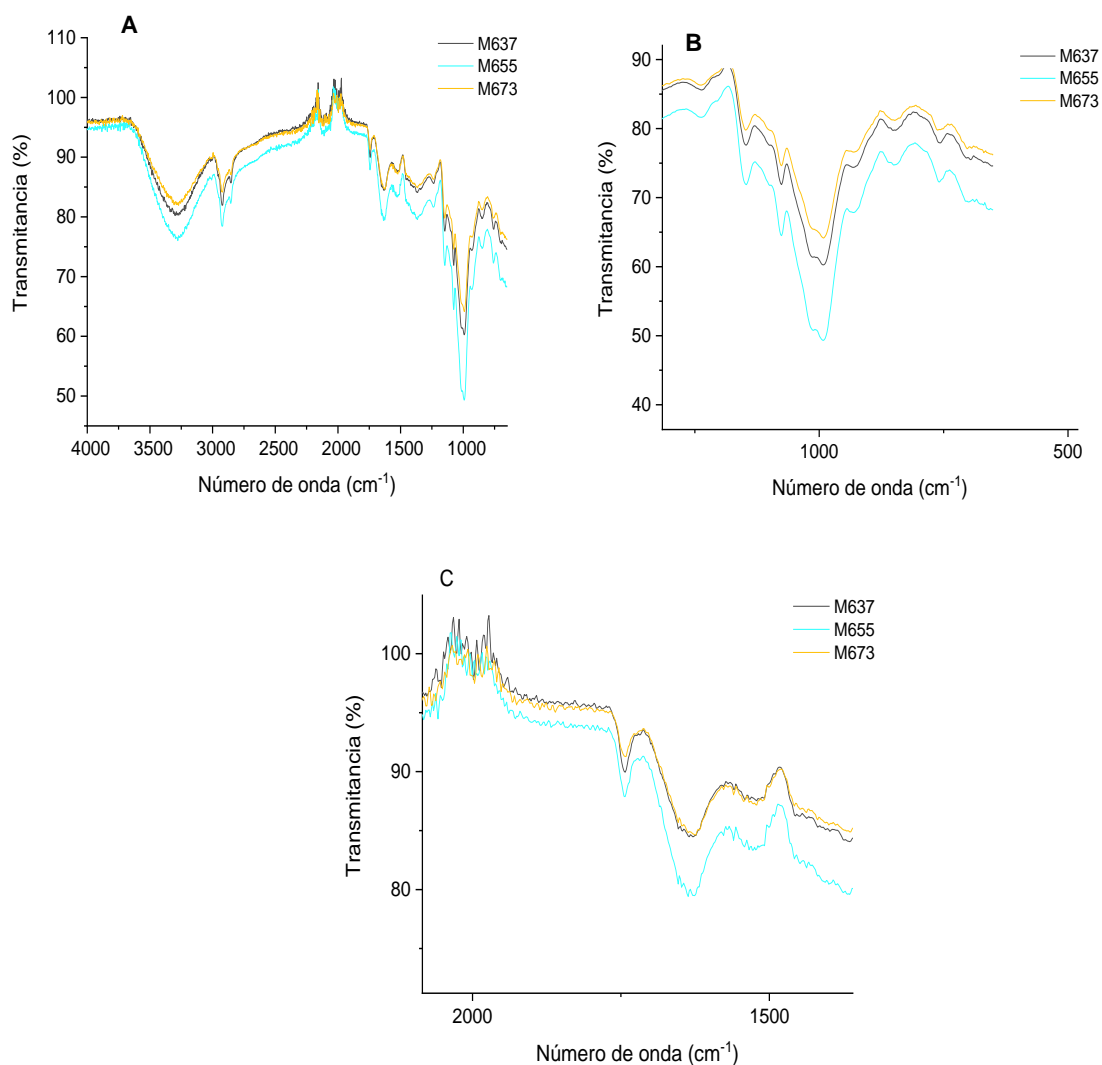


Figura 23. Espectro en el intervalo de 4000 a 500 cm^{-1} (A); espectro con ampliación en el intervalo de 1500 a 500 cm^{-1} (B); espectro en el intervalo de 2500 a 1500 cm^{-1} (C); de la harina de las tostadas con tamaño de partícula de 250 μm .

En la tabla 15 se muestran los grupos funcionales y enlaces químicos de la harina de las tostadas con tamaño de partícula de 177 μm y proporciones de 30:70, 50:50 y 70:30 harina de frijol-maíz respectivamente.

Tabla 15. Grupos funcionales en la harina de las tostadas de 177 μm .

Muestras proporción	No. de onda cm^{-1} 1500-500	No. de onda cm^{-1} 2500-1500	No. de onda cm^{-1} 3500-2500
Muestra 30:70	989.89 C-H 1359.01 N-O	1649.83 C=O Amida	2930.55 C-H 3292.20 O-H
Muestra 50:50	997.35 C-H 1146.49 C-O ésteres 1245.29 C-O Aromáticos 1373.92 C-H	1532.38 C=C Aromático 1631.19 N-H Aminas primarias 1638.64 C=C C=N 1739.31 C=N	2123.34 C≡C 2921.22 C-H 3275.43 O-H
Muestra 70:30		asociaciones moleculares inter en el número de onda de 1625.0 e intra en 1616.0, dentro de las bandas de amida III 1650.0 estructuras proteicas α -hélice.	

En el espectro de la harina de las tostadas con proporciones de 30:70 y 50:50 con tamaño de partícula de 177 μm , se localizaron enlaces simples de C-H, N-O, principalmente en el intervalo de 1500 a 500 cm^{-1} en este intervalo, se localizan los carbohidratos que proveen las proporciones con mayor cantidad de harina de maíz, comparado con las proporciones de 70:30 en donde el espectro presenta un menor estiramiento en la banda (Figura 24. A).

Con la ampliación de las bandas en el espectro se observó, en las proporciones de 70:30 menor intensidad de la banda en el intervalo de 1500 a 500 cm^{-1} de la figura 24. B, comparado con las proporciones de 30:70 y 50:50, que mostraron mayor intensidad,

es posible que el tamaño de partícula de 177 μm favorezca en la interacción y en la unión de los componentes de las harinas.

El espectro con acercamiento en el intervalo de número de onda de 2500 a 1500 cm^{-1} , se identificaron enlaces dobles de C=O y grupos amida en el número de onda de 1649.83 cm^{-1} y en las proporciones de 50:50 se encontraron enlaces dobles de C=C aromático en el número de onda de 1532.38 cm^{-1} y en el número de onda de 1631.19 cm^{-1} N-H aminas primarias, enlaces de O-H y N-H que indican la presencia de alcoholes y aminas, e incluso de ácidos carboxílicos. En las proporciones de 70:30 los espectros con este intervalo, mostraron el desarrollo de estructuras proteicas α -hélice en la longitud de onda de 1650 cm^{-1} y asociaciones moleculares inter en el número de onda de 1625 e intra en 1616 cm^{-1} , dentro de las bandas de amida III comparadas con la harina de las tostadas elaboradas con cien por ciento harina de maíz (control) en las que, no se presentaron estos enlaces químicos (Figura 24. C).

Los espectros de FTIR revelaron un aumento en el contenido de proteína con la adición de harina de frijol. En la harina de frijol crudo se obtuvo 19.59 %, en la harina de las tostadas formuladas con 30:70 harina de frijol-maíz con tamaño de partícula de 177 μm el porcentaje de proteína fue de 11.16 %, comparadas con las tostadas elaboradas únicamente con harina de maíz (5.71 %). Por lo tanto, este incremento en la cantidad de proteína se traduce en un aumento en la intensidad de las bandas en el intervalo de 2500 a 1500 cm^{-1} .

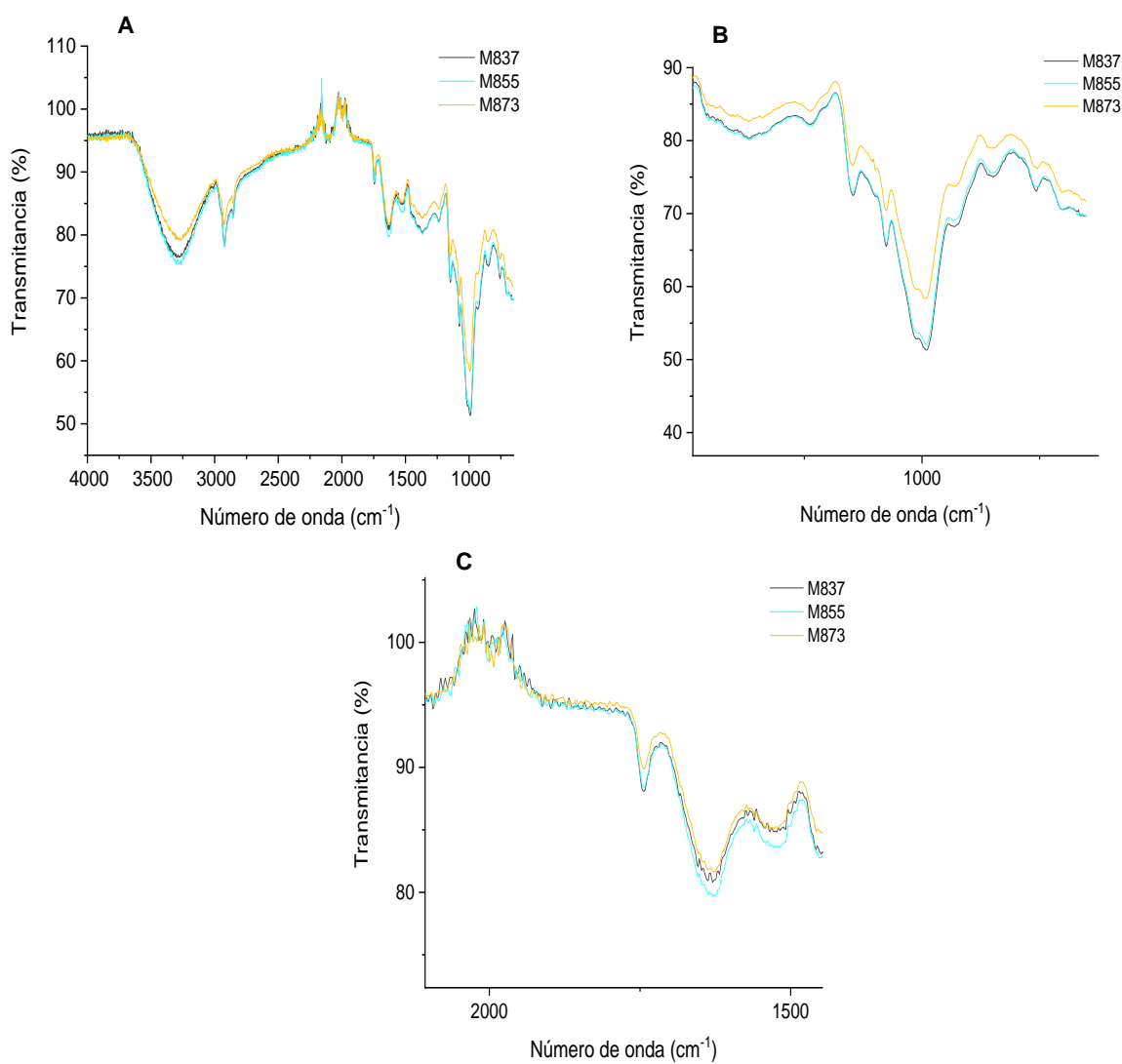


Figura 24. Espectro en el intervalo de 4000 a 500 cm⁻¹ (A); espectro con ampliación en el intervalo de 1500 a 500 cm⁻¹ (B); espectro en el intervalo de 2500 a 1500 cm⁻¹ (C); de la harina de las tostadas con tamaño de partícula de 177 μm.

7.5 Análisis colorimétrico

Los parámetros de color analizados en las tostadas se muestran en la Tabla 16. Al comparar las tostadas se observó, que al aumentar el contenido de harina de frijol disminuyó el valor de L^* , mientras que los valores de a^* y b^* aumentaron en todas las tostadas estudiadas. Estos cambios en los parámetros de color que ocurrieron durante el proceso de elaboración de las tostadas indican un oscurecimiento de las tostadas. La harina de frijol presentó valores mayores de a^* , b^* , y menores valores de L^* que, en la harina de maíz, lo que podría incrementar el color de las tostadas al incorporar un mayor contenido de frijol en las muestras. Los cambios de color durante el proceso de horneado podrían deberse principalmente a las reacciones desencadenadas por las altas temperaturas y el contenido de harina de frijol utilizada. El aumento del pardeamiento, expresado por el aumento del valor de a^* , podría estar asociado con la formación de polímeros pardos llamados melanoidinas durante las reacciones de Maillard, lo que podría ser indicativo de la magnitud de esta reacción (Žilić et al., 2013). Por otro lado, el aumento del valor b^* indica la formación de productos de color amarillo en etapas intermedias de la reacción de Maillard, junto con la oxidación térmica de ciertos lípidos en la muestra (Estrada-Girón et al., 2015). Existe una correlación directa entre moléculas de bajo peso molecular atrapadas en polímeros de proteínas de alto peso molecular (es decir, complejos llamados melanoidinas) y el color característico del pardeamiento de los alimentos (Fogliano et al., 1999).

Tabla 16. Parámetros de color de las tostadas del diseño experimental.

Muestra	L* Luminosidad	a* rojo	b* amarillo
Maíz 100	69.65 ± 0.86 ^a	7.96 ± 0.19 ^f	24.87 ± 0.27 ^a
Frijol 100	39.67 ± 0.68 ^f	10.26 ± 0.18 ^{ab}	14.67 ± 0.44 ^g
M403070	54.16 ± 1.36 ^b	8.58 ± 0.44 ^{ef}	17.24 ± 1.06 ^{de}
M405050	50.24 ± 1.24 ^c	9.27 ± 0.37 ^{cd}	15.90 ± 0.70 ^{efg}
M407030	50.04 ± 0.86 ^c	9.14 ± 0.33 ^{de}	15.58 ± 0.85 ^{fg}
M603070	44.22 ± 1.30 ^{de}	10.63 ± 0.29 ^a	20.37 ± 0.42 ^b
M605050	44.36 ± 1.12 ^{de}	10.13 ± 0.38 ^{ab}	18.66 ± 0.47 ^c
M607030	44.26 ± 1.08 ^{de}	9.81 ± 0.55 ^{bcd}	18.11 ± 0.9 ^{6cd}
M803070	45.87 ± 0.62 ^d	9.76 ± 0.16 ^{bcd}	15.82 ± 0.25 ^{fg}
M805050	42.46 ± 1.16 ^e	9.94 ± 0.10 ^{ab}	15.45 ± 0.32 ^{fg}
M807030	44.83 ± 0.66 ^d	10.07 ± 0.15 ^{ab}	16.36 ± 0.30 ^{ef}

Los valores son medias ± desviación estándar de cinco réplicas.

Superíndices con letras diferentes en la misma columna indican que existen diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

7.6 Evaluación sensorial

Se utilizó el enfoque de escala hedónica con cinco niveles para determinar la característica sensorial de las tostadas. La prueba sensorial del consumidor de las tostadas fue necesaria para evaluar el nivel de agrado del producto. Dicha información es vital para evaluar y mejorar la tostada que más gustó. Los resultados de la evaluación sensorial de todas las combinaciones de tostadas se presentan en la tabla 17. No hubo diferencia significativa entre todos los atributos evaluados. Todas las tostadas evaluadas se encuentran en el mismo nivel de aceptación.

Tabla 17. Evaluación sensorial de las tostadas.

Proporción µm	Apariencia	Olor	Textura	Sabor	Crujibilidad
30:70 (60)	3.68±1.07 ^a	3.46±1.16 ^a	3.68±1.02 ^a	3.93±1.17 ^a	3.89±0.78 ^a
50:50 (60)	3.39±0.73 ^a	3.25±0.83 ^a	3.32±0.65 ^a	3.36±0.89 ^a	3.46±0.94 ^a
70:30 (60)	3.04±1.07 ^a	3.14±0.97 ^a	3.04±0.76 ^a	3.07±1.16 ^{ab}	3.18±0.94 ^a
HM100%	3.32±0.73 ^a	3.21±0.91 ^a	3.46±0.61 ^a	3.57±1.05 ^{ab}	3.71±0.27 ^a
30:70 (80)	3.18±1.08 ^a	3.39±1.11 ^a	3.75±0.70 ^a	3.79±1.27 ^{ab}	3.71±0.86 ^a
50:50 (80)	3.07±0.93 ^a	3.14±0.97 ^a	3.14±0.85 ^a	3.18±1.31 ^{ab}	3.29±0.76 ^a
70:30 (80)	3.00±0.94 ^a	2.89±1.02 ^a	2.96±0.97 ^a	3.04±1.27 ^{ab}	3.11±1.22 ^a
HF100%	3.04±1.01 ^a	2.82±0.91 ^a	3.61±0.92 ^a	2.64±0.99 ^{ab}	2.71±0.96 ^a

Los valores son medias ± desviación estándar.

Superíndices con letras diferentes en la misma columna indican que existen diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

No hubo diferencia significativa en todos los atributos evaluados. Todas las tostadas elaboradas se encuentran en el mismo nivel de aceptación. Teniendo en cuenta que la aceptación de las tostadas de harina de maíz se ubica en el mismo nivel que las demás formulaciones se puede inferir que, las tostadas con combinaciones de harina de frijol son aceptables y pueden reemplazar a las tostadas convencionales. La aceptabilidad general de todas las formulaciones fue superior a 3.5 señalando que es un producto de calidad.

VIII. CONCLUSIONES

El diseño experimental permitió determinar las proporciones de la harina de frijol y de maíz para la elaboración de las tostadas y llevar a cabo el análisis fisicoquímico, reológico, estructural y sensorial, encontrando en la proporción de 30:70 la mezcla óptima con tamaño de partícula de 177 micras.

Se puede señalar que, con la adición de harina de frijol en proporciones de 30, 50 y 70 % incrementaron hasta un 50 % el contenido de proteína en las tostadas. Las mezclas de 30:70 alcanzan un valor desde 9.06 hasta 11.16 % en proteína mejorando el valor nutricional del producto final.

Además, en las tostadas de maíz con 100 % la dureza fue de 9.8 N, la fracturabilidad de 0.13 mm y la rigidez de 1115.18 Kg/m, mientras que, en las tostadas de 30:70 con partícula de 177 μm la dureza fue de 13.8 N, la fracturabilidad de 0.44 mm y la rigidez de 1042.38 kg/m. Las propiedades mecánicas de las tostadas fueron optimizadas debido a la adición de la harina de frijol, mejorando su resistencia a la ruptura, elasticidad y manteniendo su rigidez.

Por otro parte, el pico de viscosidad máxima en las harinas disminuyó conforme se incrementó la proporción de harina de frijol de 30 a 70 % y a medida que se redujo el tamaño de la partícula de 420 a 177 μm esto pudo deberse a la capacidad de absorción de agua, la interacción y unión de las partículas mezcladas.

Así mismo, los espectros de FTIR revelaron un aumento en el contenido de proteína con la adición de harina de frijol. En la harina de frijol crudo se obtuvo 19.59 %, en la harina de las tostadas formuladas con 30:70 harina de frijol-maíz con tamaño de partícula de 177 μm el porcentaje de proteína fue de 11.16 %, comparadas con las tostadas elaboradas únicamente con harina de maíz (5.71 %). Por lo tanto, este incremento en la cantidad de proteína se traduce en un aumento en la intensidad de las bandas en el intervalo de 2500 a 1500 cm^{-1} .

Al mismo tiempo, la harina de frijol presentó valores mayores de a^* , b^* , y menores valores de L^* que, en la harina de maíz, lo que podría incrementar el color de las tostadas al incorporar un mayor contenido de frijol en las muestras. El aumento del pardeamiento, expresado por el aumento del valor de a^* , podría estar asociado con la formación de polímeros pardos llamados melanoidinas durante las reacciones de Maillard, por otro lado, el aumento del valor b^* indica la formación de productos de color amarillo en etapas intermedias de la misma reacción, junto con la oxidación térmica de ciertos lípidos en la muestra.

Finalmente, en la evaluación sensorial todas las tostadas elaboradas se encontraron en el mismo nivel de aceptación. Teniendo en cuenta que la aceptación de las tostadas de harina de maíz se ubica en el mismo nivel que las demás formulaciones se puede inferir que, las tostadas con combinaciones de harina de frijol son aceptables y pueden reemplazar a las tostadas convencionales. La aceptabilidad general de todas las formulaciones fue superior a 3.5 señalando que es un producto de calidad.

En síntesis, la harina de frijol puede ser utilizada para el desarrollo de nuevos productos alimenticios, basados en fuentes de leguminosas nativas como el frijol ayocote combinados con harina de maíz para formular alimentos complementarios en la dieta de la población mexicana.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Agama-Acevedo, E., Rendón-Villalobos, R., Tovar, J., Trejo-Estrada, S. R., y Bello-Pérez, L. A. (2005). Effect of storage time on in vitro digestion rate and resistant starch content of tortillas elaborated from commercial corn masas. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 55(1), 86-92.
2. Aguilera, J. (2005). Why food microstructure. *Journal of Food Engineering*, 67(1-2), 3–11.
3. Aremu, M. O., Olaofe, O., Basu, S. K., Abdulazeez, G., y Acharya, S. N. (2010). Processed cranberry bean (*Phaseolus coccineus* L.) seed flour for the African diet. *Canadian Journal of Plant Science*, 90(5), 719-728.
4. Agama-Acevedo, E., A.P. Barba D. L. R., G. Mendez-Montealvo., y. Bello-Pérez, L.A. (2008). Physicochemical and biochemical characterization of starch granule isolated from pigmented maize hybrids. *Starch/Starke* 60: 433-441.
5. Álvarez Salas, L., Turbay-Ceballos, S. (2009). El fríjol petaco (*Phaseolus coccineus*) y la maravilla (*Phaedranassa* sp.): aspectos etnobotánicos de dos plantas alimenticias de origen americano en el oriente antioqueño, Colombia *Agroalimentaria*, vol. 15, núm. 29, julio-diciembre, pp. 101-113 Universidad de los Andes Mérida, Venezuela.
6. Anzaldúa Morales, A. (1994). La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. Editorial Acribia. Zaragoza España.
7. Aparicio-Saguilan, P. Osorio-Díaz, E. Agama-Acevedo, Islas-Hernández J.J. y Bello-Perez L.A. (2013). Tortilla added with unripe banana and cassava flours: chemical composition and starch digestibility, *CyTA - Journal of Food*, 11:sup1, 90-95.
8. Aremu MO, Olaofe O, Basu SK, Abdulazeez G, y Acharya SN. (2010). Processed cranberry bean (*Phaseolus coccineus* L.) seed flour for the African diet. *Canadian Journal of Plant Science*. 90(5): 719-728.
9. Asp, N.G. y Björck, I. (1992). Resistant starch. *Trends in Food Science Technology*, 3:111-114.

10. A.O.A.C. (1984). Official Methods of Analysis. Association of Analytical Chemists. E.U.A.14a Ed. Washington, D.C.
11. Badui, S. D., (2006). Química de los Alimentos. 4 ed. Pearson Educación. México.
12. Biliaderis, C.G. (1991). The structure and interactions of starch with food constituents. Canadian Journal of Physiology and Pharmacology. 69, 60-78.
13. Bello-Pérez, L.A., Agama-Acevedo, E., Sánchez-Hernández, L. y Paredes-López, O. (1999). Isolation and partial characterization of banana starches. Journal of Agricultural and Food Chemistry 47, 854-857.
14. Bello, J. (2008). Ciencia Bromatológica; Principios Generales de Los Alimentos, Ediciones Díaz de Santos S. A., Madrid.
15. Bello-Pérez. L.A., de la Rosa-Millán. J., Agama-Acevedo. E., Jiménez-Aparicio A., (2010). Starch characterization of different blue maize varieties. Starch-Starke 62: 549-557.
16. Bello-Pérez, L. A., Flores-Silva, P. C., Agama-Acevedo, E., de Dios Figueroa-Cárdenas, J., López-Valenzuela, J. A., y Campanella, O. H. (2014). Effect of the nixtamalization with calcium carbonate on the indigestible carbohydrate content and starch digestibility of corn tortilla. Journal of Cereal Science, 60(2), 421-425.
17. Bello-Pérez, L. A. Camelo-Méndez, Gustavo A., Agama-Acevedo, Edith, y Utrilla-Coello, R. G. (2016). Nutraceutical aspect of pigmented corn: digestibility of carbohydrates and anthocyanins. Agrociencia, 50 (8), 1041-1063.
18. Berti C. Riso P. Monti LD. Y Porrini M. (2004). In vitro starch digestibility and in vivo glucose response of gluten-free foods and their gluten counterparts, Eur J Nutr. 43:198–204.
19. Bourne M.C. (2002). Principles of objective Textura measurement. In food texture and viscosity (Concept and measurement), second edición. Pp. 107-187, Academic press, london, UK.
20. Bravo, L., Siddhuraju, P., y Saura-Calixto, F. (1998). Effect of various processing methods on the vitro starch digestibility and resistant starch content on Indian pulses. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 46(11): 4667-4674.

21. Castellanos, J. y Acosta-Gallegos, J. A. (1994). Estudios de la calidad culinaria en frijol común. In: 1er. Simposium nacional de frijol. Por la autosuficiencia alimentaria de México. SARH-INIFAP, estado de Durango. México. Memoria. 231 p.
22. Castro, E., Verdugo, M., Miranda M. y Rodríguez A. (2003). Determinación de parámetros texturales de galletas. Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química.
23. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, (CIMMYT). (2006). Generation Challenge Programme Partner and Product. Highlights, México, D. F., 3. Wilkes, H. G. y Goodman, M. M. Mystery and Missing Links: The origin of Maize. En: Maize Genetics Resources. Taba, S (Eds.). Maize Program Special Report. México, D.F. CIMMYT, 1995.
24. Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad. CONABIO. (2011). Base de datos del proyecto global “Recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México”. Octubre de 2010. México, D. F.
25. Chiu, C.-W. y Solarek, D. (2009). Modification of starches. En Starch Chemistry and Technology, 3rd ed.; R. L. Whistler, J. N. B., Ed. Academic Press: Orlando FL. pp 629–655.
26. Chung, HJ, Liu. Q. Pauls, KP. Fan, MZ, y Yada, R. (2008^a). Digestibilidad in vitro del almidón, índice glucémico esperado y algunas propiedades fisicoquímicas del almidón y la harina de variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*) cultivadas en Canadá. Food Research International, Oxford, v. 41, n. 9, pág. 869-875.
27. Cowieson A.J. (2005). Factors that affect the nutritional value of maize for broilers. Animal feed Sci Technol. 119:293-305.
28. De La Rosa-Millán, J., E. Agama-Acevedo, A.R. Jiménez-Aparicio, y Bello-Pérez, L.A. (2010). Starch characterization of different blue maize varieties. Starch-Starke 62: 549-557.
29. Doebley, J. A. Stec. (1993). Inheritance of the Morphological Differences between Maize and Teosinte: Comparison of Results for Two F2 Populations. Genetics Society of America, Número 134.

30. Douzals, J., Marechal, P. Coquille, y Gervais, P. J. (1996). Microscopic study of starch gelatinization under high hydrostatic pressure. *Journal of agricultural and food chemistry*. 44, 1403-1408.
31. Englyst, H.N., Kingman, S.M. y Cummings, J.H. (1992). Classification and measurement of nutritionally important resistant starch fractions. *European Journal of Clinical Nutrition*, 46(Suppl. 2):S33-S50.
32. Fennema, O. R. (2004). *Química de Los Alimentos*. 3ra. Edición. Editorial Acribia, Barcelona, España.
33. Foegeding E.A., Daubert C.R., Drake M.A., Essick G., Trulsson M., Vinyard C.J. y Van de Velde F. (2011). A comprehensive approach to understanding textural properties of semi-and soft-solid foods. *Journal of Texture Studies*, 42, 2: 103-129.
34. Gálvez, A. M. (2016). 4vientos. Producen concentrado de proteína de frijol para aumentar su valor nutrimental.
35. Gómez-López, P. (2013). Obtención de productos directamente expandidos por extrusión y botanas de 3ª generación a base de chíá y almidón de maíz resistente A4. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias básicas, Universidad Veracruzana. Veracruz.
36. Gómez, M. H., Rooney, L. W., Waniska, R. D. y Pflugfelder. R. L. (1987). Dry corn masa flours for tortilla and snack food production. *Cereal Foods World* 32: 372-377.
37. Granados C., Acevedo D., Cabeza A. y Lozano A. (2014). Texture Profile Analysis in Bananas Pelipita, Hartón and Topocho. *Información Tecnológica*, 25, 5: 35-40.
38. Guillon, F. y Champ, M-J. M. (2002). Carbohydrate fracción of legumes: uses in human nutrition and potential for health. *British Journal of Nutrition* 88(3Suppl): 2935-3065.
39. Hernández, I. A., A. F., G. A. (2020). CONABIO. 2020. Qué nos aportan los maíces https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/que-nos-aportan_maices. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Cd. de México. México.
40. Hernández, C. (2019). Tomo 1. Fundamentos. Espectroscopía Infrarroja Curso Básico (pág. 32). Ciudad de México: Soporte Analítico Especializado.

41. Hernández, C. (2019). Tomo 4. Cuantitativo. Espectroscopía Infrarroja Curso Básico (pág. 24). Ciudad de México: Soporte Analítico Especializado.
42. Hoover, R.; Ratnayake, W.S. (2002). Características del almidón de los cultivares de frijol negro, garbanzo, lenteja, frijol blanco y frijol pinto cultivados en Canadá. *Food Chemistry London*, v. 78, n.4, pág. 489-498.
43. Hoover, R., Hughes, T., Chung, H. J. y Liu, Q. (2010). Composition, molecular structure, properties, and modification of pulse starches: A review. *Food Research International* 43, 399- 413.
44. Kato Y., TA. (1984). Morfología cromosómica y origen del maíz y sus razas. *Biología evolutiva* 17: 219-253.
45. Kritchevsky, D. (1995). Epidemiology of fibre resistant starch and colorectal cancer. *Eur. J. Cancer Prev.* 4: 345-352.
46. Larkin, P. J. (2018). *Infrared and Raman spectroscopy: principles and spectral interpretation*, 2^{end}. Elsevier, Amsterdam, Netherlands.
47. Li, Z., Liu, W., Gu, Z., Li, C., Hong, Y, y Cheng, L. (2015). The effect of starch concentration on the gelatinization and. *Food Hydrocolloids*, 48, 189–196.
48. Llaca, V., Delgado Salinas, A., y Gepts, P. (1994). Chloroplast DNA as an evolutionary marker in the *Phaseolus vulgaris* complex. *Theoretical and Applied Genetics*, 88(6-7), 646-652.
49. Mantsch H.H., Yang P.W. y Casal Y.L. (1986). "Infrared spectrometry of living systems: Current trends and perspectives", *J. Mol. Struct.*, vol. 141, pp. 237-242.
50. Marquezi, M., G., Watanabe V. M., Lucas B., Bassinello, P., Zaczuk A., E., R. (2016). Propiedades físicas y químicas del almidón y la harina de diferentes cultivares de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Brasileña de Tecnología de Alimentos*, 19, e2016005.
51. McClintock, B., Kato, T. y Blumenschein, A. (1981). Constitución cromosómica de las razas de maíz. Colegio de Post-graduados de Chapingo, México, p. 168.
52. Moreno M. V. A. (2017). La importancia del color en los alimentos. Instituto de Investigación en Ciencias de la Alimentación (CIAL), CSIC-UAM. revistaalimentaria.es.

53. Muir, J. G., G. P., Young, y K. O'Dea. (1994). Resistant starch - implications for health. *Proc. Nutr. Soc. Austr.* 18: 23-32.
54. Munsell, A. H. (1905). A color notation – A measured color system based on the three qualities: Hue, value and chroma. Geo H. Ellis Co., Boston.
55. Norma Oficial Mexicana NOM-187-SSA1/SCFI-2002, Productos y servicios. Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración y establecimientos donde se procesan. Especificaciones sanitarias. Información comercial. Métodos de prueba.
56. La Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo, (OECD), (2003). Consensus Document on the Biology of *Zea mays* subsp. *mays* (Maize). OECD Environment, Health and Safety Publications. Series on Harmonisation of Regulatory Oversight in Biotechnology. No. 27. Paris.
57. Ojeda C.A., Tolaba M.P. y Suarez C. (2000). Modeling starch gelatinization kinetics of milled rice flour. *Cereal Chem.* 77 (2): 145-147.
58. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), (2013). El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación 2013: sistemas alimentarios para una mejor nutrición. Rome, 2013.
59. Osorio-Díaz, P. (2004). Resistant starch and in vitro starch digestibility of cooked "ayocote" bean *Phaseolus Coccineous*). INCI [online]. vol.29, n.9, pp. 510-515. ISSN 0378-1844.
60. Palacios-Fonseca, A.J., Vázquez-Ramos, C., y Rodríguez-García, M.E. (2009). Physicochemical characterizing of industrial and traditional nixtamalized corn flours. *J. Food Eng.* 93, 45–51.
61. Paredes L. O., y Guevara Lara. F. y Bello-Perez. L. A., (2009). La nixtamalización y el valor nutritivo del maíz. *Ciencias* 92, octubre-marzo, 60-70.
62. Pérez-Herrera P., Esquivel-Esquivel G., Rosales-Sena R. y Acosta-Gallegos J.A. (2002). Caracterización física, culinaria y nutricional de frijol del altiplano subhúmedo de México. *Archivos Latinoamericanos de nutrición.* 52:172-180.
63. Peña-Valdivia, C. B., J. R. García N., J. R. Aguirre R., Ma. C. Ybarra-Moncada, y M. López H. (2011). Variation in physical and chemical characteristics of common

- bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grain along a domestication gradient. *Chem. Biod.* 8: 2211-2225.
64. Picallo, A. (2009-03). Análisis sensorial de los alimentos: el imperio de los sentidos (artículo). Universidad de Buenos Aires.
 65. Ramírez-Jiménez, A.K., Reynoso-Camacho, R., Mendoza-Díaz, S., y Loarca-Piña, G., (2014). Functional and technological potential of *Phaseolus vulgaris* L. flours. *Food Chemistry*, 161, 254-260.
 66. Ratnayake, W. S. y Jackson, D. S., (2006). Gelatinization and solubility of corn dehydrated starch during heating in excess water: new insights. *Journal of agricultural and foodchemistry*, 54, 3712-3716.
 67. Rehman, Z. y Shah, W. H. (2005). Thermal heat processing effects on antinutrients, protein and starch digestibility of food legumes. *Food Chem.*, 91, 327-331.
 68. Rick B., Brownson J., y Bayless D. (2000). México One Plate at a Time. Scribner. pp. 62–70.
 69. Rodiño A. P., Lema M., Pérez B. M., Santalla M., y Ron A. M. (2006). Assessment of runner vean (*Phaseolus coccineus* L.) gerplasm for tolerance to low temperatura during early seedling growth. *Euphytica* 155: 03-70.
 70. Rojo C. F. “Tablas de Espectroscopía Infrarroja,” Departamento de física y química, UNAM.
 71. Saburido-Álvarez, S., y Herrera-Estrella, A. (2015). El Frijol En La Era Genómica. *Revista Digital Universitaria*, 16(2), 1607-6079.
 72. Salinas-Moreno, Y., F. A. Cuevas, C. Y. Moncada, J. A. Villarreal, B.A. López, y Montes. E. S. (2013). Caracterización física y composición química de razas de maíz de grano azul/morado de las regiones tropicales y subtropicales de Oaxaca. *Rev. Fitotec Mex.* 36(1): 23-31.
 73. Santalla M., Menéndez-Sevillano M.C., Monteagudo A.B., y Ron A.M. (2004). Genetic diversity of Argentinean common bean and its evolution during domestication. *Euphytica* 135: 75-87.
 74. Saunders, J., Izydorczyk, M., y Levin, D. B. (2011). Limitations and Challenges for Wheat-Based Bioethanol Production, Economic Effects of Biofuel Production. En

- Economic Effects of Biofuel Production, Dos Santos, M. A., Ed. InTech. pp 430-452.
75. Schwember, A. R., Carrasco, B., y Gepts, P. (2017). Unraveling agronomic and genetic aspects of runner bean (*Phaseolus coccineus* L.). *Field Crops Research*, 206, 86-94.
 76. Sicard D., Nanni L., Porfiri O., y Bulfon D. (2005). Genetic diversity of *Phaseolus vulgaris* L. and *P. coccineus* L. landraces in central Italy. *Plant Breed.* 124:464-472.
 77. Souza V., Eguiarte L., Ávila G., Capello R., Gallardo C., Montoya J., Piñero D. (1994). Genetic structure of Rhizobiumetli biovar phaseoli associated with wild and cultivated vean plants (*Phaseolus vulgaris* and *Phaseolus coccineus*) in Morelos, México. *J. Amer. Soc. Microbiol.* 60:1260-1268.
 78. Sobukola, OP., Aboderin. (2012). AT Estudios sobre algunas propiedades de los almidones de tres especies. *Mucuna*, Revista Internacional de Investigación Alimentaria de Malasia, v. 19, n. 3, pág. 913-921.
 79. Stuart, B., (2004). *Infrared spectroscopy: Fundamentals and applications*. John Wiley and Sons Ltd, Chichester, England.
 80. Svetleva, D., Velcheva, M., y Bhowmik, G. (2003). Biotechnology as a useful tool in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) improvement. *Euphytica*, 131 (2), 189-200.
 81. Teniente, G., González-Cruz, L. Cariño., R. y Bernardino-Nicanor, A., (2016). Caracterización de las proteínas del frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*.
 82. Tester, RF y Morrison, WR. (1990). Hinchazón y gelatinización de almidones de cereales. I. Efectos de la amilopectina, amilosa y lípidos. *Química de cereales*, 67, 551-557.
 83. Tester, R.F., y Debon, S.J. (2000). Annealing of starch: a review. En: *International journal of biological macromolecules*. Vol. 27; p. 1-12.
 84. Tharanathan, R.N. y Mahadevamma, S. (2003). Grain legumes - A boon to human nutrition. *Trends in Food and Science Technology*, 14:507-518.
 85. Utrilla-Coello, R. G., E. Agama-Acevedo, A. P. Barba de la Rosa, J. L. Martínez-Salgado, S. L. Rodríguez-Ambriz, y Bello-Pérez, L. A. (2009). Blue maize:

- Morphology and starch synthase characterization of starch granule. *Plant Foods Hum. Nutr.*64: 18-24.
86. van Soest, J. J., Tournois, H., de Wit, D., Vliegenthart, J. F. (1995). Short-range structure in (partially) crystalline potato starch determined with attenuated total reflectance Fourier-transform IR spectroscopy. *Carbohydrate Research.* 279, 201-214.
 87. Vargas-Vázquez M.L.P., Muruaga-Martínez J.S., Hernández-Casillas J.M., y Díaz de la Cruz J. (2007). Diagnóstico de la forma cultivada del frijol ayocote *Phaseolus coccineus* L. e información geográfica de los sitios de colecta -campo Experimental Valle de México. INIFAP. Chapingo, México.
 88. Vargas-Torres, A., Osorio-Díaz P., Tovar J., Paredes-López O., Ruales J, y Bello-Pérez L.A. (2004). Chemical composition, starch bioavailability, and indigestible Fraction of common beans (*Phaseolus vulgaris* L). *Starch/Stärke* 56: 74-78.
 89. von Borries-Medrano, E., Jaime-Fonseca, M. R., y Aguilar-Méndez, M.A. (2017). Addition of galactomannans and citric acid in cornstarch processed by extrusion: Retrogradation and resistant starch studies. *Food Hydrocolloids*, 83, 485-496.
 90. Watanabe, K., y Tojo. M. (2006). Stem and root rot of scarlet runner bean (*Phaseolus coccineus*) caused by *Pythium myriotylum*. *Journal of General Plant Pathology*, 72(2), 126-128.
 91. Watson, S.A. (1987). Structure and composition. En S.A. Watson y P.E. Ramstad. Eds. *Corn: chemistry and technology*, p. 53-82. St Paul, EE.UU. Am. Assoc. Cereal Chem Mermelstein NH. 2009. Analyzing for Trans Fat. *Food Technology* 63(3):71
 92. Wilkes, H. G. y Goodman, M. M. (1995). Mystery and Missing Links: The origin of Maize. En: *Maize Genetics Resources*. Taba, S. (Eds.). Maize Program Special Report. México, D.F. CIMMYT.
 93. Wu, D., y Sun, D. W. (2013). Colour measurements by computer vision for food quality control—A Review. *Trends in Food Science & Technology* 29(1): 5-20.

X. ANEXO

Anexo 1. Análisis de perfil de textura

En la Tabla 18 se muestran los resultados del análisis del perfil de textura de las harinas de maíz y harina de frijol.

Tabla 18. Perfil de textura en las harinas de frijol y maíz 100 %.

Harina de maíz 100%	Dureza	9.84 N
	Fracturabilidad	0.13 mm
	Rigidez	1115.18 Kg/m
Harina de frijol 100%	Dureza	4.591 N
	Fracturabilidad	1.075 mm
	Rigidez	238.16 kg/m

La tabla 19 presenta el perfil de textura de las tostadas enteras con tamaño de partícula de 420 micras.

Tabla 19. Perfil de textura de las tostadas de 420 μ m.

Proporción Harina frijol- maíz	Dureza	12.438 N
	Fracturabilidad	0.535 mm
30:70	Rigidez	1267.88 kg/m
50:50	Dureza	9.537 N
	Fracturabilidad	0.7 mm
	Rigidez	1102.64 kg/m
70:30	Dureza	6.143 N
	Fracturabilidad	0.43 mm
	Rigidez	537.50 kg/m

La tabla 20 presenta los resultados del perfil de textura de las tostadas enteras con tamaño de partícula de 250 μm .

Tabla 20. Perfil de textura de las tostadas de 250 μm .

Proporción Harina frijol- maíz	Dureza	14.683 N
	Fracturabilidad	0.465 mm
30:70	Rigidez	1882.68 kg/m
50:50 Diseño experimental	Dureza	10.731 N
	Fracturabilidad	0.565 mm
	Rigidez	896.62 kg/m
70:30	Dureza	13.23 N
	Fracturabilidad	1.215 mm
	Rigidez	507.00 kg/m

La tabla 21 presenta los resultados del perfil de textura de las tostadas enteras con tamaño de partícula de 177 μm .

Tabla 21. Perfil de textura de las tostadas de 177 μm .

30:70	Dureza	13.856 N
	Fracturabilidad	0.44 mm
	Rigidez	1042.38 kg/m
50:50	Dureza	12.42 N
	Fracturabilidad	0.075 mm
	Rigidez	590.23 kg/m
70:30	Dureza	11.422 N
	Fracturabilidad	0.99 mm
	Rigidez	454.81 kg/m

Anexo 2. Análisis de viscosidad

En la Tabla 22 se registran los resultados del análisis de viscosidad en las tostadas con cien por ciento harina de frijol y harina de maíz.

Tabla 22. Perfil de viscosidad de las harinas de frijol y maíz 100 %.

Harinas	Tamaño de partícula	Pico de viscosidad (mPa·s)	Viscosidad final (mPa·s)	Tiempo (segundos)	Temperatura (°C)
HF	420	68.11	61.96	960	63
	250	88.26	82.88	960	66
	177	74.02	75.27	960	65
HM	177	198.43	217.15	960	94

En la Tabla 23 se registran los resultados del análisis de viscosidad en la harina de las tostadas de 420 micras.

Tabla 23. Perfil de viscosidad de la harina de las tostadas de 420 µm.

Productos-proporción	Pico de viscosidad (mPa·s)	Viscosidad final (mPa·s)	Tiempo (segundos)	Temperatura (°C)
30:70	69.44	69.45	960	85.5
50:50	49.39	43.62	960	71
70:30	51.25	51.78	960	78

En la Tabla 24 se registran los resultados del análisis de viscosidad en la harina de las tostadas de 250 micras.

Tabla 24. Perfil de viscosidad de la harina de las tostadas de 250 μm .

Productos-proporción	Pico de viscosidad (mPa·s)	Viscosidad final (mPa·s)	Tiempo (segundos)	Temperatura (°C)
30:70	65.60	64.52	960	81
50:50	47.45	40.60	960	68
70:30	58.41	70.67	960	83

En la Tabla 25 se registran los resultados del análisis de viscosidad en la harina de las tostadas de 177 micras.

Tabla 25. Perfil de viscosidad de la harina de las tostadas de 177 μm .

Productos-proporción	Pico de viscosidad (mPa·s)	Viscosidad final (mPa·s)	Tiempo (segundos)	Temperatura (°C)
30:70	63.03	69.60	860	92
50:50	63.21	74.79	960	97
70:30	45.60	43.24	960	73

Anexo 3. Boleta de evaluación sensorial escala hedónica de preferencia.

Evaluación sensorial: Prueba escala hedónica de cinco puntos

Producto:

Nombre: _____

Edad: _____

Instrucciones: Pruebe el producto que se muestra a continuación.

Por favor escriba el número de la escala que mejor describa su opinión sobre el producto que acaba de probar.

Escala

1 = Me disgusta mucho

2 = Me disgusta

3 = No me gusta ni me disgusta

4 = Me gusta

5 = Me gusta mucho

Atributos	M637				
	Me disgusta mucho	Me disgusta	No me gusta ni me disgusta	Me gusta	Me gusta mucho
Apariencia					
Olor					
Textura					
Sabor					
Crujibilidad					
Aceptación general					

Comentarios:

Apariencia: _____

Olor: _____

Textura: _____

Sabor: _____

Crujibilidad: _____

Aceptación general: _____

Atributos	M655				
	Me disgusta mucho	Me disgusta	No me gusta ni me disgusta	Me gusta	Me gusta mucho
Apariencia					
Olor					
Textura					
Sabor					
Crujibilidad					
Aceptación general					

Comentarios:

Apariencia: _____

Olor: _____

Textura: _____

Sabor: _____

Crujibilidad: _____

Aceptación general: _____

Atributos	M673				
	Me disgusta mucho	Me disgusta	No me gusta ni me disgusta	Me gusta	Me gusta mucho
Apariencia					
Olor					
Textura					
Sabor					
Crujibilidad					
Aceptación general					

Comentarios:

Apariencia: _____

Olor: _____

Textura: _____

Sabor: _____

Crujibilidad: _____

Atributos	HM1				
	Me disgusta mucho	Me disgusta	No me gusta ni me disgusta	Me gusta	Me gusta mucho
Apariencia					
Olor					
Textura					
Sabor					
Crujibilidad					
Aceptación general					

Comentarios:

Apariencia: _____

Olor: _____

Textura: _____

Sabor: _____

Crujibilidad: _____

Aceptación general: _____

Atributos	M837				
	Me disgusta mucho	Me disgusta	No me gusta ni me disgusta	Me gusta	Me gusta mucho
Apariencia					
Olor					
Textura					
Sabor					
Crujibilidad					
Aceptación general					

Comentarios:

Apariencia: _____

Olor: _____

Textura: _____

Sabor: _____

Crujibilidad: _____

Aceptación general: _____

Aceptación general: _____

Atributos	M855				
	Me disgusta mucho	Me disgusta	No me gusta ni me disgusta	Me gusta	Me gusta mucho
Apariencia					
Olor					
Textura					
Sabor					
Crujibilidad					
Aceptación general					

Comentarios:

Apariencia: _____

Olor: _____

Textura: _____

Sabor: _____

Crujibilidad: _____

Aceptación general: _____

Atributos	M873				
	Me disgusta mucho	Me disgusta	No me gusta ni me disgusta	Me gusta	Me gusta mucho
Apariencia					
Olor					
Textura					
Sabor					
Crujibilidad					
Aceptación general					

Comentarios:

Apariencia: _____

Olor: _____

Textura: _____

Sabor: _____

Crujibilidad: _____

Aceptación general: _____

Atributos	HF1				
	Me disgusta mucho	Me disgusta	No me gusta ni me disgusta	Me gusta	Me gusta mucho
Apariencia					
Olor					
Textura					
Sabor					
Crujibilidad					
Aceptación general					

Comentarios:

Apariencia: _____

Olor: _____

Textura: _____

Sabor: _____

Crujibilidad: _____

Aceptación general: _____

Ejemplo 1. Evaluación sensorial: Prueba escala hedónica de cinco puntos

Producto:

Nombre: María de Jesús López Cruz

Edad: 60 Años

Producto seleccionado: 1M637

Instrucciones: Pruebe el producto que se muestra a continuación.

Por favor escriba el número de la escala que mejor describa su opinión sobre el producto que acaba de probar

Escala

1 = Me disgusta mucho

2 = Me disgusta

3 = No me gusta ni me disgusta

4 = Me gusta

5 = Me gusta mucho

Atributos	Muestra 1 M637				
	Me disgusta mucho	Me disgusta	No me gusta ni me disgusta	Me gusta	Me gusta mucho
Apariencia					5
Olor					5
Textura				4	
Sabor				4	
Crujibilidad				4	
Aceptación general					5

Comentarios:

Apariencia: Acceptable
 Olor: Acceptable
 Textura: Acceptable
 Sabor: Acceptable
 Crujibilidad: Acceptable
 Aceptación general: Acceptable

Atributos	Muestra 2 M655				
	Me disgusta mucho	Me disgusta	No me gusta ni me disgusta	Me gusta	Me gusta mucho
Apariencia				4	
Olor			3		
Textura				4	
Sabor			3		
Crujibilidad					5
Aceptación general				4	

Comentarios:

Apariencia: Acceptable
 Olor: No se percibe
 Textura: Acceptable
 Sabor: Es poco percibido
 Crujibilidad: Acceptable
 Aceptación general: Acceptable

Atributos	Muestra 3 M673				
	Me disgusta mucho	Me disgusta	No me gusta ni me disgusta	Me gusta	Me gusta mucho
Apariencia				4	
Olor			3		
Textura			3		
Sabor				4	
Crujibilidad			3		
Aceptación general				4	

Comentarios:

Apariencia: Acceptable
 Olor: No perceptible
 Textura: No es Acceptable
 Sabor: El sabor es perceptible acceptable
 Crujibilidad: No Acceptable
 Aceptación general: No acceptable

Atributos	Muestra 4 HM1				
	Me disgusta mucho	Me disgusta	No me gusta ni me disgusta	Me gusta	Me gusta mucho
Apariencia				4	
Olor			3		
Textura				4	
Sabor			3		
Crujibilidad				4	
Aceptación general			3		

Comentarios:

Apariencia: Acceptable
 Olor: No se percibe
 Textura: Acceptable
 Sabor: No Acceptable
 Crujibilidad: Acceptable
 Aceptación general: No acceptable

Atributos	Muestra 5 M837				
	Me disgusta mucho	Me disgusta	No me gusta ni me disgusta	Me gusta	Me gusta mucho
Apariencia				4	
Olor			3		
Textura				4	
Sabor				4	
Crujibilidad				4	
Aceptación general				4	

Comentarios:
Apariencia: Acceptable
Olor: No se percibe
Textura: Acceptable
Sabor: Acceptable
Crujibilidad: Acceptable
Aceptación general: Acceptable

Atributos	Muestra 6 M855				
	Me disgusta mucho	Me disgusta	No me gusta ni me disgusta	Me gusta	Me gusta mucho
Apariencia				4	
Olor			3		
Textura				4	
Sabor				4	
Crujibilidad				4	
Aceptación general				4	

Comentarios:
Apariencia: Acceptable
Olor: No se percibe
Textura: Acceptable
Sabor: Acceptable
Crujibilidad: Acceptable
Aceptación general: Acceptable

Atributos	Muestra 7 M873				
	Me disgusta mucho	Me disgusta	No me gusta ni me disgusta	Me gusta	Me gusta mucho
Apariencia				4	
Olor			3		
Textura				4	
Sabor			3		
Crujibilidad					5
Aceptación general				4	

Comentarios:
Apariencia: Acceptable
Olor: No se percibe
Textura: Acceptable
Sabor: No es aceptable
Crujibilidad: Acceptable
Aceptación general: No Acceptable

Atributos	Muestra 8 HF1				
	Me disgusta mucho	Me disgusta	No me gusta ni me disgusta	Me gusta	Me gusta mucho
Apariencia				4	
Olor			3		
Textura				4	
Sabor		2			
Crujibilidad				4	
Aceptación general			3		

Comentarios:
Apariencia: Acceptable
Olor: No se percibe
Textura: Acceptable
Sabor: Es muy perceptible intensamente no aceptable
Crujibilidad: Acceptable
Aceptación general: No Acceptable

Ejemplo 2. Evaluación sensorial: Prueba escala hedónica de cinco puntos

Producto:

Nombre: Alicia Hernández Pérez

Edad: 48

Producto seleccionado: 5 M837

Instrucciones: Pruebe el producto que se muestra a continuación.

Por favor escriba el número de la escala que mejor describa su opinión sobre el producto que acaba de probar

Escala

1 = Me disgusta mucho

2 = Me disgusta

3 = No me gusta ni me disgusta

4 = Me gusta

5 = Me gusta mucho

Atributos	Muestra 1 M637				
	Me disgusta mucho	Me disgusta	No me gusta ni me disgusta	Me gusta	Me gusta mucho
Apariencia			3		
Olor				x	
Textura				x	
Sabor			x		
Crujibilidad					x
Aceptación general			x		

Comentarios:
 Apariencia: No aceptable
 Olor: Aceptable
 Textura: Aceptable
 Sabor: No aceptable
 Crujibilidad: Aceptable
 Aceptación general: No aceptable

Atributos	Muestra 2 M655				
	Me disgusta mucho	Me disgusta	No me gusta ni me disgusta	Me gusta	Me gusta mucho
Apariencia			x		
Olor			x		
Textura			x		
Sabor			x		
Crujibilidad				x	
Aceptación general			x		

Comentarios:
 Apariencia: No aceptable
 Olor: No aceptable
 Textura: No aceptable
 Sabor: No aceptable
 Crujibilidad: Aceptable
 Aceptación general: No aceptable

Atributos	Muestra 3 M673				
	Me disgusta mucho	Me disgusta	No me gusta ni me disgusta	Me gusta	Me gusta mucho
Apariencia		x			
Olor			x		
Textura			x		
Sabor			x		
Crujibilidad				x	
Aceptación general		x			

Comentarios:
 Apariencia: No aceptable
 Olor: No Aceptable
 Textura: No Aceptable
 Sabor: No Aceptable
 Crujibilidad: Aceptable
 Aceptación general: No aceptable

Atributos	Muestra 4 HM1				
	Me disgusta mucho	Me disgusta	No me gusta ni me disgusta	Me gusta	Me gusta mucho
Apariencia				x	
Olor		x			
Textura				x	
Sabor		x			
Crujibilidad				x	
Aceptación general		x			

Comentarios:
 Apariencia: Aceptable
 Olor: No se percibe
 Textura: Aceptable
 Sabor: No aceptable
 Crujibilidad: Aceptable
 Aceptación general: No aceptable

Atributos	Muestra 5 M837				
	Me disgusta mucho	Me disgusta	No me gusta ni me disgusta	Me gusta	Me gusta mucho
Apariencia		x			
Olor				x	
Textura				x	
Sabor				x	
Crujibilidad				x	
Aceptación general				x	

Comentarios:
Apariencia: No aceptable el color
Olor: Acceptable
Textura: Acceptable
Sabor: Acceptable
Crujibilidad: Acceptable
Aceptación general: Acceptable

Atributos	Muestra 6 M855				
	Me disgusta mucho	Me disgusta	No me gusta ni me disgusta	Me gusta	Me gusta mucho
Apariencia		x			
Olor			X		
Textura			X		
Sabor			X		
Crujibilidad				x	
Aceptación general		x			

Comentarios:
Apariencia: No aceptable
Olor: No Aceptable
Textura: No Aceptable
Sabor: No Aceptable
Crujibilidad: Acceptable
Aceptación general: No aceptable

Atributos	Muestra 7 M873				
	Me disgusta mucho	Me disgusta	No me gusta ni me disgusta	Me gusta	Me gusta mucho
Apariencia		x			
Olor			x		
Textura				x	
Sabor				x	
Crujibilidad				x	
Aceptación general			x		

Comentarios:
Apariencia: No aceptable el color
Olor: No aceptable
Textura: Acceptable
Sabor: Acceptable
Crujibilidad: Acceptable
Aceptación general: No aceptable

Atributos	Muestra 8 HF1				
	Me disgusta mucho	Me disgusta	No me gusta ni me disgusta	Me gusta	Me gusta mucho
Apariencia			X		
Olor			X		
Textura			X		
Sabor		X			
Crujibilidad			X		
Aceptación general		X			

Comentarios:
Apariencia: No aceptable el color
Olor: No aceptable
Textura: No aceptable
Sabor: No aceptable
Crujibilidad: No aceptable
Aceptación general: No aceptable

Anexo 4. Resultados promedio por atributo de evaluación sensorial en los productos con mayor aceptación.

La tabla 26 presenta el resumen del promedio calculado por atributo de evaluación en los productos con 100 % harina de maíz y con proporciones de 30:70, 50:50 con partícula de 250 μm y en los productos con proporciones de 30:70 con partícula de 177 μm .

Tabla 26. Resumen de promedios de los atributos sensoriales de las tostadas.

Atributos de evaluación	Proporciones harina de frijol-harina de maíz			
	30:70 (60)	50:50(60)	100 % Maíz	30:70 (80)
Apariencia	3.68	3.39	3.32	3.18
Olor	3.46	3.25	3.21	3.39
Textura	3.68	3.32	3.46	3.75
Sabor	3.93	3.36	3.57	3.79
Crujibilidad	3.89	3.46	3.71	3.71