



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

“ADAPTACION DE LA TECNOLOGIA DE
EXTRUSION PARA AUMENTAR EL VALOR
AGREGADO AL FRIJOL (*phaseolus vulgaris*)”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERA EN ALIMENTOS

P R E S E N T A :

SANDRA DIEZ BARROSO HERRERA

ASESORES:

I.B.Q. FERNANDO BERISTAIN

DRA. LAURA PATRICIA MARTINEZ PADILLA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

2005

m344945



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN



DEPARTAMENTO DE
EXÁMENES PROFESIONALES

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Adaptación de la tecnología de extrusión para aumentar el valor agregado al frijol (*phaseolus vulgaris*)".

que presenta la pasante: Sandra Diez Barroso Herrera

con número de cuenta: 09607167-6 para obtener el título de :
Ingeniera en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 20 de enero de 2005.

PRESIDENTE IBQ. Fernando Beristain

VOCAL IBQ. Saturnino Maya Ramírez

SECRETARIO MC. Ma. Eugenia Ramírez Ortiz

PRIMER SUPLENTE IA. Miriam Edith Fuentes Romero

SEGUNDO SUPLENTE MC. Ma. del Carmen Valderrama Bravo

Beristain
Saturnino Maya Ramírez
Ma. Eugenia Ramírez Ortiz
Miriam Edith Fuentes Romero
Ma. del Carmen Valderrama Bravo

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis es el resultado de mucho esfuerzo, y terminarla no hubiera sido posible sin el apoyo y aliento de muchas personas que me gustaría mencionar aquí.

A mis padres

Quienes me infundieron la ética y responsabilidad que guían mi transitar por la vida. También por el apoyo incondicional que me dieron a lo largo de la carrera y por enseñarme que no hay límites, que lo que me proponga lo puedo lograr y que sólo depende de mí, con un poco de esfuerzo.

A mis hermanos

Que, aunque no vivieron de cerca mi vida como estudiante les doy las gracias por la confianza que tienen en mí y me siento orgullosa de tener hermanos como ustedes.

A mis asesores de tesis

Por su valiosa colaboración durante el proceso, así como en sus observaciones críticas y su cuidadosa lectura de las sucesivas versiones de este trabajo.

Por su disposición permanente e incondicional en aclarar mis dudas y por sus sustanciales sugerencias durante la redacción de la Tesis.

Por su apoyo brindado, amistad y cariño ocupan un lugar en mi afecto.

A mi casa de estudios

Por la oportunidad de superación que me brindó al formarme profesionalmente y por facilitarme el uso del equipo necesario para llevar a cabo este trabajo.

A mis sinodales

Por tomarse el tiempo necesario para mejorar este trabajo.

A mis amigas y amigos

Muy especialmente a ustedes, por que estuvieron siempre conmigo, aún en los momentos más difíciles de esta etapa animándome y saliendo de la rutina diaria. Gracias por todo amigas.

A mi jurado selecto

Por que al principio no les importó romperse los dientes con el fin de ayudarme a este trabajo. Gracias por todo su apoyo, que sin ustedes no se hubiera llevado a cabo la experimentación.

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron o participaron en la realización de esta investigación, hago extensivo mi más sincero agradecimiento.

ÍNDICE

Índice de Cuadros	V
Índice de Figuras	VI
Resumen	8
Introducción	9
1 Antecedentes	12
1.1 Cereales y leguminosas	12
1.1.1 Cereales	12
a) Maíz	12
Composición química del maíz	14
b) Trigo	16
Composición química del trigo	17
1.1.2 Leguminosas	19
a) Frijol	19
Composición química del frijol	22
1.1.3 Almidón	24
a) Estructura molecular del almidón	26
b) Gelatinización	27
c) Almidones Modificados	30
d) Almidones utilizados comúnmente en botanas	33
1.2 Proceso de extrusión	34
1.2.1 Extrusión	34
1.2.2 Co-Extrusión	36
1.2.3 Tipos de extrusión	36
a) Extrusión húmeda	36
b) Extrusión seca	37
1.2.4 Clasificación de extrusores	37
a) Extrusores de un tornillo o de tornillo único	38
b) Extrusores de dos tornillos o tornillos gemelos	39

1.3	Botanas	42
1.3.1	Elaboración de botanas a base de almidón (fenómenos relacionados)	43
1.3.2	Frituras	45
	Cambios de las propiedades físicas durante formación de frituras	46
	a) Aromatización	46
	b) Modificación de la textura	47
	c) Moldeado y cortado de las frituras	47
1.3.3	Productos similares	47
1.4	Análisis sensorial	50
1.4.1	Condiciones de prueba	51
	a) Error de expectación	51
	b) Error de estímulo	51
	c) Error lógico	51
	d) Efecto de halo	52
	e) Efecto de la sugestión	52
	f) Motivación	52
	g) Efecto de contraste	52
	h) Posición	52
1.4.2	Pruebas sensoriales	53
	Pruebas afectivas	53
	a) Pruebas de preferencia	53
	b) Pruebas de satisfacción	54
	c) Pruebas de aceptación	54
	Pruebas discriminativas	55
	a) Pruebas de comparación apareada simple	55
	b) Prueba triangular	55
	c) Prueba dúo-trío	56
	d) Prueba de comparaciones apareadas de Scheffé	56
	e) Prueba de comparaciones múltiples	56

	f) Prueba de ordenamiento	56
	Pruebas descriptivas	57
	a) Calificación con escalas no estructuradas	57
	b) Calificación con escalas de intervalo	58
	c) Calificación con escalas estándar	58
	d) Calificación proporcional	58
	e) Medición de atributos sensoriales con relación al tiempo	59
	f) Determinación de perfiles sensoriales	59
	g) Relaciones Psicofísicas	60
1.4.3	Tipos de jueces	60
	a) Juez experto	61
	b) Juez entrenado	61
	c) Juez semi-entrenado o de laboratorio	62
	d) Juez consumidor	62
2	Desarrollo Experimental	63
2.1	Objetivos	63
2.1.1	Objetivo general	63
2.1.2	Objetivo particular 1	63
2.1.3	Objetivo particular 2	63
2.1.4	Objetivo particular 3	63
2.2	Materiales y Métodos	64
2.2.1	Materiales	64
2.2.2	Métodos	66
	Elaboración de las frituras	66
	Act. 1.1 Diseño de formulaciones	66
	Act 1.2 Proceso de elaboración de las frituras	67
	Act 1.3 Determinación de las condiciones del proceso	69
	Determinación de parámetros de control	75
	Act 2.1 Determinación del contenido de humedad	75
	Act 2.2 Cálculo del porcentaje de expansión	75

Act 2.3	Cálculo del porcentaje de absorción de aceite	76
Act 2.4	Cálculo de la densidad	76
Act 2.5	Determinación de color	77
	Pruebas de análisis sensorial	77
Act 3.1	Elaboración de los cuestionarios para la evaluación sensorial	77
Act 3.2	Pruebas de satisfacción	77
Act 3.3	Pruebas de preferencia y aceptación	78
3	Resultados y análisis	79
3.1	Pérdidas de humedad durante el proceso de elaboración	79
3.2	Contenido de humedad inicial	81
3.3	Porcentaje de expansión	83
3.4	Aumento de peso	84
3.5	Absorción de aceite	86
3.6	Densidad	87
3.7	Color	88
3.8	Análisis sensorial	91
3.8.1	Prueba de satisfacción	91
3.8.2	Prueba de preferencia	94
3.8.3	Prueba de aceptación	94
4	Conclusiones	96
5	Recomendaciones	97
6	Referencias bibliográficas	98
ANEXO I	Cuestionario 1. Prueba de Satisfacción	103
ANEXO II	Cuestionario 2. Prueba de Preferencia y de Aceptación	104
ANEXO III	Diagrama de Cromaticidad	105

ÍNDICE DE CUADROS

1.1	Distribución de los componentes químicos en las partes principales del grano de maíz (%)	13
1.2	Composición química del grano entero de maíz	16
1.3	Distribución de los componentes químicos en las partes principales del grano de trigo (%)	18
1.4	Composición química del grano entero de trigo	18
1.5	Distribución de los componentes químicos en las partes principales del grano de frijol (%)	22
1.6	Composición química del frijol	22
1.7	Productos predominantes en el mercado	48
2.1	Materia prima utilizada en la elaboración de las frituras de estudio	64
2.2	Lista de instrumentos y equipo para la elaboración de las frituras de estudio	65
2.3	Formulación en base seca	66
2.4	Proporciones de las mezclas de harinas de estudio	67
3.1	Contenido de humedad del producto en todas las etapas del proceso de elaboración de frituras (maíz – frijol)	79
3.2	Contenido de humedad del producto en todas las etapas del proceso de elaboración de frituras (trigo – frijol)	80
3.3	Humedad inicial requerida para la formación del granulado en las diferentes proporciones de frijol	82
3.4	Porcentaje de expansión del producto seco durante el freído	83
3.5	Aumento del porcentaje en peso de las frituras con respecto a la proporción de frijol al freír el producto seco	85
3.6	Absorción de aceite del producto seco al frito	86
3.7	Densidad del producto frito	87
3.8	Color expresado en las coordenadas Y x y de las frituras elaboradas con maíz, de acuerdo a la proporción de frijol	89
3.9	Color expresado en las coordenadas Y x y de las frituras elaboradas con trigo, de acuerdo a la proporción de frijol	90

3.10 Prueba de satisfacción de las formulaciones con maíz	92
3.11 Prueba de satisfacción de las formulaciones con trigo	93
3.12 Prueba de preferencia	94
3.13 Prueba de aceptación	95

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1 Corte longitudinal del grano de maíz	13
1.2 Corte longitudinal del grano de trigo	17
1.3 Semilla de frijol	21
1.4 Gránulos de almidón de maíz	25
1.5 Gránulos de almidón de trigo	25
1.6 Gránulos de almidón de frijol	25
1.7 Estructura de la amilosa	26
1.8 Estructura de la amilopectina	27
1.9 Curva representativa del viscoamilografo de Brabender que muestra los cambios de viscosidad relacionados con el hinchamiento de los gránulos de almidón y su desintegración al calentar una suspensión de gránulos	29
1.10 Eje de soporte del extrusor de un tornillo	39
1.11 Doble tornillo (posición contra-rotación)	40
1.12 Doble tornillo (posición co-rotación)	40
1.13 Cilindro de descarga final del extrusor	41
1.14 Formas físicas del almidón durante el proceso de elaboración de botanas	44
1.15 Botanas en el mercado actual	48
2.1 Diagrama de bloques de la elaboración de frituras de frijol	70
2.2 Tratamiento térmico del proceso	71
2.3 Extrusor Didacta Italia, TA6/D	71
2.4 Alimentación del granulado con tratamiento térmico al extrusor	72
2.5 Proceso de extrusión	72
2.6 Obtención del producto extruido en forma de placas	73

2.7	Secado	73
2.8	Producto seco	74
2.9	Freído	74
2.10	Producto Frito	75
3.1	Comportamiento del porcentaje de humedad durante el proceso de elaboración de frituras de maíz - frijol en diferentes proporciones	80
3.2	Comportamiento del contenido de humedad durante el proceso de elaboración de frituras de trigo- frijol en diferentes proporciones	81
3.3	Humedad inicial requerida para la formación del granulado en las diferentes proporciones de frijol	82
3.4	Porcentaje de expansión del producto seco durante el freído	84
3.5	Aumento del porcentaje en peso de las frituras con respecto a la proporción de frijol al freir el producto seco	85
3.6	Absorción de aceite del producto seco al frito	87
3.7	Densidad del producto frito	88
3.8	Diagrama de cromaticidad para observar los resultados del colorímetro Minolta CR-300	89
3.9	Prueba de satisfacción de las formulaciones con maíz	92
3.10	Prueba de satisfacción de las formulaciones con trigo	93
3.11	Prueba de preferencia	94
3.12	Prueba de aceptación	95

RESUMEN

El objetivo general de este trabajo fue desarrollar frituras a base de diferentes proporciones de harina de maíz y trigo con harina de frijol con la finalidad de aumentar el valor agregado al frijol, evaluándolas y seleccionando la de mayor aceptación de los consumidores a través de un análisis sensorial.

Se elaboraron 16 formulaciones utilizando mezclas de maíz con frijol y trigo con frijol en proporciones de 25% - 75%, 50% - 50%, 75% - 25%, 0% - 100% y 100% - 0%.

Durante las etapas del proceso de elaboración de las frituras, se realizaron pruebas de control como: determinación de humedad; el porcentaje de absorción de aceite, con la relación de aumento de peso y la pérdida de humedad después del freído; determinación de la densidad relativa, con el método del picnómetro; porcentaje de expansión con las mediciones de los productos antes y después del freído y color.

Para el análisis sensorial se utilizaron pruebas afectivas: de satisfacción, de preferencia y de aceptación, todo esto con la ayuda de 30 jueces consumidores.

El producto que obtuvo mayor aceptación por los jueces consumidores fue el de la formulación de 75% maíz y 25% frijol. Dicha formulación es ideal para obtener productos de mayor calidad nutritiva al complementarse los nutrientes del maíz con el frijol (Osorio, et. al., 2003 y Leiner, 1977).

Las características que presentan los productos durante el proceso de elaboración de las frituras como en el producto final, se ven afectadas directamente por la formulación de éstos, debido a la composición y proporción del tipo de cereal y el frijol. Estas características son: la humedad inicial que requiere el granulado durante el mezclado, la absorción de aceite, la densidad, el porcentaje de expansión durante el freído y el color final.

INTRODUCCIÓN

Una parte de la población mexicana económicamente activa labora en actividades agropecuarias, siendo uno de los medios primordiales de vida para esta población. Dentro de la producción agrícola mexicana existen seis productos principales: maíz, frijol, trigo, caña de azúcar, café y sorgo. Sin embargo, destacan en forma especial el cultivo de maíz, trigo y frijol, siendo éstos la base de alimentación popular en México (Camberos, 1995).

El cultivo de frijol se realiza en 32 estados de la república, pero son sólo cinco (Zacatecas, Sinaloa, Durango, Nayarit y Chihuahua) los que concentran el 63.48% de la superficie sembrada (www.infoacerca.gob.mx/claridades/revistas/044/ca044.pdf).

En la actualidad, la importancia del frijol en la dieta alimentaria sigue siendo fundamental, debido básicamente a sus cualidades nutritivas, caracterizadas por el gran contenido de materia proteica. Sin embargo, su utilización es muy limitada debido a que, sólo se comercializa seco, enlatado, deshidratado, como harina y congelado (Desrosier, 1999).

Generalmente, las actividades agrícolas requieren de la aplicación de estrategias de desarrollo que garanticen el acceso a los alimentos para todos los habitantes. La agroindustria es la mejor vía para generar valor agregado a los productos agropecuarios, mejorar su comercialización, buscando asimismo la transformación y diversificación de los productos básicos (Camberos, 1995). Existen muchas variaciones ingeniosas en los procesos utilizados por la industria que sirven para aumentar la gama de productos elaborados. Uno de los procesos más novedosos, económicos y con gran versatilidad es el de extrusión, mediante este proceso se pueden obtener infinidad de productos (Fellows, 1996).

La extrusión es un proceso mediante el cual una mezcla de materiales se somete a una fuerza de presión, la que transforma su estructura molecular permitiendo crear nuevas formas y texturas. El proceso combina varias operaciones como mezclado, amasado y formado. La extrusión puede realizarse en frío o en caliente, en el primero, el material se

extruye sin expansión y durante el segundo (cocción-extrusión), las macromoléculas de los componentes pierden su estructura nativa discontinua y se forma una masa continua y viscosa en la que se gelatiniza el almidón, se desnaturalizan las proteínas, se inactivan las enzimas responsables de los posibles deterioros, se destruyen algunos compuestos antinutricionales y se disminuye la carga microbiana (Guy, 2001).

El principal atractivo de la extrusión, es la posibilidad de aumentar la variedad de alimentos en la dieta por la elaboración de una gran cantidad de productos de diferentes formas, texturas, colores y sabores a partir de materias primas básicas. Las aplicaciones de los extrusores en la industria de los alimentos están dirigidas, principalmente, hacia la elaboración de productos a partir de cereales y/o leguminosas como lo son, las frituras, pastas, hojuelas, alimentos para peces, proteína vegetal texturizada, alimentos secos y semihúmedos para mascotas; confeccionándose una gran variedad de productos de este tipo, los cuales tienen una gran aceptación por parte de los consumidores (Field, 1989; Guy, 2001; Wang, 2001).

La extrusión principalmente se aplica a situaciones donde, se calienta el producto para alcanzar su cocción y transformar los ingredientes, esto, junto con el moldeo proporcionan forma al producto terminado. La harina de maíz es comúnmente utilizada para la elaboración de botanas por su capacidad de expandirse durante el proceso de extrusión, el cual permite surgir el sabor de las botanas y que éste permanezca en el producto (Beltrán, 2000; Charle, 1987; Desrosier, 1999).

El consumidor, al beneficiarse de la cada vez más amplia variedad de productos, se vuelve exigente al juzgar la calidad de los alimentos, obligando al investigador a ofrecer nuevas alternativas y mejores opciones para este atributo. La elección de estos productos por parte del consumidor, se basa en su calidad, influyendo distintos aspectos sobre la opinión de éste en el grado de aceptación del producto.

En el presente trabajo se desarrolló un producto extrudido frito empleando en la formulación, harina de frijol y de maíz con la idea de proporcionar una alternativa al

consumo, cada vez más creciente de este tipo de frituras y aportar valor agregado al frijol, evaluando el efecto de la composición de la mezcla, la temperatura y la humedad sobre las propiedades funcionales y sensoriales, así como el nivel de agrado de los consumidores hacia estos productos.

La idea de este trabajo surgió porque anualmente se pierden varias toneladas de frijol que no se comercializan y se mantienen almacenadas; con el tiempo, el destino de esta mercancía es para el desecho (<http://www.jornada.unam.mx/2000/ene00/000111/est3.html>). Sin embargo, con un poco de creatividad este desperdicio, podría transformarse en una gran oportunidad aportando valor agregado a este producto. Así como también, dando alternativas para que los campesinos no se limiten sólo a producir. Asimismo, este proceso de industrialización cumpliría el objetivo de ser una estrategia para la comercialización y así facilitar el desplazamiento del producto, tanto en el mercado nacional, como en el de exportación (www.soyentrepeneur.com).

1 ANTECEDENTES

1.1 CEREALES Y LEGUMINOSAS

1.1.1 CEREALES

Durante siglos, los cereales como el trigo, el arroz, el maíz, la avena y el centeno han sido elementos fundamentales de la dieta, consumiéndose en todo el mundo en una gran variedad de productos, desde la pasta en Italia hasta las tortillas en México. El maíz y el trigo dan lugar a dos grandes industrias de los cereales que se consumen en el México moderno.

Actualmente, no hay ningún país en América Latina en el que no se siembre maíz. En las tierras bajas del trópico se pueden producir varias cosechas al año, en tanto que en otras regiones se da por lo general sólo una. El maíz se consume en México principalmente en forma artesanal como: tortillas, tamales, pozole, pinole, atole, esquites, etc. El maíz constituye junto con los frijoles, un alimento fundamental en la dieta de los mexicanos.

Después del maíz, el trigo es también, un cereal importante para la dieta del pueblo mexicano, pues es la base para la elaboración de productos que consume en grandes volúmenes tales como el pan, tortillas, pastas, galletas y pasteles, entre otros.

El consumo humano del trigo no puede realizarse directamente, pues requiere un proceso de transformación que comienza con la molienda, mediante la que se obtiene la harina, materia prima para la industria (Desrosier, 1999).

a) MAIZ (*Zea mays*)

El maíz se cultiva desde tiempos remotos, aproximadamente tiene 7000 años de antigüedad, es originario de América. Este cereal ha sido, a través de la historia, el alimento de mayor consumo en México y es representativo de la cultura nacional. Su principal consumo es a través de la tortilla elaborada con masa de maíz nixtamalizado y/o harina.

La industria del maíz está constituida por establecimientos que procesan el grano mediante la molienda y/o nixtamalización para la obtención de insumos y bienes de consumo directo. La industria está orientada principalmente a tres tipos de actividad: molienda de nixtamal, fabricación de harina y fabricación de derivados del maíz (aceite, masa, tortillas, frituras, almidones, maltodextrinas, emulsiones, jarabes, y productos farmacéuticos).

El maíz destinado a la elaboración de harina, es una variedad en el que predomina el almidón blando, ya que esto facilita la molienda del grano así como también su gelatinización. El maíz es una planta herbácea de la familia de las gramíneas (Guy, 2002). El grano está constituido por tres partes principales que son, pericarpio, endospermo y germen (Figura 1.1).

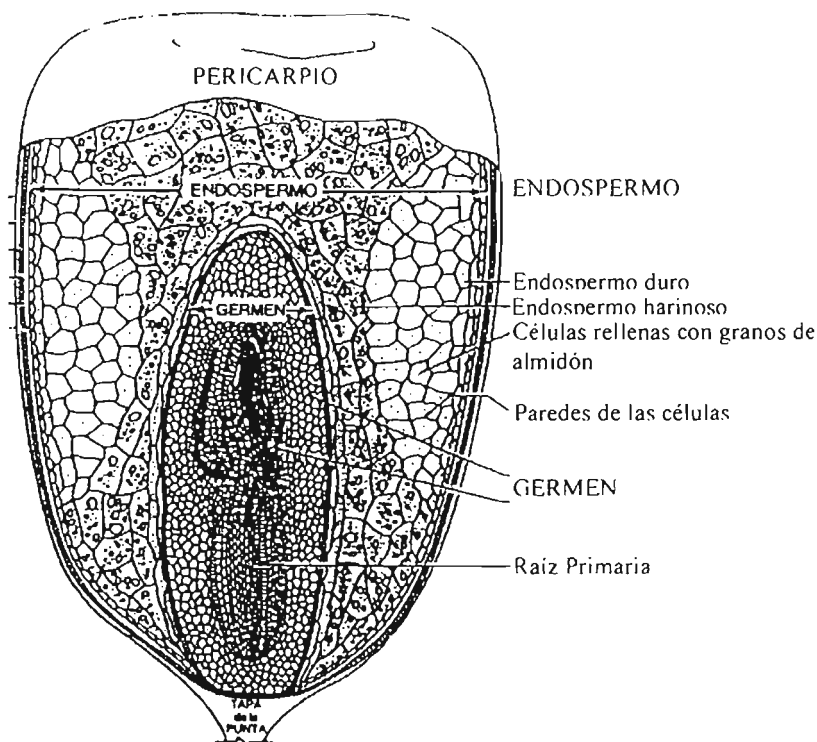


Figura 1.1. Corte longitudinal del grano de maíz (Guy, 2002).

El pericarpio es la cubierta del grano, éste da protección al grano contra la invasión de microorganismos y presenta características semipermeables.

El endospermo es un tejido de almacenamiento y está constituido por dos partes: harinoso y córneo; constituye del 86 al 89% del peso total del grano. El almidón es el componente predominante del maíz y se encuentra principalmente en el endospermo (Cuadro 1.1), la forma y tamaño de los gránulos de almidón varían según se encuentran en el endospermo. El endospermo harinoso, es de color claro y contiene gránulos de almidón sueltos con poca proteína, mientras que el endospermo corneo contiene gránulos de almidón más pequeños y envueltos en material proteico.

El germen se localiza en la parte baja del endospermo y contiene la mayor concentración de lípidos y minerales (Wolf et al., 1982).

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MAÍZ

Carbohidratos

El principal carbohidrato del maíz es el almidón que se encuentra la mayor parte en el endospermo, los azúcares importantes son la sacarosa, glucosa y fructosa, (1-3%).

Proteínas

Después del almidón, las proteínas constituyen el siguiente componente químico del grano por orden de importancia. En las variedades comunes, el contenido de proteínas puede oscilar entre el 8 y el 11 % del peso del grano, y en su mayor parte se encuentran en el endospermo y están formadas por albúminas (3.2%), globulinas (1.5%), zeínas (47.2%) y glutaminas (35.1%), la mayoría de las proteínas se encuentran en el endospermo. El maíz es un cereal de calidad pobre, debido a que generalmente es deficiente en los aminoácidos esenciales lisina y metionina (Watson et al., 1991).

Lípidos

El germen es el mayor depósito de lípidos, la mayoría de éstos son triglicéridos (ácido oleico y linoleico), los cuales al extraerse producen aceite de maíz.

Fibra

El pericarpio de maíz está formado por un 75 % de hemicelulosa, un 24.9 % de celulosa y 0.1 % de lignina, en peso en seco.

Minerales

Los minerales que se encuentran en el grano de maíz son: hierro, potasio, magnesio, sodio, calcio y fósforo; estos últimos son los que se encuentran en mayores cantidades. La mayor proporción de minerales se encuentra en el germen del grano conteniendo un 80% de ellos (Watson et al., 1991).

En el Cuadro 1.1 se observa la distribución de los componentes químicos en las partes principales del grano de maíz y en el Cuadro 1.2 se muestra la composición química del grano entero de maíz.

Cuadro 1.1 Distribución de los componentes químicos en las partes principales del grano de maíz (%)

Componente	Pericarpio (%)	Endospermo (%)	Germen (%)
Proteínas	3,7	8,0	20,4
Extracto etéreo	1	0,8	35,2
Fibra cruda	86,7	2,7	9,8
Minerales	0,86	0,3	12,5
Almidón	7,3	87,6	9,3
Azúcar	0,44	0,6	12,8

(Watson et al., 1991)

Cuadro 1.2 Composición química del grano entero de maíz

Componente	%
Carbohidratos	71.7
Humedad	10.8
Proteína	10
Lípidos	4.3
Fibra	1.7
Minerales	1.5

(Watson et al., 1991).

b) TRIGO (*Triticum sativum*)

Trigo es el nombre común de los cereales del género de la familia de las Gramíneas cultivado como alimento desde tiempos muy remotos por los pueblos de las regiones templadas. El trigo ha formado parte del desarrollo económico y cultural del hombre, siendo el cereal más importante del mundo, utilizado en gran escala en la alimentación humana. Casi todo el trigo se destina a la fabricación de harinas para panificadoras y pastelería. En general, las harinas procedentes de variedades de grano duro se destinan a las panificadoras y a la fabricación de pastas alimenticias, y las procedentes de trigos blandos a la elaboración de masas pasteleras. El trigo se usa también para fabricar cereales de desayuno y, en menor medida, en la elaboración de cerveza, whisky y alcohol industrial.

El trigo de menor calidad y los subproductos de la molienda y de la elaboración de cervezas y destilados, se aprovechan como piensos para el ganado.

La propiedad más importante del trigo es la capacidad elástica del gluten que se desarrolla durante la cocción de la harina. Esta característica permite la panificación, constituyendo un alimento básico para el hombre.

Las principales partes del grano son: el germen o embrión, endospermo y pericarpio (Figura. 1.2). El pericarpio encierra a la semilla y está compuesto de varias capas

(epicarpio, mesocarpio y endocarpio). El endospermo está formado por células de paredes delgadas que varían de tamaño, forma y composición. Se compone principalmente de almidón y proteínas. El germen o embrión, se caracteriza por carecer de almidón y por su alto contenido de aceite, proteínas, azúcares solubles y cenizas. Además, es rico en vitaminas B y E y genera la mayoría de las enzimas para el proceso de germinación. (www.agualtiplano.net/cultivos/trigo.htm)

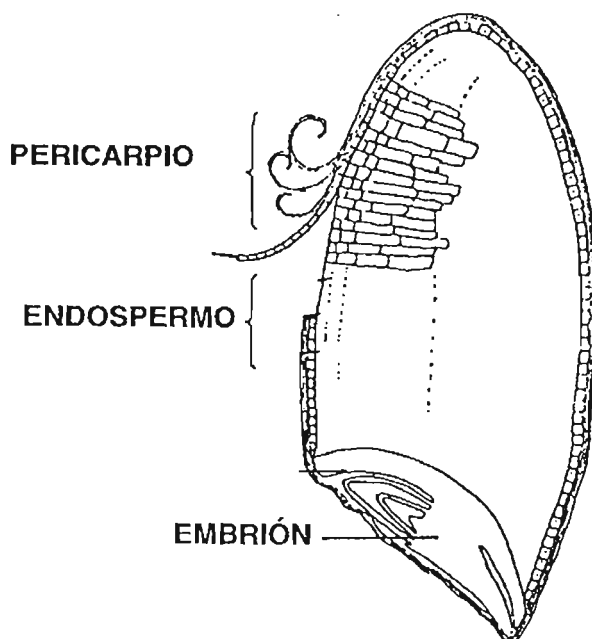


Figura 1.2. Corte longitudinal del grano de trigo
(www.agualtiplano.net/cultivos/trigo.htm)

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL TRIGO

Los nutrientes se encuentran distribuidos en las diversas partes del grano de trigo. En los Cuadros 1.3 y 1.4 podemos observar el porcentaje de estos nutrientes y ubicar la parte del grano donde se encuentran distribuidos.

Cuadro 1.3 Distribución de los componentes químicos en las partes principales del grano de trigo (%)

Componente	Pericarpio	Endospermo	Embrión
Carbohidratos	0	100	0
Proteínas	20	72	8
Lípidos	70	27	3
Fibra	30	50	20

(www.agualtiplano.net/cultivos/trigo.htm)

Cuadro 1.4 Composición química del grano entero de trigo

Componente	%
Carbohidratos	70
Proteínas	16
Humedad	10
Lípidos	2
Minerales	2

(www.agualtiplano.net/cultivos/trigo.htm)

Carbohidratos

El almidón es el carbohidrato más importante en el trigo, constituye aproximadamente el 64% de la materia seca del grano entero de trigo y un 70% de su endospermo. Los carbohidratos presentes en el trigo incluyen al almidón, celulosas, hemicelulosas, pentosanos, dextrinas y azúcares.

Proteínas

Las proteínas del trigo son albúminas (12%), globulinas (8%), prolaminas (40%) y gluteninas (40%). De éstas, las albúminas son solubles en agua; las globulinas son solubles en soluciones salinas diluidas; las prolaminas son solubles en soluciones acuosas alcohólicas y las gluteninas en ácidos o álcalis. Las prolaminas son llamadas gliadinas, y

junto a las gluteninas y otros componentes proteicos y no proteicos, forman una estructura viscoelástica denominada gluten. Esta característica de la harina de trigo no se encuentra en otros cereales. Entre sus propiedades funcionales, la formación de masa es la que ha conducido a su extensa aplicación en la industria alimentaria, además de la formación de geles, películas, espumas, y su uso como aglutinante, son extremadamente importantes desde el punto de vista tecnológico para mejorar la calidad de un producto. (www.agualtiplano.net/cultivos/trigo.htm)

Lípidos

Los lípidos se encuentran de manera más abundante en el germen. El trigo está constituido aproximadamente del 2% de lípidos, el lípido predominante es el ácido linoléico, el cual es esencial, seguido del oléico y del palmítico (www.agualtiplano.net/cultivos/trigo.htm).

1.1.2 LEGUMINOSAS

Las leguminosas dan su fruto en legumbre o vaina, el cual se seca en su madurez y se abre en dos cáscaras a lo largo de una línea, en donde van adheridas las semillas. Este grupo incluye a todas las plantas con vaina como, los chícharos secos, los frijoles, la soya, las lentejas, los garbanzos, las alubias y las habas. Las leguminosas, son una fuente rica y económica de proteínas en comparación con la proteína de origen animal para gran parte de la población en los países en vías de desarrollo.

Se han cultivado por miles de años, aunque la mayoría de las variedades de frijol y chícharo que se conocen actualmente, eran totalmente desconocidas hasta hace poco tiempo. El frijol ocupa un lugar importante entre las leguminosas de mayor producción y consumo en África, India y América Latina (Osorio et al., 2003).

a) FRIJOL (*Phaseolus vulgaris*)

El frijol es originario de América, se considera que es tan antiguo, que en las culturas prehispánicas ya formaba parte de la dieta alimenticia, es una especie dicotiledónea anual,

perteneciente a la familia de las fabáceas, antiguamente conocida como familia de las papilionáceas.

El cultivo de frijol, no tiene el mismo peso dentro de la producción mundial de granos como es el caso del trigo, maíz y arroz, aunque ello no significa que no se consuma. Sin embargo, en algunos países como los latinoamericanos, este producto es importante dentro de la dieta, por lo que representa un elemento clave dentro del sector agrícola (www.infoacerca.gob.mx/claridades/revistas/044/ca044.pdf).

El frijol, es uno de los cultivos de mayor importancia en México, ubicándose en segundo lugar después del maíz, su mayor importancia radica en el papel que juega para la economía campesina y como fuente vital de proteínas para varios sectores de la población mexicana, además de tener una enorme tradición en nuestro país ya que por muchos años ha sido la principal fuente de alimentación (www.infoacerca.gob.mx/claridades/revistas/044/ca044.pdf).

Es consumido por todas las clases sociales y junto con el maíz y trigo, es la base de la alimentación de la mayor parte de la población. Las principales zonas productoras de frijol son: Zacatecas, Durango y Chihuahua; en general se produce frijol en la mayoría de los estados aunque en pequeñas cantidades. Encontramos que la mayor producción (entre 60 y 70%) se ubica en la zona noroeste del país, en donde se cultivan variedades azufradas, negras, pintas, etc; las azufradas son consumidas en la zona norte, donde gusta este tipo de frijol; en cambio, el negro que se produce en Nayarit y Zacatecas, es enviado a la zona centro y sur del país, donde se encuentra su mayor consumo (www.infoacerca.gob.mx/claridades/revistas/044/ca044.pdf).

Se cultiva una gran diversidad de variedades de frijol que se caracterizan por su tamaño, forma, color de semilla y su tipo de crecimiento. Existen cerca de 70 variedades de frijol que se distribuyen en 7 grupos (Cornejo, 1993):

- Negros
- Amarillos
- Blancos

- Morados
- Bayos
- Pintos
- Moteados

En el frijol existen también factores tóxicos como lo son los polifenoles, hemaglutininas o lecitinas y algunas enzimas inhibidoras (tripsina y α -amilaza), las cuales se inactivan con tratamiento térmico (Belitz y Grosch, 1992).

La semilla de frijol como se ilustra en la Figura 1.3, consta de dos grandes hojitas embrionarias llamadas cotiledones, la envoltura de la semilla (tegumento) y el embrión. Las semillas al carecer de endospermo, acumulan las sustancias de reserva (almidón) en los cotiledones carnosos que constituyen la parte principal en peso de la semilla (Desrosier, 1999).

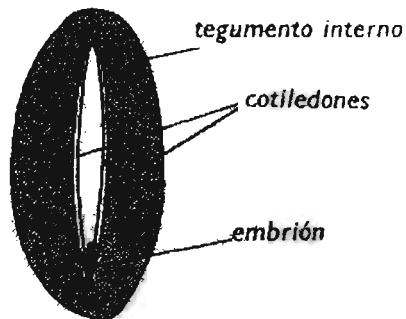


Figura 1.3. Semilla de frijol (Théron, 1981)

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL FRIJOL

El frijol es una rica fuente de proteínas y carbohidratos (Cuadro 1.5), además de ser una buena fuente de vitaminas del complejo B como son: la niacina, la riboflavina, el ácido fólico y la tiamina.

Igualmente proporciona: hierro, cobre, zinc, fósforo, potasio, magnesio y calcio, además presenta un alto contenido en fibra (Leiner, 1977).

Cuadro 1.5 Distribución de los componentes químicos en las partes principales del grano de frijol (%)

Componente	Tegumento	Cotiledones	Embrión
Carbohidratos	86	29	46
Proteínas	8.8	43	45.6
Lípidos	1	23	4
Cenizas	4.2	5	4.4

(www.infoacerca.gob.mx/claridades/revistas/044/ca044.pdf)

Cuadro 1.6 Composición química del frijol

COMPONENTE	%
Carbohidratos	57.6
Proteína	22.6
Humedad	10.4
Fibra	4.2
Minerales	3.7
Lípidos	1.5

(Aduke, 1981)

Carbohidratos

Son el nutriente que se encuentra en mayor proporción en el frijol y constituyen la fracción principal en los granos de las leguminosas, 55 a 65 % del peso seco en promedio. La

glucosa es el más común y se encuentra, tanto en forma libre como combinada, con sustancias como los oligosacáridos (sacarosa y rafinosa) y polisacáridos, tales como almidón (principal polisacárido del frijol), celulosa, hemicelulosa y otros glucósidos importantes. El almidón es el principal constituyente de los carbohidratos del frijol.

Los oligosacáridos son polímeros con menos de diez monosacáridos en su molécula, los más abundantes son, la rafinosa, estaquiosa, y verbascosa. Éstos no son de fácil degradación en el intestino de tal forma que, causan flatulencia.

La celulosa es el polisacárido estructural que le imparte mayor rigidez y fuerza al grano (Leiner, 1977).

Proteínas

Las leguminosas, representan la fuente por excelencia de proteínas en nuestro país, sin embargo, son deficientes en algunos aminoácidos esenciales, aunque son mejor fuente que los cereales en lisina y triptófano, por lo que la ingesta se ve favorecida, mejorando la calidad nutritiva cuando se combina el consumo de las leguminosas con los cereales. El valor biológico de las proteínas es bajo, por su baja digestibilidad. Esto ocurre por la existencia de factores tóxicos en las leguminosas, tales como los inhibidores de tripsina, quiotrípcinas, hemaglutininas, taninos, ácido fítico, etc. La mayoría de estos factores son termolábiles, lo que reduce su actividad y favorece su consumo con tratamientos térmicos previos a la ingesta del frijol, aumentando la calidad de las proteínas (Antunes y Sgarbieri, 1980).

Lípidos

El contenido de lípidos en el frijol es muy bajo. Los glóbulos de grasa se encuentran insertos entre la red que forman las proteínas y los carbohidratos en cada cotiledón, encontrándose principalmente triglicéridos. Entre los ácidos grasos libres se han identificado al ácido láurico y al palmítico (Leiner, 1977).

1.1.3. ALMIDÓN

El almidón es el principal polisacárido de los cereales y leguminosas antes mencionados. Se considera necesario describirlo más a fondo, ya que es el componente causante de la gelatinización y por lo tanto el que proporciona algunas de las propiedades texturales al producto.

El almidón sirve de almacén de energía en las plantas. Actualmente, el uso de éste se extiende más allá de su objetivo original como fuente de energía biológica. Cada industria, usa almidón o sus derivados en una forma u otra. Comercialmente, el almidón se obtiene de las semillas de cereales, raíces, tubérculos y leguminosas. Las propiedades del almidón varían de lote a lote y dependen de las condiciones de crecimiento, cosecha y almacenamiento (Whistler et al., 1984).

La incorporación del almidón en los alimentos a procesar, es un factor importante para mejorar las características sensoriales de éstos, ya que presenta una gran variedad de propiedades funcionales tales como: adhesivo, ligante, enturbiantes, formador de películas, estabilizante, gelificante, humectante, texturizante y espesante.

El almidón, se distingue de todos los demás carbohidratos debido a que naturalmente se presenta en forma de gránulos. Éstos, son relativamente densos e insolubles, y se hidratan muy mal en agua fría. Al ser dispersados en agua caliente, dan lugar a la formación de soluciones viscosas. Es decir, se activa la capacidad espesante del almidón (Fenema, 2000).

El tamaño y la forma del gránulo de todos los almidones, es característico del tipo de planta en que se ha formado, los gránulos de almidón de maíz, trigo y frijol, se pueden identificar microscópicamente de la siguiente forma:

- Los gránulos de almidón de maíz, aún los de una misma fuente, tienen formas microscópicas diferentes, unas son casi esféricas, otras angulares y otras en forma

de diente (Figura 1.4) y tienen un tamaño aproximadamente de 5 a 10 μm (Flint, 1996).



Figura 1.4 Gránulos de almidón de maíz
<http://anka.livstek.lth.se:2080/microscopy/f-starch.htm>

- Los gránulos de almidón de trigo son de forma lenticular y tienen un tamaño de 5 a 20 μm (Figura 1.5) (Flint, 1996).

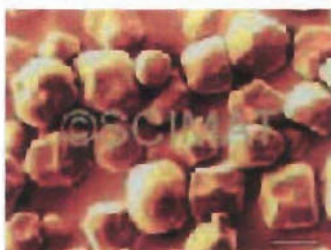


Figura 1.5 Gránulos de almidón de trigo
<http://anka.livstek.lth.se:2080/microscopy/f-starch.htm>

- Los gránulos de almidón del frijol tienen forma ovalada con tamaños de 15 a 30 μm (Figura 1.6) (Flint, 1996).



Figura 1.6 Gránulos de almidón de frijol
<http://anka.livstek.lth.se:2080/microscopy/f-starch.htm>

a) ESTRUCTURA MOLECULAR DEL ALMIDÓN

El almidón es la mezcla de dos polisacáridos muy similares, la amilosa (lineal) y la amilopectina (ramificada) (Flint, 1994).

La amilosa es el producto de la condensación de D-glucopiranosas por medio de enlaces glucosídicos α -D-(1,4), que establece largas cadenas lineales cuya unidad repetitiva es la α -maltosa y pesos moleculares hasta de un millón. Tiene la facilidad de adquirir una conformación tridimensional helicoidal, en la que cada vuelta de hélice consta de seis moléculas de glucosa. El interior de la hélice contiene sólo átomos de hidrógeno, y es por tanto lipofílico, mientras que los grupos hidroxilo están situados en el exterior de la hélice (Fig.1.7). La mayoría de los almidones contienen alrededor del 25% de amilosa. Este polisacárido tiene la capacidad de gelificar.

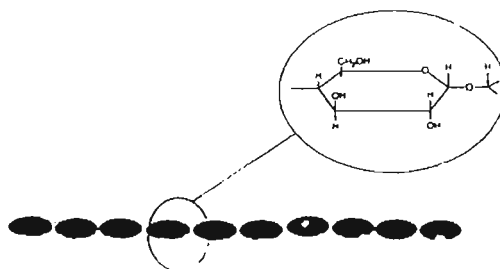


Figura 1.7 Estructura de la amilosa (Imeson, 1997)

La amilopectina se diferencia de la amilosa en que, contiene ramificaciones que le dan una forma molecular parecida a la de un árbol (Figura 1.8); las ramas están unidas al tronco central, semejante a la amilosa por enlaces α -D-(1,6), localizadas cada 15 a 25 unidades lineales de glucosa. Su peso molecular es muy alto ya que algunas fracciones llegan a alcanzar hasta 200 millones 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. Algunos almidones están constituidos exclusivamente por amilopectina y son conocidos como *céreos* (Fenema, 2000).

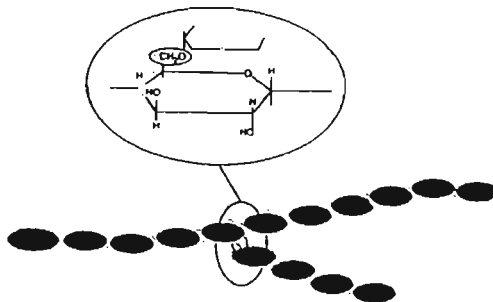


Figura 1.8 Estructura de la amilopectina (Imeson, 1997)

b) GELATINIZACIÓN

Es un fenómeno que se muestra cuando un almidón es sometido a calentamiento en un medio acuoso. El fenómeno presenta los siguientes eventos:

- Hidratación e hinchamiento de los gránulos de almidón
- Pérdida de su birrefringencia
- Aumento de su claridad
- Disolución de las moléculas lineales (amilosa) y ruptura de los gránulos

Los gránulos de almidón, son cristales que presentan áreas organizadas (cristalinas) y áreas relativamente desorganizadas (amorfas). Estos gránulos son insolubles en agua fría. Sin embargo, cuando se calientan en agua, empiezan un lento proceso de absorción de agua en las zonas amorfas ya que, son las más accesibles debido a que los puentes de hidrógeno no son tan numerosos ni rígidos, como en las áreas cristalinas (Pomeranz, 1991).

A medida que aumenta la temperatura, se retiene más agua y el gránulo de almidón empieza a hincharse y aumentar su volumen. Simultáneamente se pierde su polarización

cruzada una vez que la parte amorfa se ha hidratado completamente y la zona cristalina inicia su hidratación.

La gelatinización se lleva a cabo cuando se aplica suficiente energía para romper los enlaces de hidrógeno intermoleculares que, se encuentran en el área cristalina la cual está compuesta principalmente por amilopectina (Fenema, 2000).

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 amilasa. Sólo si se aplican fuerzas de cizalla y se da una disrupción total de los gránulos. El hinchamiento de los gránulos y la disrupción 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 (fragmentos). 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 las condiciones normales del procesado 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).

El hinchamiento del almidón, puede ser medido utilizando un visco-amilografo de Brabender, el cual registra la viscosidad de manera continua al incrementarse la temperatura, después mantenerla constante y por último disminuirla. En la Figura 1.9 se observa que al alcanzar el pico de máxima viscosidad, algunos gránulos ya han sido rotos

por la agitación. Si se continúa agitando, más gránulos se rompen y fragmentan, causando entonces una disminución de viscosidad (Fenema, 2000).

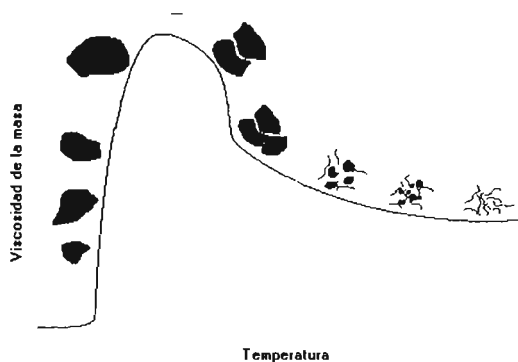


Figura 1.9. Curva representativa del visco-amilógrafo que muestra los cambios de viscosidad, relacionados con el hinchamiento de los gránulos de almidón y su desintegración al calentar una suspensión de gránulos (Fenema, 2000)

Las diversas etapas de gelatinización, pueden ser determinadas utilizando un microscopio de polarización, equipado con un sistema de calentamiento. Estas etapas se presentan a diferentes temperaturas a saber: la temperatura de iniciación (primera observación de la pérdida de birrefringencia), la temperatura media, la temperatura final de la pérdida de birrefringencia (temperatura a la cual el último gránulo en el campo de observación pierde su birrefringencia), y el intervalo de temperatura de gelatinización.

La temperatura inicial aparente de gelatinización y el intervalo dentro del cual tiene lugar, dependen del tipo de gránulo y la relación almidón-agua (Fenema, 2000).

c) ALMIDONES MODIFICADOS

Los almidones nativos para mejorar las propiedades que poseen, 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. Sin embargo, los que más se utilizan son los de maíz, papa y trigo. Todos tienen diferentes propiedades y son aplicados en la industria de alimentos para fines nutricionales, tecnológicos, funcionales y sensoriales (Imeson, 1997). Debemos tomar en cuenta las propiedades que son importantes, durante y después del proceso de algún producto alimenticio, ya que en base a estas propiedades se realizan las modificaciones (Zobel y Stephen, 1995).

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 tipos de modificación llevados a cabo con más frecuencia y a menudo en combinación, son: el entrecruzamiento de cadenas de polímero, la derivatización sin entrecruzamiento, la despolimerización y la pregelatinización.

Almidón entrecruzado

El entrecruzamiento de los almidones se produce cuando los grupos hidroxilo de distintas moléculas del mismo gránulo se hacen reaccionar con agentes difuncionales. La unión de las cadenas de almidón por medio del diéster fosfato u otros agentes de entrecruzamiento, refuerzan al gránulo y reducen la velocidad, el grado de hinchamiento y la desintegración subsiguiente. En consecuencia, los gránulos exhiben una sensibilidad reducida a las condiciones del procesado, como altas temperaturas, bajos pH's y fuerzas de cizalla en el mezclado. Las pastas de almidones entrecruzados son más viscosas, con más cuerpo y con menos tendencia a degradarse a causa de agitaciones severas, que los de almidones nativos. Conforme aumenta el grado de entrecruzamiento, el almidón también se hace más estable frente a los ácidos. A pesar de que en el calentamiento, en condiciones ácidas del medio acuoso, se produce la hidrólisis o despolimerización de los enlaces glucosídicos, las cadenas unidas unas a otras por los enlaces fosfato continúan constituyendo grandes moléculas, que proporcionan una elevada viscosidad. 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 a 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).

Almidón con derivatización

En los almidones modificados, sólo pocos de sus grupos hidroxilo son modificados por los grupos éter y éster. Estos pequeños niveles de derivatización cambian sustancialmente las propiedades de los almidones y aumentan en gran medida su utilidad. La derivatización de los almidones, reduce las asociaciones intermoleculares, lo cual aumenta la tendencia a gelificar. De aquí que esta modificación sea conocida como estabilización. Por ejemplo, algunas pastas se van haciendo turbias y grumosas, por lo que es necesario la modificación

del almidón para aumentar la estabilidad. Los derivados más útiles y más comunes para la estabilización del almidón 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).

Almidón despolimerizado

Las moléculas de almidón se despolimerizan o se hidrolizan por acción de los ácidos en caliente. 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. Estos almidones se consideran modificados por ácidos, y el proceso está relacionado con la pérdida de viscosidad del almidón. 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. En la preparación de geles especialmente fuertes y de formación rápida se utilizan como base almidones de alta-amilosa.

La modificación más intensa utilizando ácidos, da lugar a la formación de dextrinas. Las dextrinas de baja viscosidad tienen propiedades formadoras de películas, también se utilizan para la elaboración de frutas secas, dulces y agentes de relleno (Fenema, 2000).

Almidón pregelatinizado

La mayoría de almidones comercializados de este tipo, se obtienen, haciendo fluir una suspensión de almidón en agua por un estrecho paso entre dos rodillos calentados con vapor y muy cercanos entre sí. La suspensión de 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. Tanto los almidones nativos como los modificados químicamente, pueden servir como base para pregelatinizados. 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).

d) ALMIDONES UTILIZADOS COMÚNMENTE PARA BOTANAS

El almidón y los derivados de almidón, tienen una larga historia en la elaboración de botanas, como un 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 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 esta 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 et al., 1984).

1.2 PROCESO DE EXTRUSIÓN

1.2.1 EXTRUSIÓN

La extrusión es un proceso donde se combinan operaciones unitarias como; mezclado, cocción, amasado y moldeo. 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 una gran variedad de texturas y formas, a partir de diferentes materias primas.

Los extrudidos se producen a partir de una amplia y diversa gama de alimentos. Estos alimentos contienen materiales que presentan propiedades funcionales diferentes en la formación y estabilización de los productos extrudidos, así como también, proporcionan color, aromas y cualidades nutricionales diferentes.

La transformación de las materias primas durante el procesado es uno de los factores más importantes que distingue un proceso alimentario y un tipo de alimento de otro. Para un tipo de producto particular se realiza una selección de ingredientes a través de un régimen de procesado determinado (Ríaz, 2000).

Actualmente la tecnología de extrusión está ganando importancia en la industria de alimentos debido a las siguientes razones:

- La versatilidad en el manejo de una amplia variedad de cereales y/o leguminosas la hace particularmente atractiva como una de las tecnologías más convenientes en el procesamiento de alimentos. Con algunos ajustes en las condiciones de procesamiento, formulación de materias primas, forma del dado y la adición de varios revestimientos, se pueden procesar una gran variedad de alimentos en la misma línea de un proceso de extrusión, dando como resultado diferentes texturas, sabores, colores y aromas. Es decir, el proceso de extrusión es extremadamente flexible y puede acomodarse a las demandas de nuevos productos por parte del consumidor.

- Causa menores costos de operación, ya que es un proceso que se caracteriza por ser más barato y productivo que otros procesos de cocción y moldeo.
- No genera pérdidas debido a que, es una operación en la cual el tamaño de los alimentos aumenta. Mediante la extrusión, los alimentos granulados de pequeño tamaño se transforman en alimentos de partícula mayor (Fellows, 1994).
- Modifica almidones, así como proteínas animales y vegetales y otros materiales para producir una gran variedad de nuevos productos.
- Proporciona una alta calidad a los productos cuando se realiza, a altas temperaturas durante tiempos cortos (por sus siglas en inglés, HTST), minimizando la degradación de los nutrientes presentes en los productos, mientras se mejora la digestibilidad de las proteínas por desnaturalización y del almidón por la gelatinización (Riaz, 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 fuentes de proteínas.

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

Las características más importantes del material a extrudir son: el contenido de humedad y su composición química. Dependiendo de estas características, se determinarán las condiciones de operación; Asimismo, estas características también ejercen una importante influencia sobre la textura y el color de la materia extrudida.

Los materiales comúnmente utilizados son harinas de trigo y maíz, pero también se pueden utilizar muchos otros materiales como harina de arroz, papa, centeno, cebada, avena, sorgo, chícharo, frijol y otros materiales relacionados.

Los polímeros formadores de estructura, pueden tener una masa molecular mínima, suficiente para dar la adecuada viscosidad y para evitar o controlar el encogimiento del

extrudido después de que ha alcanzado su expansión máxima. 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. Su viscosidad durante el enfriamiento es suficiente para evitar el encogimiento (Guy, 2002). Las moléculas de proteína se polimerizan, estableciendo enlaces intramoleculares y se reorientan, dando así lugar a la clásica textura fibrosa de las proteínas vegetales texturizadas (por sus siglas en inglés TVP).

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

1.2.2 CO-EXTRUSIÓN

Algunas veces los extrusores disponen de un dado especial, para inyectar diversos tipos de relleno en el interior de la pasta extrudida a la salida de la boquilla o dado. A este proceso se le denomina co-extrusión y se emplea, por ejemplo para rellenar algunos pasteles (Fellows, 1994).

1.2.3 TIPOS DE EXTRUSIÓN

a) EXTRUSIÓN HÚMEDA

Este tipo de extrusión requiere la inyección de agua caliente o vapor de agua al cilindro del extrusor, para acondicionar a la materia prima, mejorando la calidad de los productos extrudidos, ya que esto le proporciona al material las condiciones necesarias para llevar a cabo la gelatinización del almidón, así como también, aumenta la vida útil de los componentes del extrusor evitando que se desgasten tanto.

La inyección de vapor aumenta la energía térmica y el contenido de humedad del extrudido. A medida que el extrudido se mueve a través de la zona de mezclado, empieza a formar una masa pastosa fluyendo cohesivamente hasta alcanzar su compactación máxima (Guy, 2002). Todo esto le proporciona al producto un aumento de temperatura de 140 a 170°C y el proceso es conocido como extrusión con cocción (Fellows, 1994).

b) EXTRUSIÓN SECA

En la extrusión seca, el calentamiento del producto se consigue mediante fricción mecánica, la que induce al aumento de presión y temperatura, de tal manera, que el equipo no necesita una fuente externa de vapor por inyección o calentamiento por enchaquetado. Este tipo de extrusión se limita a procesar sólo formulaciones con humedad del 10 al 40%, de no ser así, se presentarán problemas en la alimentación o en el flujo del material dentro del extrusor durante el proceso de extrusión (Guy, 2002).

El intervalo de cocción en un extrusor seco puede ser de 82 a 160°C. Tan pronto como el material sale del dado del extrusor, la presión del mismo es instantáneamente liberada, la humedad interna se evapora provocando que el producto se expanda (Guy, 2002).

Los extrusores secos pueden ser utilizados para procesar cereales, aperitivos alimentarios, cereales para desayuno y alimento para animales domésticos, entre otros (Guy, 2002).

1.2.4 CLASIFICACIÓN DE EXTRUSORES

Los tipos de extrusores en la industria se pueden clasificar dependiendo el número de tornillos y el sentido de rotación del tornillo con respecto al otro (Fellows, 1994):

- a) Un tornillo
- b) Dos tornillos
 - Co-rotacional
 - Contra-rotacional

a) EXTRUSORES DE UN TORNILLO O DE TORNILLO ÚNICO

Los extrusores de tornillo único se clasifican, de acuerdo con la intensidad de la fuerza de cizalla que ejercen.

- a) Extrusores de elevada fuerza de cizalla (cereales para desayuno y botana).
- b) Extrusores de fuerza de cizalla moderada (pasta para rebozar y alimento para animales).
- c) Extrusores de baja fuerza de cizalla (pasta y productos cárnicos).

Los extrusores de tornillo único 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).

Los extrusores de tornillo único son más baratos operacionalmente; así como más fáciles de manejar y reparar que los de tornillos gemelos. Típicamente, el tornillo está montado en un eje. El barril o cilindro, puede tener una cubierta reemplazable, endurecida, y puede ser liso o con ranuras (para afectar el flujo y generación de calor). Los segmentos del barril están unidos entre sí con abrazaderas (como se muestra en la Figura 1.10) o con pernos para asegurarlos. Frecuentemente hay canales barrenados a través del barril para flujo de fluidos que transfieren calor, o se pueden utilizar calentadores externos separados (<http://www.aces.uiuc.edu/asamex/extrusion>).

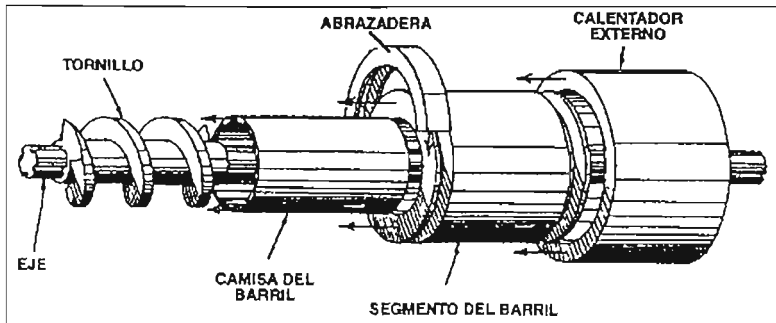


Figura 1.10 Eje de soporte del extrusor de un tornillo
(<http://www.aces.uiuc.edu/asamex/extrusion>)

b) EXTRUSORES DE DOS TORNILLOS O TORNILLOS GEMELOS

Este tipo de extrusores, tienen dos tornillos situados en el interior del mismo cilindro, son más complicados y caros en inversión y mantenimiento que los extrusores de un tornillo, pero al mismo tiempo, proporcionan más capacidad, flexibilidad y un mejor control de proceso, además, que pueden manejar desde una amplia gama de tamaños triturados finamente, hasta ingredientes muy gruesos presentes en la formulación de cada producto (Guy, 2002).

Originalmente, se desarrollaron para el procesado de plásticos, pero en las compañías de alimentos comenzaron a utilizarlos en productos como caramelos y dulces adhesivos, que no podían elaborar con máquinas de tornillo simple. Muy pronto los extrusores de doble tornillo se hicieron populares para los fabricantes de alimentos.

Los extrusores de dos tornillos se clasifican, de acuerdo con su sentido de rotación y por la forma en que los tornillos atacan entre sí (Fellows, 1994).

- a) Extrusores de doble tornillo en contra-rotación
- b) Extrusores de doble tornillo en co-rotación

Los tornillos giran en el interior de un cilindro (en forma de ocho).

En la posición de contra-rotación, los tornillos del extrusor giran en sentido opuesto (Figura 1.11), mientras que en la posición de co-rotación giran en el mismo sentido (Figura 1.12) (Guy, 2002).

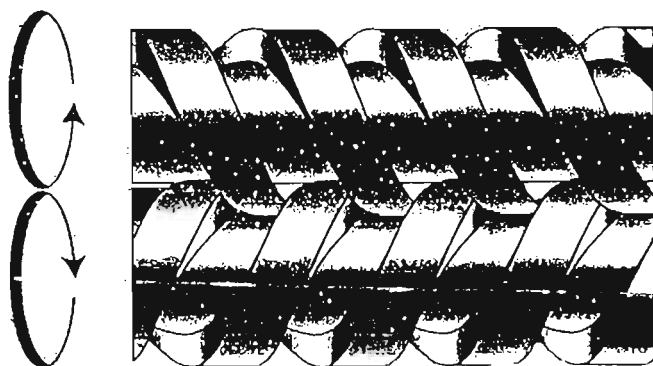


Figura 1.11 Doble tornillo (posición contra-rotación) (Ríaz, 2000)

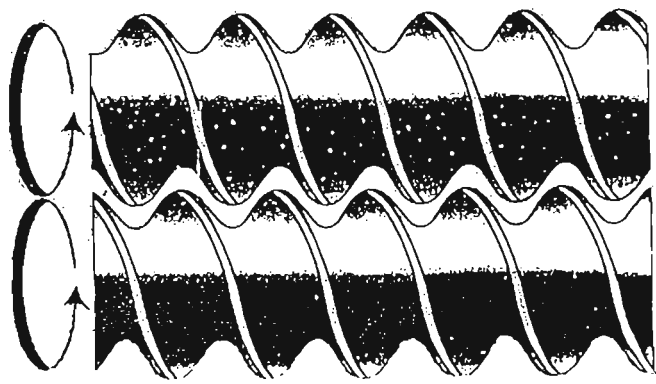


Figura 1.12 Doble tornillo (posición co-rotación) (Ríaz, 2000)

Los extrusores más utilizados en la industria de alimentos son los de tornillos en posición de contra-rotación, en los que el movimiento de rotación impulsa al material a través del

extrusor y el ataque de los tornillos entre sí mejora el mezclado y evita la rotación del alimento en el cilindro (Fellows, 1996).

Todos los extrusores tienen el tornillo o tornillos firmemente colocados y ajustados en un cilindro, el cual gira por medio de un motor eléctrico. Los ingredientes acondicionados con una humedad entre 10 y 40%, son alimentados al extrusor y la fricción entre el producto y el tornillo o tornillos transportadores, incrementan rápidamente la temperatura del producto. El cilindro de descarga final está equipado con un dado que causa un aumento de la presión para formar el producto y una cuchilla que le proporciona el tamaño al mismo (Figura 1.13).

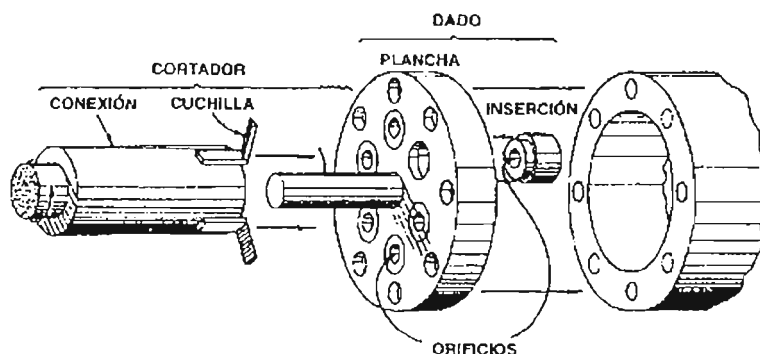


Figura 1.13 Cilindro de descarga final

(<http://www.aces.uiuc.edu/asamex/extrusion>)

Para la obtención de productos expandidos se emplean presiones elevadas y dados de orificios pequeños. La rápida liberación de la presión, que se produce a la salida del dado provoca la expansión instantánea del vapor y el gas que contiene el alimento, dando lugar a un producto de baja densidad en el que el agua que contiene se pierde por evaporación. El grado de expansión del producto, se puede controlar variando la presión y la temperatura que se genera durante el proceso. En productos como botanas, el porcentaje de humedad se reduce aún más por un proceso de secado posterior. Cuando estos productos preelaborados se calientan en aceite se reblandecen, adquiriendo por expansión, sus características físicas adecuadas. (Guy, 2004)

1.3 BOTANAS

Hace seis décadas que nació en México la industria de las botanas, productos que aunque no forman parte de una dieta alimenticia normal, se han ido incorporando de manera rápida a los hábitos alimenticios de un amplio segmento de la población mexicana y mundial, gracias a sus características y por resultar agradables y placenteros al paladar de los consumidores (www.acta.org.co).

Para definir qué es una botana, es necesario remitirnos a su utilización, como algo ligero o bocado que se ingiere entre las comidas principales para producir placer o calmar temporalmente la sensación de hambre. Las botanas son elaboradas industrialmente a través de procesos controlados de extrusión, secado, tostado o freído, estos productos son obtenidos a partir de materias primas de origen vegetal como los cereales, los tubérculos, las raíces o los frutos, son transformados en hojuelas, rodajas, anillos o cualquier otra forma que resulte atractiva al consumidor. En México predominan fundamentalmente tres tipos de botanas:

- Extruidos elaborados a partir de cereales como maíz y trigo.
- Fritos como papas en hojuelas, plátano en rebanadas, maíz en hojuelas y chicharrones.
- Cacahuete como el salado, saborizado, confitado, recubierto, etc.

Una botana debe presentar las siguientes características:

- Ser un producto que el consumidor reciba listo para comer, o que requiera una preparación mínima para su consumo.
- Comercializarse en porciones pequeñas o individuales.
- Estar orientado a ser consumido entre comidas y no en lugar de las comidas principales.

Las materias primas que emplea la industria de las botanas, son productos agrícolas primarios o en algunos casos con algún grado de procesamiento como los cereales, que

pasan por un proceso inicial de descascarado, degerminación y molienda para la obtención de harina, la cual es la materia prima para algunas botanas. (www.acta.org.com)

En cuanto a las raíces, tubérculos y frutos, como por ejemplo la papa y el plátano, éstos llegan a las industrias directamente de las zonas de cultivo o centros de distribución. Son productos de características bien definidas como: variedad agrícola, grado de madurez, contenido de humedad, grado de sanidad y estado microbiológico, entre otros.

En el caso del cacahuate, los fabricantes adquieren el producto descascarado, seleccionado y clasificado.

1.3.1 ELABORACIÓN DE BOTANAS A BASE DE ALMIDÓN (fenómenos relacionados)

Las etapas del proceso que lleva la elaboración de cualquier tipo de botanas, a base de almidón son las siguientes:

- La formación de una pasta mediante la hidratación de polímeros de almidón con el fin de integrar, una masa que se pueda moldear en piezas de frituras individuales.
- El calentamiento de la pasta de tal forma que el agua contenida en ésta, se sobrecaliente y sea liberada rápidamente como vapor dentro de la pasta que está expandiéndose.
- La botana se estabiliza con el proceso de secado, hasta llegar a bajos niveles de humedad, para formar una estructura dura y quebradiza.

La formación del granulado a partir de las materias primas, basadas en almidón, requiere que los gránulos de almidón se gelatinicen eliminando su estructura cristalina. Estos gránulos, en su forma inicial (harina, Figura 1.14 B) se hidratan y forman una masa gelatinizada que se mezcla durante el proceso de extrusión, provocando la dispersión de los polímeros de almidón (amilosa y amilopectina), tal como se muestra en la Figura 1.14 (Guy, 2002).

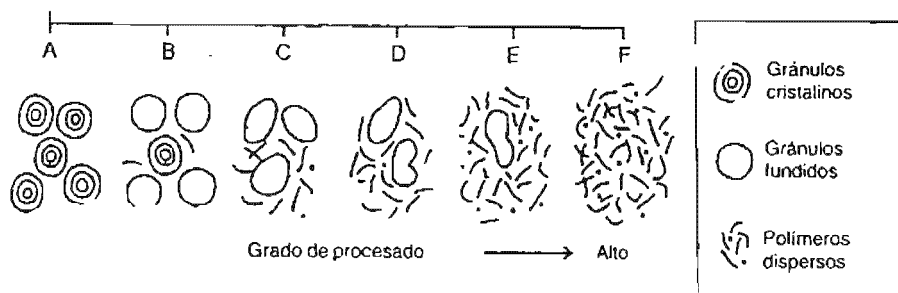


Figura 1.14 Formas físicas del almidón durante el proceso de elaboración de botanas (Guy, 2002).

La expansión de las pastas basadas en almidón, tiene lugar mediante la liberación de vapor de agua de su estructura. El agua líquida sobrecalentada se evapora, en una fracción de segundo, durante la extrusión y horneado, formando burbujas de aire a lo largo y ancho de la pasta, dando lugar a la expansión de la misma (Guy, 2002).

La etapa final de la elaboración de una botana, implica la transformación del granulado a una pasta que se expande formando una estructura dura y quebradiza. Este proceso implica, el enfriamiento y eliminación de agua de la pasta expandida. Los sistemas de polímeros de almidón, son fluidos viscosos cuando se hidratan y aumentan su viscosidad a medida que se elimina el agua, alrededor del 8% al 13% de humedad, durante el enfriamiento, pasan a través de la transición vítrea y se vuelven quebradizos y vítreos. Las condiciones importantes para que las botanas se vuelvan vítreas, son la baja humedad y control de las temperaturas.

Estos cambios ocurren en todos los tipos de botanas elaboradas con almidón y son las diferentes formas en que se aplican y ayudan a crear la gran variedad de botanas disponibles hoy en día (Guy, 2002).

1.3.2 FRITURAS

Los productos de pasta húmeda, se pueden elaborar a partir de materias primas tales como harina de maíz y harina de trigo. Los productos de maíz se han transformado en procesos a gran escala y dan lugar a una de las formas más importantes que existen de frituras (Guy, 2002).

Los procesos más simples, utilizan pastas de harina de maíz y las transforman en trozos pequeños mediante laminado o extrusión. Los extrusores forman la pasta en láminas o cintas aproximadamente de 1 mm de espesor, que se cortan en formas geométricas simples, tales como triángulos o rectángulos. El extrudido se corta a la salida del dado con una unidad de cortado especial utilizando cuchillas delgadas. Después de la extrusión, los productos, deberán perder humedad, en un intervalo de 20 – 27%, hasta quedar aproximadamente en un 10%. Éste no es un proceso simple debido a que el agua se evapora desde la superficie más rápidamente que lo que se difunde a través del almidón gelatinizado. Después de concluir el proceso de secado, el producto presenta una textura quebradiza, posteriormente, éste se expande mediante el freído, generalmente a temperaturas del aceite vegetal entre 160 y 190°C. Esta temperatura, provoca que el producto cambie desde una pasta densa y quebradiza hasta un producto aireado y crujiente, cambiando de color a medida que se fríe. Durante el freído, el alimento se sumerge en aceite caliente, aumentando su temperatura rápidamente y el agua que contiene se elimina en forma de vapor, por lo que su superficie empieza a deshidratarse. Se forma una corteza y el frente de evaporación se traslada hacia el interior del producto. La temperatura en la superficie del alimento alcanza la del aceite y la interna aumenta lentamente hasta alcanzar aproximadamente 100°C (Lawson, 1999). La costra superficial desarrollada por la fritura, posee una estructura porosa constituida por conductos capilares de diámetro variable. Durante el freído, el agua y el vapor de agua que rellena los capilares de mayor tamaño son desplazados por el aceite (absorción de aceite). El agua se elimina en forma de vapor desde la capa superficial del alimento atravesando una fina película de aceite. El tiempo requerido para freír un alimento, depende del tipo de alimento, temperatura del aceite, grosor del alimento y los cambios que se pretende conseguir (Guy, 2002).

CAMBIOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DURANTE EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE FRITURAS

El proceso de extrusión, se concentra en la transformación del almidón dentro de la formulación, pero se puede modificar para producir una amplia gama de frituras con diferentes características. Esto se puede hacer cambiando las formulaciones y las condiciones del proceso.

a) Aromatización

Las formulaciones, están basadas en los ingredientes principales ricos en almidón tales como maíz, arroz, trigo, papa, o algunas leguminosas. Estos materiales son diferentes en términos de su composición, tales como proteínas, lípidos, carbohidratos y fibras, provocando pequeñas diferencias en su rendimiento físico en el extrusor; así como diferencias significativas en el aroma, sabor y color. Es posible mezclar cualquiera de los materiales en diferentes proporciones formando una estructura expandida. Sin embargo los colores y sabores de las principales materias primas son suficientemente heterogéneas para provocar diferencias significativas en el color y sabor del producto extrudido. El color puede ajustarse en ciertos intervalos de color, mediante la adición de colorantes en la formulación.

Los aromas, generados en las frituras por las materias primas también son diferentes en carácter e intensidad. También pueden cambiar durante el procesado con relación a la temperatura y tiempo. Es posible ajustar el sabor y aroma de las frituras mediante la adición de aromatizantes y saborizantes en los procesos posteriores a la extrusión (Guy, 2002).

b) Modificación de la textura

Como ya se ha mencionado, cuando las materias primas que contienen almidón se someten a procesos de extrusión, obtenemos productos en los cuales se forman burbujas de aire dentro del extrudido finamente texturizado.

La adición de un agente leudante o esponjante en la formulación, aumenta la formación de burbujas de aire en la estructura formada por almidón. Las sales inorgánicas tienen el efecto más potente para formar dichas burbujas (Guy, 2002).

c) Moldeado y cortado de las frituras

La forma de una fritura, la determina el dado utilizado durante la extrusión, así como la acción de corte y velocidad de las cuchillas.

En el mercado han aparecido algunas formas nuevas de los productos, que se basan en la aplicación de nuevas tecnologías de cortado. Así, han aparecido formas tridimensionales, por ejemplo de animales bien definidos (Guy, 2002).

1.3.3 PRODUCTOS SIMILARES

Últimamente, han aparecido muchas patentes con nuevas ideas de productos extruidos, haciendo uso de nuevas piezas de equipo o la utilización de los mismos en nuevas combinaciones de materias primas. Las principales direcciones que se han tomado en el mercado de botanas no han cambiado mucho, pero se han tomado algunas influencias de los cambios generales del mercado de alimentos y otros de los medios de comunicación.

La venta de botanas en el mercado, han conducido a mejoras en la calidad de consumo con respecto a la textura sensorial y el aroma. Por lo tanto, las formulaciones y las condiciones de proceso se han cambiado para aumentar la variedad de productos y la crujencia que presentan, así como reducir su densidad y cohesividad (Guy, 2002).

Los productos que predominan actualmente en el mercado se muestran en el Cuadro 1.7 y en la Figura 1.15

Cuadro 1.7 Productos predominantes en el mercado

PRODUCTO	PRESENTACIÓN
Papas fritas	Hojuelas, a la francesa, diversas formas
Plátano frito	Rebanadas
Maíz frito	Extruidos, diversas formas
Trigo frito	Extruidos, diversas formas
Maíz expandido	Extruidos, diversas formas
Cacahuete	Salado, recubrimiento

(www.acta.org.co)



Figura 1.15. Botanas en el mercado actual

(www.acta.org.co)

Se ha explorado la adición de proteínas y materiales fibrosos a las botanas en niveles de 20 – 30% para mejorar tanto la textura como las cualidades nutritivas de las botanas. Estos ingredientes o las formulaciones requieren de modificaciones para adecuarlos a los procesos, cuando se superan las dificultades menores, los productos son de una calidad más alta para el mercado (Guy, 2002).

Un producto interesante que ha sido elaborado, fue hecho a partir de harina de chícharo que, contenía los tres componentes necesarios para una buena textura de la botana, almidón, proteína y fibra. Esta materia prima forma ciertas botanas excelentes con un atractivo aroma a chícharo (Guy, 2002).

Otros productos novedosos son: frituras de papa con trigo y maíz, galletas de frijol, hojuelas fritas de apio, frituras de maíz enriquecidos con fibra dietética y carotenoides de la harina de zanahoria, todos éstos, procesados por extrusión. (Pacheco, et. al., 2000; Wang, 2001).

1.4 ANÁLISIS SENSORIAL

La selección de los alimentos en el mercado, se basa en la calidad del producto que es un concepto muy complejo en el que intervienen distintos aspectos como la aceptación de los consumidores y la opinión de los expertos, en las que influyen mucho las características organolépticas.

El análisis sensorial es un conjunto de técnicas de medida y evaluación de determinadas propiedades de los alimentos, a través de uno o más de los órganos de los sentidos. De tal manera, es necesario conocer la importancia que tiene para el investigador disponer de sistemas y herramientas que le permitan conocer y valorar las cualidades organolépticas de los productos que elabora y la repercusión de los posibles cambios en el proceso o en la formulación puedan tener en las cualidades finales, para adaptarse a los gustos del consumidor (Sancho et al., 1999).

Las investigaciones sobre la opinión del consumidor, en base al grado de aceptación del producto, las diferencias entre los productos propios y los de la competencia, la evolución del gusto en los grupos sociales, etc., sólo pueden llevarse a cabo sensorialmente.

Los atributos primarios de los alimentos que integran la calidad sensorial son:

- Aspecto (tamaño, color, forma, etc)
- Sabor (aroma, gusto)
- Textura

Para poder evaluar sensorialmente estos atributos, se recurre a la degustación, que es probar un alimento con la intención de valorar su calidad organoléptica global. El degustador, también conocido como juez, es una persona seleccionada y entrenada para valorar sensorialmente un alimento según unos modelos preestablecidos.

En la industria de alimentos los datos suministrados por el análisis sensorial se utilizan para tomar decisiones tanto técnicas como comerciales (Sancho et al., 1999).

1.4.1 CONDICIONES DE PRUEBA

La evaluación sensorial es efectuada por seres humanos, los cuales tienen un gran número de estímulos y reaccionan de manera diferente a cada uno de ellos, cuando se llevan a cabo las pruebas de análisis sensorial puede haber interferencia de esas reacciones. Por ello, es necesario considerar varios aspectos con el fin de evitar dicha interferencia para que los resultados de las pruebas sensoriales sean válidos. Debe evitarse o minimizarse la influencia de los siguientes factores:

a) Error de expectación

Los jueces no deben recibir información acerca de la prueba antes de realizarla ya que esto podría afectar los resultados. Las claves asignadas a las muestras deben ser de tal forma que no hagan al juez formarse una idea acerca de las características de las mismas (Anzaldúa, 1994).

b) Error de estímulo

Al desear contestar correctamente el cuestionario, el juez puede verse influenciado por características sin importancia del producto. Si está realizando una prueba de diferenciación, puede ponerse a considerar indicios en alguna diferencia aparente de la muestra, tal como el tamaño, color, etc., por ello es necesario uniformizar las muestras lo más posible en cuanto a su aspecto externo para evitar este tipo de interferencia con las respuestas de los jueces (Anzaldúa, 1994).

c) Error lógico

Este tipo de error está muy relacionado con lo anterior, y consiste en que el juez derive conclusiones porque le parece que alguna característica del producto está lógicamente asociada con otra propiedad (Anzaldúa, 1994).

d) Efecto de halo

Este efecto se presenta cuando se trata de evaluar más de una propiedad en una misma muestra. El juez asigna la calificación a la propiedad más resaltante de la muestra y después califica a los otros atributos con ± 1 punto de diferencia. Por lo tanto, sólo se debe evaluar un atributo sensorial a la vez (Anzaldúa, 1994).

e) Efecto de la sugestión

Si el juez mira a los otros jueces, las expresiones de los rostros de éstos pueden afectar sus respuestas. Se recomienda hacer las pruebas individualmente (Anzaldúa, 1994).

f) Motivación

Las pruebas deben estar bien planteadas y se deben realizar en forma eficiente, ya que la desorganización puede provocar que los jueces dejen de tener interés en realizar las evaluaciones afectando los resultados (Anzaldúa, 1994).

g) Efecto de contraste

Cuando los jueces prueban una muestra desagradable después de una que les gusta, esto puede hacer que califiquen a la segunda más severamente de lo que ésta se merece; y viceversa, al probar una muestra buena después de una desagradable, pueden asignar calificaciones demasiado generosas a la segunda muestra. Por ello, es necesario presentar las muestras en un orden completamente aleatorio, con el fin de eliminar o compensar este efecto (Anzaldúa, 1994).

h) Posición

En algunas pruebas se ha observado que la posición en que se colocan las muestras puede tener un efecto sobre las respuestas de los jueces.

Todos estos factores deben ser tomados en cuenta tanto al planear y diseñar las pruebas como al elegir el lugar de prueba y otras condiciones de los experimentos (Anzaldúa, 1994).

1.4.2 PRUEBAS SENSORIALES

El análisis sensorial de los alimentos se lleva a cabo de acuerdo con diferentes pruebas, según sea la finalidad para la que se efectúe. Existen tres tipos principales de pruebas: las pruebas afectivas, discriminativas y descriptivas (Anzaldúa, 1994).

PRUEBAS AFECTIVAS

Estas pruebas son aquellas en las cuales el juez expresa su reacción subjetiva ante el producto, indicando si le gusta o le disgusta, si lo acepta o lo rechaza o si lo prefiere a otro. Estas pruebas son las que presentan mayor variabilidad en los resultados, ya que se trata de apreciaciones completamente personales. Es necesario determinar lo que se desea evaluar, como por ejemplo, conocer la preferencia o grado de satisfacción o conocer cuál es la aceptación que tiene el producto entre los consumidores, ya que en este último caso los cuestionarios deberán contener no sólo preguntas acerca de la apreciación sensorial del alimento, sino también otras destinadas a conocer si la persona desearía o no adquirir el producto. *“Las pruebas afectivas pueden clasificarse en tres tipos: pruebas de preferencia, pruebas de grado de satisfacción y pruebas de aceptación”* (Pedrero et al., 1989).

a) Pruebas de preferencia

La prueba es muy sencilla y consiste solamente en pedirle al juez que diga cuál de las dos muestras prefiere. La información que puede obtenerse con esta prueba es muy limitada, pero tiene la ventaja de que se lleva a cabo muy rápidamente. Cuando se necesita conocer más acerca de la impresión que un producto causa en los jueces, es más recomendable utilizar otro tipo de prueba afectiva (Anzaldúa, 1994).

b) Pruebas de satisfacción

Cuando se deben evaluar más de dos muestras a la vez, puede recurrirse a las pruebas de medición del grado de satisfacción. Estas pruebas manejan más objetivamente datos tan subjetivos como son las respuestas de los jueces acerca de cuanto les gusta o les disgusta un alimento. Para llevar a cabo estas pruebas se utilizan escalas hedónicas, las cuales pueden ser verbales o gráficas.

Escalas hedónicas verbales.- Estas escalas son las que presentan a los jueces una descripción verbal de la sensación que les produce la muestra. Deben contener siempre un número impar de puntos, que se debe incluir siempre el punto central *ni me gusta ni me disgusta*. A este punto se le asigna generalmente la calificación de cero. A los puntos de la escala por encima de este valor se les otorgan valores numéricos positivos, indicando que las muestras son agradables; en cambio, a los puntos por abajo del valor de indiferencia se les asignan valores negativos, correspondiendo a calificaciones de disgusto.

Escalas hedónicas gráficas.- Cuando hay dificultad para describir puntos de una escala hedónica debido al tamaño de ésta, o cuando los jueces tienen limitaciones para comprender las diferencias entre los términos mencionados en la escala, pueden utilizarse escalas gráficas. La desventaja de estas escalas, es que en ocasiones, no son tomadas en serio por los jueces, ya que les parecen un tanto infantiles.

Al utilizar escalas hedónicas, ya sea gráficas o verbales, se logra hacer objetivas las respuestas de los jueces acerca de las sensaciones provocadas por un producto alimenticio (Anzaldúa, 1994).

c) Pruebas de aceptación

El deseo de una persona para adquirir un producto es lo que se llama aceptación, y no sólo depende de la impresión agradable o desagradable que el juez reciba al probar un alimento sino también de aspectos culturales, socioeconómicos, de hábitos, etc.

En esta prueba lo que se pretende es dictaminar el grado de aceptación que tendrá un producto, siendo a veces deseable conocer la reacción subjetiva o impulsiva del consumidor (Anzaldúa, 1994).

PRUEBAS DISCRIMINATIVAS

Las pruebas discriminativas son aquéllas en las cuales no se requiere conocer la sensación subjetiva que produce un alimento a una persona, sino que se desea establecer si hay diferencia o no entre dos o más muestras y en algunos casos la magnitud o importancia de esa diferencia. Las pruebas discriminativas más empleadas son: pruebas de comparación apareada simple, prueba triangular, prueba dúo-trío, prueba de comparaciones apareadas de Scheffé, prueba de comparaciones múltiples, prueba de ordenamiento (Anzaldúa, 1994).

a) Pruebas de comparación apareada simple

En esta prueba se presentan solamente dos muestras al juez y se le pide que las compare en cuanto a alguna característica sensorial (olor, dureza, dulzor), e indique cuál de las dos muestras tiene mayor intensidad de dicha propiedad. Esta prueba tiene la ventaja de que es muy sencilla, el juez no requiere de muchas instrucciones y no tiene que probar muchas muestras (Anzaldúa, 1994).

b) Prueba triangular

En esta prueba se le presentan tres muestras al juez, de las cuales dos son iguales, y se le pide que identifique la muestra que es diferente. La eficiencia de esta prueba es mayor que la de las pruebas de comparación apareada simple. Sucede muy frecuentemente en la industria de alimentos que haya problemas en una compañía para conseguir por ejemplo el saborizante que se utiliza para un producto, ya sea por problemas del proveedor o por aumentos en el precio, etc. (Anzaldúa, 1994).

c) Prueba dúo-trío

En esta prueba se le presentan tres muestras al juez, de las cuales una está marcada como “R” (muestra de referencia) y las otras dos están codificadas. Se le dice al juez que una de las otras dos muestras es idéntica a R y la otra es diferente, y se le pide que identifique cuál es la muestra diferente. Generalmente, la prueba dúo-trío se utiliza para reducir el número de muestras a probar, por ejemplo cuando el sabor de las muestras es muy fuerte o picante, o cuando el alimento tiene una textura desagradable (Anzaldúa, 1994).

d) Prueba de comparaciones apareadas de Scheffé

En esta prueba se comparan varias muestras en parejas, y se analiza la magnitud de las diferencias existentes entre ellas. Esta prueba casi no se aplica en la industria de alimentos.

e) Prueba de comparaciones múltiples

Cuando se tiene que analizar un número grande de muestras, en vez de llevar a cabo muchas comparaciones apareadas o pruebas triangulares, es posible efectuar la comparación simultánea de varias muestras, refiriéndolas a un estándar o patrón. Este método resulta muy útil para evaluar el efecto de variaciones en una formulación, la sustitución de ingredientes, esto también puede analizarse mediante la prueba triangular, cuando hay que evaluar pocos tratamientos, así como la influencia del material de empaque, las condiciones de proceso, etc. (Anzaldúa, 1994).

f) Prueba de ordenamiento

En esta prueba se le dan a los jueces tres o más muestras que difieren de alguna propiedad, y se les pide que las pongan en orden creciente o decreciente de dicha propiedad. Esta prueba tiene la ventaja de ser rápida y de permitir la evaluación de un número de muestras mayor que en las otras pruebas, aunque su principal limitación es que la evaluación realizada es únicamente válida para el conjunto de muestras estudiado, y no pueden

compararse los resultados de un conjunto con los de otro. Sin embargo, su aplicación en la industria de alimentos es muy común dada su sencillez, facilidad y rapidez (Anzaldúa, 1994).

PRUEBAS DESCRIPTIVAS

En las pruebas descriptivas se trata de definir las propiedades del alimento y medirlas de la manera más objetiva posible. Aquí es importante conocer cuál es la magnitud o intensidad de los atributos del alimento, es por ello que se necesitan jueces semi-entrenados para realizarlas, de tal manera que estas pruebas proporcionan mayor información acerca del producto y su interpretación de resultados es ligeramente más laboriosa que los otros tipos de pruebas (Anzaldúa, 1994).

Las pruebas descriptivas más empleadas son: calificación con escalas no estructuradas, calificación con escalas de intervalo, calificación con escalas estándar, calificación proporcional, medición de atributos sensoriales con relación al tiempo, determinación de perfiles sensoriales y relaciones psicofísicas.

a) Calificación con escalas no estructuradas

En esta prueba sólo se cuenta con puntos extremos, es decir, un mínimo y un máximo y el juez debe expresar su apreciación de la intensidad de un atributo de un alimento marcando sobre una línea comprendida entre ambos extremos. En este método no hay necesidad de describir las características de los valores intermedios del atributo, sino solamente establecer el mínimo y el máximo. Sin embargo, la asignación de la calificación dada por el juez queda completamente a criterio suyo, lo cual confiere un cierto grado de subjetividad a los resultados (Anzaldúa, 1994).

b) Calificación con escalas de intervalo

Esta prueba es muy similar a la calificación con escala no estructurada, su diferencia es que en las escalas de intervalo, no se tienen sólo los puntos extremos, sino que contiene uno o más puntos intermedios. La desventaja de esta prueba, es la dificultad para lograr dar una descripción adecuada de los puntos intermedios (Anzaldúa, 1994).

c) Calificación con escalas estándar

Éstas son escalas de intervalo cuyos puntos, en vez de contener descripciones (como ligeramente duro o dulce) constan de alimentos que representan el grado de intensidad del atributo que está siendo medido. La ventaja es que se reduce muy significativamente la necesidad de entrenar a los jueces, ya que éstos no necesitan considerar la descripción de cada grado de la escala, sino solamente comparar la muestra con los estándares (Anzaldúa, 1994).

d) Calificación proporcional

En esta prueba, las muestras se califican en relación a una muestra de referencia o un estándar al cual se le asigna un valor arbitrario. La relación entre los diversos puntos es proporcional a la magnitud de la diferencia en la propiedad medida, por lo que el atributo es considerado más objetivamente y por lo general, se obtendrán mejores correlaciones con medidas físicas o químicas. Para llevar a cabo esta prueba, se presenta el estándar a los jueces, el cual es una muestra con un valor conocido del atributo que se evalúa. Posteriormente, se le pide a los jueces que le asignen un valor al atributo para la muestra de referencia, y después, que califiquen las muestras en comparación con el estándar, asignándoles valores numéricos que sean múltiplos de la calificación arbitraria asignada al estándar. La desventaja de esta prueba es que pone a pensar demasiado a los jueces, lo cual contribuye a provocar cansancio antes de otras pruebas (Anzaldúa, 1994).

e) Medición de atributos sensoriales con relación al tiempo

Existen algunos atributos que requieren de algún cierto tiempo después de probar el alimento para que se manifiesten, a esto se le llama percepción retardada. Otros atributos presentan el fenómeno de persistencia, que significa que aunque la muestra ya haya sido consumida, la sensación del atributo en cuestión aún sigue siendo percibida. En este tipo de estudios no sólo se desea conocer la intensidad de un atributo, sino además su variación a lo largo del tiempo. Para realizar estas pruebas se consideró necesario recurrir al uso de instrumentos o aparatos que permitieran efectuar la medición sin distraer a los jueces en forma más sencilla y con menor variabilidad. Este tipo de aparatos consisten en una resistencia eléctrica variable, que puede ser controlada por medio de una perilla o botón, conectada a un graficador. Se le pide al juez que pruebe la muestra estándar y que gire el botón entre los límites máximo y mínimo según considere que corresponda la intensidad del atributo que se esté evaluando. Se le dice que después pruebe las muestras y las califique moviendo el botón en forma similar, estimando la intensidad de la propiedad con referencia al estándar y moviendo el botón en forma proporcional a su primera estimación. En el graficador se obtiene una figura que muestra la variación de la intensidad con el tiempo. Se le indica al juez que una vez que haya expresado su apreciación de la intensidad, regrese el botón al mínimo en la forma como considere que desaparece la sensación, ya sea de inmediato o gradualmente. En caso de que la desaparición sea gradual, se obtiene una cierta porción de la gráfica después del máximo, cuya amplitud se denomina persistencia (Anzaldúa, 1994).

f) Determinación de perfiles sensoriales

Algunas propiedades sensoriales no pueden ser descritas como un solo atributo, sino como una combinación o agrupación de varias características que conforman el atributo en cuestión, como por ejemplo atributo de sabor, éste consiste en la combinación de dulzor, acidez, astringencia, salado, etc. Sólo la combinación de estos factores podría describir adecuadamente a una cierta muestra. Por ello, se desarrollaron técnicas descriptivas. Una de estas técnicas son los análisis de perfiles sensoriales que consisten en una descripción

minuciosa de todas las características que conforman el sabor y la textura, seguida de una medición de cada una de ellas, y los resultados se representan en forma gráfica para obtener una idea cualitativa y cuantitativa del atributo sensorial bajo estudio (Anzaldúa, 1994).

g) Relaciones Psicofísicas

Una relación psicofísica es una ecuación que establece una interdependencia entre evaluaciones sensoriales y mediciones físicas para un alimento. El tipo más común de relación psicofísica es la ecuación obtenida por regresión a partir de parejas de datos sensoriales y físicos, sucede muy frecuentemente que las mejores correlaciones se encuentran en representaciones semi-logarítmicas de los datos, ya que la relación entre medidas sensoriales y datos físicos o instrumentales son del tipo $S=k \cdot I^n$. Donde: S=calificación sensorial; I=medida instrumental o física; y k y n son constantes. Cuando se sospecha que pudiera existir una relación entre un atributo sensorial y algún parámetro físico o fisicoquímico, lo primero que se debe hacer es graficar los pares de datos para obtener un diagrama de dispersión y observar la tendencia existente. Una relación psicofísica adecuada debe tener una pendiente bien definida, a un ángulo que pueda ser distinguido con facilidad. Las relaciones psicofísicas no se limitan a las propiedades físicas o mecánicas de los alimentos, sino que incluyen a mediciones de propiedades fisicoquímicas y contenido de componentes químicos, a lo cual puede llamársele relaciones psicoquímicas (Anzaldúa, 1994).

1.4.3 TIPOS DE JUECES

El número de jueces necesarios para que una prueba sensorial sea válida depende del tipo de juez que vaya a ser empleado. Existen cuatro tipos de jueces: el juez experto, el juez entrenado, el juez semi-entrenado o de laboratorio y el juez consumidor.

a) Juez Experto

Es una persona que tiene gran experiencia en probar un determinado tipo de alimento, posee una gran sensibilidad para percibir las diferencias entre muestras y para distinguir y evaluar las características del alimento. Su habilidad, experiencia y criterio son tales que en las pruebas que efectúan sólo es necesario contar con su respuesta. El entrenamiento de los jueces expertos toma mucho tiempo y consiste principalmente, en que efectúen pruebas periódicamente para determinar si ha aumentado su habilidad de percepción o si al menos sigue siendo igual, así como pruebas que aprendan a identificar y distinguir nuevas marcas o variedades, según sea el producto y más pruebas para agudizar aún más los sentidos del gusto y el olfato (Anzaldúa, 1994).

b) Juez Entrenado

Es una persona que posee bastante habilidad para la detección de alguna propiedad sensorial o algún sabor o textura en particular, que ha recibido cierta enseñanza teórica y práctica acerca de la evaluación sensorial, y que sabe lo que es exactamente lo que se desea medir en una prueba. Suele realizar pruebas sensoriales con cierta periodicidad. El juez entrenado forma parte de un grupo de jueces, el cual lleva a cabo pruebas del mismo producto. Cuando se llevan a cabo pruebas sensoriales con este tipo de jueces, el número requerido de participantes debe ser al menos de 7, y como máximo 15. Los jueces entrenados se emplean principalmente para pruebas sensoriales descriptivas o para pruebas discriminativas complejas, como lo serían las comparaciones múltiples o las pruebas de ordenamiento mientras que para pruebas más sencillas no es necesario contar con este tipo de juez. Los jueces entrenados deben abstenerse, como los jueces expertos, de hábitos que alteren su capacidad de percepción del gusto y el olfato como son el tabaco, alcohol, drogas, así como el consumo de alimentos muy condimentados o muy picantes; excepto si van a trabajar exclusivamente en pruebas de evaluación de propiedades de textura (Anzaldúa, 1994).

c) Juez Semi-Entrenado o de Laboratorio

Se trata de personas que han recibido un entrenamiento teórico similar al de los jueces entrenados, que realizan pruebas sensoriales con frecuencia y poseen suficiente habilidad, pero que generalmente sólo participan en pruebas discriminativas sencillas, las cuales no requieren de una definición muy precisa de términos o escalas. Nunca se deben emplear jueces entrenados o semi-entrenados para pruebas de aceptación. Se necesita emplear jueces semi-entrenados solamente para diferenciar entre muestras y no para medir propiedades o usar escalas. Las pruebas con estos jueces deben efectuarse con un mínimo de 10 jueces y un máximo de 20, con tres o cuatro repeticiones por cada juez para cada muestra (Anzaldúa, 1994).

d) Juez Consumidor

Se trata de personas que no tienen nada que ver con las pruebas, ni trabajan con alimentos como investigadores, ni han efectuado evaluaciones sensoriales periódicas. Por lo general son personas tomadas al azar, ya sea en la calle, o en una tienda, escuela, etc. Los jueces de este tipo deben emplearse solamente para pruebas afectivas y nunca para discriminativas o descriptivas. Es importante escoger jueces que sean los consumidores habituales del producto a probar, o en el caso de productos totalmente nuevos, que sean los consumidores potenciales de dicho alimento. El número mínimo de jueces tipo consumidor para que las pruebas sean válidas son 30 (Anzaldúa, 1994).

2 DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.1 OBJETIVOS

2.1.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar frituras a base de diferentes proporciones de harina de maíz – harina de frijol y harina de trigo – harina de frijol, para aumentar el valor agregado al frijol, evaluándolas y seleccionando la de mayor aceptación de los consumidores a través de un análisis sensorial.

2.1.2 OBJETIVO PARTICULAR 1

Utilizar la tecnología necesaria para obtener frituras con las características adecuadas para ser consumidas, estableciendo las diferentes formulaciones para la elaboración de frituras de frijol, con ayuda del programa Design Expert ®.

2.1.3 OBJETIVO PARTICULAR 2

Evaluar el porcentaje de expansión y de absorción de aceite durante el freído, así como el contenido de humedad, densidad y color que presentan las frituras durante su proceso de elaboración, determinando el efecto de la proporción de frijol en las diferentes formulaciones.

2.1.4 OBJETIVO PARTICULAR 3

Evaluar a través de un análisis sensorial las diferentes formulaciones de frituras de frijol, mediante la ayuda de 30 jueces consumidores, para elegir la mejor de acuerdo con la aceptación y valoración sensorial del consumidor.

2.2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.2.1 MATERIALES

Las materias primas más importantes, que se utilizaron en el presente estudio son: harina de maíz nixtamalizado, harina de trigo y harina de frijol, las cuales se definen en el Reglamento de Control Sanitario de Productos y Servicios (En base a la Fracción I del Artículo 89 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos) como:

Harina de maíz nixtamalizado; producto deshidratado que se obtiene de la molienda de los granos de maíz nixtamalizado.

Harina de trigo; producto obtenido de la molienda del grano de trigo maduro (*Triticum L*), entero o quebrado, limpio, sano y seco, en el que se elimina gran parte del salvado y germen hasta obtener una harina de finura adecuada.

Harina de frijol; producto precocido, machacado, deshidratado y molido, obtenido de las semillas de la planta *Phaseolus vulgaris*.

En el Cuadro 2.1 se listan las materias primas, indicando la marca y empresa del proveedor, utilizadas para la elaboración de las frituras.

Cuadro 2.1 Materia prima utilizada en la elaboración de las frituras de estudio.

	MATERIA PRIMA	MARCA	EMPRESA
F	Frijol deshidratado	Dos por tres	High Protein de México S.A.
R	Harina de maíz nixtamalizado	Maseca	GRUMA, S.A. de C.V.
I	Harina de trigo	La Moderna	Harina la Moderna S.A. de C.V.
T	Agua	Electropura	Electropura S. de R.L de C.V.
U	Almidón pregelatinizado de	Baka Snak	Aranal Comercial S.A. de C.V.
R	maíz céreo		
A	Agente leudante	Royal	Kraft S. de R.L. de C.V.
S	Cloruro de sodio	La Fina	Sales del Istmo S.A. de C.V.
	Colorante	RojoAllura (Rojo 40)	Makymat S. A. de C.V.
	Colorante	Tartrazina (Amarillo 5)	Makymat S. A. de C.V.

Continuación Cuadro 2.1

S			
A	Cloruro de sodio	La Fina	Sales del Istmo S.A de C.V.
B	Cebolla en polvo	Mc Cormick	Herdez S.A. de C.V.
O	Ajo en polvo	La Surtidora	Especias y Condimentos de México
R			S.A. de C.V.
I	Maltodextrina	Amidex 10	Arancia C.P.C. S.A. de C.V.
Z	Maltodextrina	Amidex 20	Arancia C.P.C. S.A. de C.V.
A	Chipotle en polvo	San Lazaro	Digrans, S.A.
N	Ácido cítrico Anhidro	Mexama	Safe Iberoamericana S.A. de C.V.
T			
E			

En el Cuadro 2.2 se muestran los instrumentos y el equipo empleado para la preparación de las frituras.

Cuadro 2.2. Lista de instrumentos y equipo para la elaboración de las frituras de estudio

EQUIPO	
Balanza digital	Ohaus, Precision Plus
Balanza de barra triple	Rohaus, 4066
Mezcladora	Kitchen Aid Inc, K5SS
Horno de convección libre	Didacta Italia, TA7/D
Extrusor	Didacta Italia, TA6/D
Secador	Thelco Mechanical C. O.
Freidora	Maxi-Matic DF-666
Termobalanza digital	AND AD-4714A
Colorímetro	Minolta CR 300
Parrilla eléctrica	Corning PC-351

INSTRUMENTOS	
Termómetro	Brennan (-10 - 260)
Vernier digital	Mitutoyo Absolute Digimatic
Picnómetro	Pirex (40 mL)

2.2.2 MÉTODOS

Elaboración de las frituras

Actividad 1.1 Diseño de formulaciones

Para la obtención de las frituras, se realizó una etapa previa tomando como punto de inicio la formulación, en base seca, obtenida en el proyecto; “Desarrollo de dos masas extrudidas de mezclas de harina de trigo-harina de papa y harina de maíz-harina de papa, listas para freír”, realizado en el Laboratorio de Propiedades Reológicas y Funcionales de los Alimentos, proyecto desarrollado para la empresa US Potato Board (Grupo PM S.A. de C.V.). La formulación en base seca seleccionada para este estudio, se muestra en el Cuadro 2.3.

Cuadro 2.3 Formulación en base seca

INGREDIENTE	%
Mezcla de cereal con frijol	65.38
Almidón	31.54
Agente Leudante	1.54
Cloruro de Sodio	1.54

Se propuso trabajar con diferentes formulaciones, en donde se variaron las proporciones de las mezclas de maíz o trigo con frijol, manteniendo constantes los ingredientes restantes.

Se utilizó el programa DESIGN EXPERT ® para obtener diferentes formulaciones, el cual aplicó un diseño multifactorial. Este tipo de diseño se utiliza en experimentos que incluyen varios factores cuando se requiere estudiar el efecto conjunto de éstos sobre una respuesta, proporciona el menor número de corridas con las que se pueden estudiar (Montgomery, 1991). En este caso, se requirió determinar el efecto de la proporción de harina de maíz o trigo, con harina de frijol sobre las pruebas de control (contenido de humedad, absorción de aceite, porcentaje de expansión y densidad) así como, sobre las pruebas de análisis sensorial (satisfacción, preferencia y aceptación). El programa arrojó, las siguientes proporciones (Cuadro 2.4).

Cuadro 2.4 Proporciones de las mezclas de harinas de estudio

MEZCLA 1			MEZCLA 2		
Harina de frijol - Harina de maíz			Harina de frijol – Harina de trigo		
%		%	%		%
0	-	100	0	-	100
25	-	75	25	-	75
50	-	50	50	-	50
75	-	25	75	-	25
100	-	0	100	-	0
50	-	50	50	-	50
0	-	100	0	-	100
100	-	0	100	-	0

Actividad 1.2 Proceso de elaboración de las frituras

Las frituras se elaboraron con la formulación en base seca (Cuadro 2.3) utilizando todas las mezclas de proporciones harina de maíz – harina de frijol y harina de trigo – harina de frijol mostradas en el Cuadro 2.4

Descripción del proceso

El proceso de elaboración de las frituras, se inició con el acondicionamiento de la formulación, debido a que el equipo utilizado para extrudir, no tiene control de temperatura, ni de presión, de igual manera, no se puede inyectar agua caliente al producto, por esto, se requiere de una etapa de pre-acondicionamiento, integrada por la operación de mezclado en seco, la adición de agua durante el mezclado, y por el tratamiento térmico previo a la extrusión, importantes y necesarias para que se lleve a cabo la gelatinización del almidón.

Se mezclaron todos los ingredientes secos, incluidos los colorantes: Amarillo 5 (40 ppm) y Rojo 40 (10 ppm), (NOM-187-SSA1/SCFI-2002) en la mezcladora orbital Kitchen Aid.

Después de 15 minutos de mezclado en seco, se le adicionó agua por medio de aspersión a 70°C, dependiendo de la formulación se asperjó agua de un 28.9% hasta un 32.85% de la mezcla en base seca, hasta alcanzar, aglomerados de un diámetro de 2 a 7 mm.

Para el tratamiento térmico, el granulado se colocó en charolas cubiertas de papel aluminio, y se introdujeron en el horno de convección libre a la temperatura de 120°C durante 30 minutos, para lograr la gelatinización de los gránulos de almidón y la desnaturalización de las proteínas (Figura 2.3).

Después del tratamiento térmico, se llevó a cabo la extrusión en un extrusor de tornillo único, en donde el granulado se comprime hasta la obtención de una masa semisólida expandida, este tipo de extrusor no controla la presión, ni la temperatura, se realiza una segunda extrusión con el fin de que el almidón presente en el producto ya extrudido, expanda un poco más al disminuir su contenido de humedad. Esta segunda extrusión, le proporciona al producto forma de láminas o cintas aproximadamente de 1 mm de espesor, que se cortan en formas geométricas simples, como son los rectángulos (Figura 2.4, 2.5, 2.6 y 2.7).

El secado de la masa previamente extrudida, se realizó en el horno de convección forzada, durante 2 horas a 70°C, hasta alcanzar una humedad aproximadamente del 10% (Figura 2.8 y 2.9).

Durante el freído, el producto seco se sumergió en aceite vegetal esperando su expansión, esto tomó de 18 a 25 segundos a la temperatura de 180 °C dependiendo de la formulación (Figura 2.10 y 2.11).

Para finalizar el proceso de elaboración de las frituras, se le adicionó el saborizante en una relación del 3% del peso del producto, en forma de espolvoreado.

Actividad 1.3 Determinación de las condiciones del proceso

En esta etapa se fijaron las condiciones de proceso, variando la temperatura, el tiempo del tratamiento térmico, el porcentaje de agua adicionada y de agente leudante; así como la temperatura y el tiempo de secado. Las condiciones durante el proceso de extrusión se mantuvieron constantes, debido a que el equipo (extrusor Didacta Italia TA7/D) no puede controlar ni presión ni temperatura. Finalmente, se evaluaron los extrudidos en cuanto a grado de expansión, sabor y textura, determinando las mejores condiciones de proceso. En la Figura 2.1 se muestra el diagrama de bloques del proceso de elaboración, establecido para la obtención de las frituras de trigo o maíz con frijol. Asimismo, las etapas del proceso de elaboración se muestran de la Figura 2.2 a la Figura 2.10.

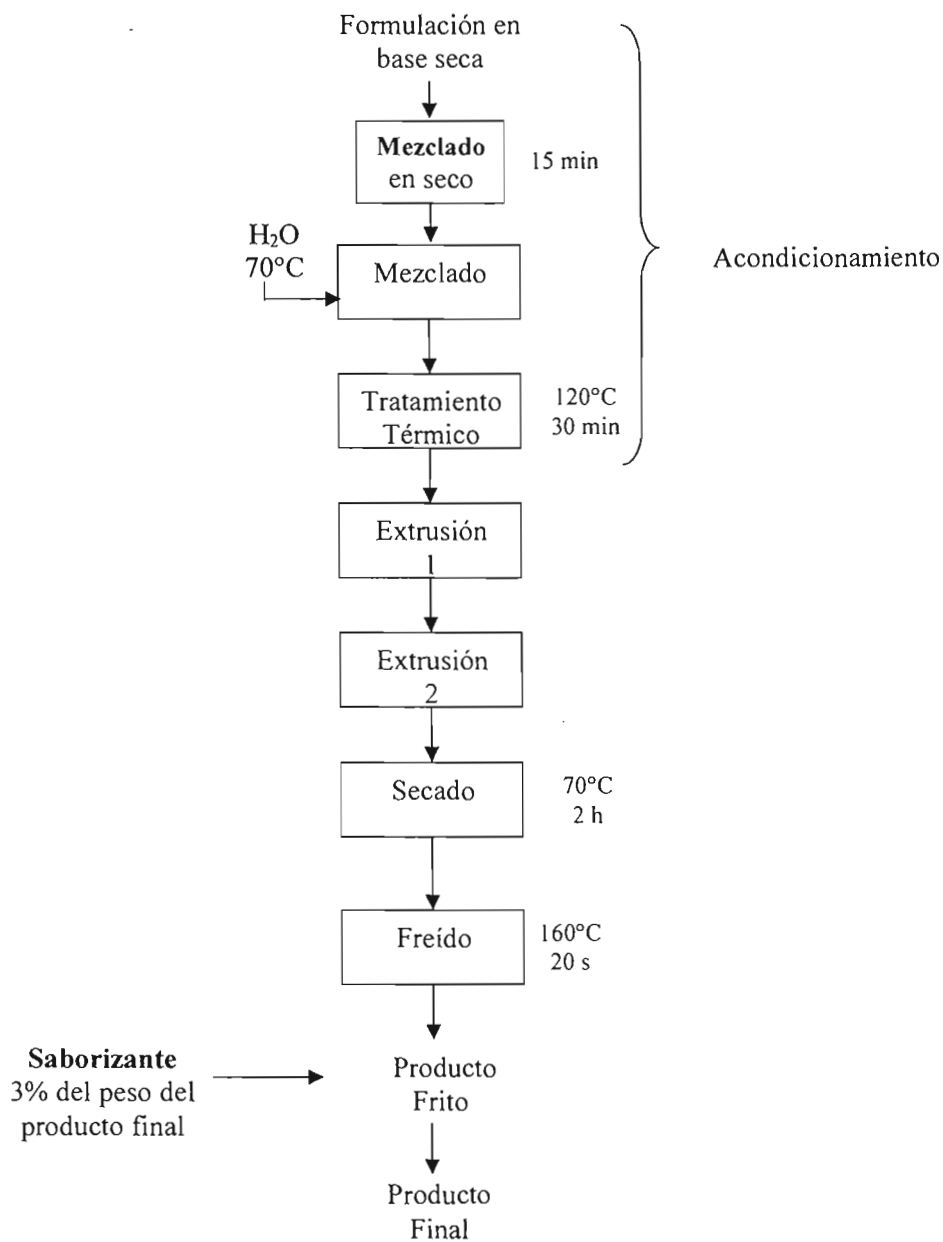


Figura 2.1 Diagrama de bloques del proceso de elaboración de frituras de frijol



Figura 2.2. Tratamiento Térmico del Proceso

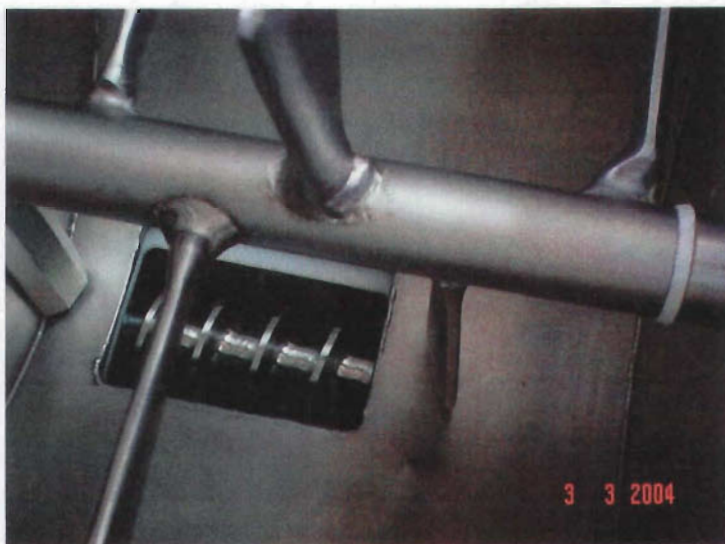


Figura 2.3. Extrusor Didacta Italia, TA6/D



Figura 2.4. Alimentación del granulado con tratamiento térmico al extrusor



Figura 2.5. Proceso de extrusión



Figura 2.6. Obtención del producto extruido en forma de placas

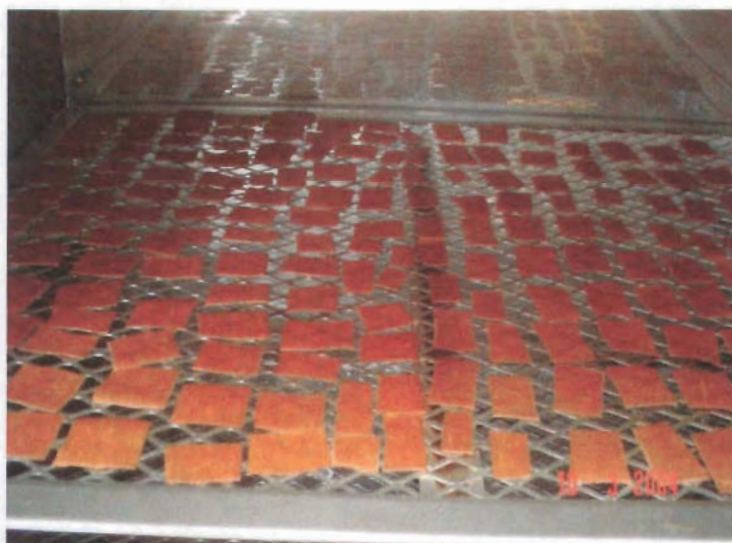


Figura 2.7. Secado



Figura 2.8. Producto seco



Figura 2.9. Freído



Figura 2.10. Producto Frito

Determinación de parámetros de control

Actividad 2.1 Determinación del contenido de humedad

El contenido de humedad, se determinó con la termobalanza en cada etapa del proceso de elaboración, desde el granulado hasta el producto final. Los datos de humedad se obtuvieron directamente con este equipo.

Actividad 2.2 Cálculo del porcentaje de expansión

El porcentaje de expansión, se calculó en base al aumento del área en el producto frito, se midió largo y ancho al producto, antes y después del freído. Posteriormente se hicieron cálculos sacando la diferencia de estas longitudes así como el porcentaje de las mismas.

$$\% \text{ Expansión} = \frac{((\text{Relación Largo x Ancho del producto frito} - \text{Relación Largo x Ancho del producto seco}) \times 100)}{\text{Peso del producto seco}}$$

Actividad 2.3 Cálculo del porcentaje de absorción de aceite

El porcentaje de absorción de aceite en el producto final, se calculó por medio de la diferencia de peso antes y después del freído, relacionándolo con la pérdida de humedad; es decir la diferencia de la pérdida de humedad y aumento de peso.

$$\% \text{ Aumento de peso} = \frac{((\text{Peso del producto frito} - \text{Peso del producto seco}) \times 100)}{\text{Peso del producto seco}}$$

$$\% \text{ Disminución de Humedad} = \frac{\text{Contenido de Humedad del producto seco} - \text{Contenido de Humedad del producto frito}}{\text{Peso del producto seco}}$$

$$\% \text{ Absorción} = \% \text{ Aumento de peso} - \% \text{ Disminución de Humedad}$$

Actividad 2.4 Cálculo de la densidad

La densidad del producto final, y de la masa extrudida, se determinaron indirectamente con la relación de masa y volumen del producto y el fluido desplazado, por medio de un picnómetro, multiplicado por la densidad del agua a 24°C (Alvarado y Aguilera, 2001; Lewis, 1993).

$$\text{Densidad relativa} = (P1 - P2) / (P2 - P3)$$

P1 = Peso del picnómetro con agua destilada + Peso del vidrio de reloj

P2 = Peso del picnómetro con agua destilada + Peso del vidrio de reloj + Muestra

P3 = Peso del picnómetro con agua destilada desplazada por la muestra + Peso del vidrio de reloj

Densidad absoluta = Densidad relativa x Densidad del agua a 24°C

Actividad 2.5 Determinación de color

La determinación de color, se realizó a la masa extrudida, al producto seco y al producto frito, con el colorímetro (Minolta CR 300), obteniendo resultados en coordenadas Yxy (Alvarado y Aguilera, 2001).

Nota: Las determinaciones de peso, área, densidad y color, se realizaron por quintuplicado, utilizando la media de estos datos para realizar el análisis de resultados.

Pruebas de análisis sensorial

Actividad 3.1 Elaboración de los cuestionarios para la evaluación sensorial

Se elaboró el formato de los cuestionarios para las pruebas de satisfacción (Anexo I), de preferencia y de aceptación (Anexo II). En éstas, el juez expresa su reacción subjetiva ante el producto, indicando si le gusta o le disgusta, si lo acepta o lo rechaza, o si lo prefiere a otro. Se inició con las pruebas afectivas de satisfacción, posteriormente de preferencia y por último de aceptación. La elección de los jueces, para esta evaluación correspondió a 30 consumidores potenciales de frituras de las instalaciones de la Facultad de Estudios Superiores-Cuautitlán, éstos dieron su opinión de las muestras, previamente preparadas y colocadas en recipientes iguales para evitar errores debido a las condiciones de prueba (Sancho et al., 1999)

Actividad 3.2 Pruebas de satisfacción

Las pruebas de satisfacción o pruebas hedónicas de nueve puntos, se utilizaron para detectar el nivel de agrado que varias muestras representan para cierto número de consumidores, es decir cuando probaron las muestras nos indicaron en el formato del

Anexo I, cuánto les gustó o les disgustó cada una de ellas. Se realizaron estas pruebas a 16 formulaciones diferentes, 8 para combinaciones de maíz-frijol y 8 para las combinaciones trigo-frijol, seleccionando la de mayor satisfacción de cada combinación, una de maíz-frijol y otra de trigo-frijol.

Los resultados se analizaron mediante el siguiente procedimiento:

La escala hedónica de 9 puntos, se convierte en numérica, según sea la respuesta del consumidor. Los datos se analizaron tabulando los jueces (filas) y formulaciones (columnas). A los resultados se les realizó un análisis de varianza (Ibáñez et al., 2001; Pedrero et al., 1989).

Actividad 3.3 Pruebas de preferencia y aceptación

La prueba de preferencia, se utilizó para conocer el agrado de ésta, de los jueces por una de las muestras. La prueba consistió en pedirle a los jueces que probaran y seleccionaran de dos muestras, la que más les gustó y llenaran el formato del Anexo II.

Las muestras correspondieron a dos productos diferentes (75% maíz-25% frijol y 25% trigo – 75% frijol), previamente seleccionadas con las pruebas hedónicas de 9 puntos o de satisfacción. El método estadístico que se aplicó para esta prueba es el análisis de ordenamiento por intervalos, el cual diferencia aquellas muestras, que son superiores o inferiores a otras muestras (Ibáñez et al., 2001).

También, se evaluaron las muestras en cuanto a su aceptación, esto se basó en el deseo de una persona para adquirir el producto, esto, no sólo depende de la impresión, agradable o desagradable, que el consumidor recibe al probar la muestra, sino también de aspectos culturales, socioeconómicos y los hábitos.

La muestra para esta prueba, se seleccionó con los resultados de la prueba de preferencia y se llenó el formato correspondiente a la prueba de aceptación del Anexo II. Se registró el número de personas que aceptaron una de las muestras, contra el número de rechazos, expresando estos números en porcentaje de aceptación que tuvo el producto. (Pedrero et al., 1989).

3 RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 PÉRDIDAS DE HUMEDAD DURANTE EL PROCESO DE ELABORACIÓN

Se determinó la humedad a las muestras, después de cada etapa del proceso de elaboración, a cada una de las formulaciones de frituras; es decir, al granulado, antes y después del tratamiento térmico, al producto seco y al producto frito después de la segunda extrusión. Los resultados obtenidos de las formulaciones maíz – frijol, se muestran en el Cuadro 3.1 y para las formulaciones de trigo – frijol, en el Cuadro 3.2.

La humedad final promedio de los productos obtenidos con maíz fue de 5.51%, mientras que para los de trigo fue de 7.96%.

Cuadro 3.1. Contenido de humedad del producto en todas las etapas del proceso de elaboración de frituras (maíz – frijol)

Etapa del proceso	Maíz	Frijol - Maíz	Frijol - Maíz	Frijol - Maíz	Frijol
	100%	25% - 75%	50% - 50%	75% - 25%	100%
Granulado	32.85	32	30.7	30.45	29.2
Granulado con tratamiento térmico	31.8	31.5	29.8	28	26.55
Extruido	28	30.9	25.2	24.6	22
Producto seco	9.65	7.7	8.65	11.7	11.05
Producto frito	5.15	4.5	5.9	7	5

Cuadro 3.2. Contenido de humedad del producto en todas las etapas del proceso de elaboración de frituras (trigo – frijol)

Etapa del proceso	Trigo	Frijol -Trigo	Frijol -Trigo	Frijol -Trigo	Frijol
	100%	25% - 75%	50% - 50%	75% - 25%	100%
Granulado	31	30.4	30	29.55	28.9
Granulado con tratamiento térmico	30.2	28.3	29.2	26.7	27
Extruido	27.75	24.8	24.9	23.1	21.4
Prod seco	11	11.2	12.6	12.9	12.35
Prod frito	7.5	7	9.75	8.6	6.95

En las Figuras 3.1 y 3.2, se muestra la pérdida del contenido de humedad durante cada etapa del proceso de elaboración de las frituras. El proceso inicia con porcentajes de humedad diferentes, esto debido a los ingredientes y a su proporción en las diferentes formulaciones, se formaron aglomerados menores de 7 mm de diámetro para no tener problemas de operación en la etapa de extrusión. El comportamiento de la pérdida del contenido de humedad durante el proceso de elaboración de las frituras, fue similar en todas las formulaciones, seguramente, debido a que las condiciones del proceso permanecieron constantes, utilizando tiempos y temperaturas iguales en cada una de las formulaciones.

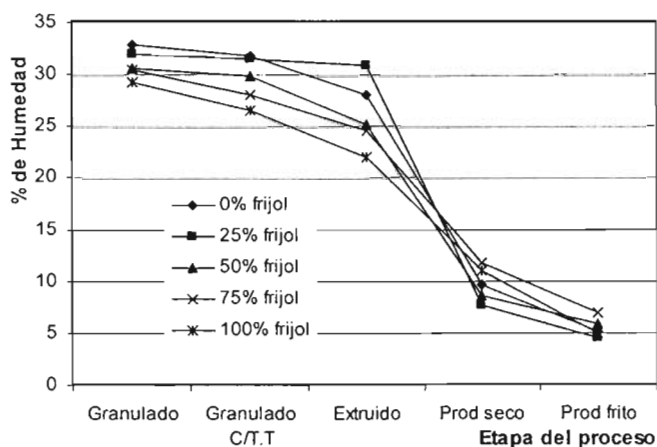


Figura 3.1. Comportamiento del contenido de humedad durante el proceso de elaboración de frituras de maíz - frijol en diferentes proporciones

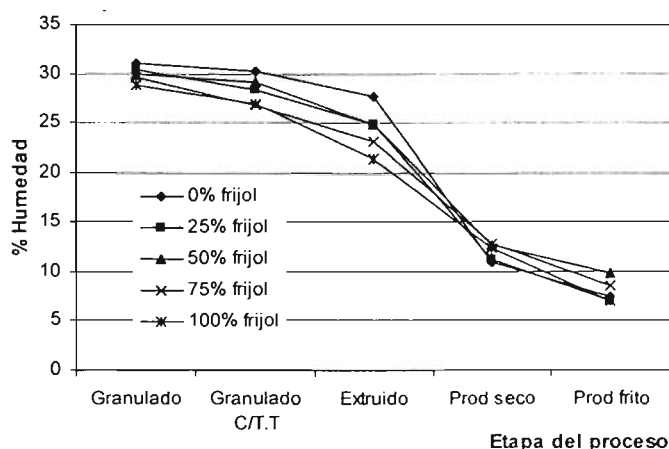


Figura 3.2. Comportamiento del contenido de humedad durante el proceso de elaboración de frituras de trigo- frijol en diferentes proporciones.

3.2 CONTENIDO DE HUMEDAD INICIAL

La humedad requerida para formar el granulado, con las características necesarias para la extrusión (aglomerado de 2 a 7 mm de diámetro), dependió de la formulación, presentando variaciones en función de la proporción de la harina de frijol, maíz o trigo.

La capacidad de retención de agua, se refiere a la eficacia que tiene una matriz de moléculas para atrapar físicamente grandes cantidades de agua. En cuanto mayor sea la proporción de frijol, en las diferentes formulaciones, se puede observar en el Cuadro 3.3 y la Figura 3.3, que se requiere de menor humedad para formar el granulado que se necesita para la extrusión. Se debe evitar que se formen aglomerados más grandes, que sólo provocarían problemas durante la operación de extrusión, por ejemplo; en la alimentación del extrusor.

También, se observa que el trigo requiere menor humedad que el maíz, ésto se debe a que cada ingrediente, ya sea harina de maíz, trigo o frijol, contiene composición química diferente.

Cuadro 3.3. Humedad inicial requerida para la formación del granulado en las diferentes proporciones de frijol

Proporción de frijol	Maíz Contenido de Humedad (%)	Trigo Contenido de Humedad (%)
0%	32.9	31
25%	32	30.4
50%	30.7	30
75%	30.5	29.6
100%	29.2	29.1

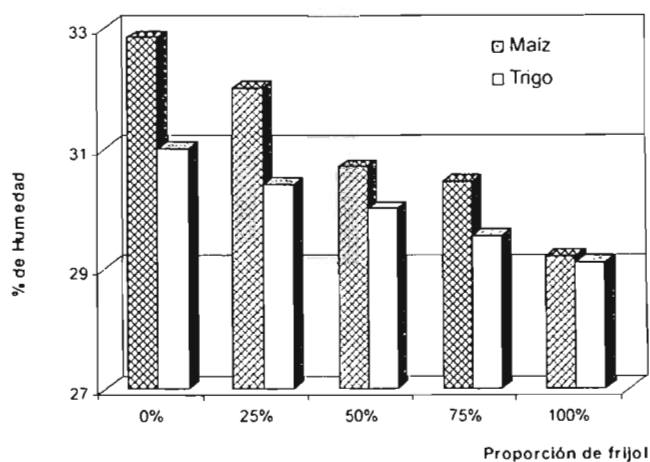


Figura 3.3. Humedad inicial requerida para la formación del granulado en las diferentes proporciones de frijol

3.3 PORCENTAJE DE EXPANSIÓN

En el Cuadro 3.4 y la Figura 3.4 se observa que a medida que aumenta la proporción de frijol, la expansión del producto es mayor como consecuencia de las diferencias en la composición química de la harina de maíz, trigo y frijol, siendo este último el que tiene el menor porcentaje de carbohidratos (57.6%), con respecto al maíz (71.7%) y trigo (70%). Sin embargo, en el frijol, el principal constituyente de los carbohidratos es el almidón y contiene mayor porcentaje de amilosa, polímero que se ha reportado, contribuye con las propiedades de flujo de gas en las paredes de las células, por lo tanto puede producir una mayor expansión (Guy, 2002).

Cuadro 3.4. Porcentaje de expansión del producto seco durante el freído

% de Expansión				
Proporción de frijol	Maíz		Trigo	
	Promedio	Desv. Est.	Promedio	Desv. Est.
0%	10.4	0.16	18.3	3.6
25%	28.1	1.3	40.7	2.0
50%	35.5	8.9	60.6	0.20
75%	58.1	13.2	82.9	10.6
100%	100.4	2.9	101	2.1

El frijol, es el ingrediente que tiene mayor contenido de proteínas (22.6%), comparándolo con el maíz (10.8%) y el trigo (16%), las proteínas al unirse con los polímeros del almidón, forman estructuras más grandes y fuertes a medida que fluye el granulado a través del tornillo del extrusor (con el tratamiento térmico previo que había gelatinizando al almidón), formando películas de alta elasticidad, que retienen gran parte del vapor de agua, provocando una mayor expansión.

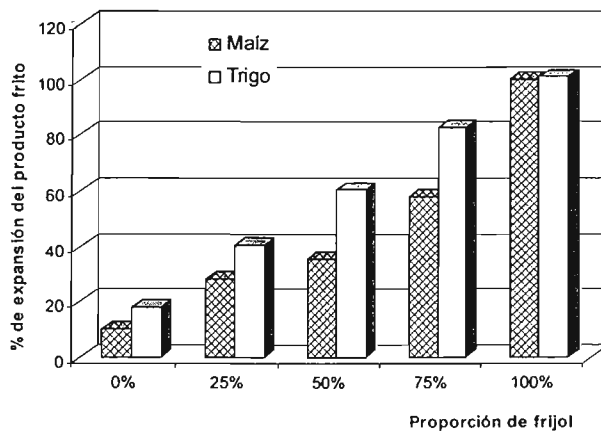


Figura 3.4. Porcentaje de expansión del producto seco durante el freído

3.4 AUMENTO DE PESO

Para calcular el porcentaje de absorción de aceite de las frituras, se realizó una medición de peso, por quintuplicado del producto, antes y después de la etapa de freído. Los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 3.5 y en la Figura 3.5, donde se observa que, conforme aumenta la proporción de frijol, también aumenta el peso que gana el producto durante el freído, afectado directamente por la absorción de aceite.

Las desviaciones estándar obtenidas de los datos de aumento de peso son altas, probablemente debido a que las muestras que se tomaron para el análisis, no son muy uniformes, debido a las variaciones que existieron durante la formación del granulado (diferentes tamaños de aglomerados), y el tiempo del proceso de extrusión (no tiene las mismas características el producto extruido inicial, que el intermedio, ni el extruido final).

Cuadro 3.5 Aumento del porcentaje en peso de las frituras con respecto a la proporción de frijol al freír el producto seco

Proporción de frijol	Aumento del % en peso			
	Maíz		Trigo	
	Promedio	Desv. Est.	Promedio	Desv. Est.
0%	4.8	0.48	5.1	3.3
25%	5.3	1.1	7.6	3.6
50%	5.6	3.3	8.8	0.43
75%	7.8	2.6	11.4	5.8
100%	13.8	2.2	14.0	1.8

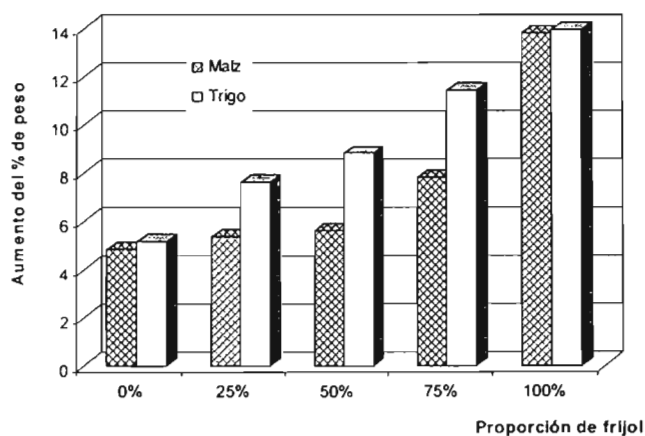


Figura 3.5. Aumento del porcentaje en peso de las frituras con respecto a la proporción de frijol al freír el producto seco

3.5 ABSORCIÓN DE ACEITE

La cantidad de aceite absorbido por un alimento frito, se ve afectada por el tiempo de freído y la temperatura del aceite, a mayor temperatura, se absorbe menor cantidad de aceite. En este estudio, la temperatura de freído (160°C) permaneció constante. El tiempo que las frituras permanecían en el aceite (aproximadamente 20 seg) antes de subir a la superficie dependía de la formulación, debido a la composición de las harinas.

Para calcular el porcentaje de absorción de aceite, se encontró la relación entre el aumento de peso y el decremento del contenido de humedad, para conocer el porcentaje del agua que se está perdiendo debido a la evaporación durante el freído, así como el peso que está ganando el producto durante la misma etapa del proceso, los resultados se muestran en la Figura 3.6. Se observa que mientras aumenta la proporción de frijol, es mayor el porcentaje de absorción de aceite, que va desde un 0.32% para la formulación de 100% maíz, hasta un 8.4% para la formulación de 100% frijol. Asimismo, se observa que las formulaciones que contienen trigo, absorben un mayor porcentaje de aceite que las que tienen maíz. Todo lo anterior se debe a que la absorción de aceite del producto tiene relación con la expansión, es decir, a medida que el producto tiene mayor porcentaje de expansión, requiere de mayor cantidad de aceite para realizar dicha expansión, por lo tanto el porcentaje de absorción de aceite es mayor.

Cuadro 3.6. Absorción de aceite del producto seco al frito

Proporción de frijol	% de Absorción de aceite	
	Maíz	Trigo
0%	0.32	1.7
25%	0.74	3.4
50%	2.8	5.4
75%	4.1	7.1
100%	8.3	8.3

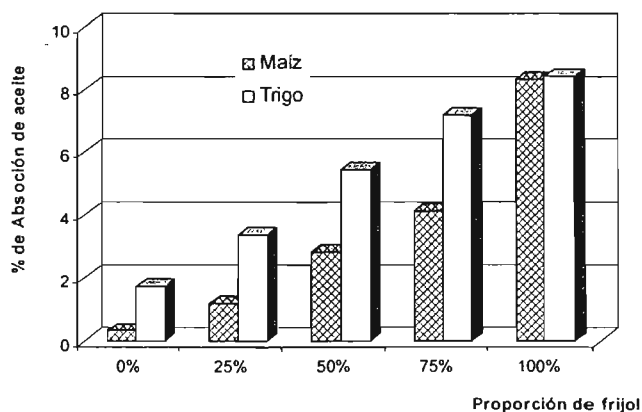


Figura 3.6. Absorción de aceite del producto seco al frito

3.6 DENSIDAD

La densidad del producto frito, se determinó indirectamente a través de la relación de masa y volumen de agua desplazada, mediante un picnómetro de 40 mL, obteniendo la densidad relativa. El producto de la densidad del agua a la temperatura de 24°C, por la densidad relativa, proporciona la densidad final del producto. En el Cuadro 3.7 y la Figura 3.7, se observa que la densidad del producto frito disminuye conforme aumenta la proporción de frijol. Como se mencionó anteriormente, la mayor proporción de frijol da la mayor expansión, dando como consecuencia, un producto con mayor volumen y menor densidad.

Cuadro 3.7. Densidad del producto frito

Proporción de frijol	Densidad relativa del producto frito		Densidad del producto frito (kg/m ³)	
	Maíz	Trigo	Maíz	Trigo
0%	0.614	0.506	612.3	504.3
25%	0.538	0.496	536.7	494.2
50%	0.432	0.478	430.4	476.4
75%	0.404	0.350	403.0	348.8
100%	0.288	0.293	287.1	292.1

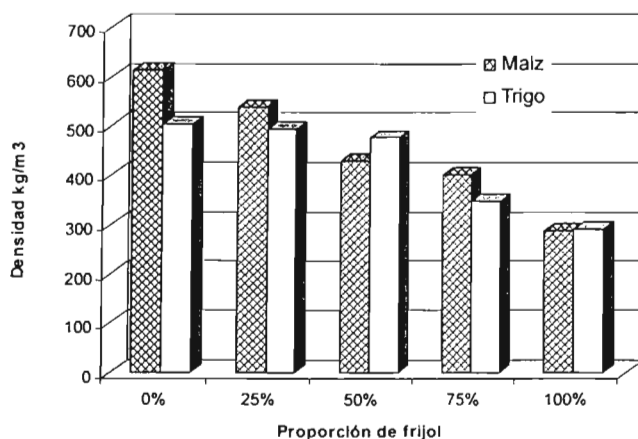


Figura 3.7. Densidad del producto frito

3.6 COLOR

A todas las formulaciones, se les adicionó la misma cantidad de colorantes, sin embargo, cada formulación adquirió un color diferente debido a la proporción de las harinas, las que presentan un color característico y de acuerdo a éste, al adicionar el colorante establecido, da como resultado, diferentes coloraciones del producto final.

Durante el proceso se obtuvieron algunos cambios de color, los cuales se muestran en los Cuadros 3.8 y 3.9 referidos a los cambios del producto desde el extrudido, hasta el producto frito en coordenadas Yxy utilizando el colorímetro Minolta CR-300

Cuadro 3.8. Color expresado en las coordenadas Y x y de las frituras elaboradas con maíz, de acuerdo a la proporción de frijol.

Proporción de frijol	0%	25%	50%	75%	100%
	Extrudido				
Y	63.1	96.2	79.7	16.5	48.1
x	0.37	0.31	0.34	0.42	0.38
y	0.36	0.32	0.34	0.38	0.36
	Seco				
Y	67.3	65.2	66.26	19.3	42.8
x	0.37	0.35	0.36	0.43	0.40
y	0.36	0.34	0.35	0.38	0.37
	Frito				
Y	74.6	93.1	83.8	30.5	57.2
x	0.35	0.32	0.34	0.40	0.37
y	0.35	0.32	0.34	0.38	0.36

El color real se puede ver en el diagrama de cromaticidad ubicando x vs y (Figura 3.8). El valor de Y representa la claridad o luminosidad de la muestra.

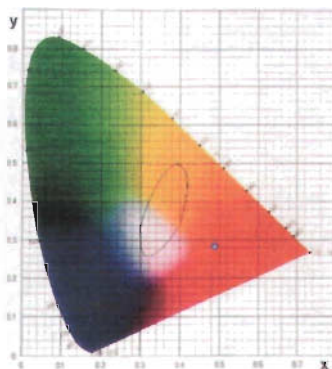


Figura 3.8 Diagrama de cromaticidad para observar los resultados del colorímetro Minolta CR-300 (ANEXO III)

Cuadro 3.9. Color expresado en las coordenadas Y x y de las frituras elaboradas con trigo, de acuerdo a la proporción de frijol.

Proporción de frijol	0%	25%	50%	75%	100%
Extrudido					
Y	109.8	31.5	59.0	101.5	82.7
x	0.33	0.43	0.37	0.32	0.32
y	0.34	0.39	0.35	0.32	0.33
Seco					
Y	104.6	31.4	59.84	98.3	79.0
x	0.33	0.42	0.37	0.32	0.31
y	0.33	0.38	0.35	0.32	0.31
Frito					
Y	79.6	45.3	63.3	135.3	114.8
x	0.29	0.38	0.34	0.30	0.29
y	0.29	0.37	0.34	0.33	0.31

Como se puede observar en los Cuadros 3.8 y 3.9 se presentan variaciones de color, tanto en las diferentes formulaciones, como en cada etapa del proceso, en relación al producto final. Los jueces que realizaron el análisis sensorial aceptaron totalmente el color de las frituras. Es decir, no hubo juez consumidor al que le desagradara el color de las diferentes formulaciones.

El color final de cada producto, está relacionado con la proporción de las harinas (harina de maíz, harina de trigo y harina de frijol), junto con la incorporación de los colorantes mencionados en la formulación (rojo 40 y amarillo 5). Es decir, se observó un cambio gradual en las mezclas; por ejemplo, en las mezclas de frijol con trigo, conforme disminuía la proporción de trigo y aumentaba la de frijol, se obtenían productos de tonalidad naranja y conforme aumentaba la proporción de frijol, la tonalidad se acercó más al color café. Lo mismo sucedió con las formulaciones de harina de maíz con frijol conforme disminuía la

proporción de frijol, el color del producto se acercaba más al amarillo y naranja, por lo contrario, cuando aumentaba la proporción de frijol, se acercaba más al café. El diagrama de cromaticidad muestra los colores que presentaron las diferentes formulaciones (óvalo).

3.8 ANÁLISIS SENSORIAL

El análisis sensorial, se realizó por medio de pruebas afectivas, inicialmente fueron las de satisfacción para todas las formulaciones. Obteniendo por separado la formulación de mayor satisfacción, elaboradas a base de maíz (75% maíz – 25% frijol) (Cuadro 3.10 y Figura 3.9), como en las de trigo (25% trigo – 75% frijol) (Cuadro 3.11 y Figura 3.10). A estas formulaciones se les realizó una prueba de preferencia (Cuadro 3.12 y Figura 3.11), donde los jueces consumidores eligieron el producto que más les gustó (25% trigo – 75% frijol), y a su vez se realizó una prueba de aceptación, lo que muestra que el producto de mayor preferencia (75% maíz – 25% frijol) desea ser adquirido por los consumidores (Cuadro 3.13 y Figura 3.12).

3.8.1 Prueba de satisfacción

Para realizar el análisis de las pruebas de satisfacción, tanto en las formulaciones que contienen maíz como en las que contienen trigo, se convirtió la escala hedónica en numérica, tabulando a los jueces en filas y las formulaciones en columnas, totalizando la sumatoria de cada columna y cada fila para obtener el total y la media, determinando cual de las formulaciones de cada harina es la de mayor satisfacción para los jueces consumidores. Realizando también un análisis de varianza obteniendo que entre todos los resultados de cada mezcla de harinas no hubo diferencia significativa con un valor de F de 4.14, con un error promedio de ± 1 . En la Figura 3.9 se muestra que la formulación de 100% maíz – 0% frijol, tuvo menor satisfacción que cualquier formulación que contiene frijol. También se observa que la formulación que tuvo mayor aceptación, por muy poca

diferencia fue la de 75% maíz – 25% frijol, dando una media de 7.33 de los 9 puntos, es decir se queda en la escala de entre me gusta bastante y me gusta mucho.

Cuadro 3.10. Prueba de satisfacción de las formulaciones con maíz

Proporción de frijol	Escala hedónica 9 puntos	Varianza	Desviación Estándar
0%	6.4	1.1	1
25%	7.3	0.73	0.85
50%	7.3	1.3	1.1
75%	7.1	1.43	1.2
100%	7.2	1.6	1.3

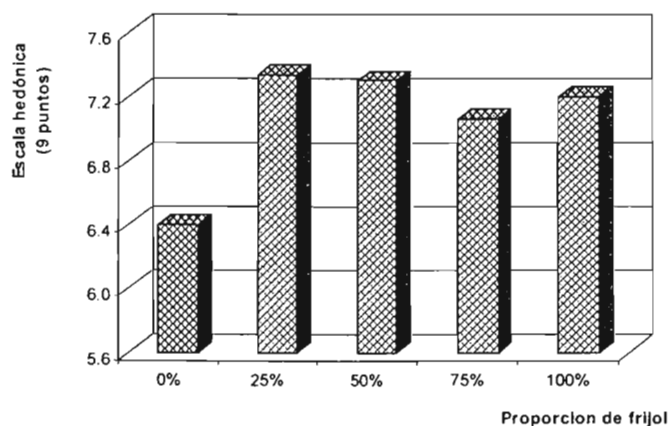


Figura 3.9. Prueba de satisfacción de las formulaciones con maíz

En la Figura 3.10 se observa, que la formulación de mayor satisfacción fue la de 25% trigo – 75% frijol, dando una media de 6.93 de los 9 puntos, es decir, se queda en la escala de entre me gusta ligeramente y me gusta bastante, esto con un valor de F de 3.4 con un nivel de significancia de 0.05.

Con el análisis anterior, se determinó cual de las formulaciones elaboradas a base de maíz y de trigo fueron las que representaron mayor grado de satisfacción para los jueces consumidores.

Cuadro 3.11. Prueba de satisfacción de las formulaciones con trigo

Proporción de frijol	Escala hedónica 9 puntos	Varianza	Desviación Estándar
0%	6.0	1.2	1.0
25%	6.1	2.0	1.4
50%	6.7	1.1	1.1
75%	6.9	1.6	1.3
100%	6.8	1.9	1.4

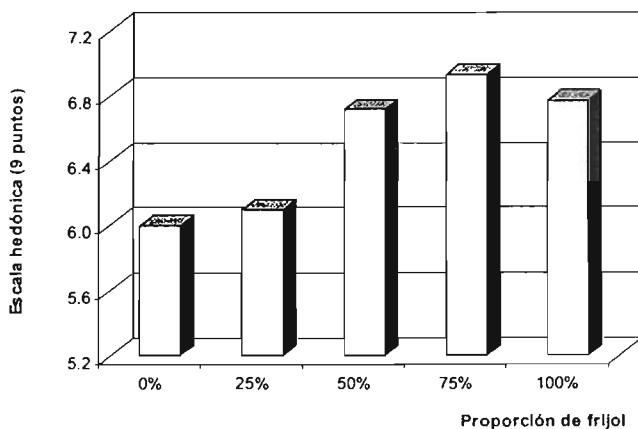


Figura 3.10. Prueba de satisfacción de las formulaciones con trigo

3.8.2 Prueba de preferencia

Se realizó la prueba de preferencia con las siguientes formulaciones; frijol 25% - maíz 75% y frijol 75% - trigo 25%, donde los jueces eligieron el de su preferencia (Figura 3.11) obteniendo, que el 56.7% de la población prefiere la formulación que contiene mayor proporción de maíz y el 43.3%, prefiere la formulación que contiene trigo.

Cuadro 3.12. Prueba de preferencia

Frijol - Maíz	Frijol - Trigo
25% - 75%	75% - 25%
17	13

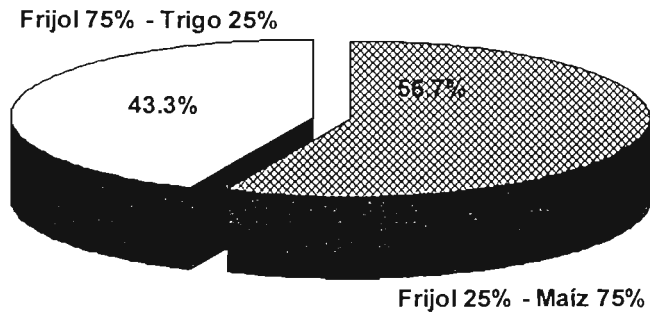


Figura 3.11. Prueba de preferencia

3.8.3 Prueba de aceptación

La prueba de aceptación se realizó para conocer si los consumidores están dispuestos a adquirir el producto de mayor preferencia (frijol 25% - maíz 75%). En la Figura 3.12 se observa que el 90% de los jueces desean adquirir el producto final y que corresponde con el mejor, de acuerdo a las pruebas realizadas de análisis sensorial.

Cuadro 3.13. Prueba de aceptación

ACEPTAN	NO ACEPTAN
27	3

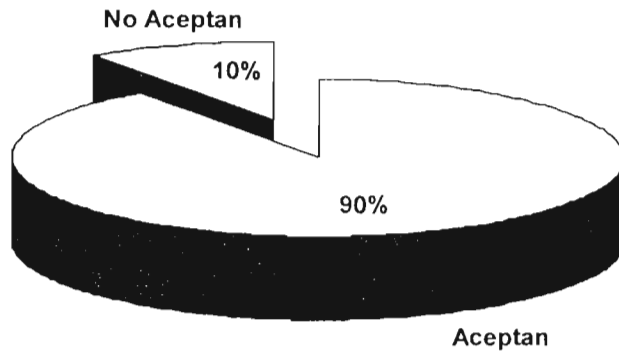


Figura 3.12. Prueba de aceptación

4 CONCLUSIONES

En esta investigación se desarrolló un producto extrudido al que se adicionó harina de frijol, proponiendo una alternativa de alto valor agregado para la utilización de esta leguminosa.

El análisis sensorial ayudó a definir cual formulación era la más aceptada por los consumidores, siendo ésta la formulación de maíz 75% y frijol 25%.

Aunque con menor aceptación por los consumidores, en las formulaciones elaboradas con harina de trigo, se observó que se puede incorporar una mayor proporción de frijol (75%).

Los productos obtenidos con frijol expanden más que los productos hechos a base de harina de maíz o de trigo únicamente, esto se atribuye a la incorporación de las proteínas del frijol que al unirse al almidón presente forma estructuras más complejas y resistentes por lo que se logra una mayor retención de vapor de agua y por lo tanto una mayor expansión.

De igual manera, los productos con mayor proporción de frijol, absorbieron mayor porcentaje de aceite, como consecuencia de su mayor expansión y presentaron un mayor volumen y como consecuencia, menor densidad.

El producto de mayor aceptación presenta buena calidad nutritiva, esto de acuerdo con algunos autores (Osorio et al., 2003; Leiner, 1977), que mencionan que el maíz y el frijol se complementan nutricionalmente. Esto se debe a que las proteínas del maíz son deficientes en lisina y triptófano, pero tienen cantidades considerables de aminoácidos azufrados (metionina y cistina), en contraste las proteínas del frijol son una fuente relativamente abundante de lisina y triptófano, sin embargo tienen un bajo contenido de aminoácidos azufrados. Lo anterior ha sido demostrado en numerosos estudios. De esta manera obtenemos un producto de buena calidad nutricional.

Las diferencias en cuanto a las condiciones de proceso y propiedades evaluadas, se atribuyen a las diferentes proporciones de harina de maíz, frijol y trigo, así como la composición química de éstas.

La extrusión se considera, como un proceso adecuado para obtener productos que además de atractivos, puedan ser una buena fuente de nutrientes.

5 RECOMENDACIONES

Se debe controlar la humedad para cada una de las formulaciones, así como también establecer las temperaturas y tiempos de operación para cada etapa del proceso, esto debido a la proporción y diversidad de los materiales utilizados (harina de maíz, harina de trigo y harina de frijol), lo cual da como resultado la formación y estabilización de los de productos extruidos (cada ingrediente tiene temperatura de gelatinización diferente), así como la diferencia en las características del producto final como son: color, densidad, expansión y cualidades nutricionales.

Las partículas en el aglomerado deben establecerse con un diámetro menor a 7 mm debido a que partículas más grandes dificultan la alimentación al extrusor.

El proceso de extrusión representa una tecnología de proceso ideal para el incremento de la utilización del frijol en la alimentación. Los alimentos hechos de cereal y frijol son económicamente, más atractivos para el consumidor y para proveer una mejor nutrición. Para obtener mejores resultados del proceso de extrusión, se recomienda utilizar un extrusor en el cual se puedan manipular las condiciones de proceso como son temperatura y presión.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aduke, J. 1981. "Handbook of Legumes of World Economic Importance". Plenum Press. USA.
- Alvarado, J. D., Aguilera, J. 2001. "Métodos para Medir Propiedades Físicas en Industrias de Alimentos" Acribia. España.
- Antunes, P.L., Sgarbieri, V. 1980. "Influence of time and conditions of storage on technological and nutritional properties of a dry bean (*Phaseolus vulgaris*)". Journal of Food Science 44: 1703-1706.
- Anzaldúa, A. 1994. "La Evaluación Sensorial de los Alimentos en la Teoría y la Práctica". Acribia. España.
- Aurand, L.E., Woods, A.E., Wells, M.R. 1987. "Food Composition and Analysis". AVI. USA.
- Badui, S. 1993. "Química de los Alimentos". 3ª ed. Pearson. México.
- Beltrán, M. 2000. Obtención de harinas extruídas de cereales empleando dos vías tecnológicas de elaboración. Alimentaria, 32:107-111.
- Belitz, H.D., Grosch, W. 1992. "Química de los Alimentos" 4ªed. Acribia. España.
- Camberos, M. 1995. "Las consecuencias de la modernización y el desarrollo sustentable". CIAD- Pual. UNAM. México.
- Charley, I. 1987. "Tecnología de Alimentos, Procesos Químicos y Físicos en la Preparación de Alimentos". Limusa. México.

Cornejo Villegas, M. 1993. "Alternativas en la producción de tempeh con diferentes variedades de frijol de consumo nacional". Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM.

Desrosier, N. 1999. "Elementos de Tecnología de Alimentos". Continental. México.

Fellows, P. 1996. "Food Processing Technology". Cambridge. England.

Fenema, O.R. 2000. "Química de los Alimentos". Acribia. España.

Field, R., Howel, A. 1989. "Process Engineering in the Food Industry". Elsevier Applied Science. EUA.

Flint, O. 1996. "Microscopía de los Alimentos. Manual de Métodos Prácticos utilizando la Microscopía Óptica". Acribia. España.

Guy, R. 2001. "Extrusion Cooking, Technologies and Applications". Wood Head Publishing Limited. EUA.

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

Huang, D. 1995. "New Perspectives on Starch and Starch Derivates for Snack Applications". Cereal Foods World. 43(4):207-222.

Ibáñez, F.C., Barcina, Y. 2001. "Análisis Sensorial de los Alimentos. Métodos y Aplicaciones". Springer-Verlag Ibérica. España.

Imeson, A. 1997. "Thickening and Gelling Agents for Food". Kluwer Academic. Pub. USA.

Lawson, H. 1999. "Aceites y Grasas Alimentarios. Tecnología, Utilización y Nutrición" Acribia. España.

Leiner, I. 1977. "Nutritional Aspects of Soy Protein Products". Journal American Oil Chemist Society 54:454-473.

Lewis, M. J. 1993. "Propiedades Físicas de los Alimentos y de los Sistemas de Procesado". Acribia. España.

Montgomery, D. 1991. "Diseño y Análisis de Experimentos". 2ª ed. Grupo Editorial Iberoamerica. México.

Osorio, P., Méndez, G., Agama, E., Islas, J., Sánchez, J., Bello, L. 2003. "Biodisponibilidad del almidón en dos variedades comerciales de frijol y en frijoles industrializados". Agrociencia 37:567-573.

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.

Pedrero, F; L, Daniel, Pangborn, R. 1989. "Evaluación Sensorial de los Alimentos. Métodos Analíticos" Alhambra. España.

Pomeranz, Y. 1991. "Properties of Food Components". 2^{da} ed. Academic Press. USA.

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

Sancho, J. Bota, E., De Castro, J. 1999. "Introducción al Análisis Sensorial de los Alimentos". Ediciones de la Universidad de Barcelona. Barcelona, España.

Sharma. 2000. "Food Process Engineering. Theory and Laboratory Experiments". J. Wiley. USA.

Théron, A. 1981. "Botánica. Las Ciencias Naturales" 3 ed. Montaner y Simón. España.

Tscheuschner, H. D. 2001. "Fundamentos de la Tecnología de los Alimentos". Acribia. España.

Wang, S. 2001. "Posibilidad de uso de harinas de arroz – soya, extruídas en la formulación de sopa – cremosa: Características Tecnológicas y Sensoriales". Alimentaria, 52:91-93.

Watson, S., Ramstad, P. 1991. "Structure and Composition. Corn: Chemistry and Technology". American Association of Cereal Chemists. USA.

Wolf, M., Buzan, C., MacMaster, M., 1982. "Structure of the mature corn kernel III. Microscopic Structure of the endosperm of dent corn. Cereal Chemistry". 29(5):349-361.

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

Zobel, H., Stephen, A. 1995. "Food Polysaccharides and their Applications". Marcel Dekker. USA.

NORMA Oficial Mexicana NOM-187-SSA1/SCFI-2002, Productos y servicios. Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración y establecimientos donde se procesan. Especificaciones sanitarias. Información comercial. Métodos de prueba.

Reglamento de Control Sanitario de Productos y Servicios. (En base a la Fracción I del Artículo 89 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. 1995)

www.aces.uiuc.edu/asamex/extrusion
www.agualtiplano.net/cultivos/trigo.htm
www.acta.org.co
www.encyclopedia.us.es
www.infoacerca.gob.mx/claridades/revistas/044/ca044.pdf
www.jornada.unam.mx/2000/ene00/000111/est3.html
www.soyentrepreneur.com
<http://anka.livstek.lth.se:2080/microscopy/f-starch.htm>

ANEXO I

CUESTIONARIO I PRUEBA DE SATISFACCIÓN

Marque con una X en el lugar que indique su opinión acerca de cada muestra

MUESTRAS

ESCALA		1	2	3	4	5	6	7	8
Me gusta muchísimo									
Me gusta mucho									
Me gusta bastante									
Me gusta ligeramente									
Ni me gusta ni me disgusta									
Me disgusta ligeramente									
Me disgusta bastante									
Me disgusta mucho									
Me disgusta muchísimo									
La dureza del producto influye en su decisión? Si o No									
Con la escala del 0 al 10. ¿Qué tan duro esta el producto? Siendo el 10. el más duro									
Con la escala del 0 al 10. ¿Qué tanto se pega el producto en las muelas? Siendo el 10 el que se pega más									

Comentarios : _____

ANEXO II
CUESTIONARIO II PRUEBA DE PREFERENCIA Y ACEPTACIÓN

Nombre: _____

Fecha: _____

Pruebe las dos muestras que se le presentan.

Primero pruebe la muestra marcada con _____

Y después la muestra _____

Indique la clave de la fritura que usted prefiere. _____

Marque con una X según corresponda

Edad:

Menos de 20 años ()

21 – 30 años ()

31 – 40 años ()

41 – 50 años ()

51 – 60 años ()

Sexo

F () M ()

1.- Consume frituras?

Si ()

No ()

2.- Qué tipo de frituras consume?

Maiz ()

Trigo ()

3.- Qué tan a menudo consume frituras?

1 vez al mes ()

2 veces al mes ()

1 vez a la semana ()

2 veces a la semana ()

diario ()

4.- Compraría alguna de las muestras?

Si ()

No ()

5.- Cuanto pagaría por una bolsa de 40 gramos de alguna de estas muestras?

6.- Hay algo que usted preferiría que fuera diferente en este producto?

No ()

Si ()

Qué? _____

Por qué? _____

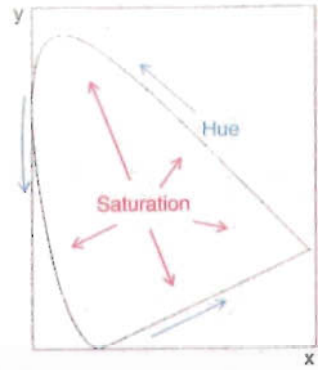


Figure 7: 1931 x, y chromaticity diagram

