

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



*Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán*



---

“TEXTURA DE FRITURAS ELABORADAS CON HARINA DE MAÍZ O  
HARINA DE TRIGO CON DIFERENTES PROPORCIONES DE  
HARINA DE FRIJOL”



**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERA EN ALIMENTOS**

**P R E S E N T A :**

**CECILIA PARRA GONZÁLEZ**



**ASESORES:**

**DRA. LAURA PATRICIA MARTÍNEZ PADILLA  
I.B.Q. NORMA CASAS ALENCÁSTER**

CUAUTITLÁN, IZC., EDO. DE MEX.



2006



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## **AGRADECIMIENTOS**

La realización de este sueño no hubiera sido posible sin el apoyo y el cariño de todas aquellas personas que han estado conmigo siempre en la vida, a todos ustedes muchas gracias.

### **SEÑOR:**

Gracias Padre por todo el cariño y todas las bendiciones que has brindado a mi familia, por haber causado un cambio en mi forma de ver la vida, por guiarme con tu palabra, simplemente por estar aquí, por haberme puesto en este camino y haber puesto a todas las personas que son importantes en mi vida.

### **A MI HIJO**

Gracias Luis por existir, por las bendiciones y las alegrías que has traído contigo, por enseñarme que si se puede, por comprender la situación mil gracias peque, lucha en la vida y lograras tus metas.

### **A MIS PAPAS**

No tengo palabras para agradecerles todo el apoyo incondicional que me han brindado, el cariño que me dan, papá gracias por alentarme a seguir adelante, por confiar en mi, por no dejarme caer y a ti mamá gracias por tus regaños y tus presiones que sin ellos no hubiera terminado, los quiero mucho.

## **A MI HERMANA**

Gracias Mary por ser la mejor amiga que tengo, por tus regaños y consejos, gracias por confiar en mi y apoyarme te amo hermana.

## **A MIGUEL ANGEL (q.e.p.d)**

A ti flaco muchas gracias por las alegrías, las preocupaciones, tantas cosas, simplemente gracias por los momentos que pasaste con nosotros, por esa sonrisa que nos llenaba de vida, te amo.

## **A MIS TÍOS Y TÍAS**

Muchas gracias por todo el apoyo, por su hospitalidad y su cariño, por ser parte de mi familia.

## **A MIS PRIMOS Y PRIMAS**

Gracias por compartir todo conmigo, son unos grandes amigos.

## **A LA UNIVERSIDAD**

Gracias a esta máxima casa de estudios, por darme lo necesario y más para mi formación, por tus aulas, por la experiencia de estar aquí.

## **A MIS ASESORES**

Gracias por haberse tomado el tiempo de revisar mi trabajo, por sus valiosos consejos, gracias por su amistad y su confianza.

## **A MIS AMIGAS Y AMIGOS**

Que podré decirles a cada uno de ustedes, muchas gracias por todos los momentos agradables, de desesperación, de enojo, pero nunca los olvidare, a toda la Banda Alterna gracias por su cariño, por aquellas parrandas, por no hacer de la universidad una rutina diaria sino una vida llena de sorpresas. Amigas del fut, gracias por su apoyo, por todos sus consejos y por los momentos agradables de la vida.

## **A MI JURADO**

Muchas gracias por tiempo, su apoyo y sus valiosas observaciones para la realización de este trabajo.

<b>ÍNDICE</b>	
<b>Índice de cuadros</b>	iv
<b>Índice de figuras</b>	v
<b>Resumen</b>	7
<b>Introducción</b>	8
<b>I. Antecedentes</b>	12
<b>1.1 Cereales</b>	12
<b>1.1.1 El maíz</b>	13
a) Origen	13
b) Composición química	14
c) Usos	16
<b>1.1.2 El Trigo</b>	18
a) Origen	18
b) Composición química	19
c) Usos	22
<b>1.2 Leguminosas y el frijol</b>	25
<b>1.2.1 El Frijol</b>	26
a) Origen	26
b) Composición química	27
c) Usos	28

<b>1.3 El Almidón</b>	<b>29</b>
a) Almidón con derivatización	34
b) Almidón despolimerizado	35
c) Almidón entrecruzado	35
d) Almidones pregelatinizados	36
<b>1.4 Las frituras</b>	<b>37</b>
1.4.1 Definición	39
1.4.2 Frituras en México	40
1.4.3 Proceso de extrusión	40
1.4.4 Productos extruidos	42
<b>1.5 Textura</b>	<b>43</b>
1.5.1 Definición de textura	44
1.5.2 Métodos para la evaluación de propiedades mecánicas de los alimentos	45
1.5.3 Consideraciones importantes en las pruebas instrumentales de textura	46
1.5.4 Prueba de punción	49
1.5.5 Materiales quebradizos y crujientes	50

<b>II. Desarrollo experimental</b>	
2.1 Objetivos	54
2.2 Materiales y Métodos	55
2.3 Metodología de experimentación	59
<b>III. Resultados</b>	
<b>3.1 Textura en mezclas</b> (0:100, 25:75, 50:50, 75:25, 100:0)	65
3.1.1 Frijol–Maíz	65
3.1.2 Frijol–Trigo	68
<b>3.2 Textura de frituras</b> (0:100, 25:75, 50:50, 75:25, 100:0)	
3.2.1 Frijol–Maíz	71
3.2.2 Frijol–Trigo	74
<b>3.3 Relación de Fuerza entre las masas y frituras</b>	77
<b>3.4 Efectos entre componentes de las distintas     mezclas y los parámetros de textura</b>	80
<b>IV. Conclusiones</b>	84
<b>V. Referencias</b>	86

**ÍNDICE DE CUADROS**

1.1 Composición química del maíz	15
1.2 Composición química del trigo	20
1.3 Composición de diferentes cereales	21
1.4 Composición química del frijol	27
2.1 Mezclas de harina de frijol–harina de maíz, harina de trigo–harina de frijol	57
3.1 Promedio de dureza y trabajo de ruptura en las masas de frijol–maíz	66
3.2 Promedio de dureza y trabajo de ruptura en las masas de frijol–trigo	70
3.3 Valores obtenidos en frituras de harina de frijol harina de maíz	71
3.4 Valores obtenidos en frituras de harina de frijol harina de maíz	76
3.5 Valores de fuerza de masas y frituras elaboradas con frijol–maíz	78
3.6 Valores de fuerza de masas y frituras elaboradas con frijol–trigo	79

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1 Amilosa	30
1.2 Amilopectina	30
1.3. Hinchamiento del almidón en el proceso de gelatinización	32
1.4. Tornillo del extrusor Didacta, Italia	44
1.5. Relación correcta de áreas del material y dispositivo en una prueba de punción	50
1.6. Posición correcta del material utilizada en la prueba de punción	50
1.7. Gráfica de un material crujiente	52
2.1 Masa salidas del extrusor	60
2.2 Corte de la masa para la evaluación	61
2.3. Prueba de punción aplicada a las masas extruidas	61
2.4. Secado de las masas extruidas	63
2.5. Freído de las masas secas	63
2.6. Prueba de corte en las frituras	64
3.1 Fuerza en función del tiempo para las masas harina de frijol–harina de maíz	65
3.2 Fuerza en función del tiempo para las masas harina de frijol–harina de trigo	68
3.3 Fuerza en función del tiempo para las frituras harina de frijol–harina de maíz al 100%	71

3.4 Fuerza en función del tiempo para las frituras	
harina de frijol–harina de trigo	74
3.5 Comparación entre componentes	77
3.6 Regresión lineal, dureza de masas y frituras de frijol–trigo	79
3.7 Efecto de la concentración de frijol en la pendiente	80
3.8 Efecto de la concentración de frijol en la fuerza	81
3.9 Efecto de la concentración de frijol en la distancia	81
3.10 Efecto de la concentración de frijol en el área	82
3.11 Efecto de la concentración de frijol en el número de picos	83

## RESUMEN

Este trabajo se presenta como complemento de la tesis “Adaptación de la tecnología de extrusión para aumentar el valor agregado al frijol (*Phaseolus Vulgaris*) (Diez-Barroso, 2005), tiene como objetivo evaluar las características texturales de frituras elaboradas a base de harina de frijol en diferentes proporciones, mezclada con harina de trigo o harina de maíz.

Las mezclas fueron elaboradas con harina de frijol como base y harina de maíz o trigo en porcentajes de 0, 25, 50 y 75%, y se sometieron a extrusión en donde se obtuvieron masas laminadas a las que se les dio forma de rectángulos con longitud de 4.5 X 5 cm. Para la medición de textura se utilizó un texturometro Texture Analyser TAX-T2 en donde se realizó la prueba de punción, con un dispositivo cilíndrico de acero inoxidable de  $\frac{1}{4}$  de pulgada.

Las masas extrudidas se secaron durante 2 horas a una temperatura de 70°, se frieron, se enfriaron, escurrieron y una vez obtenidas las frituras se evaluó la textura por medio de la prueba de corte, utilizando un texturometro Texture Analyser TAX-T2 y una cuchilla de corte.

Al disminuir el porcentaje de harina de frijol, la dureza, trabajo de ruptura y carácter crujiente de las frituras disminuyeron tanto con maíz como con trigo.

## INTRODUCCION

La producción y comercialización del maíz emplea a 2.2 millones de mexicanos, se producen 19 millones de toneladas anuales y ocupa el 50% de la producción mundial de maíz. Con el cultivo del maíz, se vincula la industria del almidón y sus derivados, los cereales de consumo inmediato como los cereales para desayuno, las botanas y alimentos tradicionales, la harina de maíz nixtamalizado e industrias de desarrollo tecnológico que tienen que ver con toda la cadena. Por su parte, en la elaboración de tortilla se estima que se consumen alrededor de 7 millones de toneladas. El maíz es la fuente calórica más importante en la dieta de los mexicanos, el consumo diario promedio es de 300 gramos por persona y al año de 104 kilos, el consumo anual promedio está entre 125 y 200 kilos de tortilla por persona (Angeles, 2004).

El trigo es uno de los principales granos para la alimentación, el cual junto con el maíz y el arroz se producen en muchos países. Después del maíz, el trigo también es muy importante para la dieta del pueblo mexicano, pues es la base para la elaboración de productos que se consumen en grandes cantidades como el pan, tortillas, pastas, galletas y pasteles, frituras, entre otros. El consumo humano de este cereal no puede realizarse directamente, pues requiere un proceso previo de transformación que comienza con la molienda, mediante la

que se obtiene la harina, lo cual ubica a la industria harinera como el eslabón estratégico de la cadena producción-consumo y la constituye como principal demandante del grano (SAGARPA, 2001).

La producción total mexicana de trigo durante los últimos diez años (1991-2000) fue de 35.7 millones de toneladas, concentrándose cerca del 85% de la producción en los estados de Sonora (35%), Guanajuato (17.5%), Baja California (11.5%), Sinaloa (9.2%) Michoacán (6.4%) y Jalisco (4.4%) (SIAP, 2001).

El papel que juega el frijol en diversas regiones del país es fundamental. La producción mundial comparándola con otros cultivos como el trigo, la soya, el arroz y el maíz, se dice que es baja, en los últimos 10 años el nivel de producción promedio anual fue de 16.7 millones de toneladas, con una tasa de crecimiento promedio anual de 1.4 por ciento (CEFP, 2004).

Aún así, en México el frijol representa la segunda actividad agrícola más importante después del maíz, en 2003 su producción ascendió a 1.414 millones de toneladas y para 2004 se estimó de 1.297 millones de toneladas, sin embargo la producción interna ha sido insuficiente para satisfacer la demanda doméstica (CEFP, 2004).

El consumo de frijol es destinado en un 70% a la industria, al mayorista y al empacador. Asimismo se considera que alrededor del 20% de la

producción nacional es destinada al consumo, el 5% se destina a la semilla o siembra, y el otro 5% es merma (Serrano, 2004). Algunos de los principales estados productores de frijol son: Zacatecas, Sinaloa y Durango ([http://www.cna.org.mx/docs/cesa\\_web/CAPIV.htm](http://www.cna.org.mx/docs/cesa_web/CAPIV.htm)).

El consumo de maíz registra problemas serios frente a otros productos secundarios elaborados a base de trigo que se puede importar libremente. Este hecho convierte a la tortilla en un producto caro, lo que se ha traducido en un incremento en el consumo de comida “chatarra” cuya preparación resulta muy sencilla y accesible, situación a la que se debe poner especial cuidado por los bajos contenidos nutricionales y la alta presencia de conservadores y sales, que incide negativamente en la salud de los mexicanos, particularmente en el desarrollo de la niñez, por lo que es importante privilegiar el consumo de proteína vegetal proveniente del frijol y la tortilla, que son alimentos de calidad y que tradicionalmente han formado parte de la dieta de los mexicanos (Angeles, 2004). Debido a esto, la industria ha buscado procesos para aumentar la gama de productos que sean elaborados a base de frijol y maíz, uno de los procesos más novedosos puede ser el de extrusión (Fellows, 1996), donde originalmente se ha utilizado la harina de trigo.

Las frituras se pueden producir a partir de granos enteros, sémolas y harinas de maíz, trigo, avena y arroz, se puede añadir sal, edulcorantes

y levadura. La cocción por extrusión ayuda a deformar plásticamente la mezcla. Las operaciones de laminado y corte suelen ser al final de la obtención de las masas mezcladas (Levine y Drew, 1990). Una masa se enrolla en una lámina y luego se corta en la forma deseada, entonces se cuece mediante secado, horneado o freído (Rosenthal, 2001). El secado ayuda a eliminar el agua, introduce una estructura con burbujas y cambia el color y sabor (Rosenthal, 2001).

Los productos expandidos por extrusión están basados tradicionalmente en cereales y se aprovecha el calentamiento del agua; el agua sobrecalentada se convierte en vapor a medida que baja la presión.

La expansión se aumenta mediante la degradación de los gránulos de almidón y se reduce con aditivos que rompen prematuramente la película de la matriz en expansión (Rosenthal, 2001).

En el presente trabajo se elaboraron frituras a base de harina de frijol mezcladas con harina de maíz o de trigo con el fin de elaborar productos a base de harina de frijol con alto valor agregado, a estas frituras se le midieron propiedades texturales como dureza, distancia y trabajo de ruptura.

Las pruebas texturales realizadas en este trabajo nos ayudan a diferenciar el comportamiento mecánico de las frituras con relación a la dureza y carácter crujiente.



## I. ANTECEDENTES

### 1.1 LOS CEREALES

Los granos de cereales, al igual que los huevos y la leche, son alimentos que la naturaleza destina a la nutrición de todo tipo de especies. Se trata de alimentos que contienen los cinco nutrimentos: carbohidratos, proteínas, grasas, minerales y vitaminas. Un grano entero de cereal, resulta mejor que cualquier otro producto vegetal, si su valor nutritivo no se destruye a causa de los métodos modernos de refinado, para suministrar una ración adecuada (Scade, 1975).

El grano maduro de los cereales está formado por hidratos de carbono, compuestos nitrogenados (principalmente proteínas), grasas, sales minerales y agua, junto con pequeñas cantidades de vitaminas, enzimas y otras sustancias, algunas de las cuales son importantes nutrimentos en la dieta humana. Los hidratos de carbono (almidón, celulosa, hemicelulosa, pentosanas, dextrinas y azúcares) son los componentes más importantes.

Las proteínas se encuentran en todos los tejidos de los granos de cereales, existiendo en mayor concentración en el embrión y el endospermo (Kent, 1971).

Los lípidos de los cereales consisten en glicéridos de los ácidos grasos. Los cereales también contienen fosfolípidos. La grasa de los cereales

molidos puede sufrir dos tipos de alteración: hidrólisis, por acción de la enzima lipasa que está presente en el grano, y oxidación que puede ocurrir enzimáticamente, por la acción de la enzima lipooxidasa, o no enzimáticamente, en presencia de oxígeno (Kent, 1971).

### 1.1.1 El maíz

El maíz es la especie *Zea mays*. Maíz es el nombre común de una gramínea muy cultivada como alimento y como forraje para el ganado.

#### a) Origen

El cultivo del maíz tuvo su origen, con toda probabilidad, en América Central, especialmente en México, donde se difundió hacia el norte hasta el Canadá y hacia el sur hasta Argentina. La evidencia más antigua de la existencia del maíz, de unos 7 000 años de antigüedad, ha sido encontrada por arqueólogos en el valle de Tehuacán (México) pero es posible que hubiese otros centros secundarios de origen en América. Este cereal era un artículo esencial en las civilizaciones maya y azteca y tuvo un importante papel en sus creencias religiosas, festividades y nutrición; ambos pueblos incluso afirmaban que la carne y la sangre estaban formadas por maíz (FAO, 1993). El maíz pertenece a la familia de las gramíneas. La planta alcanza de medio metro a seis metros de alto. Las hojas forman una larga vaina íntimamente arrollada al tallo y un limbo más ancho, alargado y ondulado. Del tallo nacen dos

o tres inflorescencias muy densas o mazorcas envueltas en espatas, en la axila de las hojas muy ceñidas. En cada mazorca se ven las filas de granos, cuyo número puede variar de ocho a treinta. El tallo de la planta está rematado en el extremo por una gran panoja de pequeñas flores masculinas.

La producción de maíz en México constituye una de las actividades más importantes del sector rural, no sólo en términos de uso del suelo, sino que también en el empleo y el suministro de alimentos a la población rural y urbana del país (Reyes, 1997).

#### **b) Composición química**

El endospermo del grano de maíz es la zona más importante de almacenamiento de los carbohidratos y de las proteínas sintetizadas por esta especie. En los tipos de maíz más común, el endospermo comprende cerca del 84% del peso seco del grano, el embrión abarca el 10% y el pericarpio y el escutelo componen el restante 6%. Si bien la producción de grano es la razón principal del cultivo del maíz, todas las partes de la planta: hojas, tallos, panojas y olotes son utilizadas para diversos fines (Watson, 1988; Fussell, 1992).

El maíz es, desde un punto de vista nutricional, superior a muchos otros cereales excepto en su contenido de proteínas.

Las proteínas del maíz están compuestas por: zeína 42.7% (prolámína), albúminas (3.2%, globulina (1.5%) y glutaminas (35.1%), carecen especialmente de lisina y triptófano, se encuentran en mayor parte en el endospermo (Watson y col., 1991). La mayor parte de los aceites están contenidos en el germen, que tiene además un alto contenido proteico.

Se considera generalmente, que en el futuro, la tendencia en los países en desarrollo será la de usar el maíz como alimento animal, decreciendo su uso como alimento humano. La principal razón para este cambio es una posible mejora del poder adquisitivo de los países en desarrollo donde mayor número de personas tendrá acceso a proteínas de origen animal (Byerlee y Saad, 1993; Pingali y Heisey, 1996). En el cuadro 1.1 se presenta la composición química promedio del maíz.

**Cuadro 1.1.** Composición química del maíz

Componentes	Contenido (%)
Proteínas	8.4
Carbohidratos	73.8
Lípidos	4.5
Humedad	12.2
Minerales	1.1

**Fuente:** Watson, 1988.

### c) Usos

El maíz tiene muchos usos y sus productos secundarios son más numerosos aún. En nuestro país se consume principalmente en forma de tortillas, tamales, pozole, pinole (tostado y pulverizado), atole, roscas, esquites etc. (Borja, 1997). También se elaboran productos extrudidos como son las frituras.

También se hace del maíz una harina y, entre otros, ciertos preparados para desayuno que se han generalizado mucho.

El maíz destinado a la elaboración de harina nixtamalizada, es una variedad en la que predomina el almidón blando o menos compacto, que facilita la molienda del grano.

La tendencia actual es la de desarrollar harina de masa seca nixtamalizada. Después de moler los granos de maíz nixtamalizados, la masa húmeda pasa a través de varias etapas de secado, molienda, cernido, clasificación y mezcla para hacer distintos tipos de harina de masa seca (Gómez, 1987; Serna, y col. 1994). La harina de masa seca no se enrancia debido a que tiene muy poca cantidad grasas aproximadamente 3.9 g/kg, como le ocurre a la harina de maíz molido de granos secos completos, y su vida útil puede ser hasta de un año. La disponibilidad de masa seca tiene el potencial para diversificar y aumentar el uso del maíz para el consumo humano.

Se han desarrollado métodos alternativos para hacer harina de masa seca tales como la cocción por extrusión (Bazua y col. 1979), micronizando los granos machacados en la solución diluida de cal por medio de un tratamiento térmico con lámparas infrarrojas (Hart, 1985).

El maíz no origina harinas panificables, ya que no contiene en su composición las proteínas que conforman el gluten al amasarse con agua. Como esta harina no tiene la suficiente capacidad para hacer crecer a la masa, es aconsejable mezclarla con otras.

La inclusión de harina de maíz en el pan de trigo se limita a un máximo de 10 o 20%, de lo contrario la calidad del pan sería inaceptable para los consumidores. El trabajo hecho en el Centro Internacional del Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), en México, y también en otros lugares ha mostrado la posibilidad de sustituir la harina de trigo por hasta 10% de harina de maíz sin cambios apreciables en la calidad del pan. En el caso de los bizcochos, la sustitución puede ser mayor, hasta de un 30% (Dowswell y col. 1996).

El maíz es rico en almidón, que puede ser utilizado en el procesamiento de alimentos, ya sea en forma natural o por medio de modificaciones. Con cierto tratamiento químico (hidrólisis del almidón) se hace un jarabe del almidón del maíz que se utiliza en la industria refresquera, en la confitería, para la elaboración de jarabes, mieles, etc. De parte de este jarabe se obtiene azúcar de maíz o glucosa. El

almidón calentado y pulverizado se convierte en dextrina. De los granos germinados se separa el germen el cual se seca, tritura y se extrae de éste, por presión, aceite de maíz. Dicho aceite se utiliza como alimento y también en la fabricación de los barnices, pinturas, cauchos artificiales, y jabones. El residuo sirve aún como forraje (Charley, 1987).

### 1.1.2 EL Trigo

Planta gramínea anual, de la familia del césped, con espigas de cuyos granos molidos se saca la harina. Su nombre científico es el *Triticum sativum*. Es uno de los cereales más usados en la elaboración de alimentos.

#### a) Origen

Se piensa que se ha cultivado desde hace más de 9,000 años. Algunos autores piensan que surgió en el valle del Río Nilo. El trigo entra a América cuando inmigrantes rusos lo trajeron a Kansas en 1873, la variedad llamada Pavo Rojo, crece mejor que cualquier otra.

El trigo de invierno, cultivado en un clima de temperatura y pluviosidad más constantes, madura más lentamente produciendo cosechas de mayor rendimiento y menor riqueza proteica, más adecuado para galletas y pastelería que para panificación (Desrosier, 1999).

## **b) Composición Química**

El grano maduro del trigo está formado por: hidratos de carbono, (fibra cruda, almidón, maltosa, sacarosa, glucosa, melobiosa, pentosanos, galactosa, rafinosa), compuestos nitrogenados (principalmente proteínas: albúmina, globulina, prolamina y gluteínas), lípidos (ac. grasos mirístico, palmítico, esteárico, palmitooleico, oléico, linoléico, linoléico), sustancias minerales (Potasio, Fósforo, Azufre y Cloro) y agua junto con pequeñas cantidades de vitaminas (inositol, colina y del complejo B), enzimas (B-amilasa, celulosa, glucosidasas) y otras sustancias como pigmentos.

Estos nutrientes se encuentran distribuidos en las diversas áreas del grano de trigo, y algunos se concentran en regiones determinadas. El almidón está presente únicamente en el endospermo, la fibra cruda está reducida, casi exclusivamente al salvado y la proteína se encuentra por todo el grano. Aproximadamente la mitad de los lípidos totales se encuentran en el pericarpio, la quinta parte en el germen y el resto en el salvado. Más de la mitad de las sustancias minerales totales están presentes en el pericarpio, testa y aleurona (Garza, 2005). En el cuadro 1.2 se presenta la composición química promedio del trigo.

Cuadro 1.2. Composición química del Trigo.

Componentes	Contenido (%)
Proteínas	10
Carbohidratos	71.7
Lípidos	4.3
Humedad	10.8
Minerales	1.5
Fibra	1.7

Fuente: Watson, col., 1991.

Los hidratos de carbono presentes en los cereales incluyen al almidón (que predomina), celulosa, hemicelulosas, pentosanos, dextrinas y azúcares.

La fibra no se digiere por carencia de enzimas en el cuerpo humano y se divide para su análisis en dos partes: La fibra cruda que se evalúa como la porción de los hidratos de carbono (más lignina) insoluble en ácidos diluidos y en álcalis bajo determinadas condiciones. La fibra no digerible, que es la parte del producto que queda sin digerir en el tubo digestivo, comprende: celulosa, polisacáridos no celulosos (gomas, mucílagos, sustancias pécticas, hemicelulosas) y también lignina, un polímero aromático no hidrocarbonado.

Las moléculas de proteína en su estructura primaria, están formadas por cadenas de aminoácidos unidos entre si por enlaces peptídicos entre el grupo carboxilo (COOH-) de un aminoácido y el grupo amino. En las proteínas de los cereales se encuentran unos 18 aminoácidos diferentes. Las proporciones en que se encuentran y su orden en las cadenas, determinan las propiedades de cada proteína. Los alimentos preparados con trigo son fuentes de proteínas incompletas. Esto significa que pudiera contener los 8 aminoácidos esenciales pero no todos ellos en niveles adecuados, así que la combinación del trigo con otros alimentos proporcionaría, de ser correcta, una proteína completa. Sin embargo, si se compara con otros cereales como el arroz con 7.4 y el maíz llegaríamos a la conclusión de que tiene más proteínas (Cuadro 1.3). La porción proteica del grano de trigo está localizada en el endospermo (Garza, 2005).

**Cuadro 1.3.** Composición de diferentes cereales

	Agua (%)	Calorías (Kcal.)	Proteínas (g)	CHO´S (g)	CHO´S fibra (g)	Grasa (g)	Calcio (mg)	Vit B1 (mg)	Vit B2 (mg)	Vit.B3 (mg)
Harina de maíz	7.1	377	7.1	77.4	9.5	4.5	140	0.22	0.05	1.3
Harina de trigo	12	377	10.2	80.5	0.3	1.2	44	0.18	0.2	1

Fuente: Charley y col., 1987.

### c) Usos

La mayor parte del trigo completo se destina para elaborar harinas. Esta harina es usada para productos tales como el pan, pasteles, galletas y macarrones.

Trigo integral: Es el grano completo, se conserva la hialina, evita que se desprenda el germen; con el fin de aprovechar al máximo los elementos nutritivos del trigo, sin desperdiciar tan alta proporción de nutrientes, como se hace al preparar las harinas refinadas.

El trigo malteado se puede preparar con trigo integral, que se pone a germinar para que aumente las proporciones de vitamina B y C, posteriormente se laminan los granos de trigo, se desbaratan y se envasan.

El trigo inflado se utiliza para servirlo con leche, es el desayuno o algunos postres, es un alimento de precio alto y bajo valor nutritivo (Garza, 2005).

La harina de trigo es el nombre con que se designa al producto de la molienda del grano de trigo, generalmente el blando, sin impurezas. Es el producto más importante derivado de la molturación de los cereales, especialmente del trigo maduro. La harina de trigo se obtiene a través de: Limpieza del trigo; Su acondicionamiento; Trituración; Cernido; Purificación; Compresión (Desrosier, 1999).

La elaboración de pan se realiza a partir de harina, a la que se le añade agua, sal y levadura. La gran variedad y tipos de pan que existen hacen que sea imposible conocer la composición de todos ellos. Según los elementos que se le añaden o la forma como se fabrica. Los suplementos pueden ser azúcar, miel, leche, germen de trigo, gluten, pasas, higos, huevo, etc. El pan integral es el que se prepara con una harina cuya tasa de extracción es del 90–98%. Es más rico en vitaminas del grupo B y en fibra que el pan blanco.

El pan, como lo entendemos en la actualidad, no se conoció hasta el descubrimiento de la fermentación por medio de la levadura.

Las pastas se obtienen a partir de sémola de trigo, tras realizar una serie de operaciones semejantes a las que se hace con el pan blando. Puede ser sencilla o compuesta, si se le añaden otros alimentos, como verduras, huevo, etc. Se comercializa en forma de tallarines, macarrones, etc.

La pasta es una forma especial de utilización de los cereales en la alimentación humana, ya que se fabrica con harina de trigos duros, más ricos en proteínas que las procedentes de los blandos, con los que habitualmente se hace el pan. El bajo contenido hídrico de la pasta favorece su conservación durante largo tiempo, sin pérdida de las características organolépticas y nutritivas.

La sémola se obtiene de la trituración del grano de trigo, pero conteniendo pequeñas cantidades de cáscara.

El salvado es el producto obtenido de la separación de la molienda del trigo, está integrado por la cáscara del grano, mezclado con una pequeña porción de harina. Es rico en vitaminas, minerales y sobre todo en fibra por eso es recomendado en la dieta alimenticia.

Los cereales para desayuno son productos elaborados por la industria a partir de diversos granos, principalmente trigo, maíz y arroz, sometidos a procesos por los que se consiguen que estallen, se expandan, se hinchen o se laminan, de manera que estén listos para tomar. Conservan su valor nutricional y son más digeribles que como grano entero y natural. Se presentan en forma de escamas, copos, filamentos, gránulos, etc. Con frecuencia se enriquecen con diversos ingredientes alimenticios con lo que puede aumentar considerablemente su valor nutricional y su acción dietética.

Las harinas de trigo sirven en nuestro país para la elaboración de productos extrudidos uno de ellos son las frituras.

## 1.2 LAS LEGUMINOSAS Y EL FRIJOL

Las leguminosas son las semillas secas de las plantas que pertenecen a esta familia. Las leguminosas aportan el 20% de la proteína alimenticia consumida en todo el mundo.

Las leguminosas siguen a los cereales en importancia ya que contienen aproximadamente dos veces más proteína que estos, se dice que las leguminosas son la “carne” vegetal del mundo y se asemejan en valor proteico en una porción aproximadamente a la mitad de proteínas de la carne magra. Los frijoles tienen mayor contenido de proteínas que la mayoría de las leguminosas. La calidad de la proteína es tan importante como la cantidad. Las leguminosas son mejores que los cereales como fuente de aminoácidos esenciales isoleucina, leucina, fenilalanina, treonina y valina. Tienen un alto contenido de lisina, un aminoácido esencial pero muy escaso en los cereales, hace que las leguminosas constituyan un buen complemento para los cereales.

Los aminoácidos con contenido de azufre de las leguminosas secas, metionina y cistina, no son aprovechados por lo que los cereales complementan a las leguminosas con estos dos aminoácidos por lo que los frijoles y el arroz, y los frijoles y el maíz, son combinaciones nutritivas (Desrosier, 1999).

Las leguminosas carecen de endospermo (Tscheuschner, 2001). Al carecer de éste acumulan el almidón en los cotiledones carnosos que constituyen la parte principal de la semilla (Desrosier, 1999).

### 1.2.1 El Frijol

Grano perteneciente a la familia Fabaceae de la subfamilia Papilionoidea, género *Phaseolus* y especie *vulgaris* Linneo (frijol negro).

#### a) Origen

Diversas variedades de frijol fueron el alimento en el que se basó la dieta de nuestros antepasados, aunque ahora existen otras fuentes de proteína provenientes de vegetales, en nuestro país. El frijol sigue siendo fundamental en la alimentación, y en la mayoría de los platillos de origen mexicano. El frijol es un cultivo que se ha practicado desde hace 4000 años, pertenece a la familia de las leguminosas, es la leguminosa más cultivada a nivel mundial.

## b) Composición química

**Cuadro 1.4** Composición química promedio del frijol negro.

Componente	Contenido (%)
Proteínas	22.9
Carbohidratos	63.7
Lípidos	1.2
Humedad	8.3
Minerales	3.9

**Fuente:** Charley 1987.

Los frijoles son escasos en grasa y ricos en carbohidratos, son mejor fuente de calcio que los cereales y aportan vitamina B<sub>6</sub>, folacina, ácido pantoténico y biotina.

El frijol es una fuente importante de proteínas de bajo costo en comparación con la proteína de origen animal. Asimismo, es fuente de carbohidratos por su alto contenido de almidón y de fibra cruda, el primero representa más del 50% del peso de la semilla. Por otra parte la semilla de frijol presenta factores antinutrientales que incluyen inhibidores enzimáticos, hemaglutininas, factores de flatulencia, tanino. La cocción elimina por completo las hemaglutininas (Antunes y Sgarbieri, 1980).

El contenido de almidón de la mayoría de las leguminosas es alto. La cocción gelatiniza el almidón, altera la textura y mejora el sabor, de esta manera se logra que las leguminosas se hagan apetecibles. El calor moderado aumenta la disponibilidad de las proteínas en la mayoría de las leguminosas.

### **c) Usos**

El frijol actualmente se usa tanto en forma tradicional, como un producto procesado. También se cocina en recipientes abiertos y bajo presión, y se consume entero o molido.

En el mercado existen los frijoles procesados, como los enlatados, que pueden ser enteros, en agua, en salsa de tomate, etc., los molidos de diferentes sabores, y los deshidratados.

También están las llamadas harinas de frijol, que pueden ser altas en proteínas o en fibra, y que se emplean como ingredientes en otros productos. Hay un frijol precocido y en partículas, que se utiliza básicamente para microondas, y los llamados bocadillos o “snacks”.

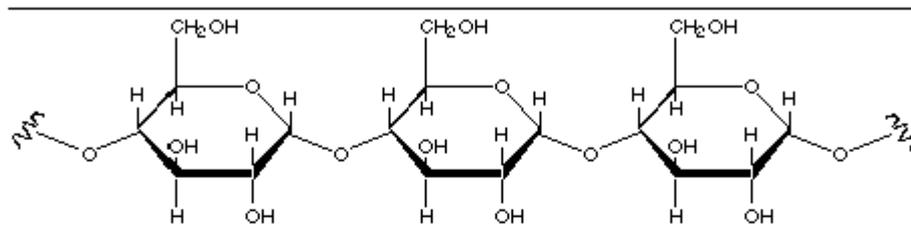
De manera que se puede emplear de muy diversas maneras, con lo cual se beneficia la salud de la población y de los productores al incrementar su demanda para la industrialización de esta leguminosa.

El consumo anual per cápita de frijol en México es de 15 kilogramos.

### 1.3 EL ALMIDON

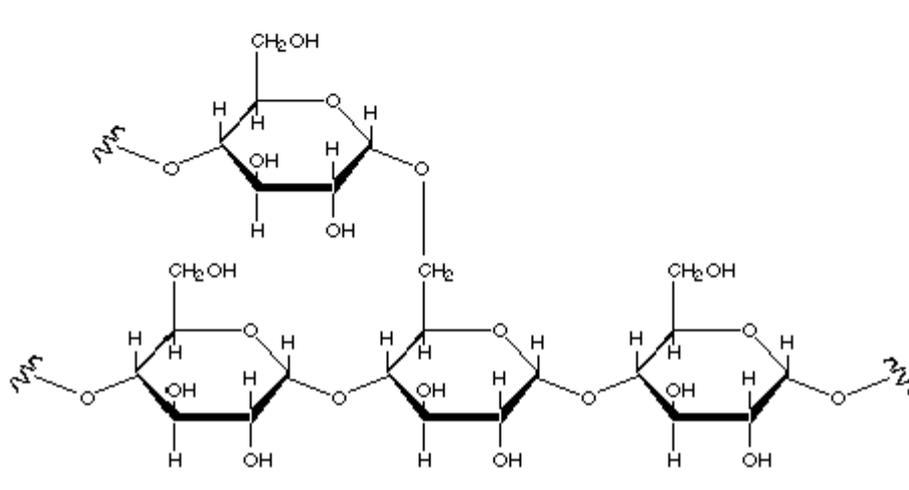
El almidón es el principal componente de los cereales y las leguminosas, es el causante de la gelatinización y por lo tanto el que proporciona algunas de las propiedades texturales de los productos en el que es utilizado. Se obtiene de las semillas de los cereales, raíces, tubérculos y leguminosas. Sus propiedades varían de lote a lote y dependen de las condiciones de crecimiento, cosecha y almacenamiento (Whistler y col., 1984).

El almidón es la mezcla de dos polisacáridos muy parecidos: la amilosa Figura 1.1 (lineal) y la amilopectina (ramificada) Figura 1.2 (Flint, 1994). La amilopectina se diferencia de la amilosa en que, contiene ramificaciones que le dan una forma molecular parecida a la de un árbol; las ramas están unidas al tronco central, semejante a la amilosa por enlaces  $\alpha$ -D(1,6), localizadas cada 15 a 25 unidades lineales de glucosa. Su peso molecular es muy alto ya que algunas fracciones llegan alcanzar hasta 200 millas de Daltons, tiene la capacidad de espesar proporcionando una mejor textura a los alimentos. La amilopectina constituye alrededor del 75% de la mayoría de los almidones (Fenema, 2000).



**Figura 1.1** Amilosa

(<http://fai.unne.edu.ar/biologia/macromoleculas/figacro/amilosa.gif>)



**Figura 1.2** Amilopectina

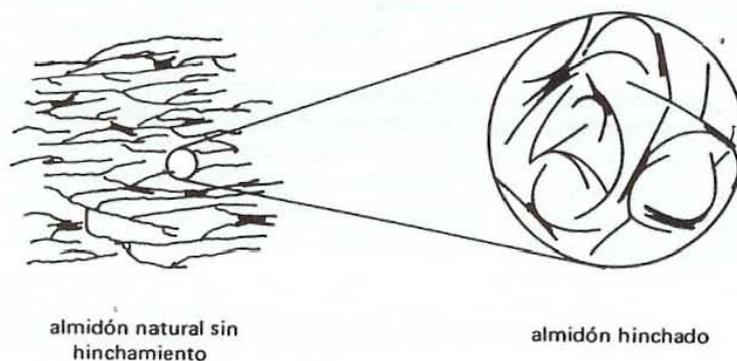
(<http://fai.unne.edu.ar/biologia/macromoleculas/figacro/amilpectina.gif>)

Utilizar el almidón en los alimentos que son procesados es importante para mejorar las características sensoriales y texturales de éstos, ya que presenta una gran variedad de propiedades funcionales tales como son: ligante, enturbiante, formador de películas, estabilizante, gelificante, humectante, texturizante y espesante.

Se distingue de todos los demás carbohidratos debido a que se presenta en forma de gránulos. Éstos son densos e insolubles, no se pueden hidratar en agua fría (insoluble). Cuando se dispersan en agua

caliente o se calientan y absorbe agua se hincha, a este proceso se le conoce con el nombre de gelatinización y forman soluciones viscosas, es decir, se activa la capacidad espesante del almidón (Fenema, 2000).

La gelatinización es un proceso en el cual los gránulos de almidón absorben diferentes cantidades de agua, el gránulo se hincha y aumenta ligeramente de tamaño (Figura 1.3), es una transición de un estado ordenado a otro desordenado en el que se absorbe calor. Si el almidón se calienta a temperaturas de más de 50–55°C, este intervalo varia según el tipo de almidón, hay rompimiento de los puentes de hidrógeno (Badui, 1993) y si continúa la absorción de agua, (aproximadamente los gránulos de almidón absorben de 20 a 40 g de agua/g de almidón), el gránulo explota; en esta fase los cristales del almidón se funden y forman una red polimérica. A temperaturas más elevadas (100°C) esta red se rompe y como consecuencia la amilosa y la amilopectina se disuelven (Belitz, 1992).



**Figura 1.3.** Hinchamiento del almidón en el proceso de gelatinización (Badui, 1989).

El calentamiento continuo de los gránulos de almidón, en un exceso de agua, tiene como resultado un mayor hinchamiento de los gránulos y una exudación adicional de la amilosa. El hinchamiento de los gránulos y la ruptura da lugar a una masa viscosa (pasta) que consiste en una fase continua de amilosa y/o amilopectina solubilizadas y una fase discontinua de restos de los gránulos. La disolución completa no se alcanza, con excepción quizá de que existan condiciones de alta temperatura, elevada fuerza de cizalla y exceso de agua, condiciones que no se presentan con frecuencia en la preparación de productos alimenticios (Fenema, 2000). En condiciones normales de del proceso de alimentos (humedad limitada y temperatura recomendada para el almidón), los gránulos de almidón se hinchan rápidamente. Las moléculas de agua penetran entre las cadenas, de manera que se separan totalmente y se solvatan. Si una suspensión de almidón se

agita moderadamente y se calienta, los gránulos embeben agua hasta que la mayor parte es absorbida por ellos, forzándolos a hincharse y a presionarse unos contra otros formando una pasta altamente viscosa. Conforme se van hinchando, las moléculas de amilosa hidratadas se difunden a través de la pasta hasta la fase externa (agua) (Fenema, 2000).

Los almidones naturales son sometidos con frecuencia a modificaciones químicas o físicas para su uso en la industria de alimentos. Como resultado de estas modificaciones, se obtienen aditivos o ingredientes funcionales útiles para obtener la combinación de propiedades deseadas en nuestros productos.

Los almidones modificados se pueden obtener a partir de varios orígenes, algunos son derivados de maíz, maíz céreo, trigo, papa y arroz. Los que más se utilizan son los de maíz, papa y trigo. Todos tienen diferentes propiedades y son aplicados en la industria de los alimentos para diferentes fines (nutricionales, tecnológicos, funcionales y sensoriales) (Imeson, 1997).

Algunas de las modificaciones en las propiedades del almidón nativo son: la reducción de la energía requerida para la gelatinización y la formación de pastas, incremento de la solubilidad de los gránulos de almidón, incremento o disminución de la viscosidad, aumento del brillo

de la pasta, inhibición o favorecimiento de la formación de geles, y de la fuerza de éstos, reducción de la sinéresis de los geles, mejora de la interacción con otros ingredientes, aumento de la estabilidad del producto, aumento de la capacidad de formación de películas, mejora de la resistencia al agua de estas películas, disminución de la cohesividad de la pasta y mejora de la estabilidad al ácido, al calor y la fuerza de cizalla (Fenema, 2000).

Los tratamientos modificativos son de varios tipos: pregelatinización, precocción, hidrólisis parcial y formación de polímeros de mayor tamaño por unión de unidades de amilosa o amilopectina (Primo, 1998),

Los tipos de modificación llevados a cabo con mayor frecuencia son:

a) Almidón con derivatización

La derivatización de los almidones, reduce las asociaciones intermoleculares, lo cual aumenta la tendencia a gelificar, esta modificación es conocida como estabilización. Por ejemplo algunas pastas se van haciendo turbias y grumosas, por lo que es necesaria la modificación para aumentar la estabilidad. Los derivados más comunes para la estabilización son el éter de hidroxipropilo, éster fosfato de monoalmidón y el éster acético. La derivatización se aplica para

obtener pastas claras, con propiedades emulsificantes y estables frente a la congelación–descongelación (Fenema, 2000).

b) Almidón despolimerizado

Industrialmente se añade ácido clorhídrico a los almidones bien mezclados, esta mezcla se calienta hasta que se obtiene el grado deseado de despolimerización. El ácido se neutraliza y después del lavado y secado se recupera el producto. Los almidones modificados por ácidos, forman geles muy fuertes y de gran claridad, aunque dan soluciones de menor viscosidad. Se utilizan como formadores de películas y adhesivos en productos como frutas secas caramelizadas, dulces, caramelos de goma, gelatinas y dulces de frutas (Fenema, 2000).

c) Almidón entrecruzado

El entrecruzamiento de los almidones se produce cuando los grupos hidroxilo de distintas moléculas del mismo gránulo se hacen reaccionar con agentes disfuncionales (diéster fosfato). Las pastas de almidones entrecruzados son más viscosas, con más cuerpo y con menos tendencia a degradarse a causa de agitaciones severas, que los almidones nativos. Conforme aumenta el grado de entrecruzamiento, el almidón también se hace más estable frente a los ácidos. Los almidones entrecruzados son utilizados en sopas y salsas enlatadas. El

entrecruzamiento del almidón de maíz céreo proporciona, a las pastas claras, la rigidez suficiente para que, cuando se usan en rellenos de pasteles mantengan su forma al cortarlas. Los almidones sometidos al entrecruzamiento y estabilización se utilizan en, alimentos enlatados, congelados, horneados y desecados. También permiten que permanezcan estables a lo largo de su conservación por largos periodos, los pasteles de frutas, pasteles de carne y salsas congeladas (Fenema, 2000).

d) Almidones pregelatinizados

Estos almidones se obtienen haciendo fluir una suspensión de almidón en agua por un estrecho paso entre dos rodillos calentados con vapor y muy cercanos entre si. La suspensión del almidón se gelatiniza y forma una pasta de manera casi instantánea, de modo que la pasta recubre los rodillos y se muele. Los almidones pregelatinizados son solubles en agua fría. Todos los tipos de almidones pueden utilizarse como base para los gelatinizados. Si se utilizan los modificados, las propiedades introducidas por la modificación se trasladan hasta los productos pregelatinizados. Algunas aplicaciones para el almidón ligeramente entrecruzado y pregelatinizado son: la elaboración de sopas instantáneas, pizzas preparadas, botanas extrudidas y cereales de desayuno (Fenema, 2000).

El almidón y los derivados de almidón, tienen una larga historia en la elaboración de botanas, como ingrediente con propiedades funcionales para ayudar a estos productos a mejorar sus atributos texturales. Por ejemplo si lo que deseamos son frituras expandidas, se necesita manipular la relación amilosa/amilopectina, esto se logra cambiando las proporciones de algunos tipos de almidón (de maíz céreo y maíz de alta amilosa). Para incrementar la expansión en una fritura, se recomienda utilizar el maíz céreo, el cual está compuesto solamente por amilopectina (Huang, 1995). Las pastas de maíz céreo generalmente son fluidas, cohesivas y no gelifican. Esta propiedad de no gelificar, se utiliza para estabilizar otro tipo de almidones que si la tienen (maíz o maíz de alta amilosa) reduciendo la tendencia. Además de su aplicación en la industria para ayudar a la expansión, también se utiliza como espesante mejorando la textura de salsas para aderezo y alimentos enlatados entre otros (Whistler y col., 1984).

#### 1.4 LAS FRITURAS

##### Las frituras y las botanas.

Debido a que la tendencia a comer *“entre las comidas”* aumenta, es importante que la gente aprenda a incorporar las botanas disponibles a una dieta y un estilo de vida equilibrados. A menudo, se piensa que comer entre horas es dañino y contrario a una alimentación sana. Sin

embargo, los aperitivos pueden desempeñar un papel muy útil en una dieta sana y equilibrada (CLIA, 2001).

Los tipos de botanas varían de un lugar a otro; algunas culturas prefieren alimentos salados como galletas, panecillos crujientes, papas fritas, frutas secas y pizzas entre otros; mientras que otras personas se inclinan por los yogures y los postres preparados, la fruta u otras botanas dulces como galletas, bizcocho, chocolate, golosinas, helados o refrescos (CLIA, 2001). Otra variedad de las botanas son las frituras.

Una de las definiciones más ampliamente aceptadas es la que considera que la botana, es cualquier comida que se toma fuera del desayuno, la comida o la cena. También se define como una selección de pequeños refrigerios que se toman en sustitución de las comidas tradicionales. Sea cual sea su nombre o el momento en que se consuman, la costumbre de comer botanas puede formar parte de un estilo de vida sano, siempre y cuando la ingesta diaria de calorías se mantenga en un nivel adecuado, independientemente de que se coman comidas menos abundantes con mayor frecuencia. Como es de esperar, si se añade el consumo de botanas a una ingesta diaria de calorías se producirá un aumento de peso por ello debe cuidarse el consumo adecuado de proteínas, vitaminas y minerales (CLIA, 2001).

### **1.4.1 FRITURAS**

Las frituras se conocen como productos que presentan un alto contenido de hidratos de carbono y grasa lo que las convierte en un producto muy energético, puesto que su aporte calórico oscila entre 450 y 550 calorías por cada 100 gramos (Consumer, 2003).

Las frituras son productos elaborados a base de harina de maíz o trigo, agua, sal, grasas, aditivos colorantes, saborizantes que permiten diferenciar a unas de otras. (Consumer, 2003).

Una gran parte de frituras se obtienen por medio del proceso de extrusión, el cual se ha vuelto un proceso importante en la fabricación de alimentos. Es capaz de efectuar simultáneamente un número de operaciones, incluyendo cocción, texturización, deshidratación de materiales alimenticios, particularmente aquellos como granos, leguminosas y semillas, en donde se les dan diversas formas a los productos finales. Estas operaciones están contenidas en una pieza de equipo compacto, el cual desperdicia poca energía y necesita únicamente una pequeña cantidad de espacio (Robert y col., 2005).

### **1.4.2 Frituras en México**

Las frituras que actualmente son más consumidas en el mercado mexicano son papas fritas, plátanos fritos deshidratados, maíz frito, trigo frito, maíz expandido, cacahuates salados ([www.acta.org.co](http://www.acta.org.co)).

En las frituras se ha explorado la adición de proteínas y diversos materiales fibrosos en un 20 a 30% con la finalidad de mejorar la textura y las cualidades nutritivas con lo que obtienen productos de una mayor calidad para el consumidor (Guy, 2002).

### **1.4.3 Proceso de extrusión.**

Algunos alimentos como: cereales, golosinas e incluso algunas comidas para animales se producen gracias a un método de procesamiento conocido como extrusión. La extrusión es el proceso donde se combinan operaciones unitarias como: mezclado, cocción, amasado y moldeo. El proceso de cocción por extrusión implica contenidos de humedad bajos (25–26%) y altas temperaturas, mientras se aplican fuerzas de cizalla considerables. En dichas condiciones los gránulos de almidón experimentan no solamente la gelatinización sino también la fusión. La conversión del almidón implica la pérdida del gránulo, formando complejos de amilosa–proteína (Guy, 2002). El extrusor está constituido por un tornillo en el que el alimento es comprimido y cocido por fricción hasta la obtención de una masa semisólida, la que es impulsada a través de un pequeño dado u orificio,

éste es el responsable de desarrollar gran variedad de texturas y formas, a partir de diferentes materias primas.

La transformación de las materias primas durante el procesado es uno de los factores más importantes que distingue un proceso alimentario (Ríaz, 2000).

Los productos extrudidos se forman a partir de biopolímeros naturales de materias primas tales como harinas de cereales y tubérculos, que son ricos en almidón o leguminosas que son fuente de proteínas.

Las condiciones más importantes durante el proceso de extrusión son: la temperatura, porque es necesario llegar a la temperatura de gelatinización del almidón; la presión, que ayuda a alcanzar la temperatura; el dado, que proporciona la forma del producto y la velocidad de la cuchilla, que va a aportar el tamaño del producto final (Fellows, 1996).

Las características más importantes del material a extrudir son: el contenido de humedad y su composición química. Dependiendo de sus características se determinan las condiciones de operación. Los materiales más comunes son harinas de maíz y trigo, pero también se pueden utilizar otros materiales como harina de arroz, papa, centeno, cebada, avena, sorgo, frijol y otros materiales relacionados.

Las proteínas, a altas concentraciones, también se pueden utilizar para formar estructuras en los productos extrudidos, ya que forman complejos de alta viscosidad, los cuales sirven para formar películas

rudimentarias y retienen parte del vapor de agua produciendo expansión (Guy, 2002).

Si los extrudidos se manufacturaran en forma de proteína vegetal texturizada, los ingredientes principales se deberán seleccionar, a partir de materiales ricos en proteínas como girasol, haba, frijol, semillas prensadas de soya, o proteínas separadas de cereales como el trigo (gluten) (Fellows, 1994).

#### **1.4.4 Productos extrudidos**

Los productos extrudidos se forman a partir de biopolímeros naturales de materias primas como son las harinas de distintos cereales o harinas de tubérculos, ricos en almidón o de leguminosas que como ya mencionamos son una buena fuente de proteínas (Fellows, 1994).

Algunos productos extrudidos en nuestro país son las frituras elaboradas con harina de maíz, harina de trigo, pastas alimenticias, alimentos para bebés elaborados con granos y cereales. En Venezuela se elaboró un producto extruido de harina de maíz y queso adicionados con fibra dietética y carotenoides de la harina de zanahoria (Pacheco y col, 2000).

Uno de los beneficios derivados del uso de este procedimiento en la producción de alimentos está relacionado con la conservación de los mismos. La extrusión permite controlar la cantidad de agua contenida

en los ingredientes, de la que dependen la aparición de microorganismos y la consiguiente putrefacción de los alimentos. Por lo tanto, es una técnica muy útil para producir productos alimentarios con una humedad óptima y duradera, que cada vez se emplea más para obtener toda una serie de productos como aperitivos, algunos cereales de desayuno, golosinas y comida para animales.

En el proceso de extrusión, los granos naturales y otros ingredientes son reestructurados para obtener un mejor sabor. Los alimentos con tendencia a desmoronarse por lo general tienen una estructura celular, débil.

La cocción cambia al producto, de un grano harinoso o duro a un material elástico o plástico, lo cual permite que se desarrolle la textura.

### **Equipo de extrusión**

La máquina extrusora consiste en una fuente de energía, que acciona el tornillo principal (Figura 1.4), un alimentador para dosificar los ingredientes crudos y una espiga que rodea al tornillo. Este último empuja los ingredientes hacia una abertura con una forma determinada, la boquilla, que determinará la forma del producto. La extrusión puede realizarse a elevadas temperaturas y presiones, o simplemente aplicarse para dar forma a los alimentos, sin cocinarlos (Robert y col., 2005).



**Figura 1.4.** Tornillo del Extrusor Didacta, Italia

Los extrusores de tornillo único se clasifican de acuerdo con la intensidad de la fuerza de cizalla que ejercen; constan de varias partes, una sección para transformar las partículas en una masa homogénea, una sección de amasado para comprimir y mezclar en los tornillos de gran fuerza de cizalla, y una sección de cocción. El transporte de la materia prima por los extrusores de tornillo único depende en su mayor parte del grado de fricción con la superficie del cilindro (Fellows, 1994).

## 1.5 TEXTURA

### 1.5.1 Definición de textura

La textura es la manera en la cual varios constituyentes y elementos estructurales de un alimento están arreglados y combinados en micro estructuras y macro estructuras cuyas manifestaciones externas se

presentan en términos de flujo y deformación (De Man, 1975). Es una combinación de efectos físicos y propiedades químicas (forma, tamaño, número, naturaleza), que determinan la disposición o manera que la unión de éstas componen el material.

La textura de los alimentos formulados depende de los ingredientes de origen natural (formulación, adición, componentes, etc.), lo cual nos permite controlar y desarrollar texturas específicas no encontradas en alimentos naturales.

### **1.5.2 Métodos para la evaluación de propiedades mecánicas de los alimentos**

#### **Métodos empíricos**

Se efectúan con instrumentos que con frecuencia son diseñados o contruidos para un material específico, por lo que los resultados son función del instrumento, el método, la fuerza aplicada, la velocidad de aplicación de la fuerza, la geometría, dimensiones y orientación de la muestra. Los instrumentos utilizados son sencillos y económicos. Con estos métodos tendremos generalmente sólo un dato de distancia, fuerza, área, tiempo. Los resultados obtenidos se encuentran bien definidos como son: dureza, cohesividad, adhesividad, pegajosidad.

En estas pruebas se someten los materiales a fuerzas como: compresión, tensión, penetración, corte, flujo, extrusión o combinaciones de éstas (Casas y Ramírez, 2001).

### **Métodos imitativos**

Son aquellos que tratan de imitar las operaciones humanas sobre los materiales para juzgar su comportamiento mecánico (masticación, presión con los dedos, etc) y asumen que las fuerzas de reacción desarrolladas para la muestra representan las reacciones humanas.

En los métodos imitativos también influyen las dimensiones, forma, orientación y el dispositivo utilizado para la aplicación de esfuerzos (Casas y Ramírez, 2001).

### **Métodos sensoriales**

Es el análisis organoléptico del complejo de la textura de un alimento en términos de sus características mecánicas, geométricas, de grasa y humedad, el grado de cada característica presente y el orden en que ellas aparecen desde la primera mordida a través de la masticación completa (Casas y Ramírez, 2001) .

### **1.5.3 Consideraciones importantes en las pruebas instrumentales de textura**

Todos los instrumentos utilizados en las pruebas de textura tienen principios comunes: utilizan dispositivos también llamados puntas, sondas o sensores, de diferentes formas (placas, cilindros, conos, esferas, cuchillas, alambres, agujas), estos dispositivos someten a la muestra a torsión, extrusión, extensión.

Para llevar a cabo la prueba se establece un protocolo en base al tipo de instrumento, la muestra y la información que se desea obtener en la misma. Se selecciona el dispositivo en función a la prueba que se va a realizar (punción, corte, compresión, penetración, etc.,) y a las características del alimento. Las dimensiones de la muestra son muy importantes ya que el tamaño, la forma y el recipiente en donde se efectúe la prueba influirán en los resultados obtenidos. La velocidad de la prueba se refiere a la cual el dispositivo va a comprimir o estirar al alimento.

Durante la prueba, se miden y/o controlan fuerza, distancia, tiempo, volumen. Existen 2 diferentes modalidades para realizar la prueba, medir la fuerza o la distancia en un tiempo específico (medidas puntuales) o en función del tiempo. Otra forma es medir en un tiempo determinando la cantidad del material que fluye a cierta distancia en un tiempo dado (consistómetros) ya sea por efecto de alguna fuerza impulsora o por la presión hidrostática del mismo fluido. Las pruebas generalmente son destructivas.

Los texturometros también capturan y almacenan los datos de fuerza, distancia y tiempo, también se presentan las gráficas correspondientes de las cuales se extraen valores de fuerza, distancia y tiempo de puntos específicos así como pendientes o áreas en zonas delimitadas.

De estos datos se calculan los parámetros texturales de interés para cada material y prueba.

Para esto, cada marca cuenta con un software específico, tanto para el control del instrumento como para el análisis de resultados. El instrumento cuenta con una unidad motora, que gobierna otra unidad con movimiento en dirección vertical, y un sistema sensor de fuerza y registrador que consiste en una serie de celdas de carga intercambiables.

Se pueden realizar pruebas instrumentales de 2 tipos: puntuales y globales

### **Pruebas instrumentales globales**

Estas pruebas proporcionan una descripción global de todos los parámetros y evalúan un conjunto de propiedades como el análisis de perfil de textura (T.P.A) (Casas y Ramírez, 2001).

### **Pruebas instrumentales puntuales**

Son aquellas que miden sólo una propiedad textural como la penetrabilidad, fragibilidad, adhesividad, punción, etc. (Casas y Ramírez, 2001).

#### **1.5.4 Prueba de punción**

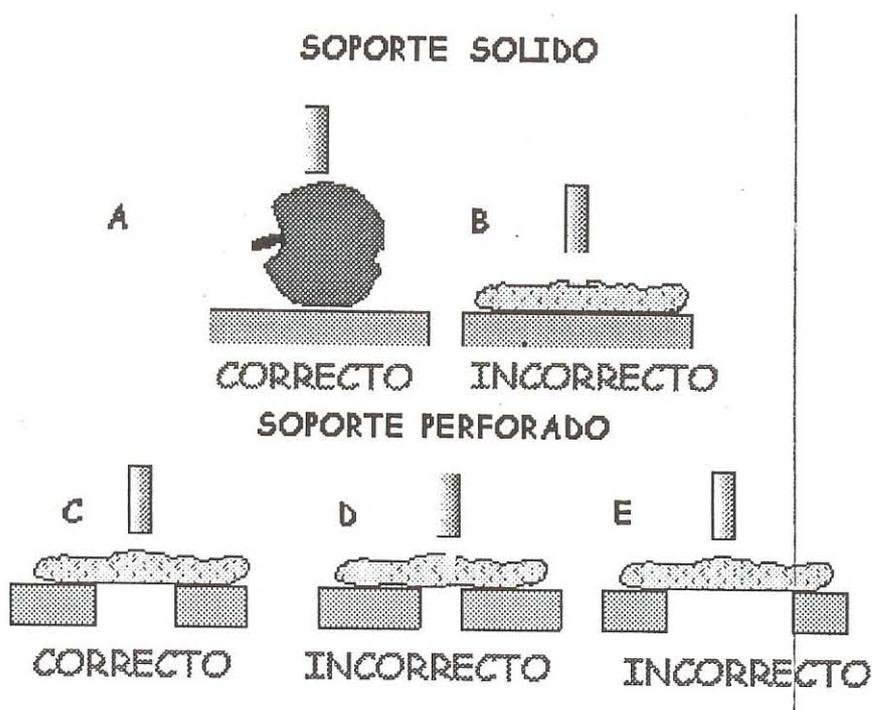
Para el control de calidad y el desarrollo de productos alimenticios como grasas, mantequillas, quesos, geles, pan, frutas, chocolates, etc., son comunes las pruebas de punción y/o penetración. En esta prueba el material que está bajo prueba es sometido a una combinación de compresión y cizallamiento. En los materiales sólidos la prueba es totalmente destructiva. Para maíz se utilizan agujas y la prueba consiste en medir la fuerza requerida para hacer incidir un punzón en el alimento. Se caracteriza por: a) la medida instrumental de la fuerza, b) la penetración del punzón del alimento causando fractura irreversible o fluidez al alimento y C) la profundidad de la penetración que usualmente es constante (Casas y Ramírez., 2001).

En esta prueba se debe asumir que la muestra es mucho más grande que la punta de prueba haciendo despreciable su efecto en los bordes y la superficie (Figura 1.5 y Figura 1.6), para que las fuerzas se deriven principalmente por punción y exista una combinación de compresión, corte y cizalla.



Fuente: (Bourne, 1982)

Figura 1.5. Relación correcta de áreas del material y dispositivo en una prueba de punción.



Fuente: (Bourne, 1982)

Figura 1.6. Posición correcta del material utilizada en prueba de punción.

### 1.5.5 Materiales quebradizos y crujientes

Las evaluaciones como crujidez, masticabilidad y resistencia son procesos de deformación. La definición inicial de crujiente puede estar correlacionada con la velocidad y la fuerza que se aplica al cerrar las

mandíbulas. Según Rosenthal (2001), cuando el material se fractura la fuerza cae. Lo crujiente se puede relacionar con una caída rápida de fuerza, asociada con la rápida propagación de la fractura, ésta necesita que el material sea frágil. La fuerza máxima alcanzada debería ser igual a la dureza, cuando más alta sea la fuerza más duro será el material como se observa en la Figura 1.7; si el alimento se deforma posteriormente a la fractura principal, las caídas van relacionadas con lo crujiente, si los picos son pequeños y frecuentes, el alimento se desbarata fácilmente, por el contrario si son grandes y frecuentes puede haber una transición de textura crujiente a dura (Rosenthal, 2001). La condición quebradiza es una característica de textura difícil de alcanzar muy parecida a la crujiente o dura, sin embargo diferente. En la mayoría de los casos se ha visto que para lograr un producto crujiente debe fragmentarse abruptamente en varios pedazos al morderlo, la cual tiene que ver tanto con la sensación vibratoria (sonido) de la mordida, como con la fuerza que se requiere para la fragmentación.

Los alimentos quebradizos, por lo general presentan una estructura celular. Las células no se rompen en forma simultánea al morderlas, sino que son separadas en pequeños fragmentos. También existen otras texturas que pueden ser celulares. El lograr una condición quebradiza, o de otro tipo, depende del tamaño de la célula y el grado de expansión celular

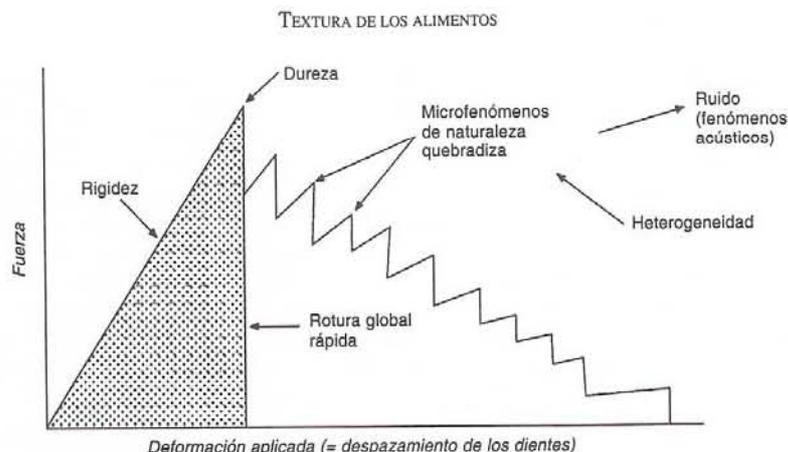


Figura 1.7. Gráfica para un material crujiente (Rosenthal, 2001)

Según el boletín informativo del TA-TX2, también podemos definir lo crujiente como la distancia a la que se presenta la fractura, a menor distancia el producto será más crujiente.

Quebradizo es definido como la cualidad de fracturarse en muchas pequeñas partes debido a la fuerza de compresión y se puede asociar con la fragilidad. Amerine y col. (1965) definen lo quebradizo como una propiedad textural caracterizada por ser frágil y naturalmente pulverizable. Bourne en (Kilcast, 2004) indicó que los alimentos quebradizos y crujientes se caracterizan por:

- Tener una estructura rígida no deformable que se puede colapsar con una fractura frágil y una rápida caída de la fuerza después de la fractura.
- Requiere poca fuerza para quebrarse.
- Se rompe rápidamente en pequeñas piezas.
- Requiere poco esfuerzo para ser masticado

En el presente trabajo para el análisis de resultados de la prueba de corte en frituras utilizaremos las siguientes definiciones como referencia:

Frágil: A mayor trabajo de la curva fuerza-tiempo antes de la ruptura, el material será menos frágil.

Crujiente: pendiente inicial de la curva fuerza-tiempo y rápida caída de fuerza, después de la fractura principal.

## **II. DESARROLLO EXPERIMENTAL**

### **2.1 OBJETIVOS**

#### **2.1.1 Objetivo general**

Evaluar el efecto de la proporción de frijol en las propiedades texturales (dureza y carácter crujiente) de las frituras elaboradas con distintas mezclas (harina de frijol – harina de maíz y harina de frijol – harina de trigo).

#### **Objetivo Particular 1**

Evaluar el efecto de la proporción de frijol en la dureza y el trabajo de ruptura de la pasta extruida (frijol – maíz) y (frijol – trigo) para preparar frituras.

#### **Objetivo Particular 2**

Evaluar el efecto de la proporción de frijol en las características de textura de las frituras (fuerza, trabajo de ruptura y distancia de ruptura) mediante la prueba de corte para conocer como influye en el carácter crujiente.

#### **Objetivo Particular 3**

Establecer la relación entre la dureza de las masas y la dureza de las frituras.

## 2.2 MATERIALES Y METODOS

### Materiales

Para la elaboración de las frituras se utilizaron las siguientes materias primas:

- φ Aceite vegetal, Capullo
- φ Agente leudante, Royal
- φ Agua, Electropura
- φ Almidón modificado pregelatinizado de maíz céreo, Baka Snack.
- φ Cloruro de sodio, La Fina.
- φ Colorante, Rojo Allura (rojo 40), Makymat
- φ Colorante, Tartrazina (amarillo 5), Makymat
- φ Frijol deshidratado, Dos por Tres
- φ Harina de maíz, Maseca
- φ Harina de trigo, La Moderna

Equipo utilizado en la elaboración de las frituras:

- φ Atomizador de plástico
- φ Balanza de barra tripie, Rohaus, 4066
- φ Balanza digital, Ohaus, Precision Plus

- φ Batidora, Kitchen Aid; Inc, K5SS
- φ Extrusor, Didacta Italia TA6/D
- φ Freidora, Maxi-Matic DF-6660
- φ Horno de convección libre, Didacta Italia TA7/D
- φ Parrilla eléctrica, Pirex
- φ Secador Thelco Mechanical C. O
- φ Termómetro, Brennan (-10, 260°C)
- φ Vaso de precipitado de 250 ml.

Equipo utilizado en el estudio de las masas y frituras.

- φ Texturometro TAX-T2

## **Métodos**

### **Obtención de las masas extruidas.**

Las proporciones de frijol y harinas de maíz o trigo a utilizar en la elaboración de las mezclas se obtuvieron utilizando el programa DESIGN EXPERT, MR aplicando un diseño de mezclas que se muestra en el Cuadro 2.1

**Cuadro 2.1** Mezclas de harina de maíz–harina de frijol y harina de trigo– harina de frijol en base seca.

### Formulaciones

Ingredientes	A	B	C	D	E
(%)					
Frijol Deshidratado	0	16.35	32.69	49.05	65.38
Harina de Maíz o trigo	65.38	49.05	32.69	16.35	0
Almidón Modificado	31.54	31.54	31.54	31.54	31.54
Agente Leudante	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54
Cloruro de Sodio	1.54	1.54	1.54	1.54	1.54

Con las formulaciones anteriores se prepararon las mezclas en base seca de la siguiente manera:

- ϕ Se pesan todos los ingredientes.
- ϕ En primer lugar se pusieron en la batidora la harina del cereal correspondiente con los colorantes (el rojo 40 y el amarillo 5), hasta que estuviera uniforme. La mezcla se llevó a cabo con los dispositivos denominados aspas. A una velocidad de 1 al principio y poco a poco se aumentó la velocidad a 2.
- ϕ Poco a poco se le incorporó el almidón y el cloruro de sodio

- ϕ En seguida se agregó la harina de frijol,
- ϕ Cuando estaban perfectamente mezclados se les añadió el agua con el atomizador por aspersión hasta obtener una mezcla homogénea, dependiendo de la formulación se asperjó agua hasta obtener aglomerados con un diámetro de 2 a 7 mm. Una vez obtenidas las mezclas se determinó humedad en la termobalanza y los valores obtenidos varían de un 28.9% hasta un 32.85% dependiendo de la formulación.
- ϕ Los aglomerados fueron llevados al horno de convección a una temperatura de 120°C durante 30 minutos, en donde se le dio un tratamiento térmico previo a la extrusión, necesario para incrementar la gelatinización del almidón.
- ϕ Posteriormente la mezcla se llevó al extrusor, proporcionando éste un producto con forma de láminas o cintas aproximadamente de 1 mm de espesor.
- ϕ Las láminas se cortaron en formas geométricas simples como son los rectángulos con dimensiones de 4.5 X 5 cm., se almacenaron en bolsas de polietileno, evitando así que capten humedad del ambiente.
- ϕ En seguida se llevó a cabo la prueba de punción.

## **Obtención de las frituras.**

Las frituras se obtuvieron de la siguiente manera:

- ϕ A partir de las masas extruidas, previo a un proceso de secado de 2 horas en la estufa a una temperatura de 70°C.
- ϕ Se frieron en aceite vegetal a una temperatura de 160 a 180°C, durante 20 segundos aproximadamente.
- ϕ Se dejaron enfriar y escurrir, se llevó a cabo la prueba de corte en el texturometro.

## **2.3 Metodología de experimentación**

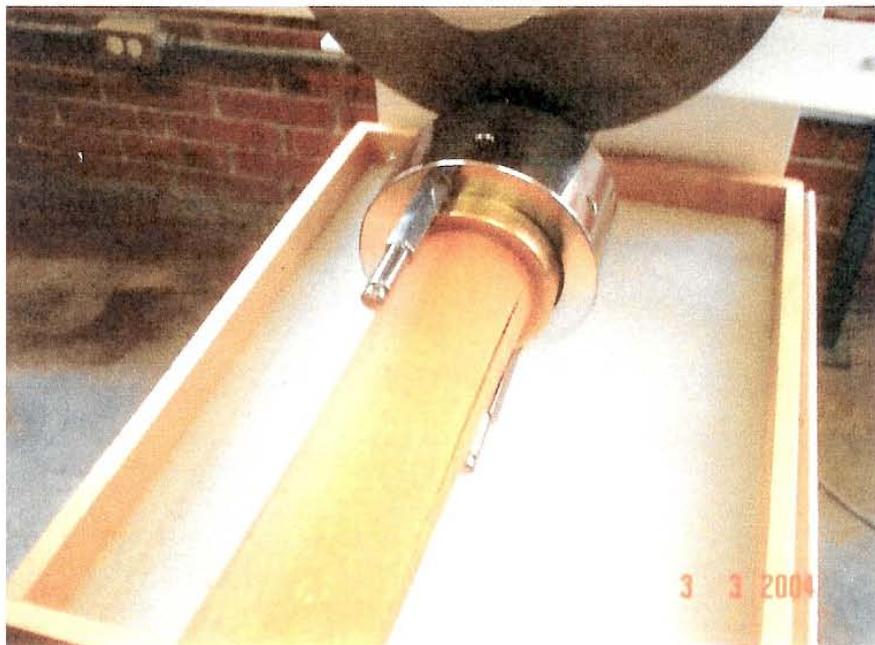
### **Medición de las propiedades texturales en las masas extruidas.**

La textura en las masas extruidas se obtuvo determinando la fuerza necesaria para perforar una placa rectangular de masa con una longitud de 4.5 X 5 cm, espesor de 1mm, mediante la prueba de compresión-punción, utilizando un dispositivo cilíndrico de acero inoxidable de ¼ de pulgada de diámetro y colocando las masas en una placa perforada a través de la cual penetraba el dispositivo con una distancia de penetración de 8 mm a una velocidad de 0.5 mm/s.

Para la obtención de las masas se mezclaron todos los ingredientes en base seca por 15 minutos, se colocaron los aglomerados en charolas cubiertas con papel aluminio y se introdujeron en el horno de convección a una temperatura de 120°C durante 30 minutos, con este tratamiento se perdió humedad a valores de un 26.55% hasta un 31.8%

dependiendo de la muestra. En la realización del objetivo particular 1, se determinaron las características texturales de la masa extrudida (Figura 2.1 y Figura 2.2), (dureza y trabajo de ruptura), mediante una prueba de punción, en esta etapa la humedad de las pastas alcanzó valores de un 22% hasta un 28% (Figura 2.3).

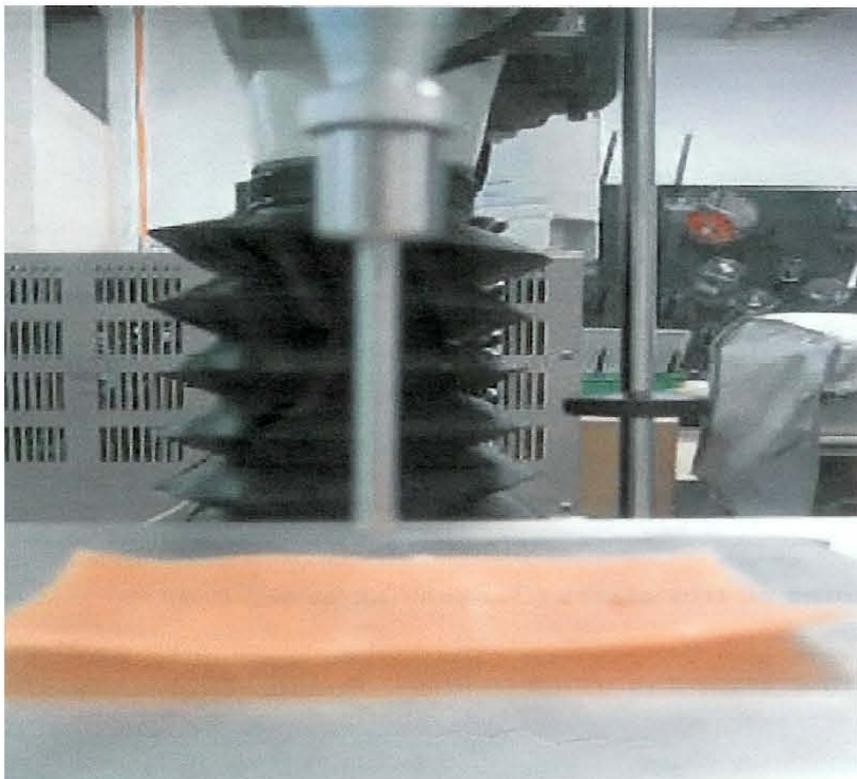
Se realizaron 5 repeticiones de la prueba de punción y los valores de los parámetros se promediaron y se calculó la desviación estándar y coeficiente de variación.



**Figura 2.1.** Masas salidas del extrusor



**Figura 2.2.** Corte de la masa para la evaluación



**Figura 2.3.** Prueba de punción aplicada a las masas extruidas.

### **Medición de las propiedades texturales de las frituras**

En el objetivo particular 2, se secaron las masas extruidas a 70°C y 2 h teniendo valores de humedad de 11.07% hasta un 7.7% (Figura 2.4), posteriormente se frieron a 160°C durante 20 segundos la humedad fue de 7% hasta un 4.5% (Figura 2.5), se realizaron las 5 repeticiones determinando los parámetros de dureza y trabajo de ruptura, mediante una prueba de corte a las frituras (Figura 2.6), posteriormente se determinó coeficiente de variación y desviación estándar.

Para obtener la textura en frituras se seleccionaron 5 con un tamaño similar tomando en cuenta que la expansión se presentó a un 100% en la formulación con 100% harina de frijol y fue disminuyendo según la proporción de frijol, se utilizó un dispositivo de tres puntos de apoyo con cuchilla, a una velocidad de 0.5 mm/s, conservando una distancia de penetración de 8 mm.

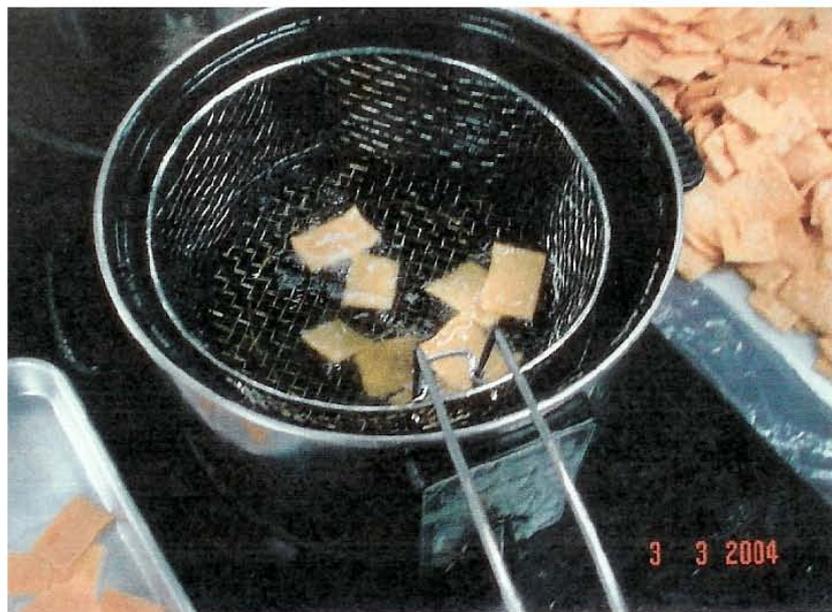
Ambas pruebas se realizaron en el texturometro TAX-T2 (Texture Analyser), midiendo la fuerza de compresión y el trabajo de ruptura (área bajo la curva).

Se realizaron 5 repeticiones de cada una y los resultados obtenidos se promediaron y se determinó el coeficiente de variación y la desviación estándar de la fuerza, el trabajo de ruptura y distancia. Se seleccionó una curva de cada prueba, la que presentara valores más cercanos a los

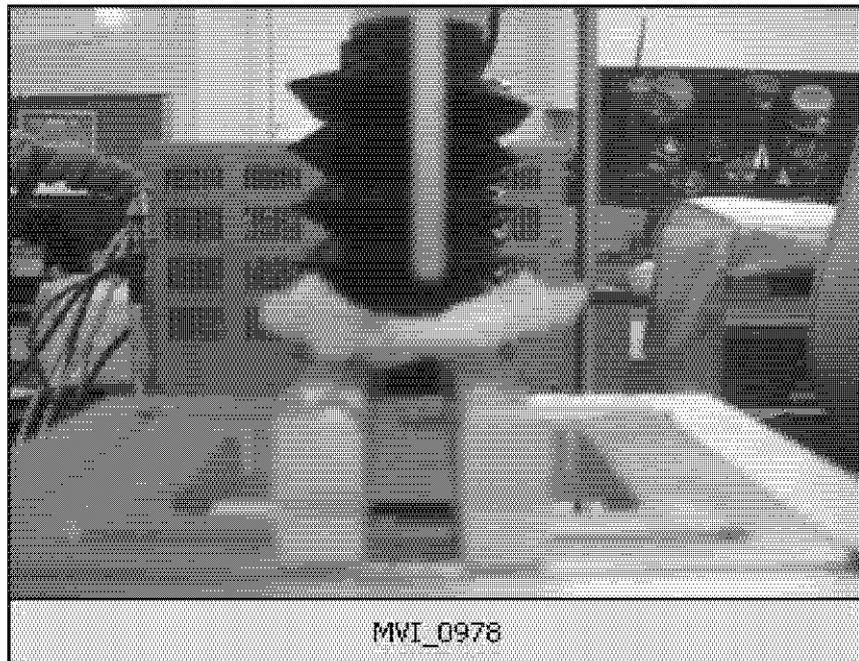
resultados de los promedios para la comparación gráfica entre formulaciones.



**Figura 2.4. Secado de las masa extruidas**



**Figura 2.5. Freído de las masas secas**



**Figura 2.6.** Prueba de corte en las frituras

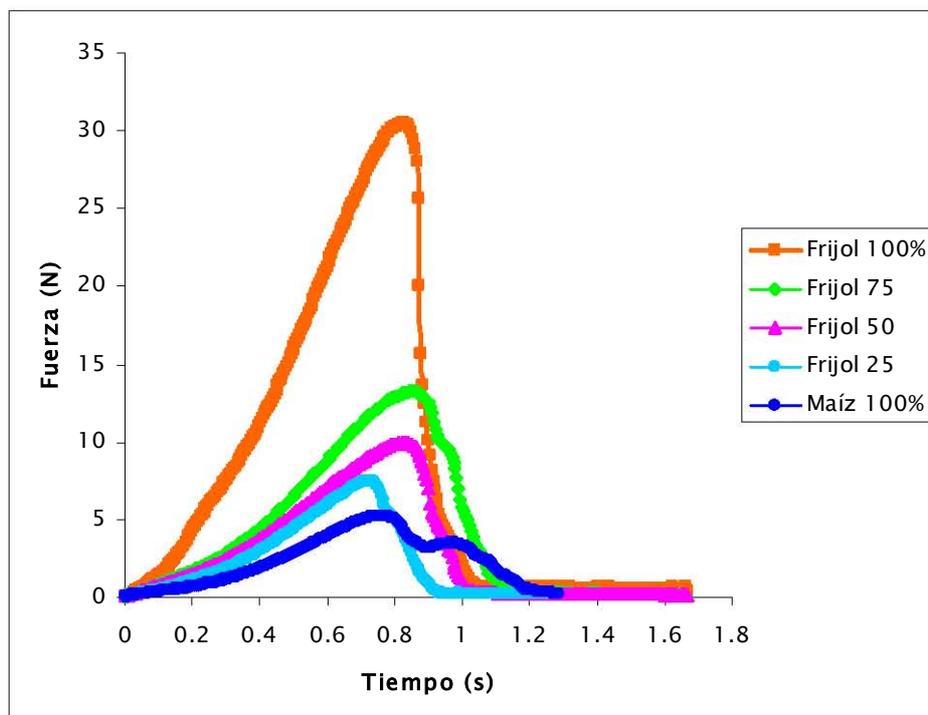
Para el objetivo particular 3 se relacionaron los resultados obtenidos en los parámetros de textura del objetivo particular 1 y el objetivo particular 2 y se les realizó una regresión lineal para saber si se presentaba una relación.

### III. RESULTADOS

#### 3.1 TEXTURA EN LAS MEZCLAS

##### 3.1.1 Textura en las masas de harina de frijol – harina de maíz extruidas.

Los resultados de textura de las masas de la mezcla harina de frijol–harina de maíz se muestran en la Figura 3.1.



**Figura 3.1** Fuerza en función del tiempo para las masas de la mezcla harina de frijol–harina de maíz.

La Figura 3.1 muestra que la pendiente inicial de las curvas se presenta con mayor inclinación en las mezclas de frijol a 100% y va disminuyendo a medida que disminuye la concentración de frijol de cada formulación, asimismo, se presenta una mayor fuerza máxima en la formulación de frijol al 100%, esto se debe a que con el tratamiento

de extrusión al aumentar la temperatura aumenta la disponibilidad de las proteínas en el frijol, fracturando las paredes celulares y exponiendo al almidón del interior, éste rompe los puentes de hidrogeno y se gelatiniza, se presenta una relación agua-proteína que dan mayor rigidez a la masa.

La caída de fuerza posterior a la fuerza máxima es más rápida en la formulación con frijol al 100% indicando que la masa se rompió en cuanto fue penetrada; esta masa es menos resistente no sucediendo lo mismo con las demás concentraciones que se extendieron y adelgazaron antes de romperse, se observa que la masa con concentración de maíz al 100% fue la que más se extendió, como el maíz presenta mayor cantidad de almidón que el frijol y tiene consecuencia un mayor hinchamiento en los gránulos de almidón, éste hinchamiento y la disrupción dan lugar a una masa viscosa.

**Cuadro 3.1** Promedio de dureza y trabajo de ruptura de masas de la mezcla harina de frijol–harina de maíz extruidas.

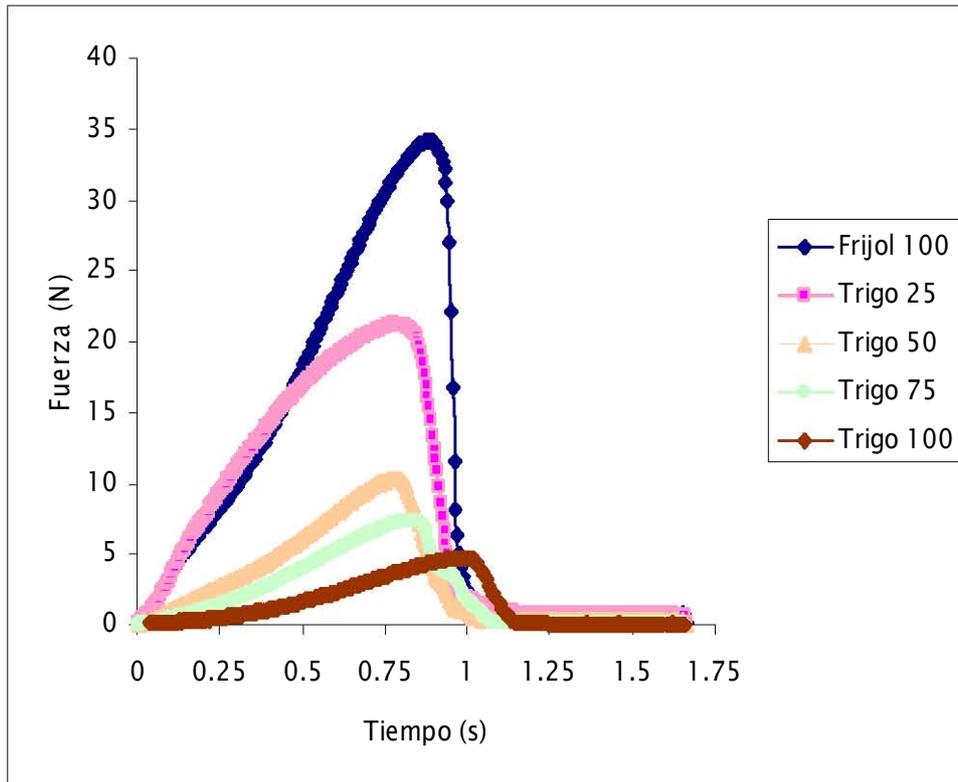
Formulación	Dureza (N)	C. V %	Distancia (mm)	C. V %	Trabajo ruptura (N /s)	C. V. %
Frijol 100%	31.45 <sup>a</sup>	7.90	3.84 <sup>a</sup>	5.06	10.81 <sup>a</sup>	10.80
Frijol 75%, maíz 25%	13.08 <sup>b</sup>	1.55	4.26 <sup>b</sup>	5.73	5.06 <sup>b</sup>	5.88
Frijol 50%, maíz 50%	10.02 <sup>c</sup>	4.80	4.18 <sup>c</sup>	2.42	3.79 <sup>c</sup>	4.40
Frijol 25%, maíz 75%	7.24 <sup>d</sup>	3.27	3.52 <sup>d</sup>	2.63	2.18 <sup>d</sup>	5.15
Maíz 100%	6.98 <sup>e</sup>	3.14	4.10 <sup>c</sup>	11.25	1.97 <sup>e</sup>	8.12

**NOTA:** Los valores con la misma letra son iguales estadísticamente al aplicar la prueba de Tuckey.

En el Cuadro 3.1 se reportan los valores de dureza y trabajo de ruptura (área bajo la curva hasta la fuerza máxima), obtenidos del promedio de las 5 repeticiones, incluyendo el coeficiente de variación en cada formulación; al aplicarles el tratamiento estadístico ANOVA y la prueba de Tuckey, se infiere que en la fuerza todas las formulaciones son diferentes y no hay ninguna similitud entre ellas al igual que en el área. Para la distancia se encuentra que en la formulación de maíz 50 % y maíz al 100% no hay diferencia significativa y que estadísticamente son iguales.

### 3.1.2 Textura en las masas de harina de frijol – harina de trigo extrudidas.

Los resultados de textura de las masas harina de frijol – harina de trigo se muestran en la Figura 3.2.



**Figura 3.2** Fuerza en función del tiempo en las masas harina de frijol – harina de trigo.

En la Figura 3.2, se puede observar que la pendiente inicial es muy similar en la formulación de trigo al 25% y frijol 100%, a medida que disminuye la concentración de frijol, la pendiente decrece. La fuerza máxima es menor en la formulación de trigo al 100%, y se va incrementando a medida que se incrementa la concentración de frijol, esto es muy semejante a lo que sucedió en las mezclas de maíz y frijol,

aunque a diferencia del maíz, el trigo que si cuenta con proteínas formadoras de gluten que forman enlaces cruzados y dan las características de alargamiento y extensibilidad de la masa. También podemos observar esto con la distancia a la que ocurre la fuerza máxima, a mayor concentración de frijol será menor la distancia en la que ocurre la ruptura; en la Figura 3.2 observamos que las formulaciones de trigo 50 y trigo 25% son similares en cuanto a la distancia a la cual ocurre la fractura, en la formulación de trigo 75% es menor que en la concentración de trigo al 100%.

En cuanto a la caída de fuerza la Figura 3.2 indica que la masa de frijol al 100% y la masa de frijol 75% se rompen más rápidamente que las formulaciones con menor concentración de frijol, debido a las gluteninas presentes en el trigo que dan las características de elasticidad a las masas.

**Cuadro 3.2** Promedio de dureza y trabajo de ruptura de las masas harina de frijol – harina de trigo extruidas, se incluye % de coeficiente de variación.

Formulación	Dureza (N)	C. V %	Distancia (mm)	C. V %	Trabajo ruptura (N /s)	C. V. %
Frijol 100%	31.45	6.06	4.39 <sup>a</sup>	6.79	13.93 <sup>a</sup>	11.78
Frijol 75%, trigo 25%	21.12 <sup>b</sup>	10.60	4.14 <sup>b</sup>	17.70	9.79 <sup>b</sup>	15.69
Frijol 50%, trigo 50%	10.35 <sup>c</sup>	6.81	4.36 <sup>a</sup>	8.67	4.13 <sup>c</sup>	10.77
Frijol 25%, trigo 75%	7.35 <sup>d</sup>	5.91	3.86 <sup>b</sup>	9.95	2.68 <sup>d</sup>	11.10
Trigo 100%	4.91 <sup>e</sup>	7.17	4.52 <sup>a</sup>	7.24	2.04 <sup>d</sup>	5.02

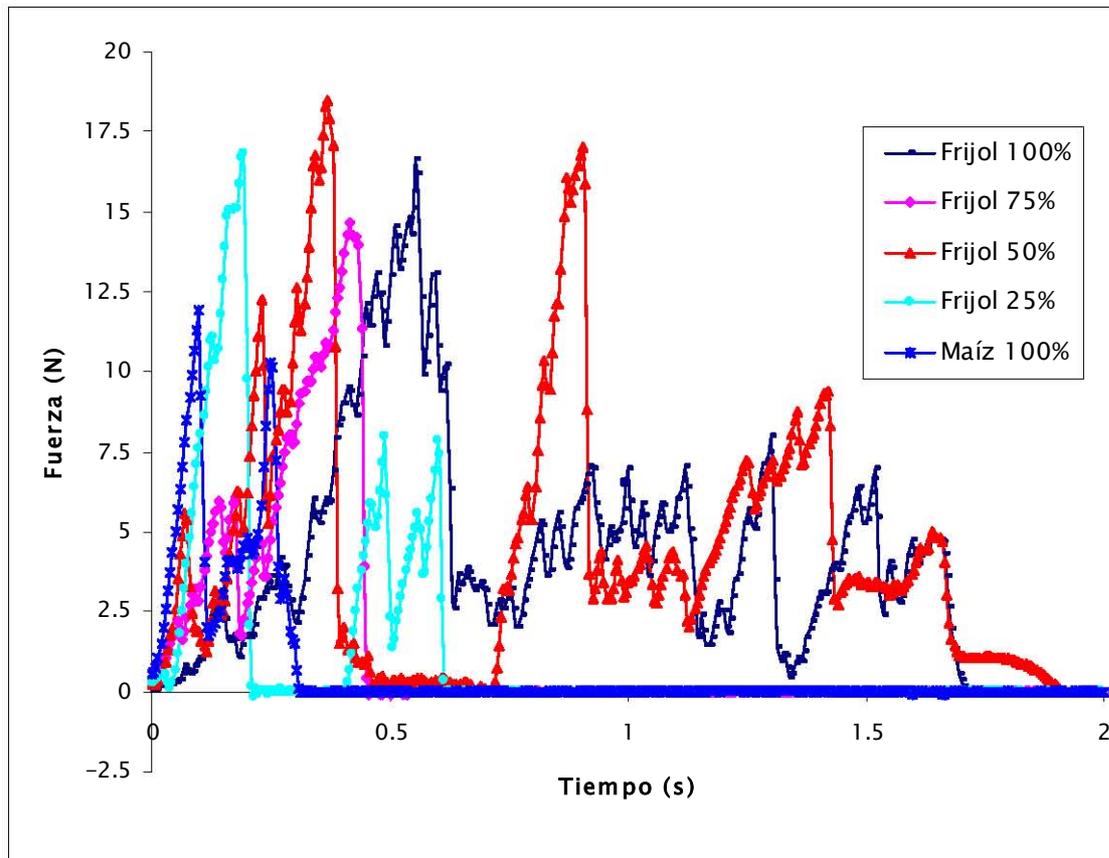
**NOTA:** Los valores con la misma letra son iguales estadísticamente al aplicar la prueba de Tuckey.

En el Cuadro anterior se observa que hay diferencia significativa en cuanto a los valores obtenidos de la fuerza, las formulaciones no presentan ninguna similitud estadísticamente, sucede lo contrario en los valores obtenidos de distancia se observa que hay similitud en las formulaciones de frijol a concentración de 100 y 50% y trigo al 100%, por otro lado, también se presenta similitud entre las formulaciones de frijol al 25 y 75%. Para el área encontramos que el trigo al 100% y frijol al 25% son estadísticamente similares y diferentes a las demás concentraciones. Lo anterior se obtuvo con el análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tuckey.

## 3.2 Textura en frituras

### 3.2.1 Textura en las frituras de harina de frijol – harina de maíz.

En las frituras se observan curvas más irregulares en comparación con las mezclas como se aprecia en la Figura 3.3



**Figura 3.3** Fuerza en función del tiempo para las frituras harina de frijol –harina de maíz.

En la Figura 3.3 se percibe que la pendiente inicial de las formulaciones se va incrementando conforme disminuye la proporción de frijol. La fritura con frijol al 100% es una fritura menos frágil debido a que el área previa a la fuerza máxima es grande, podría decirse que es crujiente debido a que presenta una rápida caída en su fuerza después de la fractura final, también es quebradiza por el número

importante de picos de fuerza que presenta. La fritura con frijol al 75% es crujiente asociado con la rápida caída de la fuerza, es más frágil que la fritura frijol al 100%, pero no es tan frágil como las demás frituras y no es muy quebradiza por presentar pocos picos de fuerza, esto sucede ya que hay menor cantidad de almidón en el frijol y mayor contenido de proteínas, éstas al unirse con el almidón forman estructuras muy grandes y fuertes con el tratamiento térmico se forman películas de alta elasticidad, retienen gran cantidad de vapor de agua. La formulación de frijol al 50% tiene una caída de fuerza muy rápida por lo tanto es una fritura crujiente, esta fritura es más frágil que la fritura de frijol al 100% presentando una menor área a la que se lleva a cabo la ruptura principal. La fritura de frijol al 25% es una fritura muy crujiente ya que su pendiente inicial es muy pronunciada, también es quebradiza debido al número de picos de fuerza y es frágil debido al área tan pequeña que presenta antes de la ruptura principal. La fritura de maíz al 100% presenta un carácter crujiente debido a que tiene una pendiente pronunciada y una rápida caída en su fuerza, es una fritura muy frágil presentando una área muy pequeña previa a la fractura principal, tiene pocos picos de fuerza por lo tanto no es quebradiza.

La fritura con formulación de frijol al 50% presenta una mayor dureza con respecto a las demás formulaciones, le sigue la de frijol al 100% y

25%, en seguida la de frijol 75% y la fritura menos dura es la de maíz al 100%.

**Cuadro 3.3** Valores obtenidos en frituras harina de maíz –harina de frijol.

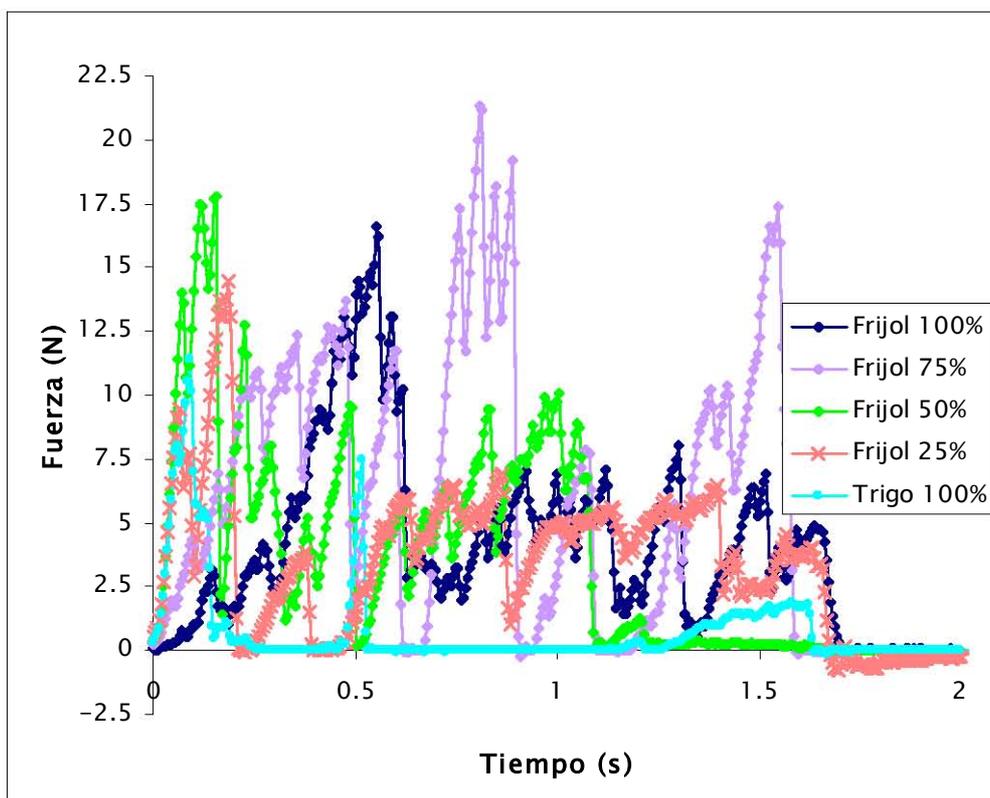
Formulación	Pendiente N/s	c.v	Dureza N	c.v	Distancia mm	c.v	Trabajo ruptura N s	c.v	Picos
Frijol 100%	25.63 <sup>a</sup>	77.41	16.78 <sup>a</sup>	6.14	2.59 <sup>a</sup>	16.90	3.76 <sup>a</sup>	15.42	30
Frijol 75%, maíz 25%	35.24 <sup>a</sup>	48.79	13.25 <sup>b</sup>	15.64	2.66 <sup>a</sup>	33.55	2.57 <sup>b</sup>	45.19	16
Frijol 50%, maíz 50%	80.14 <sup>b</sup>	36.12	18.17 <sup>a</sup>	10.82	1.49 <sup>b</sup>	29.12	2.29 <sup>c</sup>	37.06	22
Frijol 25%, maíz 75%	102.49 <sup>c</sup>	41.47	16.03 <sup>a</sup>	15.79	0.91 <sup>b</sup>	16.30	1.17 <sup>c</sup>	26.50	19
Maíz 100%	138.06 <sup>c</sup>	27.81	12.42 <sup>c</sup>	11.10	0.41 <sup>b</sup>	24.77	0.58 <sup>d</sup>	36.82	5

**NOTA:** Los valores con la misma letra son iguales estadísticamente al aplicar la prueba de Tuckey.

El Cuadro 3.3 muestra que las pendientes iniciales estadísticamente son iguales en la fritura de frijol al 100% y frijol al 75%, por otro lado las frituras de formulación frijol 25% y maíz 100% estadísticamente son las mismas. Se requiere una mayor fuerza para la formulación de frijol al 75% (es mayor al 100%) y una menor fuerza para la concentración de maíz al 100%; la fuerza máxima necesaria para romper el frito para las concentraciones de frijol al 25, 50 y 100% estadísticamente es la misma. En lo que se refiere a la distancia a la que ocurre la ruptura principal, es mayor para la formulación de frijol al 75% y menor para la fritura de maíz al 100%, sin embargo estadísticamente son iguales la formulación de frijol al 100% y frijol 75%, por otro lado también son

similares las frituras de frijol al 50%, frijol al 25% y maíz al 100%; en cuanto a el área previa a la ruptura principal la formulación que presenta el mayor valor es la de frijol al 100% y la menor es la de maíz al 100%; sólo hay similitud estadística entre las formulaciones de frijol al 50% y frijol al 25%. Con estos datos podemos decir que las frituras con concentraciones de frijol al 25 y 50%, son similares en la mayoría de los parámetros evaluados (dureza, área).

### 3.2.2 Textura en las frituras de harina de frijol–harina de trigo



**Figura 3.4** Fuerza en función del tiempo para las frituras harina de frijol –harina de trigo.

En la Figura 3.4 se observa que todas las formulaciones presentan curvas diferentes, la fritura con formulación de frijol al 100%, es una

fritura no muy crujiente ya que, su pendiente inicial es más baja, por otro lado es una fritura menos frágil al presentar un área grande previa a la fractura principal y tener una fritura muy quebradiza al tener abundantes picos de fuerza. La fritura con 75% de frijol no es tan crujiente porque su pendiente inicial es menor, es muy quebradiza debido a los abundantes picos de fuerza que presenta y es muy poco frágil al presentar la mayor área que las demás frituras. La fritura con frijol al 50% presenta una pendiente muy pronunciada por lo tanto es una fritura crujiente, no es quebradiza ya que no tiene muchos picos de fuerza antes de su ruptura final y es más frágil que las dos anteriores ya que su área previa a la ruptura principal es mucho menor, la fritura con 25% de frijol es crujiente ya que presenta una rápida caída en su fuerza después de la fractura final y una pendiente pronunciada, no es quebradiza ya que tiene pocos picos de fuerza y es frágil porque presenta una área muy pequeña previa a la fractura principal. Las frituras de trigo al 100% son muy frágiles presentando un área muy pequeña previa a la fractura, no muy quebradizas y muy crujientes ya que su pendiente es muy pronunciada y su caída de fuerza es muy rápida.

Por otro lado la fritura de frijol al 75% es la más dura, seguida por la de frijol al 100%, frijol al 50%, frijol al 25% y la menos dura es la de trigo al 100% ya que el almidón diluye al gluten y éste da la consistencia a la masa.

**Cuadro 3.4** Valores obtenidos en frituras harina de trigo –harina de frijol.

Formulación	Pendiente	c.v	Fuerza	c.v	Distancia	c.v	área	c.v	picos
	N/s		N		mm		N s		
Frijol 100%	25.63 <sup>a</sup>	77.41	16.78 <sup>a</sup>	6.14	2.59 <sup>a</sup>	16.90	3.76 <sup>a</sup>	15.42	30
Frijol 75%, trigo 25%	41.93 <sup>b</sup>	48.99	21.20 <sup>b</sup>	8.60	5.19 <sup>b</sup>	26.84	7.43 <sup>b</sup>	47.29	30
Frijol 50%, trigo 50%	120.27 <sup>c</sup>	28.79	16.73 <sup>a</sup>	14.95	0.73 <sup>c</sup>	31.82	1.28 <sup>c</sup>	40.25	18
Frijol 25%, trigo 75%	81.06 <sup>d</sup>	98.12	14.61 <sup>c</sup>	13.04	0.99 <sup>c</sup>	23.93	0.98 <sup>c</sup>	41.78	20
Trigo 100%	122.44 <sup>c</sup>	37.40	12.28 <sup>d</sup>	16.93	0.52 <sup>c</sup>	33.55	0.67 <sup>c</sup>	26.99	12

**NOTA:** Los valores con la misma letra son iguales estadísticamente al aplicar la prueba de Tuckey.

El Cuadro 3.4 muestra los valores obtenidos estadísticamente dando como resultado que las formulaciones con frijol 50% y trigo 100% son similares con relación a la pendiente; la formulación que presenta mayor fuerza es la de frijol al 75% y la de menor fuerza es la de trigo al 100%; por otro lado son similares las formulaciones de frijol al 100% y frijol al 50%. La formulación con mayor distancia es la de frijol al 75% y la de menor distancia es la de trigo al 100%, encontramos similitud estadística en las formulaciones de frijol 50%, frijol 25% y trigo 100%. El área es muy similar en las formulaciones frijol 50%, frijol 25% y trigo 100%, presentando mayor área la de frijol al 75% y menor la de trigo al 100%.

### 3.3 Relación entre los valores de dureza de las masas y frituras.

Se trató de ajustar la relación entre la fuerza de las masas y la fuerza de las frituras a diferentes modelos; lineal, exponencial, potencial, etc., y ninguno de estos modelos dio un buen ajuste, tanto para las formulaciones con harina de trigo o harina de maíz. Por lo tanto no existe una relación entre la dureza de las masas y las frituras.

A continuación se presentan gráficas comparativas entre las diferentes formulaciones frijol-maíz y frijol-trigo, a la cual fueron aplicados los modelos no encontrando ninguna relación entre mezclas y frituras.

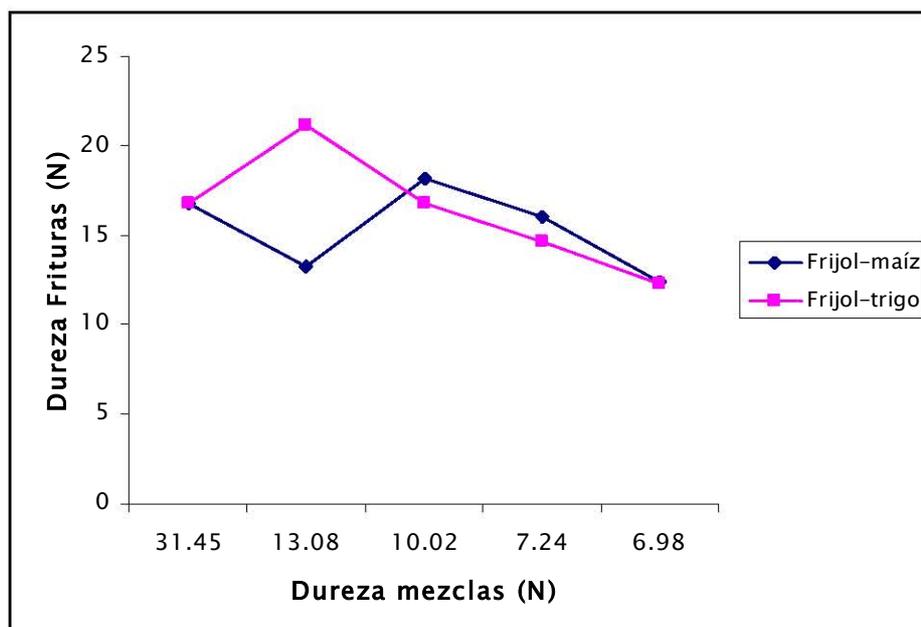


Figura 3.5 Comparación entre componentes

En la Figura 3.5 se observa que pudiera existir una relación lineal con formulaciones con poca cantidad de frijol hasta el 50% al incrementar la cantidad de frijol se pierde dicha relación. Por otro lado se requiere

de una mayor fuerza para llegar a la penetración y a la fractura final en las formulaciones de harina de frijol–harina de trigo.

En el Cuadro 3.5 se muestran los valores de fuerza obtenidos en las mezclas y en el producto frito.

**Cuadro 3.5.** Valores de fuerza de masas y frituras elaboradas con frijol–maíz

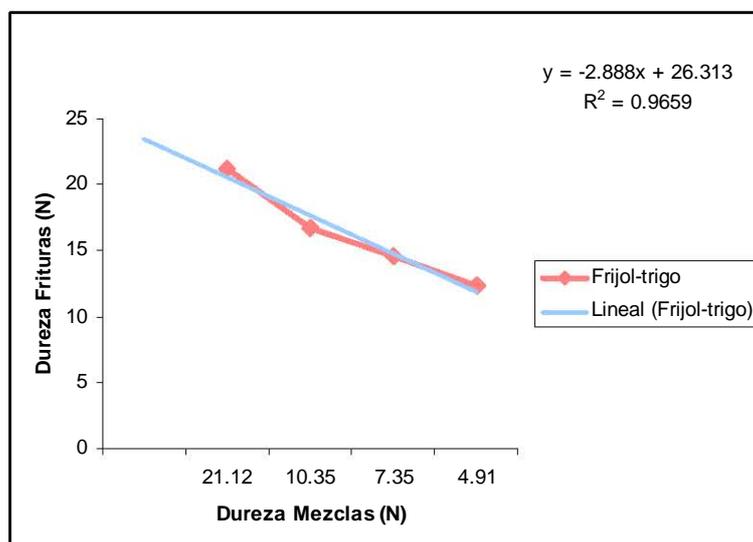
<b>Formulación</b>	<b>Fuerza (N) Masas</b>	<b>Fuerza (N) Frituras</b>
Frijol 100%	31.45	16.78
Frijol 75%, maíz 25%	13.08	13.25
Frijol 50%, maíz 50%	10.02	18.17
Frijol 25%, maíz 75%	7.24	16.03
Maíz 100%	6.98	12.42

En el Cuadro 3.5 se observa que los valores de fuerza obtenidos en las masas y frituras, presentan un comportamiento similar a la formulación con maíz.

**Cuadro 3.6** Valores de Fuerza de masas y frituras elaboradas con frijol-trigo.

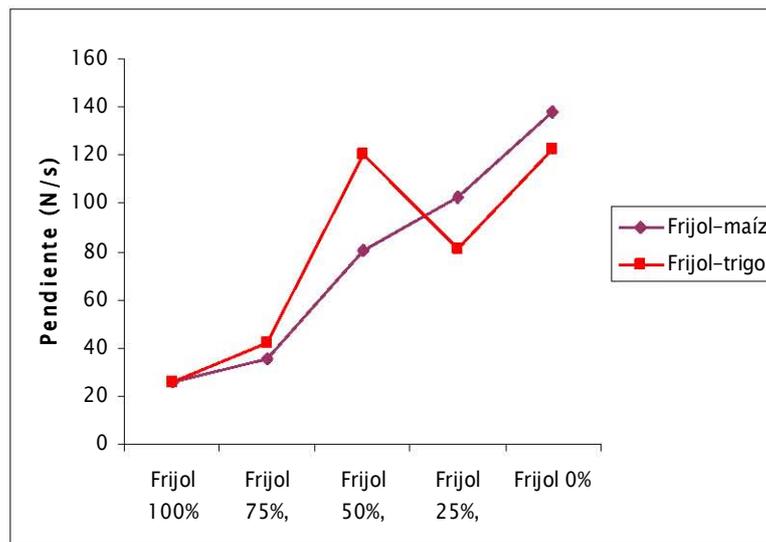
Formulación	Fuerza (N) Mezclas	Fuerza (N) Frituras
Frijol 100%	31.45	16.78
Frijol 75%, trigo 25%	21.12	21.2
Frijol 50%, trigo 50%	10.35	16.73
Frijol 25%, trigo 75%	7.35	14.61
trigo 100%	4.91	12.28

En la Figura 3.6 se eliminó la formulación de frijol 100% de mezclas y frituras obteniendo una regresión lineal para las formulaciones de trigo.



**Figura 3.6** Regresión lineal relación dureza masas-frituras, frijol-trigo.

### 3.4 Efectos entre los componentes de las distintas masas y los parámetros de textura.



**Figura 3.7** Efecto de la concentración de frijol en la pendiente

La Figura 3.7 muestra que hay una mayor pendiente en las concentraciones frijol-trigo hasta la concentración al 50%, por otro lado en las concentraciones frijol-maíz aumenta el valor de la pendiente en forma lineal conforme disminuye la proporción de frijol.

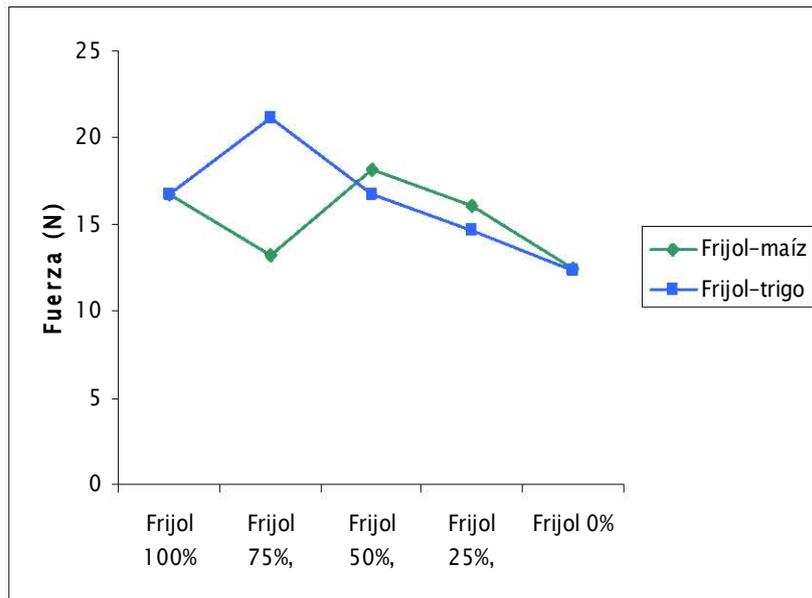


Figura 3.8 Efecto de la concentración de frijol en la fuerza.

En la Figura 3.8 observamos que, con ambos cereales, conforme aumenta la concentración de frijol hay un incremento relativamente lineal en la fuerza, hasta un contenido de frijol de 50% con maíz y 75 % con trigo.

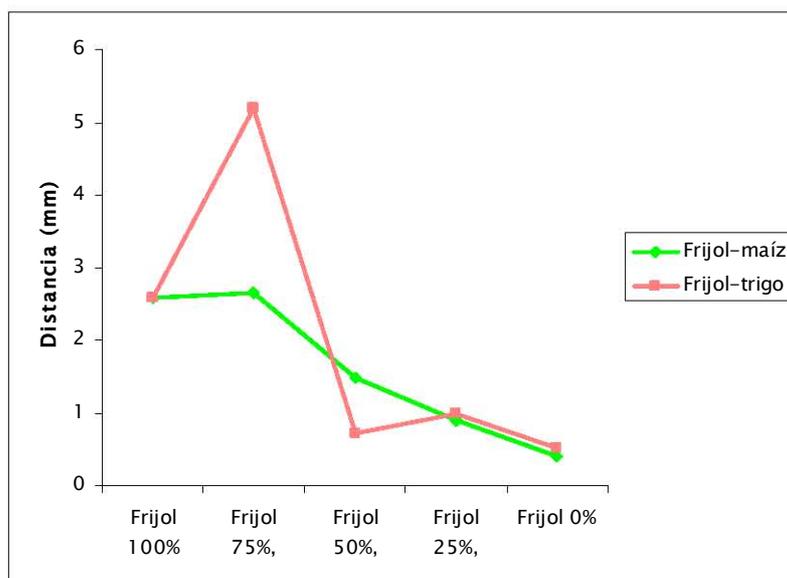
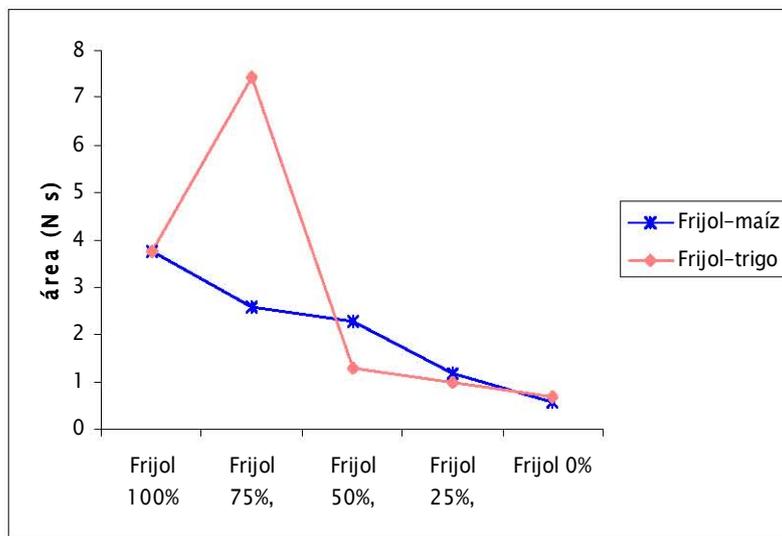


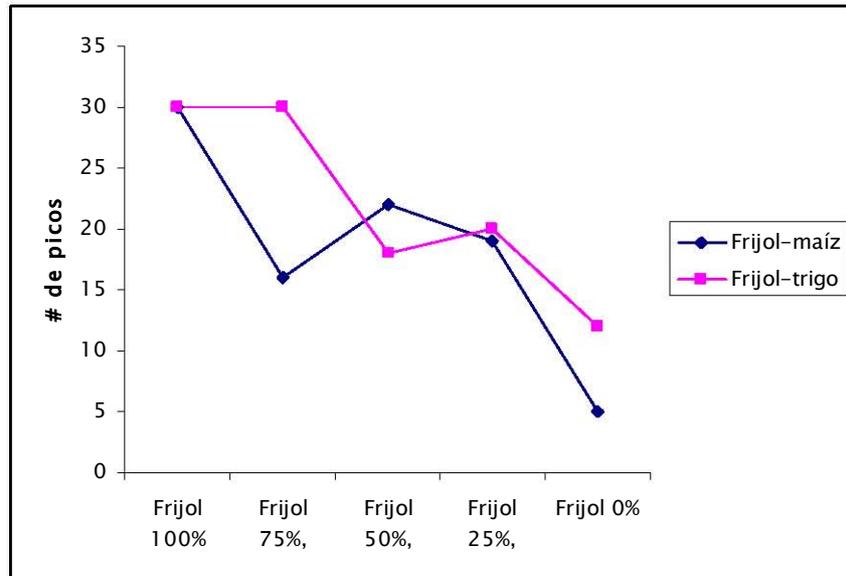
Figura 3.9 Efecto de la concentración de frijol en la distancia

En la Figura 3.9 se ve que en las frituras de frijol-maíz la distancia de fractura aumenta de manera lineal con la concentración de frijol hasta un contenido de 75%, en cambio para las formulaciones de frijol-trigo la distancia aumenta de frijol 100% a frijol 75%, después disminuye considerablemente en frijol 50% y en frijol 25% y trigo 100% disminuye muy poco.



**Figura 3.10** Efecto de la concentración de frijol en el área

En esta Figura, vemos que el efecto que presentan es muy similar al mostrado por la distancia.



**Figura 3.11** Efecto de la concentración de frijol en el número de picos.

La Figura 3.11 muestra la cantidad de picos o variaciones de fuerza que se presentaron en las 2 formulaciones con diferentes componentes. En las formulaciones de frijol-trigo se presentan un mayor número de picos que en la formulación frijol-maíz, con excepción en la concentración de frijol al 50% presenta mayor número de picos la formulación de frijol-maíz.

Las frituras sin frijol presentan un comportamiento similar a excepción de la pendiente inicial que es más grande para maíz, indicando que son más crujientes y el número de picos de fuerza que es mayor para trigo, lo que indica que son más quebradizas. El efecto de la adición de frijol hasta 50% tiene un efecto similar en la mayoría de los parámetros evaluados en las frituras con ambos cereales.

#### **IV. CONCLUSIONES**

Este trabajo fue el complemento de un estudio en donde se desarrolló un nuevo producto extruido a base de harina de frijol.

Las pruebas de textura mostraron un comportamiento de mayor dureza en las concentraciones de frijol-maíz que las de frijol-trigo con excepción en la concentración de frijol al 75%-maíz 25% que presentó menor dureza que la formulación de frijol 75%-trigo 25%, por lo tanto también se requiere de una mayor fuerza para romper las frituras elaboradas a base de frijol-maíz.

En el carácter crujiente se observa que las formulaciones de frijol-trigo a concentraciones altas del frijol son más crujientes que las de frijol-maíz, pero a concentraciones bajas las de frijol-maíz son más crujientes que las de frijol-trigo. Las frituras más frágiles son las elaboradas con frijol-trigo en concentraciones pequeñas de frijol al ir aumentando la concentración de frijol se hacen menos frágiles con excepción a la fritura elaborada con 75% de frijol que presenta ser menos frágil que la de frijol-maíz.

Las frituras más quebradizas son las elaboradas a base de frijol-trigo obteniendo un mayor número de picos o variaciones de fuerza que las elaboradas con frijol-maíz, con excepción de la concentración de frijol al 50%-trigo 50% que resulta más quebradiza que la de maíz.

En los parámetros de distancia y área no es necesario cambiar la formulación de frijol 50% y frijol 25% ya que éstas presentan el mismo comportamiento para ambas combinaciones.

## V. REFERENCIAS

Angeles, E., 2004. "Maíz". Revista vía libre. México.

Antunes, P., Sgarbieri, V. 1980. "Influence of time and conditions of storage on technological and nutritional properties of a dry bean (*Phaseolus vulgaris*)". *Journal of Science*, 44: 1703–1706.

Badui, S. 1989. "Química de los alimentos". 2ª. Alhambra. México.

Badui, S. 1993. "Química de los alimentos". 3ª. Pearson. México

Bazua, C.D., Guerra, R., Sterner, H. 1979. "Extruded corn flour as an alternative to time heated corn flour for tortilla preparation". *Journal food of Science*, 44: 940–942.

Bazua, C.D., Guerra, R., Serna, S.O., Gómez, M.H., Rooney, L.W. 1994. "Food uses of regular and specialty corns and their dry-milled fractions". CRC Press. USA

Belitz, H. D., Grosch, W. 1992. "Química de los alimentos". 4ª ed. Acribia.

Bourne. M. C. 1982. "Food texture and viscosity: Concept and measurement". Academic Press. USA.

Byerlee, D., Saad, L. 1993. "CIMMYT's Economic environment to 2000 and beyond - a revised forecast". Mexico, DF, CIMMYT.

Borja, 1997. "El maíz". Lucas Morea. México

Casas, N. B., Ramírez, M. E. 2001. Apuntes del Seminario de titulación: Reología y textura de materiales biológicos. Módulo III Textura de Alimentos. UNAM. México.

Charley, H. 1987. "Tecnología de alimentos, procesos químicos y físicos en la preparación de alimentos". Limusa. México.

CEFP (Centro de Estudios de Finanzas Públicas), noviembre 2004. "Impacto de las importaciones de maíz blanco y de frijol originarias en el mercado interno de México, CEF/054/2004.

De Man, J. M., P. W. Voisey, V. F., Rastper., Stanley, D. W. 1975. "Rheology and texture in food quality". Avi Publishing. Conn.

Desrosier, N, W., 1999– “Elementos de tecnología de alimentos”. 6<sup>a</sup> ed. Continental. México.

Diez-Barroso, H. S, 2005. “Adaptación de la tecnología de extrusión para aumentar el valor agregado al frijol (*Phaseolus vulgaris*)”. Tesis de Licenciatura. FESC, UNAM

Dowswell, C.D., Paliwal, R.L., Cantrell, R.P. 1996. “Maize in the third world”. Westview Press. USA

FAO. 1993. “El maíz en la nutrición humana”. Deposito de documentos de FAO.

Fellows, P. 1994. “Tecnología del procesado de alimentos”. Acribia. España.

Fellows, P. 1996. “Food proccesing technology”. Cambridge. England.

Fenema, O. R. 2000. “Química de los alimentos”. Acribia. España.

Flint, O. 1996. “Microscopia de alimentos. Manual de métodos prácticos utilizando la microscopia óptica”. Acribia. España.

Fussell, B. 1992. "La historia del cereal". Knopp Alfred. USA.

Garza G, A., 2005. "El trigo". UANL. México

Gómez, M.H., Rooney, L.W., Waniska, R.W., Pflugfelder, R.L. 1987. Dry corn masa for tortilla and snack food production. *Foods World*, 32: 372-374.

Guy, R. 2002. "Extrusión de los alimentos". Acribia. España

Hart, E.R. 1985. "Cereal processing". US Patent 4: 555: 409

Howthorn, J., 1983. "Fundamentos de la ciencia de los alimentos". Acribia. España

Huang, D., 1995. New perspectives on starch and starch derivatives for snack applications. *Cereal Foods World*. 43(4):207-222.

Imeson, A. 1997. "Thickening and gelling agents for food". Kluwer. USA.

Kent, N. L. 1971. "Tecnología de los cereales". Acribia España

Kilcast, D., 2004. "Textura in food: volume 2: Solid food". Woodhead Publishing. England.

Levine, L., Drew. B. 1990. "Rheological and engineering aspects of the sheeting and laminating of doughs". Van Nostrand Reinhold. USA.

Pacheco. B., Vásquez, H., Herrera, I., Garrido, R. 2000. Snacks de maíz enriquecidos con fibra dietética y carotenoides de la harina de zanahoria (*Daucus carota*) procesados por extrusión. *Agronomía Tropical* 50 (2): 241–252

Pingali, P.L., Heisey, P.W. 1996. "Cereal crop productivity in developing countries: past trends and future prospects". Melbourne, Australia

Primo. Y., 1998. "Química de alimentos". Síntesis. España.

Reyes P. Muñoz H. 1997. "Cadenas de productos agrícolas básicos en México". CIDE.

Riaz, M. N., 2000. "Extruders in Food Application". CRC Press. USA

Robert, C., Miller, P. E., "Tecnología de Extrusión de alimentos". Consulting Engineer. USA.

Rosenthal, A. J. 2001. "Textura de los alimentos: medida y percepción".  
Acribia. España

Sagarpa, 2001. "Situación actual y perspectiva de la producción de trigo en México 1990-2000". Centro de Estadística Agropecuaria México.

Scade, J. 1975. "Cereales". Acribia. España.

Serrano., C. L., 2004. "Análisis del caso frijol". Universidad Autónoma de Chapingo. México.

Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP)  
México, Diciembre 2001

Tscheuschner, H. D. 2001. "Fundamentos de la tecnología de los alimentos". Acribia. España.

Watson, S., Ramstad, P. 1991. "Structure and composition. corn: chemistry and tecnologia". American Association of Cereal Chemist's. USA.

Watson. 1988. "Corn marketing, processing, and utilization". Madison, WI, USA.

Whistler, R., Be Miller, J., Paschall, E. 1984. "Starch: Chemistry and Technology". 2a. Academic Press. USA.

### **BIBLIOGRAFIA INTERNET**

[www.acta.org.co](http://www.acta.org.co)

[www.cefp.org.mx](http://www.cefp.org.mx)

<http://www.cefp.org.mx/intr/edocumentos/pdf/cefp/cefp0542004.pdf>

<http://www.apc-nicaragua.com/maiz/intro>

<http://www.clia.org.mx/images/otras2/Revista05.pdf>

[http://www.consumer.es/web/es/alimentacion/salud\\_y\\_alimentacion/infancia\\_y\\_adolescencia/2003/03/07/58659.php](http://www.consumer.es/web/es/alimentacion/salud_y_alimentacion/infancia_y_adolescencia/2003/03/07/58659.php)

<http://www.defaba.com/frijol.htm>

[http://www.fao.org/documents/show\\_cdr.asp?url\\_file=/docrep/T0395S/T0395S00.htm](http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/T0395S/T0395S00.htm)

<http://www.obesidad.net/spanish2002/default.htm>

<http://www.siap.sagarpa.gob.mx/InfOMer/analisis/antrigo.html>

[http://www.cna.org.mx/docs/cesa\\_web/CAPIV.htm](http://www.cna.org.mx/docs/cesa_web/CAPIV.htm).

<http://fai.unne.edu.ar/biologia/macromoleculas/figacro/amilosa.gif>

<http://fai.unne.edu.ar/biologia/macromoleculas/figacro/amilpectina.gif>

f