

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

**ELABORACIÓN DE GALLETAS DE TRIGO FORTIFICADAS CON
HARINA, AISLADO Y CONCENTRADO DE *Lupinus mutabilis***

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

P R E S E N T A

HUGO LÓPEZ LÓPEZ

DIRECTORA: DRA. NORMA GÜEMES VERA.

ICAP-UAEH

Tulancingo de Bravo Hgo., del 2007.

Esta tesis de licenciatura ha sido financiada por el proyecto PAI-2006 denominado: **“Estudio del efecto de la adición de derivados de leguminosas sobre las características físicas, químicas, reológicas y sensoriales de espaguetis, galletas y salchichas”**

DEDICATORIAS

A mis padres Máxima e Isaac porque sin su apoyo, comprensión y cariño jamás hubiera podido llegar aquí.

GRACIAS MAMA

GRACIAS PAPA

A mis hermanos Viridiana, Juan Carlos porque estuvieron conmigo en todo momento y por ese gran ejemplo que me pusieron de que una gran familia puede hacer todo lo que se proponga. LOS QUIERO MUCHO.

A mi porque sin mi esfuerzo y dedicación no hubiera podido terminar mi tesis. MUY BIEN HUGO.

AGRADECIMIENTOS

A mi directora de tesis la Dra. Norma Güemes Vera por todo el apoyo, paciencia, amistad y comprensión que me brindó en todo este tiempo, además del empeño que tuvo para que se culminara satisfactoriamente este trabajo. MUCHÍSIMAS GRACIAS.

A mis asesores Dra. Ma. Isabel Reyes Santamaría, M. en C. Sergio Soto Simental, Dra. Alma Delia Hernández Fuentes, Ing. Aurora Quintero Lira, que contribuyeron grandemente con sus acertados consejos y correcciones en este trabajo. GRACIAS.

Al M. en A. Lucio Gonzales Montiel por su apoyo y correcciones en mis carteles. GRACIAS AMIGO.

A ustedes M. en A. Jesús Franco y Verónica por haberme apoyado en los congresos que asistimos. GRACIAS AMIGOS.

A ti compadre Alejandro Asiain por acompañarme a congresos y apoyarme en la realización de mis experimentos. GRACIAS.

A ti amigo Uriel porque gracias a ti realice mi tesis con la Dra. Norma Güemes. GRACIAS.

A ti Gabby por ayudarme a pasar materias que no creía pasar, por tenerme paciencia y ayudarme a terminar mi carrera. GRACIAS AMIGA.

A mis amigos Lorena, Isabel, Bety, Carmen, Karla, Eduardo, Alejandro (bola), Baruch, Santiago y Adabella gracias por apoyarme y por aguantarme 4 años y medio. GRACIAS.

RESUMEN

El trigo tiene un bajo contenido de proteína (11.4 %), su perfil de aminoácidos indispensables revela deficiencias de lisina (2.4 %) y treonina (1.7 %). Por el contrario, el *Lupinus mutabilis* representa a una leguminosa como fuente valiosa de proteína (42 %) con un valor promedio de lisina de 6.7 %. Por milenios, La combinación de un cereal con una leguminosa ha permitido disponer de alimentos fortificados para consumo humano, con un balance adecuado de aminoácidos indispensables. El objetivo de éste trabajo, fue elaborar mezclas de harina de trigo (HT), adicionadas con harina (HL), concentrado (CPL) y aislado (APL) de *L. mutabilis*, en niveles que permitieron satisfacer las deficiencias nutritivas de las galletas preparadas con trigo. En este trabajo se evaluaron las propiedades químicas y reológicas, de las mezclas de HT con HL, CPL y APL. Tomando como referencia la concentración de proteína y aminoácidos de los derivados de *L. mutabilis*, se calcularon las proporciones de fortificación de cada uno y se elaboraron las masas con mezclas de HT adicionando en concentraciones de 8, 12 y 20 % para HL, 10, 20 y 30 % para CPL y en el caso de APL fue de 5, 10 y 15 %. Se realizó la evaluación reológica de las masas fortificadas adicionadas con *L. mutabilis*, de estas pruebas se determinó las formulas óptimas para la elaboración de galletas. El análisis físico-químico de HT, HL, CPL y APL corroboró los resultados descritos en la literatura. Las diferentes pruebas reológicas aplicadas a las masas fortificadas indicaron que las mezclas óptimas fueron 12 % de HL y 20 % de CPL. Las galletas que obtuvieron una dureza parecida al testigo fueron fortificados con 12 % de HL. En la prueba de fracturabilidad las galletas que obtuvieron un resultado parecido al testigo fueron las fortificadas con 20 % de CPL. La formulación con mejor calidad para la elaboración de galletas fue la de 12 % de HL.

ÍNDICE

	Página
RESÚMEN	i
ÍNDICE	ii
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
1 INTRODUCCIÓN	1
Objetivos	3
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Cereales	4
2.2 Leguminosas	5
2.2.1 Composición y valor nutritivo	6
2.2.2 Digestibilidad	7
2.2.3 Otros elementos nutritivos	8
2.2.4 Factores no nutricionales	9
2.2.4.1 Destoxificación por diferentes fuentes tecnológicas	11
2.3 Propiedades funcionales de proteínas	13
2.3.1 Proteínas de trigo	14
2.3.2 Propiedades funcionales de las proteínas de trigo	15
2.3.3 Calidad industrial de las proteínas de harina de trigo	16
2.3.4 Proteínas de leguminosas	17
2.3.5 Propiedades funcionales de las proteínas de leguminosas	18
2.4 Fundamento de la medición de las propiedades reológicas de las masas	19

2.4.1 Instrumento de medición de torque o medición de viscosidad	20
2.4.2 Instrumentos de medición elástica o esfuerzo/deformación	21
2.4.3 Instrumentos de medición de gas.....	22
2.5 Utilización de <i>L. mutabilis</i> en la elaboración de pan	22
3 MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1 Material.....	24
3.2 Elaboración de galletas	24
3.3 Establecimiento del experimento.....	25
3.4 Determinación de proteína	26
3.5 Determinación de fibra cruda	26
3.6 Determinación de grasa	27
3.7 Determinación de humedad	28
3.8 Determinación de ceniza	28
3.9 Determinación de perfil de textura.....	28
3.10 Análisis estadístico	29
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
4.1 Resultados de la composición proximal de la HL, CPL y APL.....	30
4.2 Análisis de perfil de textura (APT) en masas.....	31
4.3 Extensibilidad de masas fortificadas con derivados de Lupinus.....	33
4.4 Cohesividad de masas fortificadas con derivados de Lupinus	35
4.5 TPA en galletas fortificadas con HL y CPL-HT.....	37
4.6 Fracturabilidad en galletas fortificadas con HL y CPL	38
4.7 Análisis químico proximal de galletas fortificados con HL al 12 % y CPL al 20 %	38
4.8 Factor de expansión de galletas fortificadas con diferentes proporciones de derivados de lupinus	39
5 CONCLUSIONES.....	41
6 RECOMENDACIONES	42
7 BIBLIOGRAFIA	43
8 APENDICE	50

Índice de Cuadros

Cuadro 1	Composición química próxima de cereales.....	4
Cuadro 2	Composición de aminoácidos indispensables (g/100 de proteína) en diferentes cereales.....	5
Cuadro 3	Contenido de vitaminas y de minerales (mg/100g) de diversos granos de cereal.....	6
Cuadro 4	Composición proximal de las leguminosas.....	7
Cuadro 5	Composición de aminoácidos indispensables en leguminosas (g/16gN).....	8
Cuadro 6	Composición de vitaminas y minerales en leguminosas.....	9
Cuadro 7	Clasificación del trigo con base a sus características generales de calidad y su uso industrial.	17
Cuadro 8	Propiedades funcionales de las proteínas de leguminosas.....	18
Cuadro 9	Ingredientes utilizados en la elaboración de galletas.....	24
Cuadro 10	Mezclas de masas de harina de trigo con derivados de <i>Lupinus</i>	25
Cuadro 11	Análisis químico proximal de HT, HL, CPL y APL	31

Cuadro 12	Efecto de la proporción de HL, CPL y APL-HT, en la Dureza de Masas fortificadas.	33
Cuadro 13	Efecto de la proporción de HL, CPL y APL-HT en la elasticidad de masas fortificadas.....	34
Cuadro 14	Efecto de la proporción de HL, CPL y APL-HT, en la cohesividad de masas fortificadas.....	36
Cuadro 15	Correlación entre textura, extensibilidad y adhesividad de las masas fortificadas con HL, CPL, APL-HT.....	37
Cuadro 16	Efecto de la proporción de HL y CPL-HT en la dureza de galletas.....	37
Cuadro 17	Fracturabilidad de las galletas fortificadas con derivados de Lupinus.....	38
Cuadro 18	Análisis químico proximal de galletas fortificados con HL al 12 % y CPL al 20 %.....	39
Cuadro 19	Factor de expansión en galletas fortificados con HL al 12 % y CPL al 20 %.....	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Representación esquemática de gliadinas y glutelinas de la red viscoelástica presente en la masa de panadería.....	15
Figura 2	Modelo reológico de una masa de trigo.....	20
Figura 3	Curva típica de un análisis de perfil de textura.....	29

1. INTRODUCCIÓN.

La combinación de un cereal con una leguminosa ha permitido disponer de alimentos fortificados para consumo humano, con un balance adecuado de aminoácidos indispensables. Las leguminosas son un conjunto de especies pertenecientes a la familia de las Papilionáceas, cuya principal utilidad agrícola es el empleo de sus semillas en la alimentación animal y humana, debido principalmente a su alto contenido en proteínas. También se utiliza en alimentación animal su paja y algunas especies suelen cultivarse para forraje o abonado en verde (Rader y col., 2000).

El tarwi (*Lupinus mutabilis*) es una leguminosa anual, la cual se utiliza en la alimentación humana, esta leguminosa tiene un alto contenido de proteína pero es poco usado debido a que uno de los principales problemas que afronta el consumo del *Lupinus mutabilis* es la presencia de alcaloides que le da sabor amargo y que a la vez pueden ser tóxico. El proceso mínimo de transformación del tarwi es el desamargado (eliminación de alcaloides amargos). Generalmente se hace mediante el lavado de los granos con agua. El tarwi destoxificado fresco puede guardarse hasta por quince días cambiándole el agua cada día. Se le puede secar también dejándolo expuesto al sol unos 3-4 días (Wittig y col., 1987; Aguilera, 1993; Mohamed y Rayas, 1995; Dervas, 1999; Anónimo 2002).

Industrialmente se obtiene la harina de tarwi que se usa hasta en 15 % en la panificación. Tiene la ventaja de mejorar considerablemente el valor proteico y calórico el producto; asimismo permite una más larga conservación del pan debido a la retrogradación del almidón, obteniéndose un mayor volumen por las propiedades emulgentes que tiene la lecitina del tarwi dulce. Los alcaloides (esparteína, lupinina, lupanidina, etc.) se emplean para controlar ectoparásitos y parásitos intestinales de los animales. La harina de *Lupinus* tiene un potencial excelente para mejorar las propiedades de extensibilidad, adhesividad y dureza además de incrementar el valor nutritivo de las los productos elaboradas con harina de trigo (Campos y El-Dash 1976; Ballester y col. 1984; Zacarías y Yáñez, 1985; Dervas, 1999; Gammére, 1995;).

La necesidad de contribuir a la disminución de la desnutrición en México, el bajo poder adquisitivo de la mayoría de la población, así como la importante disponibilidad de recursos vegetales en nuestro país, pero subutilizados nos motiva a la realización de investigaciones orientadas a la obtención de productos como galletas elaboradas con harina de trigo fortificados, tratando de conservar sus propiedades funcionales y sensoriales, pero con un mejoramiento en sus características nutritivas, a la vez de que sean de un costo accesible. Dado que el *L. mutabilis* se caracteriza por poseer un alto contenido de proteínas, cuya calidad biológica permite compensar la deficiencia de Lisina del trigo, aumentar el contenido de proteína y fibra la cual proporciona un buen tránsito intestinal y contribuye a la prevención del cáncer de colón, entre otros padecimientos asociados con la carencia de tener la propiedad de poseer antioxidantes naturales como el alfa-tocoferol, así como también proporcionar aceites que contienen los ácidos grasos omega 6 y 3 (ácido linoleico y linolénico respectivamente); estas harinas se benefician con el contenido de la fosfatidilcolina a la vez de suministrar un color amarillo a los alimentos. Esta última característica sustituye la utilización de huevo para aquellas personas alérgicas a proteínas presentes en este tipo de alimento (Anónimo, 2002). Por lo anterior se considera factible y atractivo llevar a cabo estudios orientados a producir mezclas de harinas de trigo fortificadas con harina, concentrado y aislado de *L. mutabilis*.

OBJETIVOS.

Objetivo general.

Estudiar las propiedades de textura, extensibilidad y adhesividad de las masas en las que se incorporara harina, aislado y concentrado de *Lupinus mutabilis*, así como la fracturabilidad de las galletas elaboradas con esta leguminosa.

Objetivos específicos.

- a) Evaluar propiedades reológicas en mezclas de harina de trigo con harina, concentrado y aislado de *Lupinus mutabilis*.
- b) Establecer los niveles óptimos de fortificación (con harinas, concentrados y aislados de *Lupinus mutabilis*) de las harinas de trigo de acuerdo a los análisis reológicos.
- c) Determinar las propiedades reológicas en las galletas elaboradas con esta leguminosa.

2.0 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

2.1. Cereales.

Los miembros de la familia de las *Gramíneas* que producen granos de cereal, generan frutos con una sola semilla. Este tipo de fruto es una cariósipide que vulgarmente se denomina grano. La cariósipide esta formada por una cubierta o pericarpio que rodea a la semilla y se adhiere fuertemente a la cubierta. La semilla está constituida a su vez por un embrión o germen y endospermo, los cuales están encerrados dentro de una epidermis y de la cubierta de la semilla (Hosseney, 1994; Rader y col., 2000).

Composición proximal y valor nutritivo.

El trigo tiene un bajo contenido de proteína (11.4 %), de grasa (2.9 %) y de fibra (2.5 %) (Cuadro 1) en comparación con otros granos como el arroz. Su perfil de aminoácidos indispensables revela deficiencias de lisina (2.4 %) y treonina (1.7 %) (Cuadro 2), lo que determina una calidad proteínica relativamente baja. Sin embargo, su contenido de aminoácidos azufrados como la metionina + cisteína (2.1 %) es satisfactorio en comparación con el maíz (1.8 %) y el sorgo (1.2 %) que presentan una menor cantidad de dichos aminoácidos. Aunque en otros cereales como la avena (2.3 %) el contenido de este aminoácido es mayor, satisfaciendo también los requerimientos propuestos por el estándar de la FAO/OMS (1991).

Cuadro 1. Composición proximal de cereales.

Especie	Proteína (%)	Grasa (%)	Fibra (%)	Ceniza (%)
Trigo	11.4	2.9	2.5	1.8
Arroz	12.0	13.0	12.0	10.0
Maíz	9.0	2.5	2.3	2.0

Fuente: Hosseney; 1994.

Cuadro 2. Composición de aminoácidos indispensables (g/100 g de proteína) en diferentes cereales.

Aminoácido/ Cereal	Trigo	Maíz	Sorgo	Avena	Estándar FAO/OMS (1991)*
Isoleucina	3.7	3.8	3.8	4.2	2.8
Leucina	6.8	13.6	13.1	7.5	6.6
Lisina	2.4	2.6	2.2	4.2	5.8
Metionina + cistina	2.1	1.8	1.2	2.3	2.5
Fenilalanina + tirosina	7.9	9.5	8.3	8.0	6.3
Treonina	1.7	3.6	3.6	3.3	3.4
Valina	4.3	5.3	4.5	5.8	3.5
Triptofano	1.3	0.7	1.2	1.7	1.1

Fuente: Robinson, 1991; Hosseney, 1994.

*Patrón para niños menores de 2 años.

La mayoría de los cereales son fuente importante de vitaminas, como la tiamina, niacina, riboflavina, piridoxina, ácido pantoténico y tocoferol. Con respecto al contenido de minerales se tienen sustancias elementales como el fósforo, el potasio y el magnesio (Cuadro 3). Estos compuestos no se encuentran en las cantidades que se reportan en otras proteínas de origen vegetal. En el Cuadro 3 se observa que el trigo es rico en niacina, fósforo, potasio y magnesio en comparación con otros cereales como centeno, avena, arroz, maíz y sorgo (Rader y col., 2000).

2.2. Leguminosas.

Las leguminosas ocupan el segundo lugar, entre las plantas provistas de semilla que consume el ser humano. Pertenecen al orden; *Rosales* y forman parte de la familia: *Leguminosae* o *Fabaceas* (Rodríguez, 1985; Gatel y Champ, 1998; Kozlowskz y col., 1998).

Rodríguez (1985) propuso que las “leguminosas de consumo humano” se emplean directamente como semillas secas maduras (frijoles); y en ocasiones como granos

o vainas verdes con las semillas inmaduras dentro de ellas (ejotes). En este grupo no se incluye a las especies que aportan hojas o tejidos de tallos que se utilizan como verduras cocidas o frescas (Gatel y Champ, 1998; Kozlowskz y col., 1998).

Cuadro 3. Contenido de vitaminas y de minerales (mg/100g) de diversos granos de cereal.

Vitamina o minerales	Trigo	Centeno	Cebada	Avena	Arroz	Maiz	Sorgo
Vitaminas							
Tiamina	0.55	0.44	0.57	0.7	0.33	0.44	0.58
Riboflavina	0.13	0.18	0.22	0.18	0.09	0.13	0.17
Niacína	6.4	1.5	6.4	1.8	4.9	2.6	4.8
Ac. Pantoténico	1.36	0.77	0.73	1.4	1.2	0.7	1.0
Piridoxina	0.53	0.33	0.33	0.13	0.79	0.57	0.60
Minerales							
Fósforo	410	380	470	340	285	310	405
Potasio	580	520	630	460	340	330	400
Calcio	60	70	90	95	68	30	20
Magnesio	180	130	140	140	90	140	150
Hierro	6	9	6	7	--	2	6
Cobre	0.8	0.9	0.9	4	0.3	0.2	0.5
Manganeso	5.5	7.5	1.8	5	6	0.6	1.5

Fuente: Robinson, 1991; Hosseney, 1994; Rader y col., 2000.

2.2.1. Composición y valor nutritivo.

En la mayoría de las leguminosas el contenido proteico oscila entre 20-35 %, lo que las sitúa entre las fuentes más concentradas de estos nutrientes. Los cereales apenas aportan de 5 a 12 %, las carnes alrededor de 14 a 28 %, huevo 12 % y las frutas, verduras, tubérculos y la leche entre 0.5 y 3 % (Bourgues, 1987; Gatel y Champ, 1998; Kozlowskz y col., 1998).

En el Cuadro 4 se muestra la composición de distintas leguminosas (INEGI, 1999). De estas la que presenta un mayor contenido de proteínas y fibra es el *L. mutabilis*

con un 44.3 % y 7.1 % respectivamente, el cacahuate es una leguminosa que se caracteriza por su alto porcentaje de grasa (43.4 %), el frijol común (61.4 %), haba (60.2 %) y chícharo (62.1 %) tienen una alta composición de carbohidratos.

Cuadro 4. Composición proximal de las leguminosas.

Especie	Proteína (%)	Grasa (%)	CH₂O (%)	Fibra (%)	Ceniza (%)
Tarwí (<i>Lupinus mutabilis</i>)	44.3	16.5	28.2	7.1	3.3
Cacahuate (<i>Arachis hypogaea</i>)	25.3	43.4	23.4	3.3	2.5
Soya (<i>Glycine max</i>)	38.0	18.0	31.3	4.8	4.7
Frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	22.1	1.7	61.4	4.2	3.8
Haba (<i>Vicia faba</i>)	23.4	2.0	60.2	7.8	3.4
Chicharo (<i>Pisum sativum</i>)	22.5	1.8	62.1	5.5	2.5

Fuente: INEGI, 1999.

Las leguminosas son deficientes en al menos uno de los aminoácidos azufrados metionina+cisteína (D'Appolonia, 1977;1978; Cubero, 1983; Charley, 1995.). En el Cuadro 5 se presenta el análisis de aminoácidos indispensables para leguminosas como el cacahuate, tarwí, frijol, soya, chícharo y haba, las cuales se cotejan con el estándar de FAO/OMS, y en estas se encuentra que el contenido de lisina es menor en el frijol, chícharo y cacahuate, en comparación con la haba, el tarwí y la soya además estas dos últimas satisfacen los requerimientos del estándar de FAO/OMS 1991. También se observa que los aminoácidos azufrados en tarwí se encuentran en una menor proporción a lo reportado por la FAO (Ballester y col.1986; Bourgues, 1987; Charley, 1995).

2.2.2. Digestibilidad.

En virtud de que la digestibilidad de los diferentes componentes bioquímicos de los alimentos influye sobre su rendimiento en calorías y sobre su valor biológico, su estudio ha sido importante. En el caso de las proteínas y otros elementos

nutritivos, la digestibilidad de las proteínas de las leguminosas ha sido objeto de mucha atención. Ya en 1907 se afirmaba que se absorbía el 80 % de las proteínas y el 97 % de los carbohidratos (Gatel y Champ, 1998; Kozlowskz y col., 1998).

En un informe sobre las leguminosas en la agricultura y la nutrición humana en África, se indicó que la digestibilidad verdadera de las leguminosas bien guisadas se encuentra entre el 85 y el 95 %, siendo la de los frijoles ligeramente menor con respecto a la de los chícharos (Gatel y Champ, 1998; Kozlowskz y col., 1998).

Cuadro 5. Composición de aminoácidos indispensables en leguminosas (g/16gN).

Aminoácido	<i>Cacahuete</i>	<i>Tarwi</i>	<i>Frijo</i>	<i>Chícharos</i>	<i>Hab</i>	<i>Soya</i>	Estándar FAO/OMS (1991).
	**	*	l **	**	a **	*	
Isoleucina	3.7	4.8	4.3	4.6	4.2	4.6	2.8
Leucina	6.6	7.8	7.4	8.4	7.8	7.7	6.6
Lisina	4.7	6.6	3.0	4.4	5.9	6.2	5.8
Metionina + cisteína	3.1	1.4	2.4	2.0	2.0	2.5	2.5
Fenilalanina+ tirosina	7.9	7.2	7.5	8.5	7.3	9.2	6.3
Treonina	3.2	2.9	3.9	4.0	3.5	4.2	3.4
Triptofano	1.2	0.9	1.0	1.1	1.0	1.3	1.1
Valina	3.7	4.9	4.8	4.5	4.8	4.9	3.5

Fuente: **Robinson, 1991; *Jiménez y col., 1998.

2.2.3. Otros elementos nutritivos.

Las semillas secas de las leguminosas son, en general buenas fuentes de minerales y vitaminas importantes (Cuadro 6). Comúnmente, las leguminosas suministran fósforo (Charley, 1995) y el contenido de este varía entre 300 y 400 mg (Bourgues, 1987). Este contenido de minerales es superior a los requerimientos diarios que son de 100 mg. El aporte de calcio oscila entre 200 mg

(fríjol) y el hierro se encuentra entre 5.0 y 6.7 mg debido a estas proporciones se les considera buenas fuentes de calcio y hierro. La mayoría de ellas aporta, por cada 100 g de estas entre 0.5 y 1.0 mg de tiamina, de 0.1 a 0.5 mg de riboflavina y alrededor de 3.0 mg de niacina, en tanto que su contenido de vitamina C es virtualmente cero (Bourgues, 1987; Charley, 1995).

Cuadro 6. Composición de vitaminas y minerales en leguminosas.

Leguminosas	Calcio (mg)	Hierro (mg)	Vitamina A (UI)	Tiamina (mg)	Riboflavina (mg)	Hiacina (mg)	Vitamina (mg)
<i>Lupinus mutabilis</i> (Tarwi)	90	6.3	Trazas	0.28	0.50	2.6	---
<i>Arachis hipogaea</i> (cacahuete)	52	1.9	30	0.84	0.12	16.0	Trazas
<i>Glycine max</i> (soya)	208	6.5	140	1.03	0.30	2.1	Trazas
<i>Phaseolus vulgaris</i> (Frijol común)	137	6.7	30	0.54	0.18	2.1	3
<i>Pisum sativum</i> (chicharo)	64	4.8	100	0.72	0.15	2.4	4
<i>Vicia faba</i> (haba)	90	3.6	100	0.54	0.29	2.3	4

Fuente: Ríos, 1995.

2.2.4. Factores no nutricionales.

Todos los alimentos contienen una o varias sustancias que, examinadas en forma aislada, pueden considerarse como tóxicos. Cabe mencionar que el término tóxico se utiliza para definir cualquier respuesta fisiológica desfavorable producida en el hombre o en los animales por determinado alimento o sustancia derivada de él (Aykoryd, 1982; Gatel y Champ, 1998; Kozlowskz y col., 1998). Algunas de estas sustancias son inherentes al producto y por tanto inevitables,

mientras que otras son contaminantes cuya presencia accidental se puede prevenir (Bourgues, 1987).

De acuerdo con esta afirmación, se diría que comer es un acto de alto riesgo, y sin embargo nuestra especie no sólo ha sobrevivido miles de años, sino que ha progresado al grado de alcanzar una mejor salud cada día. La razón es debido a que la toxicidad de una sustancia esta en función de la cantidad ingerida y de la sensibilidad de los consumidores; además, muchos de estos compuestos pierden su actividad cuando son sometidos al efecto del calor u otros tratamientos culinarios. La toxicidad debe, entonces, valorarse siempre considerando las cantidades y formas de consumo de los alimentos (Bourgues,1987; Aguilera, 1993).

Las leguminosas contienen una vasta serie de elementos con efectos negativos sobre su valor nutritivo. Algunos son termolábiles, desapareciendo tras un adecuado tratamiento térmico. Otros son termoestables, pudiendo eliminarse o reducirse por lavado (Cubero, 1983).

Constituyentes termolábiles:

- a) *Inhibidores de tripsina.*
- b) *Goitrógenos.*
- c) *Lectinas.*
- d) *Antivitaminas y componentes que se unen a los metales.*
- e) *Glucósidos cianogénicos.*

(Aykoryd, 1982; Rodríguez, 1985; Bourgues, 1987;Anantharaman y Finot, 1993; Friedman, 1999).

Constituyentes termoestables:

- a) *Alcaloides.*
- b) *Saponinas.*
- c) *Factores de flatulencia*
- d) *Favismo.*
- e) *Taninos.*

(Bressani, 1979; Aykoryd, 1982; Cubero, 1983; Aniszewski, 1993; Friedman, 1999).

Para el aprovechamiento de las semillas de leguminosas que tienen los componentes anteriormente mencionados es necesario reducir el contenido de los factores no nutricionales por debajo de los niveles de perceptibilidad sensorial y de toxicidad. La destoxificación de estos últimos se pueden realizar por diferentes métodos tecnológicos, los cuales se fundan principalmente en la extracción de los alcaloides con base en su solubilidad. Los alcaloides se encuentran en la semilla principalmente en forma de sales y solo una pequeña parte como bases, por lo que su extracción; cuando están como sales, resulta más fácil conforme sea el disolvente más polar. De aquí que el agua sea el líquido apropiado para su extracción (Duque, 1995; Jiménez y col., 2001).

Entre los procesos tecnológicos más conocidos se tienen los siguientes:

2.2.4.1. Destoxificación por diferentes fuentes tecnológicas.

a) Destoxificación por tratamiento térmico y remojo en agua.

Este proceso tecnológico de destoxificación es el más ampliamente empleado, con un rendimiento bastante adecuado. Se ha venido utilizando desde la época preincaica y todavía se práctica. Existen varios procedimientos, pero todos ellos tienen el mismo principio, basado en la solubilidad de los alcaloides en agua, siendo los siguientes:

- ❖ Después de una limpieza la semilla se cocerá a ebullición por 45 min y la extracción de los alcaloides se realiza cuando la semilla cocida, se somete a un proceso de flujo continuo en agua por un período de 3-4 días.
- ❖ La semilla partida y desengrasada, se cubre de agua en una olla y se calienta a 90 ° C/30 min se coloca posteriormente en un recipiente perforado a chorro continuo de agua fría por 72 h (Duque, 1995).

b) Procesos no convencionales:

❖ Destoxificación para la elaboración de concentrados proteicos.

Los concentrados proteicos son productos mas refinados que las harinas y contienen un mayor porcentaje de proteínas (70 %), durante su elaboración se elimina la mitad de los carbohidratos y algunos otros componentes de menor importancia (Fleming y Sosulski, 1972; Onayemi y Lorenz, 1978; Anantharaman y Finot, 1993; Fernández y col., 1993).

❖ Destoxificación para la obtención de aislados proteicos.

Los aislados proteicos se caracterizan por presentar el 90 % o más de proteína y se obtienen a partir de los concentrados al eliminarles los polisacáridos, los oligosacáridos y otros constituyentes (Onayemi y Lorenz, 1978, Fernández y col., 1993; Friedman, 1999). Al igual que los concentrados, los diferentes aislados comerciales tienen aproximadamente la misma composición química; sin embargo, sus propiedades físicas pueden ser diferentes. Los aislados proteicos comerciales varían en cuanto a sus propiedades funcionales, ya que existen algunos con varios grados de solubilidad que se usan en la elaboración de diferentes alimentos.

c) Destoxificación por vía química:

Este método se basa en la transformación de los alcaloides hidrosolubles en componentes liposolubles mediante la gasificación con óxido de etileno. De esta forma los alcaloides pueden ser extraídos en la fase lipídica con una mezcla azeotrópica constituida por etanol-hexano-agua en la proporción de 75:15:10 y agitando la muestra en medio alcalino. El aceite no sufre alteración en su calidad y la torta tiene un contenido de alcaloides menor de 0.04 %. Este proceso tiene la desventaja de que el oxido de etileno es sumamente tóxico y explosivo (Duque, 1995).

d) Destoxificación por fermentación láctica.

La aplicación de la fermentación láctica mejora el valor nutricio de estos productos, incrementándose la concentración de riboflavina, con ligeros

cambios en lisina y metionina, no se afecta significativamente la relación neta proteica ni la digestibilidad, reduciéndose en cambio el contenido de oligosacáridos y alcaloides (Duque, 1995; Jiménez y col., 2001).

Los procesos referidos son utilizados para la obtención de productos que puedan ser utilizados para consumo humano debido al valor proteico que tienen estos. El contenido nutricional de las harinas, concentrados y aislados está relacionado principalmente con las proteínas de reserva que los constituye.

2.3. Propiedades funcionales de proteínas.

Como ingredientes de los alimentos, las proteínas deben reunir una serie de propiedades identificadas como “funcionalidad”, esta se define como cualquier propiedad, distinta de las nutritivas, que condicione su utilidad en los mismos. La mayor parte de las propiedades funcionales afectan a las características sensoriales de los alimentos (especialmente la textura) aunque también pueden jugar un papel importante en su comportamiento físico, o en el de sus ingredientes durante su preparación, procesado o almacenamiento (Kinsella, 1979).

Las propiedades funcionales de las proteínas son aquellas características fisicoquímicas que les permite contribuir a que los alimentos exhiban peculiaridades deseables. En un solo alimento, suelen ser evidentes varias particularidades de una proteína. Las propiedades funcionales de las proteínas se pueden clasificar en tres grandes grupos:

- a) Propiedades de hidratación (dependientes de las interacciones proteína-agua)
- b) Propiedades relacionadas con las interacciones proteína-proteína
- c) Propiedades de superficie (dependientes de las interacciones proteínas-lípidos).

Al primer grupo pertenecen capacidades como la absorción y retención de agua, la humectabilidad, el hinchamiento, la adhesión, la dispersibilidad, la solubilidad y la viscosidad a las que con frecuencia se hace referencia con el término de

propiedades hidrodinámicas. Las características del segundo grupo participan en procesos tales como la precipitación y la formación de geles y varias otras estructuras poliméricas (por ejemplo masas y fibras proteicas). El tercer grupo está relacionado fundamentalmente con la tensión superficial, la emulsificación y las características espumantes de la proteína. Dentro de las proteínas que presentan algunas de estas propiedades se encuentran las pertenecientes al trigo y a las leguminosas.

2.3.1. Proteínas de trigo.

El contenido de proteína del grano de trigo puede variar entre 9 y 17 %, dependiendo de factores genéticos y agentes asociados con el cultivo del cereal (MacRitchie y Lafiandra, 1993). Una propiedad única del trigo es aquella que se manifiesta cuando su proteína insoluble hace contacto con el agua y forma el gluten que confiere visco-elasticidad a la masa de panificación. Por lo tanto, el gluten es el componente del grano de trigo más determinante de la calidad del mismo.

La proteína del gluten representa entre 78 y 85 % de la proteína total del endospermo de trigo y, por lo tanto, las variaciones en el contenido total de proteína indican los diferentes valores en la integridad del gluten. Esta relación está bien establecida y, en consecuencia, cuanto mayor el contenido de proteína (y de gluten) mayor será la calidad (fuerza de gluten) de panificación de la variedad. Por esto, el contenido de proteína es un factor importante en la comercialización del trigo.

La cantidad de esta, por sí sola, no siempre puede explicar las diferencias en las propiedades viscoelásticas de las masas de diferentes variedades. Por lo tanto, la calidad de la proteína del gluten es también un factor determinante (Weegels y col., 1996).

La calidad de la proteína del gluten referida como propiedades viscoelásticas o fuerza de gluten depende de dos factores principales: a) la proporción de dos componentes denominados gliadina (proteína que confiere flujo viscoso a la masa)

y glutenina (da elasticidad y extensibilidad a la masa), y b) la presencia de unidades específicas de glutenina, conocidas como gluteninas de alto peso molecular (APM) y gluteninas de bajo peso molecular (BPM), que pueden contribuir de manera positiva o negativa a la obtención de gluten fuerte y extensible (MacRitchie, 1999; Pfluger y col. 2001).

2.3.2. Propiedades funcionales de las proteínas del trigo.

La propiedad más importante de las gliadinas y gluteninas es su habilidad para formar gluten, la masa esta constituida por este complejo de proteínas.

El gluten esta formado por tres fracciones de solubilidad distinta: la gliadina soluble en alcohol, las gluteninas solubles en soluciones de ácidos débiles diluidos y las gluteninas insolubles o residuo de proteína que son moléculas asimétricas no globulares compactas (Figura 1). En cuanto a su conformación se refiere, las gliadinas y las gluteninas dependen de los enlaces covalentes y no covalentes. Cuando el enlace covalente de la cadena de disulfuro se rompe, se presentan cambios en la viscoelasticidad (Faridi, 1990).

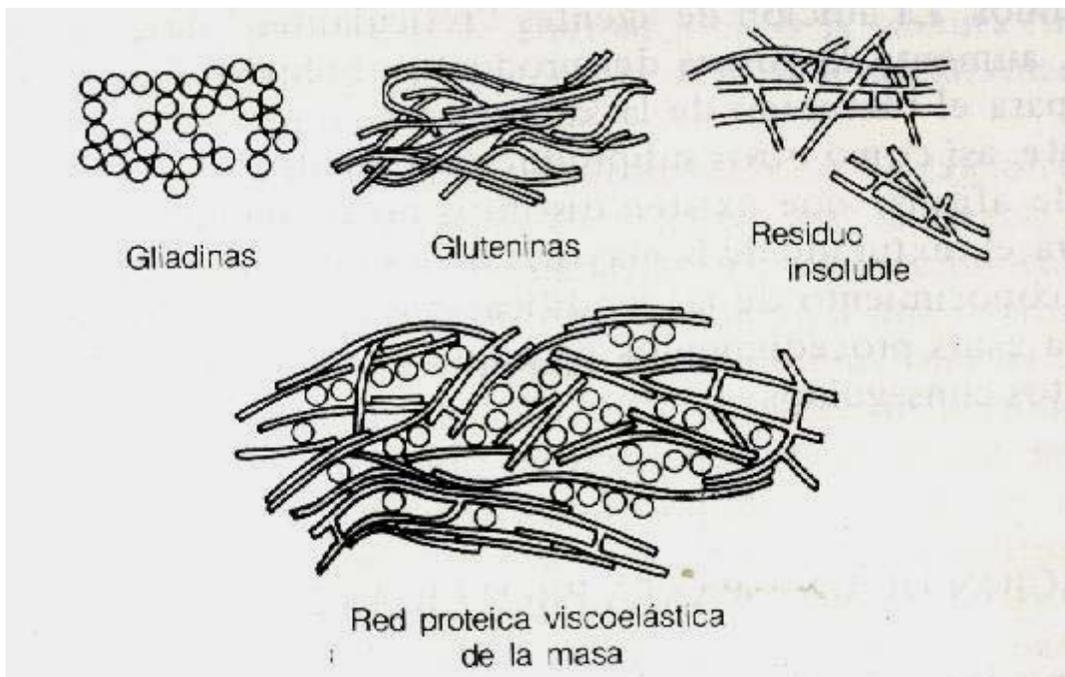


Figura 1. Representación esquemática de gliadinas y gluteninas de trigo y la red viscoelástica presente en la masa de panadería.

Fuente: (Utsumi y col; 1996).

2.3.3. Calidad industrial de las proteínas de harina de trigo.

La industria que procesa harinas de trigo requiere de variedades con distintos tipos de calidad que satisfagan tanto las demandas de los procesos utilizados como las de los productos a elaborar.

En México los trigos se clasifican en grupos de acuerdo a la calidad industrial requerida y al alimento que se elabore como son el pan, galletas, pasteles y pastas. Esta categorización, no es normativa y se basa en características de textura del endospermo y de fuerza del gluten (Cuadro 7). Los trigos de gluten fuerte y extensible pertenecen al grupo 1 y son necesarios en los procesos mecanizados de panificación (pan de molde) en los cuales las masas deben tolerar el trabajo intenso al cual son sometidas. Estos trigos son utilizados como mejoradores de trigos de menor fuerza de gluten. Los trigos con gluten medio fuerte y extensible (grupo 2) son aptos para la producción semi-mecanizada y manual de pan a partir de masas fermentadas (pan blanco, pan de masa hojaldrada y pan dulce, moldeados manualmente y horneado sin molde) y no fermentadas (pan plano como el árabe, tortilla de harina, etc.). Por otro lado, los trigos de endospermo suave (o blando) y gluten débil (grupo 3), son requeridos en la industria galletera y de repostería. Estos trigos deben poseer un contenido de proteína menor que el de los trigos de los grupos 1 y 2. Los trigos de gluten tenaz (poco extensibles), del grupo 4, son indeseables en la industria panificadora, ya que producen masas de panificación que, por el hecho de tener extensibilidad muy limitada, presentan poca tolerancia al sobremezclado, deficiente capacidad de expansión durante la fermentación y el horneado y pobres características de manejo y moldeado. El trigo cristalino o durum (grupo 5) produce semolina (harina gruesa) de color amarillo y posee un gluten medio fuerte a fuerte y tenaz, adecuado para elaborar pastas alimenticias muy densas y resistentes. (Peña y col. 1997).

Cuadro 7. Clasificación del trigo con base a sus características generales de calidad y su uso industrial.

<i>Grupo de calidad</i>	1 Fuerza de gluten	Uso industrial	Observaciones
Grupo 1 (F)	Fuerte/extensible	*Panificación mecanizada *Mejorador de trigos de menor fuerza de gluten	Endospermo duro a semi-duro
Grupo 2 (M)	Medio/extensible	*Panificación manual y semi-mecanizada	Endospermo duro a semi-duro
Grupo 3 (S)	Debil/extensible	*Galletería y repostería *Panificación artesanal	Endospermo suave (blando)
Grupo 4 (T)	Medio/tenaz (poco extensible)	*Algunos productos de repostería	Endospermo duro a semi-duro No panificable
Grupo 5 (C) (<i>T. durum</i>)	Fuerte/tenaz	*Elaboración de pastas alimenticias (espagueti, etc.)	Endospermo muy duro y cristalino No panificable

Fuente: Peña y col., 1997.

2.3.4. Proteínas de leguminosas.

Las leguminosas constituyen una de las fuentes de nutrientes más ricas, con un contenido de proteína en la semilla de 23-36 % y la mayor parte de esta es de reserva. Estas no tienen actividad enzimática, y son el proveedor más simple de aminoácidos, de nitrógeno y de esqueletos de carbono en el desarrollo de la planta. Estos componentes están depositados en los cuerpos proteicos del grano; contienen altos niveles de aminoácidos amídicos (glutamina y asparagina) así como de arginina y son deficientes en otros como la metionina. Las proteínas solubles en soluciones salinas son conocidas como globulinas y son las que se

encuentran en mayor proporción en las leguminosas. Entre sus propiedades físico-químicas importantes están su tamaño, su contenido de aminoácidos, su contenido de azúcar, y conformación, característica principal que se da en fracciones como los trímeros y los hexámeros durante la maduración de ésta.

2.3.5. Propiedades funcionales de las proteínas de leguminosas.

Debido a que las leguminosas se encuentran conformadas por proteínas de reserva que se mencionaron con anterioridad, es necesario conocer las propiedades funcionales (Cuadro 8) que las leguminosas poseen (Kinsella, 1979). Con relación a éstas características que tienen las leguminosas es posible utilizarlas en diferentes alimentos como carnes, salsas, panes, pasteles y sopas. A los cuales les proporcionará un mejor sabor, textura y una mayor absorción de agua.

Cuadro 8. Propiedades funcionales de las proteínas de leguminosas.

Funcionalidad	Acción	Alimento	Producto
Absorción de agua	Puentes de hidrogeno	Carnes, salsas, panes, Pasteles	H, C
Viscosidad	Atrapamiento de HOH	Sopas	H, C y A
Cohesión-adhesión	Adhesividad de proteínas	Carnes, salsas, pasteles y pastas	H, C y A
Elasticidad	Puentes de disulfuro	Carnes y pasteles	A
Espuma	Películas estables en el atrapamiento de gas	Pasteles	A y H
Sabor	Mejorador	Panes	H, C y A

¹ H= Harina

² C= Concentrado ³ A= Aislado

Fuente: Kinsella, 1979.

Como se observa en el Cuadro 8 descrito en párrafos anteriores dentro de las principales propiedades funcionales que confieren las leguminosas a los alimentos

son las características de viscosidad, cohesión-adhesión y elasticidad que son particularidades que tienen una relación estrecha con la reología en masas de harina de trigo.

2.4. Fundamento de la medición de las propiedades reológicas de las masas.

Para entender aún mejor las propiedades que tiene la masa, es necesario conocer su composición y estructura por lo que en principio esta es una agrupación compleja de elementos primarios y secundarios que se les clasifica como un sistema de multifases, entre las que se pueden apreciar las siguientes: una que es sólida (harina), otra que es líquida (agua) y una tercera fase gaseosa (productos de fermentación), esta última consiste de finas burbujas de aire, incorporadas en el amasado.

La harina de trigo, esta formada por proteínas de reserva, que al mezclarse con el agua forman el gluten el cual es una red polimérica que proporciona elasticidad a la masa, esta a su vez es capaz de retener gas (Faridi, 1990).

Estas propiedades se presentan en los alimentos visco-elásticos, cuando la relación entre la tensión aplicada y la deformación resultante es sólo función del tiempo, se considera que el material se comporta con visco-elasticidad lineal. En muchos materiales reales se verifica este comportamiento general de los materiales, suele variar además de con el tiempo y con la magnitud de la fuerza aplicada. En estos casos se dice que el material presenta un comportamiento visco-elástico no lineal. No existe una teoría general que defina tu comportamiento, y para caracterizar la respuesta reológica de los alimentos sólidos se estudian éstos en condiciones experimentales que permitan la aplicación de las bases teóricas que definen el fenómeno de viscoelasticidad lineal.

Ante la diversidad de comportamientos de los materiales reales y su complejidad, se recurre a los modelos mecánicos para explicar su respuesta a la aplicación de una acción externa. Cada modelo explica un determinado comportamiento, permite definirlo con ecuaciones matemáticas y representarlo gráficamente en función de las tres variables implicadas: tensión, deformación y tiempo.

Sobre las bases de estos modelos se puede interpretar y clasificar los datos experimentales obtenidos en el estudio del comportamiento reológico de cualquier sólido visco-elástico.

En el diseño de los modelos mecánicos intervienen dos elementos simples que, combinados de distinta forma representan diferentes comportamientos. Estos dos elementos son: el elemento elástico ideal que se representa mediante un muelle y cuyo comportamiento queda definido por su constante elástica E y el elemento viscoso ideal que se representa mediante un amortiguador en el que el pistón se mueve holgadamente dentro de un líquido newtoniano y cuyo comportamiento queda definido por su viscosidad η (Figura 2) (Faridi, 1990).

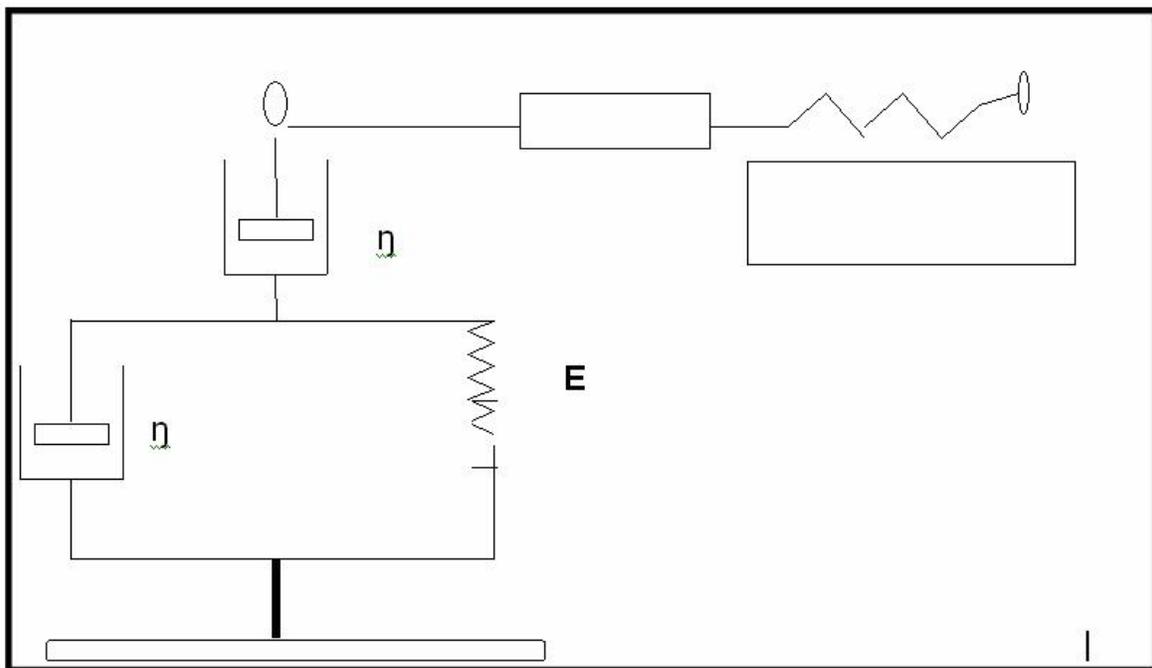


Figura 2. Modelo reológico de una masa de trigo. Fuente: Shuey W. C. (1975).

2.4.1. Instrumentos de medición de torque o medición de viscosidad:

a) Mezcladores de masa.

En esta categoría se encuentran instrumentos que miden el comportamiento general de la masa en el mezclado, estos incluyen la fuerza de la masa, velocidad de absorción de agua, tolerancia al mezclado, tiempo para máximo desarrollo. Los

instrumentos que se emplean dentro de esta categoría son: Farinógrafo, Mixógrafo, Do-Corder, Resistógrafo y Reógrafo.

b) Viscosímetro.

Esta categoría agrupa varias clases de viscosímetros, comúnmente usados para medir la viscosidad de pastas batidos y suspensiones. La medida de la resistencia a la rotación de un huso o cilindro sumergido en el material de prueba es la base de varios de los viscosímetros analíticos. La mayoría de ellos están clasificados como viscosímetros de torsión debido a que los resultados se obtienen de la medición del torque sobre la parte rotatoria del instrumento. Esta se encuentra dada por un resorte calibrado sobre un huso en rotación a una velocidad constante en el material en estudio, da como resultado la viscosidad.

Los tipos de viscosímetros más conocidos son: Viscoamilógrafo o Amilógrafo, Viscosímetro de MakMichael, Viscosímetro de Brookfield, Viscosímetro Stromer, Número de caída de Perten-Hagberg, Viscosímetro Hueppler y Viscosímetro Zahn (Hibberd y Parker, 1975; Shuey 1975; Kaufman y col. 1986; Blanshard y Lillford 1987; Pomeranz, 1988; Faridi, 1990; Hosseney y Rogers, 1990; Hosseney, 1994; Anónimo, 2000; Zheng y col. 2000; Wu y col. 2001).

2.4.2 Instrumentos de medición elástica o esfuerzo/deformación.

Los aparatos medidores del esfuerzo/deformación están diseñados para medir la elasticidad y la extensibilidad de la masa, su fundamento es que aplican una fuerza sobre la masa a una velocidad y dirección dadas. La masa se extiende o deforma más allá de su límite de extensibilidad por lo que se rompe. Estos equipos registran el área bajo la curva tiempo vs extensión, quedando bien definido el punto de ruptura. El área es proporcional a la energía requerida para deformar la porción de masa involucrada.

Los equipos conocidos en esta categoría son: Extensógrafo Brabender, Alveógrafo Chopín de Brabender y Extensómetro Simon Research.

2.4.3. Instrumentos de medición de gas.

Un aspecto que miden estos equipos es la generación de glóbulos de gas en la masa, lo cual depende de la capacidad de la masa para incrementar el volumen y retener la expansión de gas durante todas las etapas del proceso. Durante un mezclado convencional no se tiene la suficiente energía para desarrollar el volumen completo de la masa, sin embargo, incrementando la energía de mezclado, se puede obtener en pocos minutos el desarrollo completo.

Los aparatos conocidos son: SJA probador de masa, Zimatógrafo Chopin y Expansógrafo Halton, Maturógrafo Brabender y Horno registrador de levantamiento Brabender.

El objetivo de las pruebas físicas es de alguna manera eliminar las pruebas de panificación, por lo que se ha propuesto un sistema de tres fases donde se involucran diferentes pruebas que simulan las diferentes etapas en los procesos de panificación y pastificación (Hibberd y Parker, 1975; Shuey 1975; Kaufman y col. 1986; Blanshard y Lillford 1987; Pomeranz, 1988; Faridi, 1990; Hosseney y Rogers, 1990; Hosseney, 1994; Anónimo, 2000; Zheng y col. 2000; Wu y col. 2001).

2.5. Utilización de *L. mutabilis* en la elaboración de productos de panificación.

Investigaciones han mostrado que el uso de harina de *Lupinus* cada vez es mas frecuente en los productos elaborados a base de cereales. El color amarillo de la harina de *Lupinus* se ha considerado como un recurso de gran valor para los productos batidos y las pastas. Cada día aumenta el número de personas que prueban las harinas de *Lupinus* y encuentran que estas proporcionan textura, sabor y frecuentemente color (Wittig y col., 1987; Aguilera, 1993; Mohamed y Rayas, 1995; Dervas, 1999; Anónimo 2002). La adición de harina de *Lupinus* blanco en un 4 % con harinas integrales de trigo da lugar a un pan con un pequeño incremento de peso, una mayor absorción de agua y de mayor vida de anaquel (Campos y El-Dash 1976; Ballester y col. 1984; Zacarías y Yáñez, 1985; Dervas, 1999; Gammére, 1995;). La aceptabilidad de estos ha sido muy

satisfactoria, la utilización de harina de *Lupinus* hasta un 10 % de sustitución no afecta la calidad del pan. El *Lupinus* se ha llegado a incorporar hasta un 50 % en bisquets con buenos resultados (Gammère,1995). En una investigación reciente (Anónimo, 2002) se ha encontrado que la harina de *Lupinus* adicionada en un 10 % de fortificación compensa la deficiencia de lisina de la harina de trigo, además de incrementar el contenido de proteína de esta, proporciona fibra. Con base en la descripción previa, se considera que el *Lupinus* tiene un alto potencial en la elaboración de productos panificables.

3. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. Material: para este trabajo se utilizaron harina, concentrado y aislado de *Lupinus mutabilis* que se obtuvieron del Centro de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMyT).

3.2. Proceso de elaboración.

En el Cuadro 9, se presentan los ingredientes usados en la elaboración de galletas fortificadas con derivados de *Lupinus*.

Cuadro 9. Ingredientes utilizados en la elaboración de galletas.

Ingrediente	Cantidad
Harina	400 g
Materia grasa	300 g
Yemas de huevo	8
Leudante (royal)	2 g
azúcar	350 g
sal	1 g
Leche en polvo	5 g

Se depositó la materia grasa, azúcar, sal y huevos en la batidora (Kitchen Aid modelo KSM15SPS). Se mezclaron los ingredientes a velocidad 1 durante 3 min. y después a velocidad 3 hasta que se obtuvo una crema o pomada libre de gránulos de sal o azúcar (aprox. 20min). Después se mezclaron junto con estas las harinas, polvo para hornear, leche en polvo y demás ingredientes en la batidora. Se colocó la porción de masa en la mesa ya enharinada y se extendió con el rodillo hasta que se logró un espesor homogéneo y una superficie lo más lisa posible. Troquelar la masa laminada con los moldes y se colocaron las piezas en la charola previamente engrasadas. Después las piezas se barnizaron con huevo batido. Se hornearon las galletas en charolas en el horno durante 15 min a 175-180 ° C.

3.3. Establecimiento del experimento.

Primeramente a la harina, concentrado y aislado de *Lupinus mutabilis* se le realizo el análisis químico proximal. Para conocer la mejor proporción harina de trigo-harina de *Lupinus*, se realizaron mezclas de acuerdo a los siguientes porcentajes (Cuadro 10), respecto a 250 g de masa, el resto fue harina de trigo, el desarrollo de este trabajo se llevo acabo en los laboratorios del Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología de los Alimentos (CICYTA) del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Cuadro 10. Mezclas de masas de harina de trigo con derivados de *Lupinus*.

Tratamientos	Harina de trigo %	HL %	CPL %	APL %
1	100	0	0	0
2	80	20	0	0
3	88	12	0	0
4	92	8	0	0
5	70	0	30	0
6	80	0	20	0
7	90	0	10	0
8	85	0	0	15
9	90	0	0	10
10	95	0	0	5

HL = Harina de *L.mutabilis* desgrasada y destoxificada

CPL = Concentrado Proteico de *L.mutabilis*

APL = Aislado Proteico de *L.mutabilis*

3.4. Determinación de proteína.

Se determino el contenido de proteína por el método de Kjeldhal (AOAC 1990).

La proteína de las galletas así como la de harina fue obtenida pesando la cantidad de 0.005 a 2.0 g de muestra.

Después se colocó la muestra en el fondo del matraz Kjeldahl y se adicionó aproximadamente 3.5 g de mezcla digestora y 7 ml de ácido sulfúrico concentrado.

Posteriormente se colocó en el matraz digestor, calentando suavemente al principio y después en forma energética, calentar hasta su completa oxidación, punto donde la mezcla forma una solución verde clara transparente o azul clara, dejar enfriar a temperatura ambiente.

Se preparo el aparato de destilación, a la salida del refrigerante, en un matraz Erlenmeyer se colocaron 40 ml de ácido bórico al 4 %, se adicionaron de 2 a 3 gotas de indicador de rojo de metilo. Añadir al matraz de Kjeldahl, estratificando y lentamente, aproximadamente 50 ml de NaOH 40 %, conectar inmediatamente el sistema de destilación del aparato de Kjeldhal.

Más tarde se recuperó un poco del destilado, titular con solución de HCL 0.1N deberá virar a color rosa, destilar aproximadamente 250 ml para garantizar que haya pasado todo el amoniaco.

Lavar el destilador, poniendo un matraz Kjeldahl con agua destilada y esperar que se refluje hacia el matraz Kjeldhal.

3.5 Determinación de fibra cruda.

Este análisis se realizó a harina, de *Lupinus mutabilis* y a la harina de trigo, respectivamente.

Se peso 0.5 g muestra seca y desengrasada. Se colocó en un vaso de Berzelius, de 600 ml, se añadió 200 ml de ácido sulfúrico 0.225 N hirviendo, para que el tiempo de digestión fuera controlado.

Se calentó el vaso en el aparato de fibra y se empezó a rotar periódicamente los vasos con el objetivo de evitar que los sólidos se pegaran en la parte de arriba.

Se mantuvo en ebullición suave durante 30 minutos exactamente pasado este tiempo, se filtro y lavo con agua hirviendo hasta que se obtuvo un pH neutro, como siguiente punto se dejo secar, pasando después el residuo al vaso añadiendo 200 ml de Hidróxido de sodio 0.313 N hirviendo, nuevamente fue colocado en el aparato, dejando hervir nuevamente 30 minutos.

Se filtró y se lavo nuevamente con 25 ml de acido caliente y 3 porciones de 50 ml de agua caliente, y por ultimo se agregó 25 ml de alcohol.

Se dejo secar por 2 horas a 130 ° C en la estufa (en un crisol).

Finalmente se enfrió en un desecador y se peso nuevamente, como paso final se calcino a 600 ° C en la mufla por 30 minutos se dejo enfriar en el desecador y se peso.

Cálculos.

La pérdida de masa correspondiente a la fibra cruda en la muestra seca y desengrasada.

$$\% \text{ Fibra cruda} = \frac{(a - b) \times 100}{m}$$

Donde.

a = Peso del crisol con el residuo seco en gramos.

b = Peso del crisol con el residuo calcinado, en gramos.

m =Peso de la muestra seca

3.6. Determinación de grasa.

Se determinó el contenido de grasa 30,10 (AOAC 1995). Pesando 2 g de muestra adicionando 2 ml de alcohol al 95 %, 10 ml de ácido clorhídrico (HCl) concentrado y 8 ml de agua destilada, se colocó toda la solución en un frasco bien sellado para que no hubiera evaporaciones de solución, se puso en un baño maría a 60 ° C durante 20 min se dejó enfriar, después se obtuvo la grasa separada del solvente, se adicionaron 10 ml de alcohol, 25 ml de éter dietílico, se agito durante 1 min.

Posteriormente se adicionaron 25 ml de éter de petróleo, se agito durante un minuto, así por decantación se separo la grasa y posteriormente se obtuvo en una charola de aluminio que anteriormente se puso a peso constante, se metió a la estufa a 100 ° C durante 30 min después, se enfrió el residuo y se peso.

3.7. Determinación de humedad por la norma oficial: NOM –F-83-1986-2/3.

La humedad de la harina así como del pan fue determinada pesando una cantidad de muestra en una cápsula de aluminio previamente tarada y/o a peso constante, se colocó la cápsula en una estufa que fue calibrada a una temperatura de 100 ° C por 24 h aproximadamente. Después de este tiempo se saco la cápsula de la estufa y se paso a un desecador para dejarla enfriar a temperatura ambiente, posteriormente se peso la cápsula con el producto seco.

3.8. Determinación de cenizas por la norma oficial: NOM-F66-S-1978.

Las cenizas se obtuvieron por la norma oficial mencionada con anterioridad, se tomo un crisol que previamente se llevo a peso constante, se peso la cantidad de 2 g de muestra necesaria que pidió la norma oficial para su determinación, se calcinó la muestra con fuego directo hasta que se calcinará perfectamente (hasta que no hubiera presencia de humo proveniente de la muestra), se llevo el crisol con muestra calcinada a una mufla calibrada previamente a una temperatura de 600 ° C de 2 a 3 h aproximadamente, transcurrido este tiempo se saco el crisol y se colocó en un desecador para enfriar la muestra para poder hacer los pesos correspondientes.

3.9. Determinación del perfil de textura: es el resultado de comprimir dos veces consecutivas un pedazo de alimento, utilizando el instrumento TAX2i (texture Technology Corp. USA), se realizó una prueba de doble compresión, con un embolo de 1 pulgada de diámetro; la celda de carga será de 5 K. Se comprimieron 3 panes por cada corrida experimental hasta un 20 %. En la Figura 3 se muestran

los cambios producidos en un alimento y detectados por un texturómetro y los datos registrados en una gráfica. Esta prueba se realizó de acuerdo a lo reportado por Corre-Gannere, 1995.

De esta manera se obtuvieron gráficas características del alimento en dónde se miden los parámetros de:

Dureza: es la altura en cm del pico máximo de la grafica.

Cohesividad: razón entre las áreas de las curvas correspondientes sólo a las bajadas del émbolo.

Elasticidad: que se define como la altura que recobra el alimento durante el tiempo que pasa entre el final de la primera compresión y el máximo de la segunda.

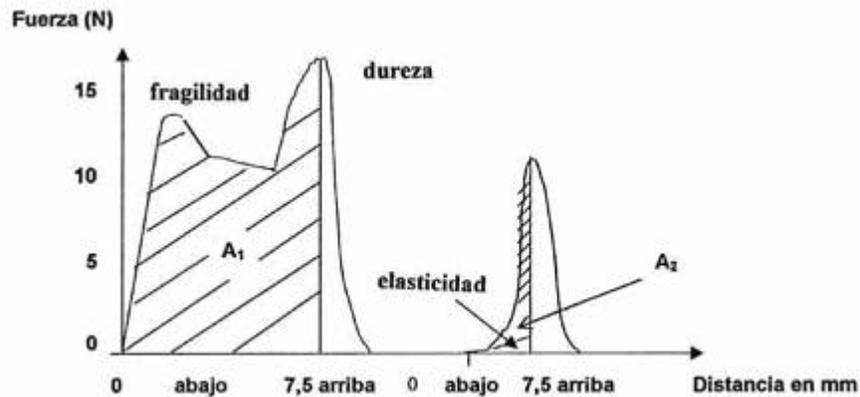


Figura 3. Curva Típica con Texturómetro TAX2i (doble compresión).

3.10. Análisis estadístico.

Los datos que se obtuvieron se analizaron bajo un diseño experimental completamente al azar. Se realizó el análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Duncan, así como una correlación, todo esto utilizando el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System)

4. RESULTADOS Y DISCUSION.

4.1. Composición químico proximal de la HL, CPL y APL.

En el Cuadro 11 se observan los resultados del análisis químico proximal de la harina de trigo suave, donde el contenido de proteína fue de 9.09 %, el porcentaje de fibra fue de 1.2 %, de grasa 0.59 %, cenizas 0.96 % y humedad 13.71 %. Estos resultados coinciden con lo reportado por Güemes (2004); quien realizó un análisis químico proximal a la harina de trigo suave comercial, reporta para proteína 10.3 % y humedad de 13.3 %, estos resultados concuerdan con lo que reporta la Norma Oficial Mexicana (1982), pero no con los obtenidos en este trabajo, esto se atribuye a que las harinas pueden provenir de diferentes variedades de trigo. El contenido de proteína que mostró la HL fue de 39.4 % menor al de la harina informada por Duque (1995) 46.5 %, esta diferencia debe a que los granos de *L. mutabilis* provienen de diferentes regiones. Millan y col. (1995) indicaron que esta leguminosa contiene el 44.6 % de proteína.

La concentración de grasa considerada como residuo fue de 1.05 para el HL, ya que esta había sido desgrasada anteriormente, sugiriendo que el método de extracción en esta investigación fue más eficiente que la utilizada por Duque (16.2 %) (1995). La fibra tuvo un valor ligeramente menor para HL (3.2 %) en comparación con lo reportado por Clark y Johnson (2003) (4.4 %); El-Edaway y col. (2001) reportaron un contenido de fibra (4.1 %), la humedad representó mayor contenido en HL (7.7 %) de acuerdo a lo que informó Duque (1995) (4.7 %) y este aumento, se considera que fue debido en parte al proceso de extracción de la grasa. Las cenizas se mantuvieron por debajo de lo reportado por Duque (1995) que fue de 2.7 %.

El CPL y el APL mostraron una composición proximal que se muestra en el Cuadro 11. El CPL indicó un contenido de proteína ligeramente mayor que el reportado por Sathe y col. (1982) (72.8 %) esta diferencia pudo deberse a que los métodos utilizados para la obtención del concentrado fueron diferentes.

En lo que se refiere a los resultados obtenidos para APL se tuvieron porcentajes levemente menores de proteína (89.15 %) en comparación a lo reportado por King, (1985) (95.7 %), con *Lupinus albus* var. multolupa.

En cuanto al porcentaje de cenizas, este fue igual en el APL que en el CPL.

En la HL el contenido de fibra cruda fue de 2.48 %, en el CPL, y APL fue de 0.0 %, no se encontró fibra, debido a que en los tratamientos de obtención de estos, se encontró como componente mayoritario a la proteína. Con respecto a los carbohidratos estos fueron calculados por diferencia, ya que no se empleo ningún método específico para su cuantificación.

Cuadro 11. Análisis químico proximal de HT, HL, CPL y APL.

Muestra	HT (%)	HL (%)	CPL (%)	APL (%)
Proteína (Nx6.25)	9.09±0.1	39.42± 0.86	66.08±8.14	89.15±2.33
Lípidos	0.59±0.0	1.05 ± 0.23	N.D	N.D
Fibra cruda	1.2 ±.2	2.48 ± 0.13	0.00	0.00
Humedad	13.71±0.5	7.57 ± 0.13	7.82±0.9	7.60±0.01
Cenizas	0.96±0.3	2.16 ± 0.08	0.96±0.0	0.98±0.02
Carbohidratos (por diferencia)	64.45±0.0	47.32 ± 0.00	25.14	0.57 ±0.0

Valores con ± DS en determinaciones por triplicado.

HT = Harina de Trigo

HL = Harina de *L. mutabilis* desgrasada y destoxificada

CPL = Concentrado Proteico de *L. mutabilis*

APL = Aislado Proteico de *L. mutabilis*

4.2. Análisis de Perfil de Textura (APT) en Masas.

En el Cuadro 12 se observan los resultados obtenidos en masas fortificadas con derivados de *Lupinus* en diferentes proporciones, con un día de almacenamiento la dureza obtenida de la prueba de APT, muestra valores de 2.89 en HL al 12 % y

un valor de 2.63 en CPL 20 % que son los tratamientos que mas se acercan al valor del testigo que fue de 2.63, la diferencia entre uno y otro valor probablemente se debe a la presencia de los derivados de Lupinus que en concentraciones altas denotan una menor dureza, también podría ser a que al momento de amasar las harinas, concentrados y aislados de *L. mutabilis* no se homogenizaron adecuadamente. La dureza puede aumentar o disminuir debido a la acción de enzimas presentes en la harina que se activan en presencia de las condiciones de refrigeración (PizziNato y Hosenev, 1980; Uherle y Arendt, 1998; Kieffer y Stein, 1999). En el análisis estadístico en TPA de las masas si hay diferencias significativas con una $p < 0.05$, sin embargo se observa que en los tratamientos HL 8 % y CPL 30 % hay mayor dureza que en los demás tratamientos, no así en los tratamientos HL 20 % y APL 15 % que tuvieron menor dureza.

Cuadro 12. Dureza de las masas fortificadas con respecto a la proporción de HL, CPL y APL-HT, después de un día de almacenamiento.

Concentración de derivados de <i>Lupinus mutabilis</i>	Dureza (kg/f)
Testigo	2.63 ± 0.8 ^f
HL (%)	
8	4.40 ± 0.4 ^d
12	2.89 ± 0.5 ^e
20	1.28 ± 0.2 ^h
CPL (%)	
10	1.50 ± 0.7 ^a
20	2.63 ± 0.6 ^f
30	5.94 ± 0.6 ^b
APL (%)	
5	1.50 ± 0.7 ^c
10	1.38 ± 0.4 ^g
15	0.91 ± 0.2 ⁱ

Valores con ± DS en determinaciones por triplicado.

HL = Harina de *L. mutabilis* desgrasada y destoxificada

CPL = Concentrado Proteico de *L. mutabilis*

APL = Aislado Proteico de *L. mutabilis*

4.3. Extensibilidad (elasticidad) de masas fortificadas con derivados de *Lupinus*.

El Cuadro 13, presenta el comportamiento de la elasticidad de las masas de harina de trigo fortificadas con derivados de *Lupinus* los cuales se almacenaron por un día.

La elasticidad es mayor en masas adicionadas con HL 12 % y CPL 20 %, no así en el APL (5-15 %), que disminuye con respecto al HL. Los valores para la HL y el APL son mayores en comparación con el testigo (28.89) esto puede ser debido a que existe una disminución de las interacciones en el gluten, debido a la acción de

las enzimas de la harina, una tendencia similar se presenta en masas elaboradas con polvo de hornear (Ramírez, 2002). En el análisis estadístico en extensibilidad de las masas si hay diferencias significativas con una $p < 0.05$, sin embargo se observa que el tratamiento testigo tiene mayor extensibilidad que los demás tratamientos, no así en los tratamientos HL 20 % y APL 5 % que tuvieron menor extensibilidad.

Cuadro 13. Efecto de la proporción de HL, CPL y APL-HT en la elasticidad de masas fortificadas, después de un día de almacenamiento.

Concentración de derivados de <i>L. mutabilis</i>	Elasticidad (-)
Testigo	28,89 ± 1,19 ^b
HL (%)	
8	19,14 ± 1,20 ^{ed}
12	22,16 ± 1,22 ^b
20	17,31 ± 3,17 ^f
CPL (%)	
10	26,82 ± 1,63 ^{od}
20	27,89 ± 1,42 ^a
30	26,92 ± 1,33 ^e
APL (%)	
5	12,51 ± 0,93 ^c
10	14,91 ± 2,40 ^c
15	13,20 ± 2,20 ^g

Valores con ± DS en determinaciones por triplicado.

HL = Harina de *L. mutabilis* desgrasada y destoxificada

CPL = Concentrado Proteico de *L. mutabilis*

APL = Aislado Proteico de *L. mutabilis*

4.4. Cohesividad de masas fortificadas con derivados de *Lupinus*.

El Cuadro 14 muestra el comportamiento de la cohesividad con diferentes proporciones de derivados de *Lupinus* y se observa que este parámetro aumenta en los tratamientos con APL con respecto al testigo. Las formulaciones que presentan menores valores son aquellos donde se utiliza CPL en concentraciones de 20 % así como para las fortificadas con HL, (8, 12 y 20 %), el tiempo de almacenamiento provoca en general un incremento en el valor de la cohesividad debido quizás a que los polímeros de glutenina forman estructuras muy cohesivas que se fortalecen con el tiempo, esto se debe a procesos oxidativos que ocurren en las redes de gluten con oxígeno o a un mayor arreglo de los polímeros de glutenina permitiendo más interacciones físicas entre ellos (Weipert, 1990). En el análisis estadístico en cohesividad de las masas si hay diferencias significativas con una $p < 0.05$, sin embargo se observa que en los tratamientos de APL 5 % y 10 % hay mayor cohesividad que en los demás tratamientos, no así en los tratamientos HL 12 % y testigo que tuvieron la menor cohesividad.

Cuadro 14. Efecto de la proporción de HL, CPL y APL-HT, en la Cohesividad de masas fortificadas, después de un día de almacenamiento.

Concentración de derivados de <i>L. mutabilis</i>	Cohesividad
Testigo	1.1 ± 0.1 ^f
HL (%)	
8	1.5 ± 0.1 ^c
12	0.9 ± 0.1 ^e
20	1.4 ± 0.1 ^d
CPL (%)	
10	2.5 ± 0.1 ^{cd}
20	1.4 ± 0.2 ^{ef}
30	1.7 ± 0.3 ^{ef}
APL (%)	
5	2.5 ± 0.1 ^b
10	3.2 ± 0.2 ^a
15	2.8 ± 0.7 ^a

Valores con ± DS en determinaciones por triplicado.

HL = Harina de *L. mutabilis* desgrasada y destoxificada

CPL = Concentrado Proteico de *L. mutabilis*

APL = Aislado Proteico de *L. mutabilis*

En el Cuadro 15 se observa la correlación que existe entre textura, extensibilidad y adhesividad de las masas fortificadas habiendo correlación positiva entre la textura y la extensibilidad esto significa que si aumenta la textura se ve afectada la extensibilidad y viceversa, no así para la cohesividad, esto podría deberse al efecto que tienen las proteínas de *Lupinus* con la red de gluten de la masa, ya que esta se interrumpe en la presencia de las proteínas de los derivados de *Lupinus* de acuerdo a lo reportado por Güemes (2004).

Cuadro 15. Correlación entre textura, extensibilidad y adhesividad de las masas fortificadas con HL, CPL, APL-HT.

Cuadro de correlación			
	Textura	Extensibilidad	Cohesividad
Textura	1.00000	0.12766	- 0.21645
Extensibilidad	0.12766	1.00000	- 0.46481
Cohesividad	- 0.21645	- 0.46481	1.00000

4.5. Análisis de perfil de textura en galletas fortificadas con HL y CPL-HT.

El Cuadro 16 muestra el comportamiento de la dureza en galletas fortificadas con diferentes proporciones de derivados de Lupinus y se muestra que este parámetro disminuye en el tratamiento con CPL 20 % con respecto al testigo, en cambio en el tratamiento con HL 12 % se observa lo contrario al aumentar este valor con respecto al testigo. Los datos obtenidos son menores a los reportados por Lee y Brennan (2005) el cual fue de 1.7 Kgf esto es debido a la cantidad de grasa presente en sus galletas ya que el contenido fue de 7.97 % y en las de esta investigación fue de 28.69 % para el 12 % de HL y 26.39 % para el 20 % de APL.

Cuadro 16. Efecto de la proporción de HL y CPL-HT en la dureza de galletas.

Concentración de derivados de <i>L. mutabilis</i>	Dureza (kg/f)
testigo	1.26 ± 1.03
HL (%) 12	1.39 ± 2.34
CPL (%) 20	0.99 ± 0.279

Valores con ± DS en determinaciones por triplicado.

HL = Harina de *L. mutabilis* desgrasada y destoxificada

CPL = Concentrado Protéico de *L. mutabilis*

4.6. Fracturabilidad en galletas fortificadas con HL y CPL.

El Cuadro 17 muestra el comportamiento de la fracturabilidad en galletas fortificadas con diferentes proporciones de derivados de Lupinus y se puede observar que este parámetro aumenta de una manera significativa en el tratamiento del 12 % de HL con respecto al testigo, pero no fue así en el tratamiento de 20 % de CPL ya que este disminuyó con respecto al testigo. Al respecto Rebolledo y col (1998) informan que la cantidad de fibra que se adiciona afecta las propiedades físicas, sensoriales y nutritivas de las galletas, al incrementar la fibra disminuye la fracturabilidad, esto se pudo observar en el estudio realizado a las galletas testigo, 12 % de HL y 20 % de CPL ya que la formulación que necesita menos fuerza para fracturar es la de 20 % de CPL y es la que mayor porcentaje de fibra tiene en comparación con las demás.

Cuadro 17. Fracturabilidad de las galletas fortificadas con derivados de *Lupinus*.

(%) de concentración de derivados de <i>L. mutabilis</i>	Fracturabilidad (kg/f)
Testigo	13.77 ± 1.76
HL 12	22.45 ± 1.34
CPL 20	11.42 ± 1.52

Valores con ± DS en determinaciones por triplicado.

HL = Harina de *L. mutabilis* desgrasada y destoxificada

CPL = Concentrado Protéico de *L. mutabilis*

4.7. Análisis químico proximal de galletas fortificados con HL al 12 % y CPL al 20 %.

El Cuadro 18 muestra el análisis químico proximal de las galletas fortificadas con 12 % de HL y 20 % de APL. El contenido de proteína fue de 8.39 % para el 12 % de HL y de 9.69 % para el 20 % de CPL, el cual es menor al reportado por Lee y

Brennand (2005). El contenido de grasa fue de 28.69 % para el 12 % HL y 26.39 % de 20 % APL fue mayor al reportado por Lee y Brennand (2005) que fue de 7.97 %. Sin embargo el valor de contenido de proteína que reporta Mcwatters y col (2003) fue menor al obtenido en este estudio. Cabe mencionar que la fortificación de estas galletas fue con soya y fonio.

Cuadro 18. Análisis químico proximal de galletas fortificadas con HL al 12 % y CPL al 20 %.

Muestra	Galletas testigo	Galletas de harina de trigo con HL 12 %	Galletas de harina de trigo con CPL 20 %
Proteína (Nx6.25)	6.46 ± .89	8.39 ± 0.75	9.69 ± .14
Lípidos	26.26 ± 2.18	28.69 ± 1.23	26.39 ± 3.60
Fibra cruda	0.87 ± .02	0.85 ± 0.13	0.9 ± 0
Humedad	8.22 ± 1.2	4.34 ± 1.13	7.07 ± 1.9
Cenizas	0.87 ± 0.5	.85 ± 0.08	0.79 ± 0.3
Carbohidratos (por diferencia)	57.32 ± 0.0	56.88 ± 0.00	55.96 ± 0.00

Valores con ± DS en determinaciones por triplicado.

HL = Harina de *L. mutabilis* desgrasada y destoxificada

CPL = Concentrado Protéico de *L. mutabilis*

4.6. Factor de expansión de galletas fortificadas con diferentes proporciones de derivados de *Lupinus*.

El Cuadro 19 muestra los resultados del factor de expansión obtenido en galletas fortificadas con diferentes proporciones de derivados de *Lupinus* y se puede observar que este parámetro aumenta de una manera significativa en el tratamiento de 12 % de HL con respecto al testigo, pero no fue así en el tratamiento del 20 % de CPL ya que este disminuyó con respecto al testigo. Las harinas con mejor funcionalidad para galletas son aquellas que presentan mayor factor de expansión, en los resultados obtenidos se puede observar que las

galletas con 12 % de HL son las que tienen mayor factor de expansión que es de 0.44 cm/g por lo tanto es la formulación que tiene mayor calidad para la elaboración de galletas y las que tienen menor valor son las elaboradas con 20 % de CPL ya que tienen un valor de 0.40 cm/g consecuentemente no es la mejor formula para elaborar galletas comparada con la de 12 % de HL.

Cuadro 19. Factor de expansión en galletas fortificados con HL al 12 % y CPL al 20 %.

Factor de expansión	
	Factor de expansión (cm/g)
Testigo	0.41
HL 12 %	0.44
CPL 20 %	0.40

HL = Harina de *L. mutabilis* desgrasada y destoxificada

CPL = Concentrado Protéico de *L. mutabilis*

5. CONCLUSIONES.

- Los derivados de *Lupinus* (HL, CPL y APL) presentaron contenidos de proteína altos en comparación con la de Harina de Trigo.
- La formulación que tuvo mayor dureza de las masas fortificadas con derivados de *Lupinus* fue aquella adicionada con el 30 % de CPL.
- Los valores más cercanos al testigo para textura, extensibilidad y adhesividad fueron aquellos con el 12 % de HL y 20 % de CPL.
- Existió correlación positiva entre textura y extensibilidad.
- Las galletas que presentaron una mayor dureza fueron aquellas fortificadas con 12 % de HL.
- Las galletas que necesitaron menor fuerza de fracturabilidad fueron aquellas fortificadas con 20 % de CPL.
- Las galletas que necesitaron más kf para fracturarse fueron aquellas fortificadas con 12 % de HL.
- El contenido de proteína en las galletas fortificadas aumentaron en un 30 % para la formulación con 12 % de HL y en un 50 % para la formula con 20 % de CPL con respecto al testigo.
- La formulación que tiene mayor calidad para elaborar galletas es aquella fortificada con 12 % de HL.

6. RECOMENDACIONES.

De este trabajo se puede derivar una investigación para elaborar algunos otros tipos de galletas fortificadas con derivados de *Lupinus*.

Realizar una vida de anaquel a las galletas fortificadas con diferentes tipos de empaques y atmósferas controladas.

7. BIBLIOGRAFIA.

- Aguilera J.M. and Stanley W.D. 1990. Microstructural Principles of Food Processing & Engineering. Elsevier Applied Science London, pp 325-380
- Aguilera M.J. 1993. Development of Processes and Uses of Lupinus for Food. Department of Chemical Engineering. Universidad Católica de Chile P.O: Box 6177, Santiago de Chile.
- Aguilera M.J. 1993. Microstructure and Food Product Engineering. Food Technology 54 (11):56-65.
- Anantharaman, K. and Finot, P.A. 1993. Nutritional Aspects of Food Proteins in Relation to Technology. Food Review International 9:629-655.
- Aniszewski, T. 1993. Nutritive Quality of the Alkaloid-poor Washington Lupin (*Lupinus polyphyllus* Lindl var. SF/TA) as a Potential Protein Crop. Journal Science Food Agriculture. 61:409-421.
- Anónimo, 2000. Funciones Convencionales del Equipo en la Panadería. PANamericano Manual de Producción pp. 61-65.
- Anónimo 2001. Enriquecimiento de Cereales. Énfasis Alimentos, Tecnología y Empaque México 3:(4):12-19.
- Anónimo, 2002. Une Graine Millenaire- Un Lupin Francais et Tracé- Note Unité de Production. Available at:http://www.lupin_gamme.com
- A.O.A.C.1990. Official Methods of Analysis. 15th Edition. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C., USA.
- Aykoryd W.R. 1982. Las Leguminosas en la Alimentación Humana. FAO. Roma pp.82-95.
- Ballester D., Zacarías I., García E. and Yañez E. 1984. Baking Studies and Nutritional Value of Bread Supplemented with Full - Fat Sweet Lupin Flour (*Lupinus albus* cv *Multolupa*). Journal Food Science. 49 (1): 14-18.

- Ballester D., Carreño P., Urrutia X. and Yañez E. 1986. Chemical Composition and Nutritional Quality of Sugar Cookies Containing Full-Fat Sweet Lupine Flour (*Lupinus albus cv Multolupa*). *Journal of Food Science*. 51(3): 645-648.
- Blanshard V.M.J. and Lillford P. 1987. Rheology Structure and Food Processing. *Food Structure and Behaviour*. Ed. By Academic Press U.S.A pp.75-85.
- Bourgues R.H 1987. Las Leguminosas en la Alimentación Humana. (Parte 1). *Cuadernos de Nutrición* 10(1) 17-32
- Bressani R. 1979. Calidad Proteinica de la Soya y su Efectividad Suplementaria. *Soya Noticias*. 7:(100):85-88.
- Campos E.J. and El-Dash A.A. 1976. Effect of Addition of Full Fat Sweet Lupine Flour on Quality of Bread. *Cereal Chemistry*. 55 (5): 619-622.
- Cubero A. L. 1983. Utilización de Soya en Alimentos. *Soya Noticias* 7:(106):220-245.
- Charley, L.M. 1995. Utilization of Legumes. *Journal Food Science* 58(9):10-14.
- Clark R. and Johnson S. 2003. Sensory Acceptability of Food with Added Lupin (*Lupinus angustifolius*) Kernel Fiber Using Pre-set Criteria. *Journal of Food Science* 67:1:356-362.
- D' Appolonia L.B. 1977. Rheological and Baking Studies of Legume-Wheat Flour Blends. *Cereal Chemistry*. 54(81):53-56.
- D' Appolonia L.B. 1978. Use of Untreated and Roasted Navy Beans in Bread Baking. *Cereal Chemistry*. 55 (6): 898-907.
- Dervas G., Doxastakis G., Hadjisarva-Zinoviadi, Triantafilakos N. 1999. Lupin Flour Addition to Wheat Flour Doughs and Effect on Rheological Properties. *Food Chemistry*. 66(19):67-73.
- Duque R. L. 1995. Evaluación Química, Biológica y Teratogénica de *L. mutabilis*. Tesis de Maestría. IPN-ENCB. México D.F.

- El-Adaway A.I., Rahma HE., El-Bedaway A.A. and Gafar F.A. 2001. Nutritional Potential and Functional Properties of Sweet and Bitter Lupin Seed Protein Isolates. *Food Chemistry* 74(4):445-462.
- FAO/OMS. 1991. Protein Quality Evaluation; Food and Agricultural Organization of the United Nations: Rome, Italy, pp 66.
- Faridi H 1990. Dough Rheology and Baked Product Texture. *Editorial American Association Cereal Chemistry*; St. Paul M.N.
- Fernández-Quintela A., Macarulla T.M., Martínez A.J. 1993. Obtención y Caracterización de Concentrados de Proteína a Partir de Leguminosas. *Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 33 (3): 285-297.
- Fleming E.S. and Sosulski W.F. 1972. Breadmaking Properties of Four Concentrated Plant Proteins. *Cereal Chemistry*. 54(5): 1124-1140.
- Friedman M. 1999. Chemistry, Biochemistry, Nutrition, and Microbiology of Lysinoalanine, Lanthionine, and Histidinoalanine in Food and Other Proteins. *Journal Agriculture Food Chemistry* 47(4):1295-1319.
- Gammère C.V. 1995. The Production of Micronised Sweet White Lupin Flour for Use as Human Food. *Advances in Lupin Research* 1 (1): 482-490.
- Gatel F., Champ M. 1998. Grain Legumes in Human and Animal Nutrition-up to Date Results and Question Marks. 3rd European Conference on Grain Legumes pp.7-11.
- Güemes, N. 2004. Características Reológicas, Sensoriales y Nutricionales de Masas y Productos de Panificación Fortificados con *Lupinus*. Tesis de Doctorado ENCB-IPN. México, DF.
- Hibberd G.E; Parker N.S. 1975. Measurement on the Fundamental Rheological Properties of Wheat Flour Dough *Cereal Chemistry*. 52(3). Part II.
- Hosseney C.R. 1994. Principles of Cereal Science and Technology. Ed. American Association of Cereal Chemists. Minnesota, USA. Pp.512-533.

Hosseney C.R. and Rogers E.D. 1990. The Formation and Properties of Wheat Flour Doughs. CRC- Reviews.29 (2): 73-83.

INEGI. 1999. www.inegi.gor.mx.

Jímenez, M,C. 1998. Obtención de un Análogo de Leche y de Yoghurt a Partir de la Semilla de *Lupinus campestris*. Tesis de Maestría. Departamento de Graduados e Investigación en Alimentos del I.P.N. México, D.F.

Jiménez M.C., Hernández S.H., Álvarez M.G., Robledo Q. N., Martínez H.J. and Dávila O.G. 2001. Effect of Aqueous and Alkaline Thermal Treatments on Chemical Composition and Oligosaccharide, Alkaloid and Tannin Contents of *Lupinus campestris* Seeds. Journal of the Science of Food and Agriculture. 81(10):421-428.

Kaufman P.S., Hosseney C.R. and O. Fennema. 1986. Dough Rheology- A Review of Structural Models and the Role of Disulfide Interchange Reactions. 31 (11): 820-824.

Kieffer, R. y Stein, N.(1999) Demixing in Wheat Doughs-It's Influence on Dough and Gluten Rheology, Cereal Chemistry, 76 (5): 668-693.

Kinsella E.J. 1979. Functional Properties of Soy Proteins. Journal American Oil Chemistry Society. 56:(3):117-119.

Kozlowski H, Zdunczyk Z., Honke J. 1998. Legume Grains for Food and Non Food Uses. 3rd. European Conference on Grain Legumes pp. 43-47.

Lee, Brennan 2005. Physico-Chemical, Textural and Sensorial Properties of a Fried Cookie System Containing Soy Protein Isolate. Journal of Food Science. Vol 40 pp. 501

MacRitchie F. and Lafiandra D. 1993. Structure-Function Relationships of Wheat Proteins. Ed. Am. Assoc. Cereal Chemistry; St. Paul Minnesota.

MacRitchie F. 1999. Wheat Proteins:Characterization and Role in Flour Functionality. Cereal Foods World. 44:4:188-192.

- MacWatters, Jean B. Ouedraogo, Anna V. A. Resurrección, Yen-C & R. Dixon Phillips. 2003. Physical and Sensory Characteristics of Sugar Cookies Containing Mixtures of Wheat, Fonio (*Digitaria Exilis*) and Cowpea (*Vigna Unguiculata*) Flours. *Journal of Food Science*, University of Georgia. V. 38 pp. 403-410
- Millán F., Alaiz, M., Hernández-Pinzon, I. Sánchez, R. & Bautista, J. 1995. Study of Neutral Lipids of *Lupinus mutabilis* Meal and Isolates. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 72:7471-7475
- Mohamed A.A. and Rayas D.P. 1995. Composition of *Lupinus albus*. *Cereal Chemistry* 72(6): 643-647.
- Onayemi O. and Lorenz K. 1978. Soy Concentrate and Soy Isolate in Bread Baking. *Bakers Digest*. 12 (2):18-24.
- Peña R.J; Ortiz-Monasterio; Sayre D.K. 1997. Estrategias Para Mejorar (o Mantener) la Calidad Panadera en Trigo de Alto Potencial de Rendimiento. Explorando Altos Rendimientos de Trigo. INIA La Estanzuela, Colonia Uruguay. pp 289-306.
- Pomeranz, Y. 1988. *Wheat: Chemistry and Technology*; Vol 2. Ed. Am. Assoc. Cereal Chem; St. Paul, Minnesota.
- Rader I.J., Weaver M.C. and Angyal G. 2000. Total Folate in Enriched Cereal-Grain Products in the United States following fortification. *Food Chemistry* 70(3):275-289.
- Ramirez, O.M.E. 2002. Modelamiento Matemático del Comportamiento Viscoelásticos Dinámico y Textural de Masas para Elaborar Pizza. Tesis de maestría. Departamento de Graduados e Investigación en Alimentos del I.P.N. México, D.F.
- Rebolledo MA, Sangronis E., Barbosa-Cánovas G. V. 1998. Evaluación de Galletas Dulces Enriquecidas con Germen de Maíz y Fibra de Soya. Departamento de Procesos Biológicos y Bioquímicos. Universidad Simón Bolívar. Venezuela.
- Rios E. R. 1995. Leguminosas en la Alimentación Bovina. Instituto Italo-Latino americano. Roma, Italia. pp.745-780.

- Robinson S.D. 1991. Bioquímica y Valor Nutricio de los Alimentos. Ed. Acribia Zaragoza España pp. 128-136.
- Rodríguez, N.B. 1985. Leguminosas . Cuadernos de Nutrición 24(6):12.
- Sathe K.S., Deshpande S.S., and Salunke K.,D. 1982. Functional Properties of Lupin Seed (*Lupinus mutabilis*) Proteins and Protein Concentrates. Journal of Food Science 47 (4): 491-497.
- Serna.O.S. (1996). Química, Almacenamiento e Industrialización de los Cereales. Ed, Editar, México D.F. Pp 30 – 85.
- Shuey, W. C. 1975. Practical Instruments for Rheological Measurements on Wheat Products. Cereal Chemistry. 52 (3). Part II.
- Utsumi S., Yasuki Matsuura y Tomohiko Mori. 1996. Structaure-Function Relationships of Soy Proteins. Research Institute for Food Science. Kyoto University, Kyoto Japan pp. 257-289.
- Weipert, D.(1990) The Benefits of Basic Rheometry in Studying Dough Rheology, Cereal Chemistry. 67 (4):311-317.
- Weegels P.L.; Hamer R.J.; Schofield J.D. 1996. Critical Review: Functional Properties of Wheat Glutenin. Journal Cereal Science. 23:1-18.
- Wittig de Penna E., Carreño P., Urrutia X., Lopez L. and Ballester D. 1987. Sensory Evaluation and Acceptability of Cookies Enriched with Sweet Lupine Flour (*Lupinus albus cv. Multolupa*). Journal of Food Science. 52 (5): 1434-1435.
- Wu V.Y., Gary A.H and Warner K. 2001. Protein-Enriched Spaghetti Fortified with Corn Gluten Meal. Journal Agriculture of Food Chemistry. 49:3906-3910.
- Zacarías L. y Yañez, E. 1985. Elaboración de Pan Fortificado con *Lupinus*. Journal Food Science. 45(3):24-26.

Zheng H, Morgenstern P., Campanella and Larsen G.N. 2000. Rheological Properties of Dough During Mechanical Dough Development. *Journal of Cereal Science* 32(2000):293-306.

8. APÉNDICE

Class Level Information

Class	Levels	Values
Trat	10	APL10 APL15 APL5 CPL10 CPL20 CPL30 HL12 HL20 HL8 TES

Number of observations 30
 The SAS System 13:09 Monday, January 31, 2000 34

Dependent Variable: TPA

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Mode	19	4719500.107	524388.901	20551.7	<.0001
Error	20	510.313	25.516		
Corrected Total	29	4720010.420			

R-Square 0.999892
 Coeff Var 1.174561
 Root MSE 5.051300
 TPA Mean 430.0587

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Trat	9	4719500.107	524388.901	20551.7	<.0001

The SAS System 13:09 Monday, January 31, 2000 35

Dependent Variable: EXTEN

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Mode	19	5395.108587	599.456510	121.39	<.0001
Error	20	98.764133	4.938207		
Corrected Total	29	5493.872720			

R-Square 0.982023
 Coeff Var 4.244418
 Root MSE 2.222208
 EXTEN Mean 52.35600

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Trat	9	5395.108587	599.456510	121.39	<.0001

The SAS System 13:09 Monday, January 31, 2000 36

Dependent Variable: COHESI

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	9	20229.72815	2247.74757	334.33	<.0001

Error	20	134.46360	6.72318
Corrected Total	29	20364.19175	

R-Square Coeff Var Root MSE COHESI Mean
0.993397 7.093885 2.592910 36.55133

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
Trat	9	20229.72815	2247.74757	334.33	<.0001

The SAS System 13:09 Monday, January 31, 2000 37

Duncan's Multiple Range Test for TPA

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

	Alpha		Error Degrees of Freedom		Error Mean Square		20		0.05	
Number of Means 2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Critical Range	8.603	9.031	9.302	9.492	9.632	9.738	9.822	9.888	9.941	

Means with the same letter are not significantly different.

Duncan Grouping	Mean	N	trat
A	1505.223	3	CPL10
B	594.493	3	CPL30
C	585.807	3	APL5
D	440.530	3	HL8
E	288.570	3	HL12
F	263.740	3	CPL20
F	263.180	3	TES
G	138.807	3	APL10
H	128.840	3	HL20
I	91.397	3	APL15

Duncan's Multiple Range Test for EXTEN

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

F F 11.510 3 TES

The CORR Procedure

4 Variables: rep TPA EXTEN COHESI

Simple Statistics

Variable	N	Mean	Std Dev	Sum	Minimum	Maximum
Rep	30	2.00000	0.83045	60.00000	1.00000	3.00000
TPA	30	430.05867	403.43398	12902	88.76000	1514
EXTEN	30	52.35600	13.76386	1571	6.24000	77.29000
COHESI	30	36.55133	26.49931	1097	10.27000	82.89000

Pearson Correlation Coefficients, N = 30
Prob > |r| under H0: Rho=0

	Rep	TPA	EXTEN	COHESI
Rep	1.00000	-0.00095 0.9960	-0.03548 0.8524	0.03421 0.8576
TPA	-0.00095 0.9960	1.00000	0.12766 0.5014	-0.21645 0.2506
EXTEN	-0.03548 0.8524	0.12766 0.5014	1.00000	-0.46481 0.0097
COHESI	0.03421 0.8576	-0.21645 0.2506	-0.46481 0.0097	1.00000