



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

***“INCLUSIÓN DE PROTEÍNA DE CHÍCHARO EN
EL DESARROLLO DE ALIMENTOS
FUNCIONALES DE PANIFICACIÓN
(PAN DE CAJA)”***

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICO EN ALIMENTOS

PRESENTA

LIVIER MIREYA SÁNCHEZ ACEVES

TOLUCA, MÉXICO FEBRERO 2014

DIRECTOR DE TESIS:

Q. JESÚS CASTILLÓN JARDÓN



DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS.

A Daniel y Zoila por ser los mejores padres al inculcarme desde pequeña el sentido de la responsabilidad, el compromiso y el esfuerzo en la obtención de cada uno de mis logros;

GRACIAS a ambos por mostrarme que el éxito proviene del esfuerzo y el sacrificio; gracias a ustedes he aprendido que, si el fracaso es necesario el triunfo resulta indispensable para crecer como ser humano.

A mi hermana Daniela por estar siempre presente y darme ánimos para seguir adelante aún cuando en ocasiones el panorama no resultaba alentador.

A mis profesores por sembrar esa semilla del conocimiento que ha dado grandes frutos en mi vida profesional, la mayor prueba de ello se encuentra en estas páginas

A la Facultad de Química de la Universidad Autónoma del Estado de México por haberme regalado los mejores 5 años de mi vida, llenos de experiencias y aprendizajes que llevaré conmigo el resto de mis días.

Pero más allá de todos ellos no puedo más que decir GRACIAS Dios por regalarme las habilidades y los talentos necesarios para desempeñarme en esta carrera, por haberme dado a la mejor familia y por haber cruzado en mi camino a las personas indicadas.

RESUMEN

El trabajo presenta la evaluación de la inclusión de proteína de chícharo *NUTRALYS Pea Protein* en la elaboración de pan de caja debido a las características nutrimentales y de costo superiores que tiene con respecto a otras proteínas como la proteína de soya; así como los beneficios tecnológicos que aporta al producto ya que , no imparte colores ni sabores, mejora la textura, tiene una buena capacidad de retención de agua, capacidad de formación de geles más homogéneos y fuertes, excelente capacidad emulsificante, entre otros.

El objetivo general del proyecto es la adición de proteína de Chícharo *NUTRALYS Pea Protein* como ingrediente sustituyente de la harina de trigo en tres formulaciones de pan de caja, llevando a cabo subsecuentes análisis físicos y de textura para conocer la concentración que provea las mejores características al producto.

De acuerdo al diseño experimental se realizó la evaluación de los productos obtenidos de la sustitución de 0%, 2.5% y 5% de harina de trigo por proteína de chícharo *NUTRALYS Pea Protein*. Se condujeron estudios de pH, colorimetría, volumen específico, características visuales y textura para conocer la funcionalidad de dicho ingrediente en la elaboración de una formulación básica de pan de caja. La formulación de Pan de caja con inclusión de 2.5% de proteína de chícharo obtuvo el mejor equilibrio entre mejora tecnológica y calidad del producto.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	3
INTRODUCCIÓN	1
1.1.LA PANIFICACIÓN	5
1.2 Estructura del pan: resultado de la interacción de sus componentes	6
1.2.1 Definición, clasificación, composición y propiedades del trigo	6
1.2.2 Definición, clasificación y composición química de la harina en la masa	7
1.2.3 Propiedades de los componentes de la harina	9
1.3 Otros ingredientes utilizados en Panificación	13
2 EL PROCESO DE PANIFICACIÓN	19
2.1 Mezclado y amasado	19
2.2 Fermentación	20
2.3 Pesado y moldeado de la masa	21
2.4 Horneado	22
3 CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS DE UN PAN	23
3.1 Textura	23
4 CARATERÍSTICAS DEL CHÍCHARO VERDE (<i>Pisum sativum</i>)	25
5 PROTEÍNAS VEGETALES	25
6 PROTEÍNAS VEGETALES COMO INGREDIENTES	27
6.1 Proteínas Provenientes de Leguminosas	27
6.2 Características de la Proteína de Chícharo	28
6.3 Beneficios nutricionales	30
6.4 Fuente de aminoácidos benéficos	31
7 TENDENCIAS ACTUALES: LOS RETOS DE LA INDUSTRIA PANADERA	32
7.1 Nuevo segmento de productos	34
7.2 Desarrollo de productos de panadería que apuntan a la salud y al bienestar	34
HIPÓTESIS	37
OBJETIVOS	37
8 Materiales y equipos utilizados	38

8.1	Diseño experimental.....	40
9	Descripción de los Análisis llevados a cabo para las formulaciones en estudio	43
III.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	45
10	Análisis y discusión de Resultados.....	46
10.1	Resultados de Peso.....	46
10.2	Resultados de Porcentaje de Agua	49
10.3	Resultados del Análisis de pH	51
10.4	Resultados del Análisis de Colorimetría	54
10.5	Resultados del Comparativo visual del producto final	59
10.6	Resultados de Volumen Específico	61
10.7	Resultados del Análisis de Perfil de Textura en Costra (TPA)	64
10.8	Resultados del Análisis de Perfil de Textura en Miga (TPA)	66
11	Estudio con adición de Gluten.....	69
11.1	Evaluación Visual de productos con adición de Gluten Vital.....	70
IV.	CONCLUSIONES.....	73
	ANEXOS.....	75

ÍNDICE DE CUADROS

1	Contenido Nutricional de Chícharo (<i>Pisum sativum</i>).....	2
2	Clasificación del Harina de Trigo.....	7
3	Composición Química del Harina de Trigo.....	8
4	Mantecas Clases Principales	14
5	Requerimientos de Proteína en Humanos	26
6	Consumo de Carne por Habitante	27
7	Aminoácidos Esenciales en Proteína de Chícharo	31
8	Ingredientes, cantidad y porcentaje panadero	40
9	Resultados de Análisis de Peso	46
10	Resultados de Análisis de Porcentaje de Agua	49
11	Resultados de Análisis de pH	51
12	Resultados de Análisis Colorimétrico	54

13 Resultados de Análisis de Volumen Específico	61
14 Resultados de Análisis TPA para Corteza.....	64
15 Resultados Análisis TPA para Miga	66

ÍNDICE DE FIGURAS

1 Gráfico de Alimentos con ingredientes de Proteína Vegetal	26
2 Gráfico de Porcentaje de Consumo de Alimentos	28
3 Composición de Nutrientes de <i>NUTRALYS Pea Protein</i>	29
4 Gráfico de Porcentaje de Digestibilidad de diferentes Proteínas	30
5 Gráfico Porcentaje de Digestibilidad Real de tres tipos de Proteínas.....	30
6 Diagrama General de Proceso para la elaboración de Pan de Caja	42
7 Gráfico Valores de Peso de la Masa.....	47
8 Gráfico Valores de Peso de la Hogaza	47
9 Gráfico pH anterior a la Fermentación	52
10 Gráfico pH posterior a la Fermentación	52
11 Gráfico Valores L para Costra.	55
12 Gráfico Valores a* para Costra	55
13 Gráfico Valores b* para Costra	56
14 Gráfico Valores L para Miga.....	56
15 Gráfico Valores a* para Miga	59
16 Gráfico Valores b* para Miga.	59
17 Apariencia Visual de la Costra.	59
18 Apariencia Visual de la Miga.....	59
19 Apariencia Visual formulación control 2.5% y 5.0% de inclusión de proteína	61
20 Gráfico Volumen Específico	65
21 TPA Valores de Fracturabilidad de Corteza	65
22 TPA Valores de Firmeza de Corteza	65
23 TPA Valores de Cohesividad de Corteza.	66
24 TPA Valores de Firmeza de Miga	59
25 Evaluación Visual de las formulaciones con Proteína de chícharo y Gluten Vital.....	70

INTRODUCCIÓN

El pan constituye un alimento apetitoso, saludable y muy nutritivo que forma parte importante de nuestra alimentación y cultura gastronómica. Desde siempre ha sido uno de los alimentos básicos para la alimentación de los pueblos; destacando por su sencillez, valor nutricional y bajo precio (Calaveras, 2004).

Para definir al pan podríamos decir que es el producto resultante del amasado, división, heñido, formado, fermentación y cocción de una mezcla de harina, agua, levadura, azúcar y sal, entre otros ingredientes (Benedito, 2001)

Las leguminosas son importantes fuentes de proteína. Contienen importantes cantidades de lisina, leucina, ácido aspártico, ácido glutámico y arginina. Además de que proveen un perfil de aminoácidos esenciales bien balanceado cuando son consumidos con cereales u otros alimentos ricos en aminoácidos azufrados como el triptófano. Además de las propiedades nutrimentales, las proteínas provenientes de las leguminosas poseen propiedades funcionales que juegan un importante papel en la formulación y procesamiento de alimentos. (Boye *et al.*, 2010).

Las leguminosas y oleaginosas constituyen una fuente importante de proteínas (Boye *et al.*, 2010). Las más comunes son las semillas de soya, canola, algodón, girasol y cacahuate; estas representan el 69%, 12.4%, 6,9%, 5,6% y 2,8% respectivamente de la producción mundial de proteínas vegetales (Moure *et al.*, 2010).

Existen estudios que muestran el uso de otros géneros de leguminosas como es el caso del chícharo de la variedad *Pisum sativum* el cual, tiene un contenido de proteína similar a la soya con la ventaja de poseer una mayor biodisponibilidad de dicho nutriente. (Sosulski *et. al*, 1982)

El chícharo, guisante o arveja (*Pisum sativum*) es una hortaliza clasificada dentro de la familia de las leguminosas. Es una planta herbácea de ámbito rastrero. El órgano de consumo tradicional de esta variedad es su semilla o grano inmaduro, constituida por el embrión y la testa que lo protege (Martínez *et al.*, 2004), el siguiente cuadro muestra su contenido nutrimental.

Cuadro 1. Contenido Nutricional de Chícharo Verde (*Pisum sativum*)

COMPONENTE	Por 100 g
Agua (%)	66.40
Proteína (g)	8.20
Carbohidratos (g)	21.10
Grasas (g)	0.30
Fibra (g)	3.0
Cenizas (g)	1.0
Calcio (mg)	36.0
Fósforo (mg)	110.0
Hierro (mg)	2.40
Vitamina A (UI)	220
Tiamina (mg)	0.36
Riboflavina (mg)	0.12
Niacina (mg)	2.20
Ácido Ascórbico (mg)	20.0
Calorías (cal)	116

Fuente: Martínez et al., 2004

Algunos estudios han sido conducidos hacia las aplicaciones potenciales de productos de chícharo en alimentos, adicionadas o como sustitutos de harina (en pan o pasta), productos cárnicos, productos texturizados, sopas, botanas y como sustituto de leche. La adición de productos de chícharo influyen en el tiempo de cocinado y la textura del producto final. Concentrados de proteína de chícharo han sido encontrados útiles para producir sustitutos de leche en polvo sin grasa para la industria de panificación. En ciertas aplicaciones la proteína de chícharo puede ser utilizada como sustituta de la proteína de soya. Algunas veces los productos provenientes de chícharo poseen sabores desagradables, pero una proteína aislada de chícharo puede ser producida con un sabor suave. Esta proteína posee una alta solubilidad, capacidad de retención de agua y grasa, es espumante y

emulsificante, características que proveen la textura y estabilidad deseadas (Glenn & Williams, 2000).

El presente estudio trata sobre la inclusión de dicha proteína de chícharo en la elaboración de pan de caja debido a las características superiores que tiene con respecto de otras proteínas como la proteína de soya; optimiza costos, no imparte colores ni sabores, mejora la textura, tiene una buena capacidad de retención de agua, capacidad de formación de geles más homogéneos y fuertes, excelente capacidad emulsificante, etc. (*NUTRALYS Pea Protein Information*, 2010).

En este estudio se utilizará la proteína de chícharo denominada comercialmente *NUTRALYS Pea Protein* de la empresa *Roquette*, la cual reúne características como gran nivel de funcionalidad, altos beneficios nutrimentales, facilidad de uso y respeto por el medio ambiente (*NUTRALYS Pea Protein Information*, 2010).

I

ANTECEDENTES

1.1. La Panificación

Probablemente, el primer modo en el que el hombre utilizó los cereales fue comiendo las semillas silvestres en forma cruda. Con el tiempo, estas semillas se hicieron más sabrosas tostándolas o asándolas para aflojar la corteza del grano. Después el hombre añadió agua para producir una papilla o masa. Esta mezcla finalmente evolucionó en los primeros productos horneados, cuando fue vertida en rocas calientes para producir panes planos. Luego, el hombre descubrió que triturando los granos con piedras - y posteriormente, que al molerlas en un mortero - obtenía un mejor producto y más digestible (*American Institute of Baking*, 1993).

Los productos de panificación presentan un amplio rango de diferencias, que resultan de las variaciones en los ingredientes y procesos de panificación. Las principales diferencias se dan entre los productos leudados con levadura y los leudados químicamente y entre los tipos de leudantes utilizados. Cuando las masas se fermentan, experimentan una serie de profundos cambios químicos y físicos impartiendo a cada producto horneado su carácter distintivo. Desde una perspectiva técnica, la fermentación que ocurre durante el proceso de mezclado y horneado es sumamente compleja. En la actualidad, es de fundamental importancia entender bien estos procesos, en la medida en la que la panificación ya no es un proceso de prueba y error, sino que ha evolucionado hacia la aplicación controlada de principios de ingeniería alimentaria. La panadería de tiempos antiguos, en la que el trabajo por tanteo y los secretos tradicionales predominaban, ha sido remplazada por la planta moderna en donde la ciencia domina sobre la artesanía (*American Institute of Baking*, 1993).

En la panificación moderna, las masas de pan y los batidos de tortas son mezclas de ingredientes cuya transformación en los productos terminados, se convierte en un proceso químico científicamente controlado. La fermentación introduce otra rama de la ciencia, la bioquímica. Esta incluye el estudio de la levadura y enzimas y sus efectos sobre las proteínas y los carbohidratos, así como sobre las grasas, dentro de la masa. Dichas sustancias entran directamente en la descomposición química y en la estructura física del producto terminado, y por lo tanto, deben controlarse con inteligencia para producir los resultados deseados. Otros factores importantes incluyen la descomposición mineral del agua, ya que ejerce un efecto significativo sobre la acción de la levadura y en el carácter y la dureza de la porción de gluten de la masa. La temperatura debe controlarse cuidadosamente, tanto durante la etapa de amasado como durante el horneado.

El calor acelera las reacciones químicas y la fermentación y debe, por lo tanto controlarse (*American Institute of Baking*, 1993).

1.2) Estructura del pan: resultado de la interacción de sus componentes

1.2.1) Definición, clasificación, composición y propiedades del trigo

El trigo se ubica entre uno de los cereales más importantes del mundo. Sus granos o semillas se muelen hasta obtener una harina con el fin de hacer pan y otros productos alimenticios. El grano de trigo aunque es de sólo un octavo a un cuarto de pulgada (3-6 mm) de largo, es un organismo sumamente complejo que consta de tres partes- el **germen**, el **salvado** y el **endospermo**. El germen, o embrión es la parte donde se inicia el crecimiento de la nueva planta cuando la semilla se siembra. El salvado, o cubierta exterior, está formado de varias capas y protege la delicada estructura interior. La mayor parte del grano de trigo está formado por el endospermo amiláceo, que, al ser molido, genera la harina blanca. La razón de la superioridad del trigo sobre otros granos para la elaboración de pan y otros productos horneados, está en las proteínas que forman el gluten presentes en el endospermo (*American Institute of Baking*, 1993).

El trigo es una monocotiledónea, del orden de las *glumíferas*, familia *gramináceas*, género *triticum* y especie *triticum durum*.

Clasificación del trigo

Según el *American Institute of Baking*, el trigo se puede clasificar según distintos criterios en:

Harinosos o vítreos. Según la textura del endospermo.

Trigos fuertes o flojos. Los fuertes producen harinas para la panificación de piezas de gran volumen, buena textura de la miga y buenas propiedades de conservación, tienen por lo general alto contenido en proteínas.

Los flojos sólo sirven para la obtención de panes pequeños de miga gruesa, por lo general tienen un bajo contenido en proteínas.

Trigos duros o blandos. Los duros por su gran cantidad en gluten y las propiedades coloidales de los mismos se emplean preferentemente para la fabricación de macarrones y otras pastas alimenticias. De los blandos se extrae la harina utilizada en panificación.

Trigos de invierno y de primavera.

1.2.2) Definición, clasificación y composición química de la harina en la masa

Definición

Se le denomina harina al producto finamente triturado, obtenido de la molienda del grano de trigo maduro, sano y seco e industrialmente limpio.

Clasificación

La tipificación de la harina está considerada según su proceso de fabricación, a continuación se presenta la clasificación de los diferentes tipos de harina utilizadas en panificación.

Cuadro 2. Clasificación de la harina de trigo de acuerdo a sus propiedades fisicoquímicas

Parámetros	A. Harina muy floja	B. Harina floja	C. Harina de media fuerza	D. Harina de gran fuerza
W. Fuerza	<80	≥90	≥ 150	≥ 250
P/L. Equilibrio	>15	0.2-0.4	0.4-0.6	0.8-1.1
Proteínas	>8%	9%	10%	>11%
Tipo/Cenizas	T-75	T-7	T-55	T-45
Gluten Seco	>5.5%	8-9%	9.8%	10-11%
Gluten Húmedo	>16.5%	24-26%	27%	27-33%

Fuente: (Calaveras, 2004)

Composición química de la harina

La composición media de una harina de trigo para una tasa de extracción del 76% es la siguiente:

Cuadro 3. Composición Química de la Harina de Trigo

COMPONENTE	PORCENTAJE (%)
Almidón	60-72
Humedad	14-16
Proteínas	8-14
Otros compuestos nitrogenados	1-2
Azúcares	1-2
Grasas	1,2-1,4
Minerales	0,4-0,6
Celulosa, vitaminas, enzimas, ácidos	-----

Fuente: (Calaveras, 2004)

La harina de trigo posee proteínas solubles e insolubles. Las proteínas solubles representan alrededor del 20% de las totales; esta fracción está fundamentalmente formada por enzimas del tipo albúmina y globulina y ciertas glicoproteínas minoritarias. Estas proteínas no contribuyen a las propiedades formadoras de la masa de la harina de trigo. La principal proteína de reserva del trigo es el gluten (Fennema, 2000).

El gluten es una mezcla heterogénea de proteínas, principalmente gliadinas y glutelinas, con limitada solubilidad en agua. La formación de la masa viscoelástica capaz de atrapar gas durante la fermentación es debida fundamentalmente a las proteínas del gluten. El gluten tiene una composición aminoacídica única: Glu/Gln y Pro dan cuenta de más del 50% de los restos aminoacídicos (Fennema, 2000).

La baja solubilidad en agua del gluten se debe a su pobreza en Lys, Arg, Glu y Asp, que en conjunto suponen menos del 10% de los aminoácidos totales. Alrededor del 30% de los restos aminoacídicos del gluten son hidrófobos y contribuyen considerablemente a su capacidad de formar agregados proteicos por interacciones hidrofóbicas y de fijar lípidos y otros compuestos apolares (Fennema, 2000)

El elevado contenido de glutamina e hidroxiaminoácidos (alrededor del 10%) del gluten es responsable de sus propiedades fijadoras de agua.

Entre la glutamina y los restos de hidroxilo de los polipéptidos del gluten, se establecen puentes de hidrogeno, que contribuyen a sus propiedades de cohesión-adhesión (Fennema, 2000)

Según (Fenemma, 2000), durante el amasado de la mezcla de harina de trigo y agua, las proteínas se despliegan parcialmente y absorben agua. El desplegamiento parcial de las moléculas de proteína facilita las interacciones hidrofóbicas y los intercambios sulfhidrilo - disulfuro, que determinan la formación de polímeros en forma de hebra. Estos polímeros lineales interaccionan, a su vez, entre sí (vía enlaces de hidrógeno, interacciones hidrofóbicas y enlaces cruzados disulfuro) para formar una película capaz de retener gases.

1.2.3) Propiedades de los componentes de la harina

Almidón

El *American Institute of Baking* señala que el almidón es cuantitativamente el componente principal de la harina. Se trata de un hidrato de carbono, en forma de polisacárido, que desempeña el papel de aportador de energía dentro de la función alimenticia del pan; además de la capacidad de absorber cerca del 40% de su peso en agua.

Está formado por dos moléculas una la amilosa y la otra la amilopectina. La amilosa es un polímero de cadena lineal, formado por un número indeterminado de anhídrido -D glucosa unidas por enlaces de α (1-4) glucosídico, fácilmente atacable por la amilasa. Está en una proporción del 25% del total del almidón (*American Institute of Baking*, 1993).

La amilopectina presenta cadenas ramificadas, formadas por cadenas lineales de anhídrido -D- glucosa unidas por enlaces β (1-6) glucosídicos en una proporción del 4% (AIB, 1993).

Estas cadenas deben primero ser atacadas por la α -amilasas para que luego pueda actuar la b-amilasa. Los enlaces β (1-6) son atacados por la glucosidasa.

Dentro del proceso de panificación es objeto de dos transformaciones.

- 1) Aunque cuantitativamente es la menos importante, consiste en su transformación en azúcar fermentable. Aunque el harina contiene azúcar, la cantidad que posee no es suficiente como para producir todo el gas necesario para la elevación del pan.
- 2) Este proceso tiene lugar durante la cocción, consisten en su desdoblamiento en dextrina, polisacárido de menor peso molecular que el almidón y más fácilmente asimilable por el organismo.

Proteínas

Las proteínas contenidas en la harina, se pueden dividir en dos grupos:

- 1) No forman masa (15%) Son aquellas proteínas solubles y que no forman gluten como la albúmina, globulina y péptidos. No tienen importancia para la panificación.
- 2) Forman masa (85%) Son aquellas proteínas insolubles, como la gliadina y glutelina, que al contacto con el agua forman una red que atrapa los granos de almidón.

Absorben cerca del doble de su peso en agua, constituyendo el gluten. Durante el amasado se transforman en una masa parda y pegajosa, responsable principal de las propiedades físicas de la masa, dotándola entre otras cualidades, de la capacidad de retener los gases que se producen durante el proceso de fermentación. Con la cocción se coagulan formando la estructura que mantiene la forma de la pieza cocida. El contenido en gluten es característico del trigo, hablándose de trigos duros cuando su contenido es mayor al 13% (Cauvain, 2001).

Las enzimas que actúan sobre las proteínas son las proteolíticas, su función directa es atacar las ligaduras internas de los ácidos amínicos existentes en la cadena de proteínas, modificando el gluten, la viscosidad y extensibilidad de la masa.

La proteína del trigo es el principal componente responsable de la formación de la estructura de la masa, mientras que el almidón, está involucrado en las propiedades de la textura final y estabilidad de la estructura. Durante el procesamiento, la hidratación de la harina de trigo induce la transición vítrea de las proteínas del gluten. La aplicación de energía mecánica durante el mezclado y amasado lleva al desarrollo de una masa viscoelástica continua debido a las interacciones entre las proteínas (Cuq, Abecassis & Guilbert, 2003).

Durante el horneado, hay modificaciones irreversibles del almidón y de las proteínas a altas temperaturas (>200°C) y que junto con la deshidratación superficial son responsables de la formación de la corteza del pan. En la parte central del sistema, la gelatinización del almidón y la coagulación de la proteína inducen a la formación de la miga del pan (Seow & Teo, 1996).

Después del enfriamiento, el bajo contenido de agua de la corteza (3-7%) es suficiente para la transición de los componentes plásticos del pan al estado vítreo; en consecuencia, se da una dureza estructural responsable de la crujencia de la corteza del pan. En cambio, el alto contenido de agua de la miga (30-40%) es

responsable de la característica plástica (suave), al cual da movilidad estructural y explica la sensibilidad a la retrogradación del almidón durante el almacenamiento (Cuq, Abecassis & Guilbert, 2003).

El envejecimiento del pan se da en dos categorías: el envejecimiento de la corteza causado por la migración de humedad de la miga a la corteza (Lin & Lineback, 1990), resultando en una corteza blanda y textura dura y correosa; y en el envejecimiento de la miga, siendo esta más compleja, que se explica químicamente con las interacciones de los componentes del almidón: la pérdida de agua de las cadenas lineares de la amilopectina que hace que se cristalice y por tanto sea más rígida, lo cual ocasiona que haya mayor firmeza en la miga (Gray & Bemiller, 2003).

Muchas propiedades funcionales de las proteínas como la dispersabilidad, la humectabilidad, el hinchamiento, la solubilidad, la viscosidad, la capacidad de retención de agua, la gelificación, la coagulación, la emulsión y la formación de espuma dependen de las interacciones agua-proteína. En los alimentos pobres en agua o de contenido en agua intermedio, como los productos horneados y ciertos productos cárnicos, la capacidad de las proteínas de fijar agua es fundamental para la aceptabilidad de los mismos. La posesión de un equilibrio adecuado de las interacciones proteína-proteína y agua-proteína es también decisiva para la formación de un gel por acción del calor. Las moléculas de agua se fijan a varios grupos de proteínas, entre los que se incluyen los cargados (interacciones ion-dipolo), los grupos peptídicos, los grupos peptídicos del esqueleto, los grupos amida de Asn y Gln, los grupos hidroxilos de los restos de Ser, Thr y Tyr (interacciones dipolo-dipolo, todas ellas), y los restos apolares (interacciones dipolo inducido-dipolo), hidratación hidrofóbica (Fennema, 2000)

Azúcares

Presentes en la harina, suelen estar en forma de sacarosa y maltosa. Estos disacáridos no son fermentables directamente, sino que es preciso transformarlos enzimáticamente, en azúcares simples, monosacáridos, que sí lo son. Estas transformaciones se realizan por medio de las enzimas invertasa y maltasa, presentes en la harina, dando lugar al llamado azúcar invertido, constituido por una mezcla de glucosa y fructosa. (Cauvain & Young, 1998)

Otro azúcar presente es la dextrina en muy pequeña proporción (0,2-0,3%), siendo en cierta medida responsable del brillo en la corteza.

Vitaminas

Se cree que las vitaminas del pan no tienen mucha importancia por la poca cantidad existente después de cocer el pan. Sin embargo debemos tener claro su gran importancia en la composición química de la harina.

Las más importantes en la harina son las del Complejo B y la Vitamina E; siendo las vitaminas del Complejo B determinantes para el equilibrio nervioso en nuestro organismo y la vitamina E que ayudan a dar funcionalidad a los músculos y a mantener un buen estado de fertilidad. (Pomeranz, 1987)

La vitamina E ($C_{10}H_{50}O_2$) o tocoferol pertenece a las liposolubles y se encuentra en el germen. Su función en el pan es la de evitar su enmohecimiento y por lo tanto, prolongar la conservación. Tiene un gran poder anti-oxígeno que facilita este proceso. (Pomeranz, 1987)

Las vitaminas de complejo B son las que en mayor cantidad se encuentran en la harina, formando parte de las llamadas vitaminas hidrosolubles. (Pomeranz, 1987)

El grupo de la vitamina B está formado por 14 compuestos, entre los cuales se encuentran:

- Tiamina (B1) 4,200 mg/Kg de harina.
- Riboflavina (B2) 2,500 mg/Kg de harina.
- Niacina (B3) 30,200 mg/Kg de harina.

La B1 o tiamina, se encuentra en la capa del escutelo del germen del trigo y en el salvado. Es termolábil, soporta hasta los 100°C durante una hora, lo que nos indica que no todas las vitaminas son eliminadas después de la cocción.

La B2 o riboflavina, su característica más peculiar es su pigmentación amarilla con fluorescencia verde siendo muy sensible a la luz. (Pomeranz, 1987)

La B3 o niacina, se encuentra en el germen del trigo. Su peculiar característica es que soporta la luz, el calor y la oxidación.

La B6 o piridoxina, se encuentra principalmente en la aleurona de las capas externas del grano de trigo. Es decir su presencia es importante en el salvado, en menos cantidad en el germen de trigo. (Pomeranz, 1987)

Fibra

Definimos como fibra a aquellos compuestos que se encuentran o forman parte de las paredes celulares vegetales, es decir celulosa, lignina, hemicelulosa y pectinas.

Hasta hace muy poco tiempo la fibra dietética había sido considerada como un nutriente sin valor alimentario importante; sin embargo hoy se deduce que el consumo de fibra es un factor de primer orden en la dieta alimentaria. (, 1993)

Como todo nutriente debe ser ingerido en dosis lógicas porque por el contrario una alimentación excesiva en fibra provoca arrastres por el intestino de minerales como el calcio y el cinc que no son absorbidos, provocando así problemas en el aparato óseo. (*American Institute of Baking*, 1993)

Así encontramos en el pan las siguientes cantidades de fibra:

- Pan blanco 2,7gr de fibra/100gr de pan.
- Pan integral 8,5gr de fibra/100gr de pan.

Se considera que el consumo medio de fibra por un adulto debe estar entre los 25 y 35 gramos al día.

Materia mineral

La materia mineral también se puede definir como el contenido en cenizas presente en un alimento, y está formada por potasio, sodio, calcio y magnesio procedentes básicamente de las capas externas del grano de trigo. (Kirk *et. al* 1996)

1.3) Otros ingredientes utilizados en Panificación

- **Grasas**

Estos productos son las grasas, mantecas y aceites que se usan en productos de panificación. Pueden clasificarse en diversas categorías de acuerdo con la fuente u origen del cuál provienen y el tipo de procesamiento, lo que es un indicador de las características que las hacen apropiados para aplicaciones específicas. Parte de estas clasificaciones figuran en el siguiente cuadro (*American Institute of Baking*, 1993)

Cuadro 4. Tipos de grasas utilizados en panificación

MANTECAS- CLASES PRINCIPALES
Manteca de cerdo
Manteca de cerdo molecularmente modificada
Manteca estándar
Manteca hidrogenada
Margarina
De mesa
De grado panadero
Danesa para el laminado
Para pasteles de hojaldre
Manteca líquida
Manteca emulsificada
Mantequilla
Manteca de alta proporción
aceites

Fuente: (American Institute of Baking, 1993)

La mantequilla es una emulsión de agua en aceite que contiene cerca de 80%-81% de grasa de mantequilla y 14% de agua. La mantequilla salada contiene 1-3% de sal. Cuando se usa en distintas fórmulas, esta sal debe incluirse en el balance de la fórmula para evitar malos resultados en los productos leudados con levadura. La mantequilla se considera, generalmente, como la mejor de las mantecas en lo que se refiere a sabor, pero no tiene buena habilidad para formar una crema (American Institute of Baking, 1993).

Propiedades para la panificación.

- Lubricación. Hace al pan crujiente y suave.
- Extensibilidad.
- Volumétrica. Hace que el pan adquiera un mayor volumen.
- Emulsificante. La grasa repele el agua, pero al interconectarse con moléculas de agua producen un efecto emulsionante, donde tiene mucho que ver el gluten de la harina.

- **Leche y productos lácteos**

La leche se compone de agua, proteínas, grasa, lactosa y minerales. Ofrece cualidades únicas que contribuyen tanto a la calidad como al valor nutritivo de los productos de panificación. Si bien existen diversos productos lácteos a disposición del panadero, los dos principales son la leche en polvo descremada y el suero de leche (*American Institute of Baking*, 1993).

Leche en polvo descremada es el producto que se obtiene cuando se separa la grasa de la leche y este líquido sin grasa se seca por el proceso de rodillo o aspersión. De acuerdo a (*American Institute of Baking*, 1993) la leche en polvo descremada resultante tiene una serie de características funcionales para los productos como pan y bollos:

1. Absorción: la leche en polvo descremada es superior en sus propiedades de retención de agua de manera que en términos generales, la absorción de agua requiere incrementarse en 1.0% por cada 1.0% de leche en polvo descremada que se incorpora.
2. Capacidad amortiguadora de la leche en polvo descremada ejerce un marcado efecto que evita cambios excesivos en el pH de la masa durante la fermentación.
3. Reacción de color: la lactosa, principal azúcar de la leche, no se fermenta por la levadura de panificación, por lo tanto permanece libre para reaccionar con las proteínas bajo la influencia del calor del horno, produciendo un color uniforme de corteza. La misma reacción produce un dorado más intenso de las tajadas de pan al tostarse.
4. Ablandador: tanto la lactosa como la fracción de lactoalbúmina de la proteína ejercen un efecto ablandador en la estructura de la miga.
5. Cuerpo y elasticidad: la caseína, que conforma hasta el 75% de las proteínas en la leche en polvo descremada, es un fortalecedor de masa que da cuerpo y elasticidad a la miga de los productos panificados.

6. Nutrición: la caseína es una proteína casi perfecta desde el punto de vista del balance de aminoácidos, lo que contribuye al valor nutritivo total de los alimentos panificados (*American Institute of Baking*, 1993).

Solamente la leche en polvo descremada que ha sido sometida a un tratamiento de alta temperatura es apropiada para los productos leudados con levadura, mientras que la leche sometida a un proceso térmico inadecuado será de baja calidad para el uso en panificación (*American Institute of Baking*, 1993).

- **Sal**

La sal común, o Cloruro de sodio (NaCl) es un componente implícito siempre que se requiere incorporar sal a una fórmula. Aunque la sal forma parte de casi todas las formulaciones en panificación, rara vez recibe la atención que merece como ingrediente saborizante y determinante de la calidad. La sal común de mesa y buena parte de la sal industrial es del tipo granulada; otros tipos incluyen la sal en escamas y la sal en polvo. De acuerdo al *American Institute of Baking* la sal cumple diversas funciones en panificación, tales como acentuar los sabores de los ingredientes, fortalecer el gluten de las masas de pan haciéndolas más firmes y menos elásticas, controlar la excesiva actividad de la levadura e inhibir las reacciones de microorganismos productores de ácidos. La sal en sí misma no sufre cambios químicos durante la panificación, por lo que se le encuentra intacta en los productos finales.

- **Levadura**

Es un organismo vivo que requiere condiciones apropiadas y nutrientes para una actividad óptima en la masa. Las enzimas de la levadura y de la harina actúan para hidrolizar las moléculas de almidón en azúcares fermentables, las que a su vez, se convierten en dióxido de carbono y alcohol por acción de la levadura. La actividad de fermentación de la levadura es responsable del leudado y acondicionamiento de la masa, así como del sabor y aroma distintivos que caracterizan a los productos leudados (Laaksonen, 2001).

- **Edulcorantes**

Generalmente se utiliza sacarosa pero también pueden ser utilizados otros azúcares, es añadida a la masa que contiene la levadura para proveer un sabor dulce y servir como carbohidrato fermentable para la levadura (Laaksonen, 2001). Sin la adición de azúcar, la fermentación se limita a la cantidad de azúcar

presente en la harina y al tiempo requerido por las enzimas amilasas para descomponer el almidón en azúcares fermentables (Cauvain, 2001). Se añade azúcar para obtener una textura y una mejora en la miga y corteza del pan horneado (Laaksonen, 2001).

De acuerdo a (Laaksonen, 2000), las funciones que cumple en el proceso de panificación son:

- 1.- Alimento para la levadura: el azúcar añadido es rápidamente consumida por la levadura, mientras tanto las enzimas convierten el azúcar complejo en mono y disacáridos los cuales pueden ser consumidos por la levadura, de esta manera se tiene una fermentación más uniforme.
- 2.- Colorante del pan: el color café característico proviene de la caramelización de los azúcares residuales que se encuentran en la corteza de la masa después de que la misma ha fermentado.
- 3.- Actúa acentuando las características organolépticas como son la formación del aroma y el color en la superficie.
- 4.- Aumenta el intervalo de conservación ya que permite mejorar la retención de humedad, manteniendo más tiempo su blandura inicial, retrasando el proceso de endurecimiento (Cauvain, 2001).

Los azúcares reductores, como la lactosa en la leche, dan lugar al pardeamiento debido a las reacciones de Maillard y caramelización.

Las reacciones de caramelización se llevan a cabo mediante calentamiento de los carbohidratos, en particular de sacarosa y azúcares reductores, en ausencia de compuestos nitrogenados. El inicio de la reacción es facilitado por la presencia en pequeñas cantidades de ácidos y ciertas sales.

A la reacción química entre azúcares reductores, principalmente D-glucosa y un aminoácido libre o un aminoácido que forma parte de una cadena proteica, es conocida como reacción de Maillard, también se le conoce como pardeamiento no enzimático. Los compuestos pigmentados insolubles que se producen se denominan melanoidinas (Sanz, 2012)

- **Agua**

El agua es un cuerpo formado por la combinación de un volumen de oxígeno y dos de hidrógeno, cuya fórmula química es H₂O. Es líquida, inodora, insípida e incolora, disuelve muchas sustancias. Habitualmente la encontramos en estado

líquido, aunque, dependiendo de las condiciones de presión y temperatura, es usual hallarla en estado sólido o gaseoso (Pomeranz, 1987).

El agua que empleemos debe ser potable, por lo que debe reunir las propiedades anteriores y tener un buen estado sanitario. El agua constituye una tercera parte de la cantidad de harina que se vaya a emplear, aunque esto es un cálculo estimado, la cantidad final que se añadirá dependerá de una serie de circunstancias, como el tipo de consistencia que queramos conseguir. Así, si añadimos poca agua, la masa se desarrolla mal en el horno, mientras que un exceso hace que la masa resulte pegajosa y se afloje el pan quedando aplanado (*American Institute of Baking*, 1993).

Funciones del agua en panificación

El agua juega un papel fundamental en la formación de la masa, en la fermentación, el sabor y frescura finales del pan. En la formación de la masa, ya que en ella se disuelve todos los ingredientes, permitiendo una total incorporación de ellos. También hidrata los almidones, que junto con el gluten dan por resultado una masa plástica y elástica (*American Institute of Baking*, 1993).

El *American Institute of Baking* señala que el agua es la encargada de controlar:

- La temperatura de la masa: por esto muchas veces se añade el agua en forma de escamas de hielo, para lograr la temperatura deseada. La temperatura del agua a añadir se calculará con la siguiente fórmula:

T. Harina + T. Agua + T. Local = Factor Fijo

El valor de este factor fijo se obtendrá experimentalmente. Se tomará inicialmente un valor de 75.

- En la fermentación, para disolver la levadura y que comience a actuar.
- El agua hace factibles las propiedades de plasticidad y extensibilidad de la masa, de modo que pueda crecer por la acción del gas producido en la fermentación.
- El sabor y la frescura: la presencia del agua hace posible la porosidad y buen sabor del pan. Una masa con poca agua daría un producto seco y quebradizo.

Los almidones hidratados al ser horneados se hacen más digeribles. La corteza del pan se vuelve más suave y tierna por efectos del agua. La humedad del pan le da esta frescura característica, ya que la pérdida de agua le vuelve viejo y pesado.

2) EL PROCESO DE PANIFICACIÓN

El proceso de panificación involucra tres pasos principales: mezclado de ingredientes (harina, agua, levadura y sal, generalmente), fermentación de la masa y horneado (Ramírez-Jiménez *et. al.* 2000). Pero en estas etapas también se encuentran otras como el formado y boleado de las piezas, que también son importantes en la obtención de la textura final de un pan.

2.1) Mezclado y amasado

La primera fase de elaboración de pan consiste en mezclar el agua, la harina, y otros ingredientes, que varían según el tipo de elaboración y el producto que se quiera obtener.

En el mezclado se reparte de manera uniforme todos los ingredientes mediante una acción mecánica.

En la etapa de amasado se aplica energía mecánica a la masa, ésta permite el establecimiento de diferentes arreglos conformacionales de los biopolímeros presentes en el sistema y promueve numerosas interacciones entre los constituyentes de la masa (Ross *et. al.* 2004). Se observan dos fenómenos de interacción entre los ingredientes, el primero es la hidratación: la harina absorbe agua, la cantidad de agua absorbida depende de diversos factores como la granulometría de la harina, el contenido proteico, la calidad, la humedad de la harina y la presencia de otras sustancias como grasas, entre otras. Otro fenómeno observado durante el amasado son las reacciones de óxido-reducción debidos a la absorción de aire, y favorecidas por la presencia de agua, además de la temperatura y el pH adecuados que permiten la formación de enlaces disulfuro con la oxidación de los grupos tioles presentes en las proteínas, su formación confiere a la red glutínica una mayor resistencia y en definitiva, mejores propiedades reológicas a la masa. (Newberry, 2004)

El amasado puede efectuarse de modo directo o indirecto. El modo directo consiste en mezclar simultáneamente los diversos ingredientes hasta formar una masa todavía no muy homogénea, después se da un reposo de 3 a 5 minutos, lo que permite la hidratación total, la formación del gluten y controlar las características de la masa. La duración completa del amasado depende del tipo de máquina amasadora que se esté utilizando; llegando hasta una duración total de amasado de 18 a 20 minutos aproximadamente (*American Institute of Baking*, 1993).

El amasado indirecto, mejor conocido como masa-levadura y llamado *Poolish*, es un método en el cual el ciclo de panificación se divide en dos fases: una primera fase se refiere a la preparación de una masa-levadura (también llamada masa madre) y la segunda fase es la referente al horneado de la masa (*American Institute of Baking*, 1993).

Los factores a controlar en el amasado son: el pesado de los ingredientes, medir la cantidad de agua absorbida, control de la temperatura y pH final de la masa; con ello se logrará repetitividad y reproducibilidad en la elaboración de masas para posteriores formulaciones (Calaveras, 2004).

El doble objetivo del mezclado es la dispersión total y uniforme de los ingredientes y el desarrollo apropiado del gluten. El gluten como tal no existe en la harina; pero sus componentes (glutenina y gliadina) forman parte de las proteínas de la harina. Solamente cuando se añade el agua a la harina es que se combinan las diversas proteínas para formar el gluten. La acción continua del mezclado somete al gluten a condiciones físicas que permiten su desarrollo. En un desarrollo óptimo, el gluten muestra ciertas propiedades de resistencia, plasticidad y elasticidad. Al final del mezclado la temperatura de la masa debe de estar en un intervalo de 25.5°C a 29°C (*American Institute of Baking*, 1993).

2.2) Fermentación

Al completar la operación de mezclado, la mayoría de las masas se someten a un periodo de fermentación durante el cual el gluten se modifica, se produce gas y se incrementa la acidez por la acción de las enzimas de la levadura sobre los componentes de la harina. El nivel de fermentación depende en gran medida por las condiciones de la temperatura ambiental y la humedad. Una temperatura de 27°C y una humedad relativa de alrededor de 75% proporcionan el mejor ambiente para la fermentación de la masa (*American Institute of Baking*, 1993).

La especie de levadura que más se utiliza para la fermentación de pan normal es *Saccharomyces cerevisiae*, aunque se utilizan también otros microorganismos para influir sobre el aroma y sabor del pan. Los más frecuentes son las bacterias del género *Lactobacillus* y otras levaduras (*Saccharomyces pastorianus*, *Saccharomyces ellipsoideus*, *Mycodema cerevisiae*, *Torula utilis*) y muchas otras con las que se obtienen diferentes resultados (*American Institute of Baking*, 1993).

El proceso que ocurre en la elaboración del pan es también una fermentación alcohólica. Utilizando los componentes de la harina, la levadura fermenta expulsando al medio dióxido de carbono y alcohol. El alcohol obtenido se evapora

en el momento del horneado del pan, y el dióxido de carbono desprendido de dicha fermentación es el responsable del aspecto esponjoso de la miga de pan (Cauvain & Young, 1998; Cauvain, 2002; Calaveras, 2004).

En el método tradicional de panificación, la fermentación se divide en dos partes:

Primera fase de fermentado. Esta fase de la fabricación dura varias horas, variando de 2 a 6 horas, dependiendo del tipo de pan que se desee obtener. Consiste en que las levaduras actúen fermentando parte de los componentes de la masa. Para ello, se le somete a una temperatura y humedad óptimas permitiendo el desarrollo de *Saccharomyces cerevisiae* (temperatura de 40-43°C y Humedad Relativa de 75%). Esta fermentación ocurre en la masa, durante la mezcla de todos los ingredientes según el método directo (Cauvain & Young, 1998; Cauvain, 2000).

Segunda fase de fermentado. Después de que la masa se haya fermentado durante varias horas, se corta y se le da forma al pan. Después se somete la masa ya formada a un tiempo de reposo de aproximadamente una hora, esto sólo si se va a utilizar la masa en seguida, con las mismas condiciones de temperatura y humedad que en la primera fase (40-43°C y 75% Humedad Relativa). Es realmente en esta parte del proceso cuando la levadura rompe el azúcar produciendo burbujas de CO₂ que le darán el volumen final a la pieza de pan (Cauvain, 2002; Calaveras, 2004).

2.3) Pesado y moldeado de la masa

Luego de que la masa se ha fermentado totalmente se lleva a las divisoras para cortarla en pedazos individuales de un peso determinado. La divisora deposita los trozos de masa en una banda transportadora que los lleva a una máquina boleadora (*American Institute of Baking*, 1993).

El mezclado y la fermentación son elementos esenciales para elaborar productos de buena calidad leudados con levadura. De igual importancia es el periodo de tiempo que transcurre entre el boleado y moldeado, que se conoce como desarrollo intermedio. Dado que la fermentación es un proceso continuo, el gas que sigue desarrollándose imparte a la masa la flexibilidad necesaria para soportar el manipuleo en la moldeadora. Sin el desarrollo intermedio, la masa tiende a romperse en la moldeadora, dando como resultado un volumen pobre de la hogaza y un pan deforme. Durante el desarrollo intermedio, los pedazos de masa se tornan secos y extensibles, adquiriendo entonces cierto nivel de elasticidad o relajación para la operación de moldeado. La duración del desarrollo intermedio

generalmente varía de 6 a 8 minutos y como regla debe realizarse en un área cerrada para evitar corrientes de aire. El nivel ideal de humedad relativa es de 75%-80%. El control de la temperatura en este periodo es de gran importancia y la temperatura no debe exceder los 32°C, los pedazos de masa son llevados luego a una máquina moldeadora (*American Institute of Baking*, 1993).

Al poner los pedazos de masa ya moldeados en el molde, es importante colocarlos con las uniones hacia abajo para evitar que se desenrosque durante el proceso de desarrollo, lo cual conduciría a una hogaza con superficie de corteza irregular y áspera (*American Institute of Baking*, 1993).

La relación entre el volumen de la masa y el tamaño del molde es importante para la calidad del pan y se define en términos de pulgadas cúbicas de volumen de molde por onza de masa o como proporción molde-masa (*American Institute of Baking*, 1993).

2.4) Horneado

Es el proceso térmico al cual se somete la masa de pan ya formado y fermentado, con temperaturas ya determinadas, superiores a los 200 °C y unos tiempos de cocción característicos de cada tipo de pan. El horneado acaba con todas las levaduras causantes de la fermentación, también se consigue un aumento de la masa del pan al expandirse el CO₂ debido al calor y un endurecimiento de la superficie. Este endurecimiento se produce por la evaporación del agua de la corteza que suponen una pérdida de peso entre un 8-14% de la masa (Cauvain, 2002).

Durante el proceso de horneado, se gelatiniza el almidón y las proteínas se desnaturalizan, a una temperatura interna de la pieza de pan de 60-80°C y entonces es cuando la masa cruda se transforma en un producto con brillo, poroso y digestible (Fennema, 2000).

Las reacciones químicas involucradas en este proceso son esencialmente las reacciones de Maillard y la caramelización. La reacción de Maillard es favorecida en los alimentos con alto contenido de proteína, carbohidratos y humedad intermedia, a temperaturas mayores de 50°C y un pH de 4 a 7, produciéndose cambios de color (formación de melanoidinas), sabor (aldehídos y cetonas), propiedades funcionales y valor nutrimental (bloqueo o destrucción de la lisina). La caramelización necesita de condiciones más drásticas, temperaturas superiores a 120°C y baja A_w (Fennema, 2000).

Durante el horneado, el contenido y la distribución de agua juegan un papel muy importante, el contenido de agua de la superficie de la pieza de pan disminuye; esto combinado con la alta temperatura, es uno de los factores que hace que la corteza sea diferente de la miga (Ramírez-Jiménez et al., 2000).

3) Características organolépticas de un pan

El pan ha sido consumido por cientos de años. Sus aspectos atractivos incluyen su estructura aireada luminosa, y textura única, las cuales le han ayudado a convertirse en un alimento básico de muchas culturas a lo largo de la historia (Newberry, 2004).

Un típico pan recién horneado posee una serie de características que lo hacen único y fácilmente identificable:

- De corteza crujiente, colorida por la formación de melanoidinas como efecto de las reacciones de caramelización y de Maillard favorecidas por las altas temperaturas de horneado y como resultado de la interacción entre los carbohidratos y proteínas de la masa (Fennema, 2000).
- Textura interna suave: alveolos irregulares, porosidad en el interior como resultado de la acumulación de burbujas de gas CO₂ producido por la fermentación de la levadura (Newberry, 2004) como resultado de las interacciones entre los ingredientes durante el amasado.

3.1) Textura

La textura es un atributo importante del pan y de todos los alimentos, es afectada por el procesamiento y manejo de los mismos, y determinante en la vida de anaquel. La apreciación de la textura influye los hábitos de consumo y la aceptación del producto por parte del consumidor.

La caracterización de la textura en productos de panadería se da en dos vías, usando métodos de análisis sensorial y técnicas instrumentales complementadas con técnicas fundamentales que permiten caracterizar la estructura interna de los alimentos y poder explicar el comportamiento reológico a nivel macroscópico.

La textura de los alimentos es esencialmente una experiencia humana que surge de nuestra interacción con el alimento, su estructura, su comportamiento cuando es manipulado, implicando desde aspectos de fisiología y psicología de la

percepción hasta estudios físico-químicos de la composición y estructura de los materiales alimenticios y su comportamiento cuando son deformados o cizallados.

El equipo TPA simula la masticación de una muestra de alimento por medio de un analizador de textura. Una muestra de alimento del tamaño de un mordisco es comprimido usando un dispositivo de doble acción ajustable al alimento para imitar la acción de un diente, 7 características de textura (5 medidas y 2 calculadas a partir de los parámetros medidos) son determinados en un típico análisis de una curva de textura: (Metrotec, n/d)

- Fracturabilidad
- Dureza
- Cohesividad
- Adhesividad
- Pegajosidad
- Gomosidad
- Masticabilidad

El Análisis de Perfil de Textura (*TPA* por sus siglas en inglés) se empleó con el objetivo de evaluar la influencia que tiene la presencia de proteína de chícharo en la estructura final de la hogaza. Dentro de este estudio se evaluaron 4 descriptores de interés para la calidad del producto: (Metrotec, n/d)

- Fracturabilidad: fuerza inicial con la que el producto se desmiga, fractura o se hace pedazos muy pequeños, es representado por el pico inicial de fuerza durante la primera compresión.
- Cohesividad: El ratio de trabajo hecho durante la segunda compresión dividido por el trabajo hecho durante la primera compresión. El resultado obtenido es un indicador de visco-elasticidad del alimento. Un valor próximo a 1 indica total elasticidad y un valor próximo a cero indica que la muestra no se recuperó en absoluto. En términos sensoriales indica el grado al cual la muestra se deforma antes de romperse cuando se mastica con los dientes molares.
- Gomosidad: Producto de la dureza x cohesividad. La gomosidad simula la energía requerida para desintegrar un alimento semi-sólido para así este se pueda tragar.
- Dureza: También denominada firmeza es la fuerza máxima obtenida durante la primera parte de compresión del ensayo (imitando el primer mordisco). Es identificada como dureza 1 para el primer pico durante la primera compresión y dureza 2 para el pico obtenido durante la segunda compresión

4) CARACTERÍSTICAS DEL CHÍCHARO VERDE (*Pisum sativum*)

El chícharo, guisante o arveja (*Pisum sativum*) es una hortaliza clasificada dentro de la familia de las leguminosas. Es una planta herbácea de ámbito rastrero. El órgano de consumo tradicional de esta variedad es su semilla o grano inmaduro, constituida por el embrión y la testa que lo protege (Martínez *et al.*, 2004)

El chícharo, guisante o arveja es un producto altamente disponible y de bajo costo que está ganando un considerable *momentum* como ingrediente funcional debido a sus beneficios saludables ya que posee un alto contenido de fibra, proteína, antioxidantes y bajo contenido de grasa. Lo que lo convierte en un candidato promisorio para ser utilizado como ingrediente novel en el desarrollo de productos funcionales con bajo índice glucémico (Pyley, 1988)

El chícharo es un producto con alto contenido de almidón resistente que ofrece beneficios a la salud y buen funcionamiento intestinal y del colon; así como un mejoramiento en el metabolismo de los carbohidratos lo que conlleva a una disminución del índice glucémico. Todos los tipos de almidón resistente se digieren y fermentan de forma diferente. Cuando son adicionados a otros alimentos como pan, pasta, golosinas, barras nutritivas o cereales incrementan el contenido de fibra sin afectar las características organolépticas del producto. Los alimentos que contienen chícharo en su composición se consideran productos ricos en proteína, fibra, almidón y hierro (Marinangeli *et al.*, 2009)

5) PROTEÍNAS VEGETALES

Las proteínas hacen posible que se lleven a cabo las reacciones bioquímicas primarias en las células vivas. Las proteínas se requieren para dar estructura, guiar el funcionamiento y regular las células corporales, tejidos y órganos; teniendo cada proteína una función específica (Barac *et al.*, 2011).

La deficiencia proteica se considera uno de los mayores problemas dietarios a los que nos enfrentamos a nivel global, particularmente los países no desarrollados y en vías de desarrollo (Barac *et al.*, 2011).

Las proteínas, tanto de origen vegetal como de origen animal, son constituyentes clave de todos nuestros alimentos. Los requerimientos de proteína en humanos se muestran a continuación:

Cuadro 5. Requerimientos de Proteína en Humanos

Edad	Requerimiento
Adultos (ambos sexos)	0.83 g /kg de peso corporal/ día
Adultos mayores (ambos sexos)	1 g /kg de peso corporal/ día
Adultos (ambos sexos con actividad física moderada)	1.3 g /kg de peso corporal / día

Fuente: *NUTRALYS Pea Protein Information*, 2010

Dentro de los ingredientes funcionales, las proteínas se han convertido en uno de los segmentos de mayor crecimiento debido a que conjuntan beneficios nutricionales y funcionales. El uso de proteínas vegetales como ingredientes, ha ido en crecimiento como se muestra en el siguiente gráfico (*NUTRALYS Pea Protein Information*, 2010).

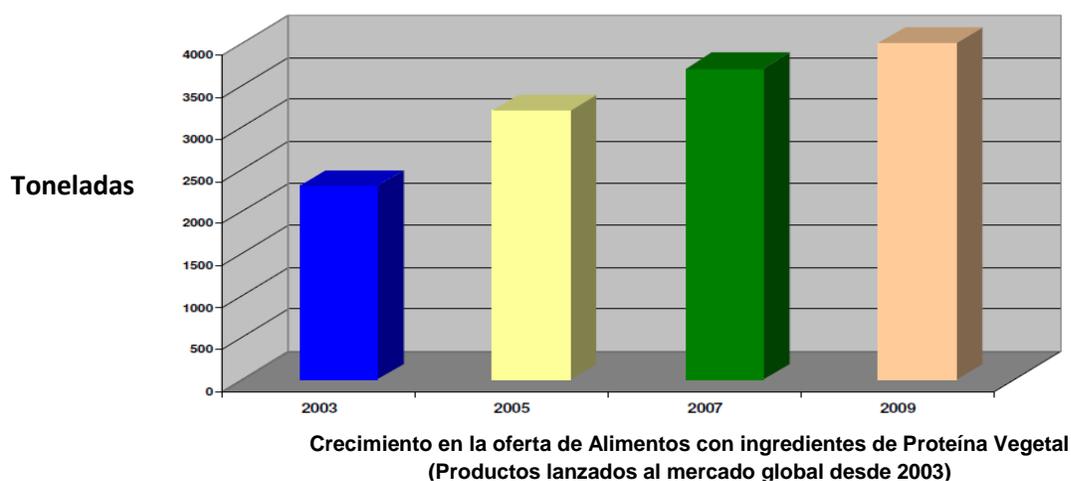


Figura 1. Crecimiento en la oferta de Alimentos con ingredientes de Proteína Vegetal

Fuente: *NUTRALYS Pea Protein Information*, 2010

6) Proteínas Vegetales como Ingredientes

Las proteínas vegetales son ingredientes alimenticios derivados de fuentes vegetales que son ricas en diversos nutrientes, como cereales y legumbres (vegetales cuyo fruto es una vaina) (Kamaljit & Baljit, 2010).

Un significativo aumento en la demanda de proteínas para la alimentación humana se espera tal como se muestra:

- La población mundial alcanzará una cifra de 9 billones de personas para 2020.
- Mejoras en los estándares de vida están relacionadas con un incremento en el consumo de carne per cápita (Kamaljit & Baljit, 2010).

Cuadro 6. Consumo de Carne por Habitante

Consumo Por año 2008-2011	Recomendación realizada por la FAO	USA	Rusia	China
Consumo de carne por habitante	80 kg/ año	98 kg/ año + 0.5%	46.5 kg/año + 7%	40 kg/ año + 8.5%

Fuente: (NUTRALYS Pea Protein Information, 2010)

Si dicha tendencia continúa, podemos esperar un incremento exponencial en las demandas de proteína de origen animal. No será posible abastecer el incremento en la demanda de proteína proveniente de carne roja y pescado, por lo tanto un aumento en la producción y uso de proteína vegetal será necesario (Kamaljit & Baljit, 2010).

6.1) Proteínas Provenientes de Leguminosas

Las proteínas provenientes de leguminosas son utilizadas en un importante número de categorías de productos alimenticios como se muestra en la siguiente figura.

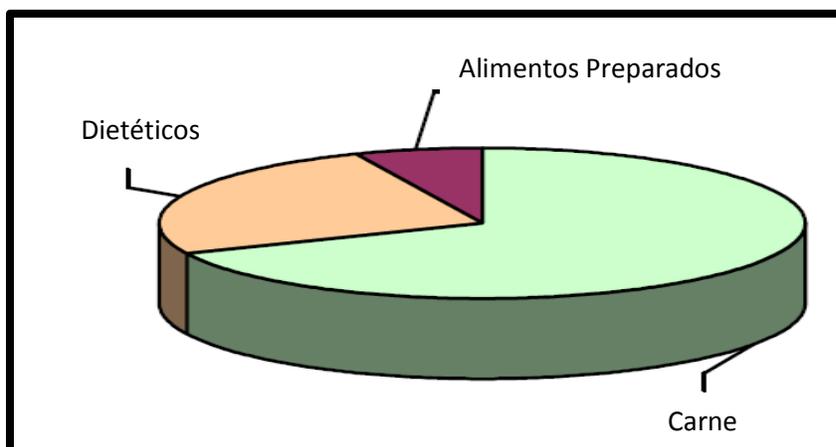


Figura 2. Gráfico de Porcentaje de Consumo de Productos Alimenticios

Fuente: (NUTRALYS Pea Protein Information, 2010)

El perfil de aminoácidos esenciales de las proteínas provenientes de leguminosas se encuentra muy cercano al perfil de proteína ideal para la nutrición humana (FAO/WHO 1985 & 2011). Su combinación con proteína proveniente de cereales representa una opción saludable todavía más cercana al perfil ideal para las dietas del futuro (Kamaljit & Baljit, 2010).

6.2) Características de la Proteína de Chícharo

El chícharo o guisante es una de las fuentes alimenticias más antiguas en Europa que, combinando la energía proporcionada por el almidón y la proteína, resulta en una fuente nutricional importante dentro de la dieta humana (Martínez *et al.*, 2009).

La proteína de chícharo o arveja es un ingrediente que provee un importante valor agregado ya que posee ingredientes funcionales y excelentes propiedades nutricionales.

Posee bajos niveles de factores antinutritivos y fitoesteroides. En comparación con otros vegetales, las variedades de chícharo que crecen en Francia tienen inicialmente bajos niveles de: (NUTRALYS Pea Protein Information, 2010)

- Taninos, fitatos y lectinas.
- Inhibidores de tripsina: el contenido es mucho más bajo que en el frijol de soya.
- Fitoesteroides: el contenido de isoflavonoides en el chícharo amarillo es muy bajo.

Otros factores antinutritivos potenciales son eliminados o removidos durante el procesamiento:

- Azúcares complejos responsables de molestias digestivas consecuencia del consumo de leguminosas son concentradas en la parte soluble y eliminadas de la proteína.
- Las saponinas son parcialmente eliminadas con los componentes solubles.

La composición de la proteína *NUTRALYS Pea Protein* utilizada en este estudio se muestra en la siguiente figura.

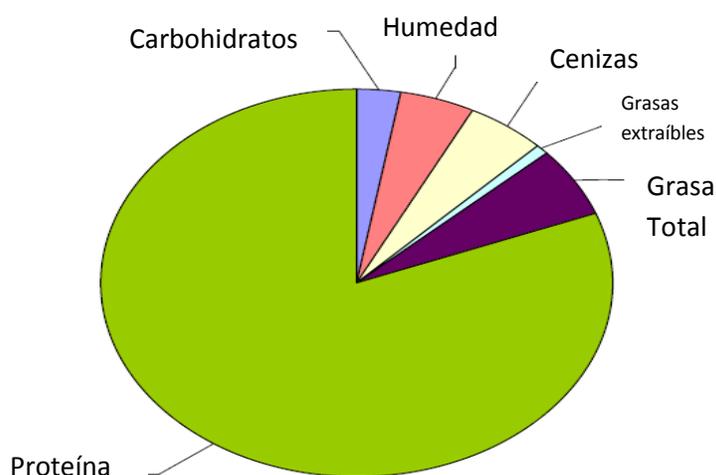


Figura 3. Composición de nutrientes de *NUTRALYS Pea Protein*

Fuente: (*NUTRALYS Pea Protein Information*, 2010)

Sus ventajas tecnológicas son: (*NUTRALYS Pea Protein Information*, 2010)

- Capacidad emulsificante: mejora la humedad y el rendimiento de las masas panarias, provee una textura homogénea y más atractiva a los productos de panificación.
- Solubilidad: posee gran funcionalidad en un amplio rango de pH
- Capacidad de dispersión: debido a que se trata de un producto en polvo, se dispersa fácilmente limitando la formación de espuma durante los procesos tecnológicos.
- Estabilidad
- Sabor y aroma: debido a los procesos de extracción de dicha proteína, se eliminan la mayor cantidad de moléculas responsables de impartir sabor y aroma a chícharo.

6.3) Beneficios nutricionales

La proteína de chícharo tiene un alto índice de digestibilidad (85%) en comparación con otras proteínas de origen vegetal.

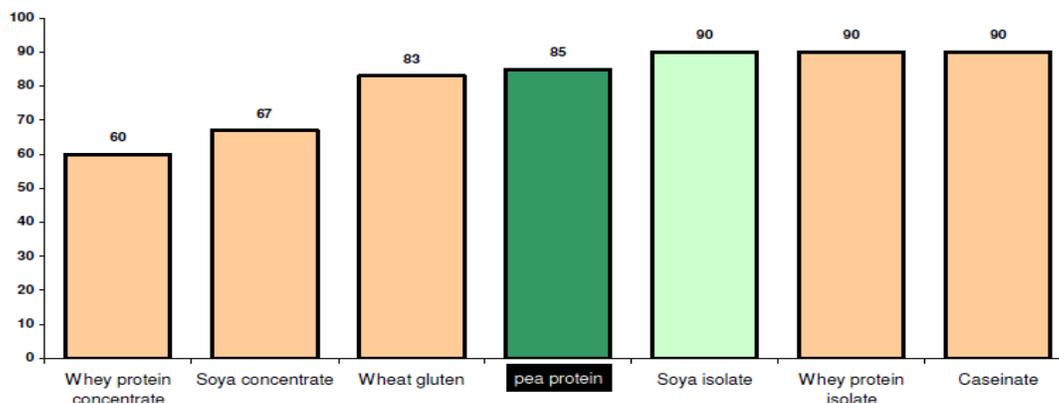


Figura 4. Gráfico de porcentaje de Digestibilidad de Diferentes tipos de Proteína

Fuente: (NUTRALYS Pea Protein Information, 2010)

Dicha digestibilidad se debe al bajo contenido de factores anti-nutritivos que se encuentran por ejemplo en proteínas de origen animal.

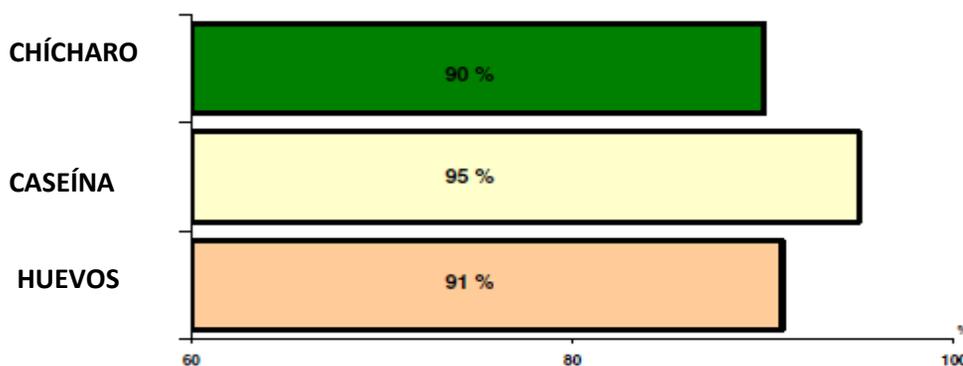


Figura 5. Gráfico de porcentaje de Digestibilidad Real de tres tipos de Proteína

Fuente: (NUTRALYS Pea Protein Information, 2010)

6.4) Fuente de aminoácidos benéficos

En el siguiente cuadro se muestra el perfil de Aminoácidos esenciales presentes en la proteína de chícharo.

Cuadro 7. Aminoácidos Esenciales en Proteína de Chícharo

Aminoácido	Proteína de chícharo	FAO 2008 Niños de 3-10 años de edad	FAO Adultos
Cistina + Metionina	2.1	< 2.4	< 2.2
Histidina	2.5	> 1.6	> 1.5
Isoleucina	4.7	> 3.1	> 3.0
Leucina	8.2	> 6.1	> 5.9
Lisina	7.1	> 4.8	> 4.5
Fenilalanina + Tirosina	9.3	> 4.1	> 3.8
Treonina	3.8	> 2.5	> 2.3
Triptófano	1.0	> 0.7	> 0.6
Valina	5.0	> 4.0	> 2.9

Fuente: (NUTRALYS Pea Protein Information, 2010)

La asociación de cereales y leguminosas es de gran interés debido a que:

- Los cereales como el trigo, son deficientes en lisina y ricos en aminoácidos azufrados.
- Las leguminosas como el chícharo son ricas en lisina, pero pobres en aminoácidos azufrados.

La utilización efectiva de proteína de chícharo en alimentos para consumo humano depende en gran medida de la aceptación del consumidor. Algunos estudios han sido conducidos hacia las aplicaciones potenciales de productos de chícharo en alimentos, adicionadas o como sustitutos de harina (en pan o pasta), productos

cárnicos, productos texturizados, sopas, botanas y como sustituto de leche. La adición de productos de chícharo influyen en el tiempo de cocinado y la textura del producto final. Concentrados de proteína de chícharo han sido encontrados útiles para producir sustitutos de leche en polvo sin grasa para la industria de panificación. En ciertas aplicaciones la proteína de chícharo puede ser utilizada como sustituta de la proteína de soya. Algunas veces los productos provenientes de chícharo poseen sabores desagradables, pero una proteína aislada de chícharo puede ser producida con un sabor suave. Esta proteína posee alta solubilidad, capacidad de retención de agua y grasa, es espumante y emulsificante, características que proveen la textura y estabilidad deseadas (Fleming & Sosulski, 1977).

7.0) Tendencias actuales: los retos de la industria panadera

El mercado actual de productos de panadería está siendo influenciado por tendencias globales que están rompiendo con los modelos tradicionales de alimentación. La tendencia hacia la urbanización resulta en un estilo acelerado de vida del consumidor, se incrementa el número de mujeres a la fuerza laboral, fragmentando la estructura familiar tradicional. Los recientes productos desarrollados son indicativos de la demanda del consumidor para productos que faciliten el estilo de vida ocupacional y en consecuencia los contratiempos sobre la preparación de los alimentos y los tiempos en la adquisición de los mismos (Redruello, 2004).

Redruello (2004) señala que en un estudio realizado por especialistas de todo el mundo en análisis de mercado, se consideran a 10 tendencias que están extendiéndose de manera global y que están determinando el desarrollo y la forma de algunos productos en el mercado actual. Las 10 megatendencias vienen influenciadas por la conveniencia, salud, edad y sexo, forma de vida, complejidad de los ingresos, individualismo, aspecto sensorial, confort y conectividad:

- Conveniencia. Productos que salvan el tiempo y “mezclas fáciles” son importantes para el 82% de los consumidores europeos y estadounidenses.
- Salud. El 90% de los consumidores europeos y americanos buscan mejorar la salud. Lo que confirma el crecimiento de las ventas de las firmas de alimentos en el dominio de los productos funcionales. La tendencia hacia la salud continúa siendo una guía hacia la preferencia de alimentos naturales y orgánicos. Esto, agregando el desarrollo de productos específicos a grupos de personas que requieren de una dieta en particular, por ejemplo las personas que padecen diabetes, hipertensión, etc.

- Edad. Mientras los padres satisfacen las compras a sus propios niños, los consumidores jóvenes están adquiriendo de manera constante mayor autonomía en el poder de sus gastos, desarrollando conciencia de la marca y lealtad a los productos de su agrado. Esta tendencia toma en cuenta la edad de los grupos para desarrollar productos que satisfagan a un grupo en particular.
- Sexo. Teniendo en cuenta que la dieta del hombre es distinta a la de una mujer, por el desarrollo de actividades, masa corporal, ideologías, etc. se desarrollan productos individuales concernientes a ambos.
- Forma de vida. El núcleo familiar está cambiando significativamente influenciado por las tendencias de la forma de vida, es normal encontrar hogares que tengan tanto la autoridad paterna y materna como una sola autoridad, se extiende el tipo de consumidores, encontrándose adultos mayores con necesidades que se contraponen a las de la niñez.
- Individualismo. El número de personas que viven solas ha ido incrementando en las ciudades, desarrollándose para el consumidor productos instantáneos y de una sola porción.
- Aspecto sensorial. Los consumidores hoy en día son cada vez más demandantes de experimentar nuevas experiencias en sabores, colores y formas que hacen a los productos más atractivos.
- Confort. Con el uso del horno de microondas, refrigeradores inteligentes, entre otros, los consumidores mexicanos están incrementando su consumo de alimentos fáciles de preparar.
- Conectividad. Esta tendencia se atribuye al crecimiento del consumo ético o “necesidades de conectividad”; consumir productos correspondientes a una comunidad, rescatando los valores y actitudes perdidos, más que nada para retomar las tradiciones (Häegëns, Food Navigator 2005). Ejemplos claros son: los *waffles* americanos, el *cordón bleu* francés, la *masaka* turca, la *pasta* italiana, los tradicionales tacos o mermeladas mexicanas, por mencionar algunos.

Si bien estas tendencias están dándose principalmente en Europa y Norte América, la sociedad mexicana está cada día más influenciada por estas tendencia tanto por los anuncios de las marcas transnacionales como por los distintos acuerdos comerciales que tiene México con dichos países.

6.1) Nuevo segmento de productos

En regiones como Norte América y el Oeste de Europa se está incrementando el desarrollo de productos con valor agregado también llamados “Premium”.

La segmentación de productos comenzó también a jugar un papel importante en el desarrollo de estrategias de productos manufacturados, guiando a un crecimiento de productos, específicos a grupos de consumidores como los niños, adultos jóvenes y adultos mayores.

Es común encontrar productos con etiquetas que realzan la importancia de sus componentes o ingredientes adicionales, por ejemplo, productos con vitaminas y minerales específicos para niños en crecimiento, alimentos adicionados con ácidos grasos omega, con sales minerales, con fibra, con bifidobacterias, etc., para adultos jóvenes, y también alimentos enriquecidos con calcio dirigidos a adultos mayores para reducir el riesgo de padecer osteoporosis (Ranhorta *et al.*, 2010), entre muchos otros.

7.2) Desarrollo de productos de panadería que apuntan a la salud y al bienestar

Así como la conveniencia, la innovación de productos se ve reflejada en el crecimiento de la conciencia del problema nutricional. En países más desarrollados persiste la tendencia hacia la alimentación saludable. En consecuencia, el desarrollo continuo de productos “Premier” y la innovación de estrategias de mercado se enfocan en productos saludables y sofisticados como productos de panadería novedosos que combinan distintos cereales o que está adicionados con otros ingredientes (Redruello, 2004) para un grupo específico de consumidores.

El consumo de variantes de alimentos con bajas calorías, productos light, productos adicionados con vitaminas o minerales, con otros ingredientes como linaza, ajonjolí, amaranto, enriquecidas con proteínas vegetales o fibras se han convertido en modelo de desarrollo de muchos productos.

Otros aspectos relacionados al desarrollo de productos.

- Nuevos formatos de empaque. La innovación en el empackado de productos de panadería ha tenido un importante incremento, los productores buscan la forma de adaptarse al cambio de los hábitos alimenticios, tendencias sociales y demográficas. Tales estrategias de empackado incluyen paquetes

- con una variedad de tamaños, formas y características, en condiciones de atmósferas modificadas, ultra esterilización, tecnología de bolsas zipper que provee una vida de almacenamiento prolongado, rótulos con palabras clave de productos que promueven beneficios a la salud, etc. (Redruello, 2004).
- Nuevas tecnologías. El desarrollo de productos novedosos va de la mano con la innovación de tecnologías de procesamiento.
- Mejor distribución y penetración de multinacionales en mercados emergentes. La extensión de los mercados influencia la cultura y la dieta de los consumidores, ya que pone al alcance una gran variedad de productos de panadería (Redruello, 2004).

II

MATERIALES Y MÉTODOS

JUSTIFICACIÓN

El pan es uno de los alimentos más antiguos de la humanidad, transformándose a lo largo de la historia en un componente esencial dentro de los hábitos alimenticios de los consumidores. Es una gran fuente de carbohidratos, brindando un equilibrio al aportar nutrientes, vitaminas, fibras y minerales.

Las tendencias actuales apuntan a la utilización de ingredientes *novel* como es el caso de la Proteína de Chícharo desarrollada por la empresa ROQUETTE denominada *NUTRALYS Pea Protein* que es un producto extraído de chícharo deshidratado (*Pisum sativum*) cuyos beneficios tecnológicos, nutrimentales y sensoriales la hacen idónea para ser utilizada como sustituto de otras proteínas utilizadas en las formulaciones de todo tipo de productos de panificación.

HIPÓTESIS

La adición de proteína de chícharo a diferentes concentraciones en la elaboración de pan de caja permitirá obtener un producto cuyas características físicas y de textura no tendrán cambios significativos con respecto a la formulación control.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Formulación de pan de caja con inclusión de diferentes porcentajes de proteína de chícharo y evaluación de su comportamiento mediante análisis visual, pH, volumen específico, colorimetría y Análisis de Perfil de Textura para determinar la formulación que obtenga el mejor equilibrio entre desempeño en el procesamiento y las características físicas del producto final.

Objetivos Específicos

- Desarrollar tres formulaciones base de pan de caja con porcentajes de 0%, 2.5% y 5% respectivamente de reemplazo de harina de trigo por proteína de chícharo.
- Realizar un análisis de peso y porcentaje de agua para conocer el desempeño de la proteína de chícharo dentro de la formulación de pan de caja.

- Llevar a cabo análisis de volumen específico de las hogazas de pan de caja para conocer su calidad así como el comportamiento de las características visuales de cada formulación.
- Realizar análisis de pH para conocer las variaciones de que puede sufrir la masa con la incorporación de la proteína de chícharo a diferentes concentraciones, lo cual puede repercutir en el desempeño de la levadura utilizada para el procesamiento de pan de caja.
- Llevar a cabo análisis de color con el Colorímetro Konika Minolta Chroma Meter CR-410 realizando para ello comparaciones entre la formulación testigo y las formulaciones que contienen proteína de chícharo con el objetivo de conocer si existen variaciones visualmente perceptibles en las características físicas de la corteza y la miga del producto.
- Utilizando un Texturómetro EZ Test Marca SHIMADZU® realizar un Perfil de Análisis de Textura TPA, para conocer las diferencias sensoriales en textura de cada una de las formulaciones.
- Realizar el análisis de datos ANOVA Monofactorial con prueba de Tukey a un nivel de confianza de 95% mediante el programa PASW Statistics 18 para comprobar si existen diferencias significativas entre los resultados obtenidos de las 3 formulaciones en cada prueba anteriormente descrita.
- Elegir la formulación que de acuerdo a los análisis anteriores obtenga los mejores resultados.

MÉTODO Y MATERIALES.

8.0) Materiales y equipos utilizados

Ingredientes utilizados:

- 1) Harina para panes 20 kg adicionada con vitaminas y hierro marca Grupo Altex®
- 2) Mantequilla de leche de vaca sin sal marca Chipilo®
- 3) Leche entera en polvo instantánea marca NIDO®
- 4) Levadura instantánea seca para pan de caja marca NEVADA®

5) Azúcar estándar

6) Proteína de chícharo en polvo *NUTRALYS Pea Protein* marca *ROQUETTE*®

7) Sal de mesa marca LA FINA ®

Equipos:

- Batidora Kitchen Aid con Motor de 325 Watts Indice FlourPower 9 tazas
- Balanza Analítica
- Cámara de Fermentación
- Termohigrómetro Marca Sharp®
- Horno de Convección PLUS HCX II Marca San-Son®
- Colorímetro Konika Minolta Chroma Meter CR-410 (Konika Minolta Sensing Inc., Tokio, Japón)
- Potenciómetro Conductronic pH 10
- Texturómetro EZ Test Marca SHIMADZU®

Otros materiales:

- 2 Charolas de acero inoxidable
- 6 moldes de silicón
- Vasos de plástico Marca 7 oz.
- Probeta graduada de 1 lt
- Semillas de linaza
- 1 Rodillo de madera

8.1) Diseño experimental

A continuación se muestran las formulaciones para la muestra control y las dos muestras sustituidas con proteína de chícharo en sus respectivos porcentajes:

Cuadro 8. Ingredientes, cantidad y porcentaje panadero de la formulación control y las formulaciones en estudio

	INGREDIENTES	CANTIDAD (g)	PORCENTAJE PANADERO
FORMULACIÓN 1 (Control Proteína 0%)	Harina de trigo	100	100%
	Mantequilla	6.00	6.00%
	Leche en polvo	4.00	4.00%
	Azúcar	4.00	4.00%
	Levadura	1.80	1.80%
	Sal	0.50	0.50%
	Proteína de chícharo	0.00	0.00%
	TOTAL	116.30	116.3%
FORMULACIÓN 2 (Proteína 2.5%)	Harina de trigo	97.50	100%
	Mantequilla	6.00	6.15%
	Leche en polvo	4.00	4.10%
	Azúcar	4.00	4.10%
	Proteína de chícharo	2.50	2.56%
	Levadura en polvo	1.80	1.84%
	Sal	0.50	0.51%
	TOTAL	116.80	119.26%
	Harina de trigo	95.00	100%

FORMULACIÓN 3 (Proteína 5%)	Mantequilla	6.00	6.31%
	Proteína de chícharo	5.00	5.26%
	Azúcar	4.00	4.21%
	Leche en polvo	4.00	4.21%
	Levadura	1.80	1.90%
	Sal	0.50	0.52%
	TOTAL	116.80	122.41%

Diagrama del Método de Elaboración de Pan de Caja

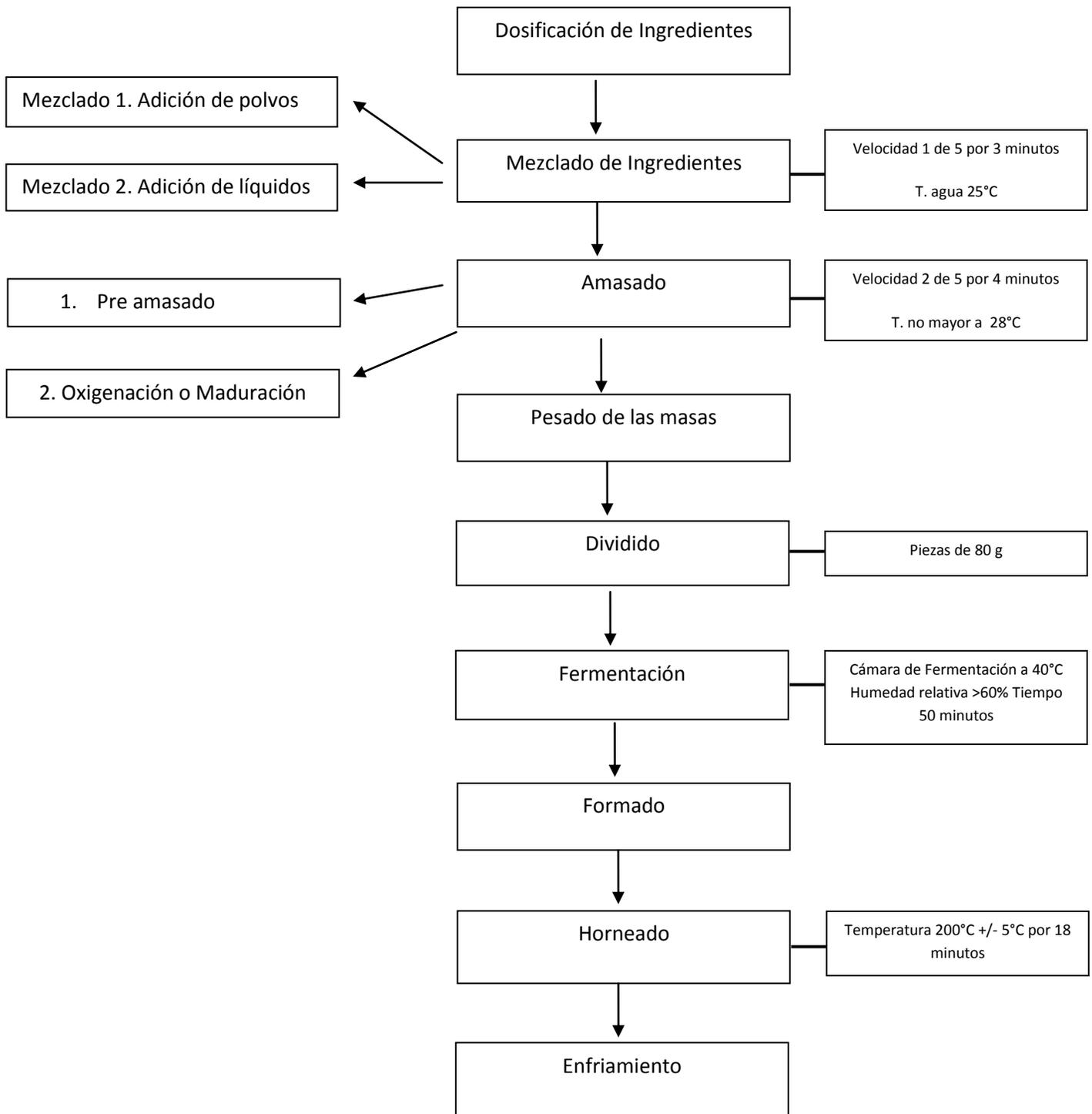


Figura 6. Diagrama general de proceso para la elaboración de pan de caja con inclusión de proteína de chícharo.

9.0) Descripción de los Análisis llevados a cabo para las formulaciones en estudio

- **Análisis de pH**

Anterior al paso de fermentación se tomaron mediciones de pH con un potenciómetro Conductronic pH 10 con dos objetivos principales: conocer si existe diferencia entre el pH de cada una de las formulaciones y si dicha diferencia está relacionada con la incorporación de proteína de chícharo, así como conocer el comportamiento de la levadura en los tres sistemas.

Análisis de pH: con un potenciómetro Conductronic pH 10 Se realizaron mediciones de pH después del proceso de fermentación para conocer el desempeño de la levadura y los cambios que puedan llegar a suscitarse por la incorporación de proteína de chícharo en las formulaciones.

- **Volumen específico**

Se llevó a cabo de acuerdo al Método 10-05 de la AACC (2000) propuesto por Lainez (2006) por medio del desplazamiento de semillas de linaza en un recipiente cilíndrico. Posterior al desplazamiento de las semillas, se aplica la siguiente fórmula para la obtención del volumen específico:

$$V = (\pi r^2 D) / P$$

Dónde:

V= volumen de la hogaza (cm³/g)

r= radio del recipiente cilíndrico (cm)

D= distancia desplazada desde la marca (cm)

P= peso de la hogaza (g)

- **Colorimetría de Costra y Miga.**

Fueron medidos con un Colorímetro Konika Minolta Chroma Meter CR-410 (Konika Minolta Sensing Inc., Tokio, Japón) tomando las muestras del centro de cada hogaza preparada para su análisis. El valor de L representa la iluminación, con valores de 0 (negro) a 100 (blanco), los componentes cromáticos son

representados por a^* y b^* . Los valores positivos de a^* son rojos y los valores negativos son verdes, mientras que los valores positivos de b^* son amarillos y los valores negativos son azules (Miñarro B., *et al*, 2012). El color de la costra fue medido en dos diferentes zonas de cada hogaza, así como el color de la miga se midió en dos zonas del centro de cada hogaza. El instrumento utilizado para medir el color de las hogazas es un Colorímetro Konica Minolta Chroma Meter CR-410 (Konica Minolta Sensing Inc., Tokio, Japón) el cuál es un medidor portátil para horneados, fritos, ahumados y procesados con el fin de monitorear y controlar el color de los productos, a fin de asegurar la uniformidad en apariencia de los alimentos.

- **Análisis de Perfil de Textura (TPA)**

Conducido en un Texturómetro EZ Test San-Son obteniendo resultados de 3 parámetros de interés, fracturabilidad, dureza y cohesividad de las piezas de pan. Se llevó a cabo por duplicado de 11 experimentos con las siguientes condiciones: las muestras de pan cortadas en cubos del mismo tamaño (tamaño menor que el cilindro de compresión para evitar errores en las mediciones por compresiones irregulares) fueron sometidas a una doble compresión (50% compresión) a una velocidad de 50 mm/min, con un tiempo de 30 segundos entre cada compresión.

Se tomaron las mismas condiciones para el análisis de dureza de la miga en todas las formulaciones.

- **Evaluación visual**

Las tres formulaciones fueron evaluadas visualmente de acuerdo a los siguientes parámetros: forma (regular o deformado), en el caso de la corteza grietas (presentes o ausentes), color (claro, oscuro), en la miga alveolos (pequeños, medianos y grandes), color (claro, oscuro).

- **Análisis Estadístico**

Se llevó a cabo un Análisis de Varianza (ANOVA Monofactorial) y sus comparaciones por medio de una prueba de Tukey a un nivel de confianza de 95%. Dicho análisis se llevó a cabo utilizando el programa PASW Statistics 18 (New Jersey, USA)

III

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

10) Análisis y discusión de Resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a lo largo de la ejecución de este proyecto; se realizaron análisis de cada uno de los parámetros medibles realizando una comparación con el producto estándar o control, con el objetivo de conocer si existen diferencias significativas entre las dos formulaciones con inclusión de proteína de chícharo y la formulación control, así mismo entre ellas.

Durante el desarrollo del proyecto, las propiedades físicas y reológicas del producto marcaron la pauta para la elección de la mejor formulación, ya que las diferencias obtenidas durante la comparación visual y estadística, apuntan a cambios que indeseables o no pueden afectar la aceptación por parte del consumidor al considerar este que el pan no cumple con las características sensoriales a las cuales se encuentra acostumbrado.

10.1) Resultados de Peso

De acuerdo a un promedio obtenido de las 11 pruebas realizadas por duplicado que se llevaron a cabo se obtuvieron los siguientes resultados.

Cuadro 9. Resultados de Peso

	Contenido de Proteína de Chícharo		
	0%	2.5%	5.0%
Peso Masa (g)	167.90± 3.76 ^c	171.34± 2.48 ^b	174.13± 3.14 ^a
Peso Hogaza (g)	146.40± 3.17 ^a	144.18± 2.28 ^b	140.54± 3.05 ^a

Valores con diferente letra dentro del mismo parámetro presentan diferencia significativa ($p < 0.05$)

Representación Gráfica del Análisis de Peso



Figura 7. Gráfico valores de peso de la masa de fórmula control y fórmulas en estudio

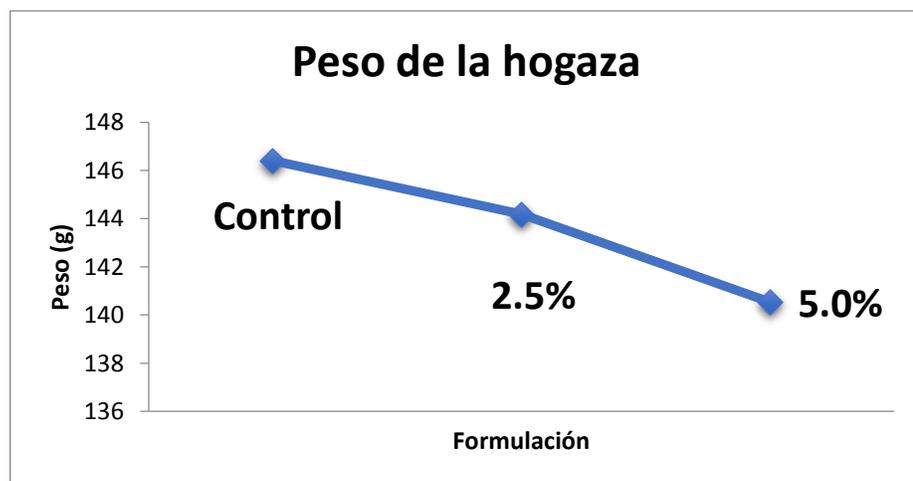


Figura 8. Gráfico valores de peso de la hogaza de fórmula control y fórmulas en estudio

Se tomaron datos de peso en dos etapas del proceso de preparación de pan de caja, al finalizar la preparación de las masas (anterior al proceso de fermentación), para conocer la cantidad de agua absorbida por la masa (Peso de los ingredientes + peso adquirido por absorción) y el peso final del producto horneado, para conocer el rendimiento.

El peso de cada muestra antes del horneado está directamente relacionado con la cantidad de agua absorbida por la masa, esto quiere decir, la cantidad de agua absorbida por los dos componentes principales de la harina de trigo que desempeñan dicha función, los gránulos de almidón y las proteínas con actividad panaria; la importancia de esta determinación radica en el conocimiento de las características impartidas por la proteína de chícharo y la forma en la que se pueden determinar las diferencias entre las tres formulaciones debido a la sustitución de harina cuyos componentes son los responsables de la absorción y textura del producto, por proteínas que tienen una tasa de absorción diferente y cuya competencia por el agua puede llegar a afectar el comportamiento de la masa (elasticidad, cohesividad, fuerza, etc.).

Para los tres casos, la formulación control arrojó el valor menor para peso de la masa 167.90 ± 3.76 g mostrando una diferencia significativa de acuerdo al ANOVA Monofactorial ($p \leq 0.05$) con respecto al peso de la muestra 2 (2.5% de proteína de chícharo) que tuvo un valor promedio de 171.34 ± 2.48 g, reflejando una diferencia significativa aún mayor en contraste con la formulación con 5.0% de sustitución de proteína de chícharo que arrojó un valor de 174.13 ± 3.14 g.

Los resultados promedio arrojados muestran una tendencia muy clara, a mayor inclusión de proteína de chícharo, mayor es el peso de la masa, posteriormente se muestran las discusiones sobre el porcentaje de agua absorbida, donde se explica de forma detallada el porqué de dicha tendencia.

En cuanto a los datos de peso obtenidos después del proceso de horneado y enfriamiento, se observa una clara tendencia opuesta a los resultados del proceso anterior, para la formulación 1 (0% de proteína de chícharo) se tiene un valor promedio de 146.40 ± 3.17 g, mostrando una diferencia significativa en comparación con la formulación 2 (2.5% de proteína de chícharo) cuyo valor promedio es de 144.18 ± 2.28 g y cuya diferencia presenta una mayor significancia comparada con el valor promedio de peso de la formulación con sustitución de 5.0% de proteína de chícharo del que se obtuvo un valor de 140.54 ± 3.05 g.

En este caso el peso promedio de las muestras disminuye a mayor concentración de proteína de chícharo incorporada, esto tiene su explicación en la cantidad de agua absorbida durante la preparación de la masa, esto es, al tener una mayor absorción de agua en las masas y una capacidad de retención de agua diferente, esta representa un gran porcentaje del agua que se pierde durante el proceso de horneado; las muestras con proteína al 5% son las que según los datos obtenidos tuvieron una mayor absorción de agua, fenómeno que se ve reflejado en la mayor pérdida de agua después del horneado y el menor volumen específico final de las hogazas.

10.2) Resultados de Porcentaje de Agua en las formulaciones

Se presentan los resultados de la cantidad de agua absorbida y perdida durante el proceso de preparación de las dos formulaciones en estudio y la formulación testigo.

Cuadro 10. Resultados del análisis de Agua en las formulaciones en estudio

Parámetros	Contenido de Proteína de Chícharo		
	0%	2.5%	5.0%
Agua absorbida por la masa (ml)	52.1 ^c	57.5 ^b	62.1 ^a
Representación del total de la masa (%)	44.77	50.25	53.16
Agua Perdida Durante el Horneado (%)	12.18	15.87	19.90

Valores con diferente letra dentro del mismo parámetro presentan diferencia significativa ($p < 0.05$)

La suplementación de harina de trigo con proteína de chícharo llevó a un incremento en la absorción de agua de la masa, comportamiento típicamente observable en harinas de trigo o semolinas que han sido enriquecidas con ingredientes de alto contenido proteico.

La cantidad de agua absorbida y perdida durante el procesamiento de pan de caja se encuentra directamente relacionada con el peso de las hogazas analizadas.

La absorción del agua durante el proceso de mezclado, se ve influenciado por dos componentes presentes en la harina de trigo, el almidón que tiene la capacidad de absorber cerca del 40% de su peso en agua y el gluten formado durante el proceso de amasado que puede absorber hasta 200% de su peso.

Uno de los objetivos principales de este estudio es conocer si la sustitución de harina de trigo por proteína de chícharo afecta las propiedades dadas por las proteínas de trigo gliadinas y glutelinas durante el proceso de formación del gluten y las propiedades aportadas por este: formación de una red que atrapa los gránulos de almidón, absorción de agua, capacidad de retención de gases,

viscosidad y extensibilidad de la masa, coagulación durante la cocción, entre otras (*American Institute of Baking*, 1993).

Los resultados presentados en el Cuadro 11 se obtuvieron tanto por medición del agua añadida por medio de una probeta como por diferencia de pesos debido a la falta de equipo necesario para llevar a cabo estudios Farinográficos y Alveográficos.

Para el agua absorbida se tomó el peso total de los ingredientes que fue el mismo para todas las formulaciones 116.8 g y el peso final de las masas producidas, el cuál presenta evidentes variaciones.

Para el agua perdida durante el proceso de horneado, se tomaron en cuenta los pesos de las masas y el peso final de las hogazas después de 30 minutos de enfriamiento a temperatura ambiente.

El análisis ANOVA Monofactorial arrojó que existe diferencia significativa entre la cantidad de agua absorbida por la masa entre las tres formulaciones, teniendo como media control la cantidad de 52.1 ml de agua absorbida durante la fase de mezclado de ingredientes,

La proteína de chícharo es rica en Lys (alrededor de 71 mg/g de proteína); este resto aminoacídico tanto en su estado polar como ionizado a su vez tiene una alta tasa de hidratación (4 moles de H₂O/ mol de resto) (Fenemma,2000), por lo tanto en interacción con los demás aminoácidos que conforman la proteína de chícharo presenta una fuerte tendencia a absorber agua, explicando por lo tanto la mayor cantidad de agua que se tiene que agregar a la masa para que esta pueda tener la hidratación necesaria para ser manejada.

Los grupos iónicos con gran afinidad por el agua son los primeros en solvatar, a actividad de agua baja, luego se solvatan los grupos polares y apolares, por lo tanto existe una competencia por el agua de hidratación tal que la presencia de restos aminoacídicos procedentes de proteínas extrañas modifica el comportamiento de los aminoácidos presentes en el gluten y por lo tanto modifican su tasa de absorción (Fenemma, 2000)

La pérdida de agua observada después del proceso de horneado resulta en una mayor pérdida por parte de las formulaciones que contienen proteína de chícharo, ya que aun cuando son estas las que absorbieron mayor cantidad de agua durante el proceso de mezclado, es sabido que la tasa de absorción y la capacidad de retención de agua son conceptos diferentes ya que esta última se refiere a la resistencia opuesta por una matriz proteica a perder, bajo la acción de diferentes

agentes, el agua inmovilizada, que es la suma de agua ligada, el agua hidrodinámica y el agua físicamente atrapada (Fenemma, 2000)

Debido a que la desnaturalización durante el amasado viene acompañado con agregación de moléculas proteicas, la capacidad de fijación del agua puede descender debido a las interacciones proteína-proteína.

Gracias a esto se pudo comprobar que efectivamente y de acuerdo a estudios bibliográficos anteriores, la proteína de chícharo interviene en la tasa de absorción y retención de agua por parte de la harina de trigo, la mayor preocupación a este respecto son las consecuencias en procesamiento y textura que puede llegar a sufrir la masa.

10.3) Resultados del Análisis de pH para las formulaciones en estudio

Para los análisis de pH llevados a cabo antes y después de la fermentación se obtuvieron los siguientes resultados:

Cuadro 11. Resultados de análisis de pH registrados para formulación control y formulaciones en estudio

	Contenido de Proteína de Chícharo		
	0%	2.5%	5.0%
Anterior a la fermentación	6.2991±0.30 ^a	6.1305± 0.37 ^b	6.2609±0.18 ^{ab}
Posterior a la Fermentación	5.6245±0.43 ^a	5.6128±0.68 ^a	5.5509±0.53 ^a

Valores con la misma letra dentro del mismo parámetro no presentan diferencia significativa ($p < 0.05$)

Representación gráfica del Análisis de pH en las formulaciones en estudio

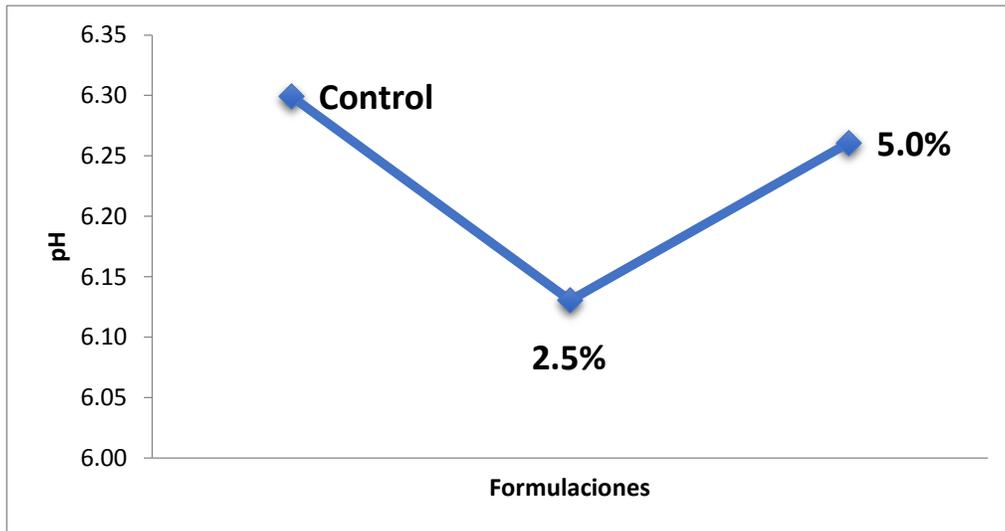


Figura 9. Gráfica pH de la masa anterior a la fermentación

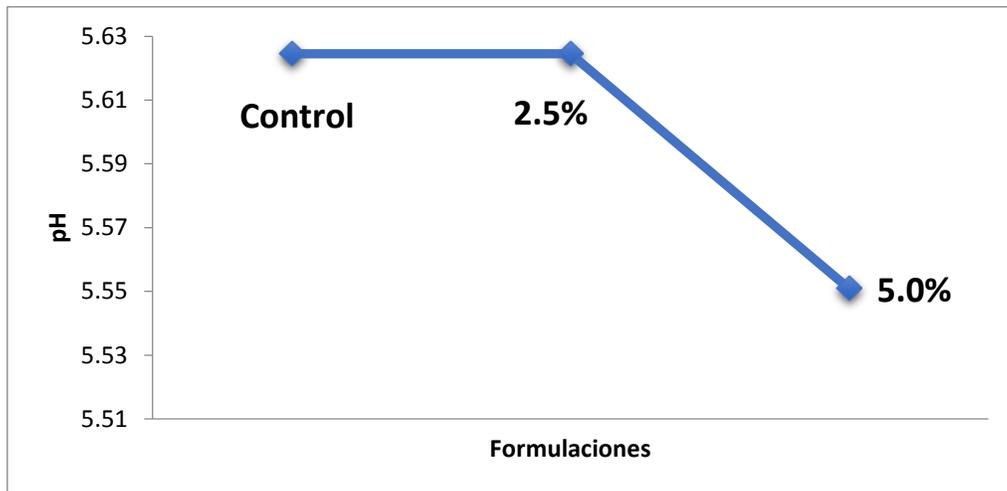


Figura 10. pH de la masa posterior a la fermentación

La importancia de la medición de pH radica en varios aspectos, desde las implicaciones que tiene en la correcta formación del gluten hasta el más importante de ellos, el adecuado desarrollo de las levaduras utilizadas para llevar a cabo la fermentación del producto.

El pH de la masa cambia durante la fermentación, debido sobre todo a la formación de ácido láctico: en el caso de este estudio, de un valor promedio inicial

de la formulación control de $\text{pH} = 6,2991 \pm 0.30$, la masa, a medida que aumentaba el tiempo de fermentación iba tomando valores de pH más bajos, y transcurridos 70 minutos (tiempo estimado desde la segunda fase del amasado) alcanzaba el valor de 5.6245 ± 0.43 . Para la formulación 2 (2.5% de proteína de chícharo), se tenía un valor de pH inicial de 6,13, para terminar su proceso de fermentación 70 minutos después con un pH de 5,63.

En la última formulación con 5% de proteína de chícharo se observa un aumento mínimo en el pH inicial con respecto a las dos formulaciones anteriores, sin embargo y debido a que estos valores son promedio de 22 datos experimentales obtenidos, es difícil asegurar que es un comportamiento tendencioso debido a la presencia de proteína de chícharo en dicha concentración, por lo tanto el criterio tomado para conocer si el pH se ve modificado de manera importante por la presencia de la proteína de chícharo fueron los datos obtenidos en bibliografía donde se indica que al inicio de la fermentación, el rango de pH óptimo para la actividad fermentativa de las levaduras es entre 4 y 6.

Al finalizar la fermentación, el rango de pH que indica que se llevó a cabo una correcta fermentación, se encuentra entre 5.3 y 5.8, para la formulación control se obtuvo un valor promedio de 5.6245 ± 0.43 , el análisis de la formulación 2 arrojó un resultado de 5.6128 ± 0.68 y la formulación 3 con 5.0% de proteína de chícharo arrojó un valor promedio de 5.5509 ± 0.53 .

De acuerdo al ANOVA Monofactorial ($p \leq 0.05$) existe diferencia significativa entre los valores de la formulación control y las formulaciones con 2.5% de proteína de chícharo y más aún con la formulación con 5.0% de proteína de chícharo a entre las dos formulaciones con respecto a las formulación control, sin embargo y según datos obtenidos en bibliografía los valores de pH se encuentran dentro del rango ideal para una fermentación llevada a cabo de manera adecuada, las pequeñas variaciones entre ellos pueden deberse a los ingredientes utilizados, temperatura, tiempo y humedad de la masa y la cámara de fermentación. Si se tuviesen valores de pH menores existiría riesgo de que las levaduras no tengan una actividad óptima, si el pH resulta mayor por ejemplo pH final de fermentación 6, existe riesgo de aparición de *Bacillus mesentericus* en el pan cocido.

10.4) Resultados del Análisis de Colorimetría de las formulaciones en estudio

Se realizaron estudios de Colorimetría de las tres formulaciones en estudio, los resultados se recogen en el siguiente Cuadro:

Cuadro 12. Características de color de Costra y Miga de Pan de Caja.

	Parámetros	Contenido de Proteína de Chicharo		
		0%	2.5%	5.0%
Color de la Costra	<i>L*</i>	66.0191± 1.60 ^a	57.9841± 1.65 ^b	52.5341± 1.49 ^c
	<i>a*</i>	13.0886± 0.94 ^a	15.5409±0.76 ^b	16.5850±0.86 ^c
	<i>b*</i>	32.6723± 1.25 ^a	30.3877±0.96 ^b	32.1736±1.30 ^a
	<i>C</i>	35.20	34.13	36.20
	<i>H</i>	68.16	62.91	62.72
Color de la Miga	<i>L*</i>	76.2000±1.49 ^a	70.9086±1.40 ^b	66.9127±1.88 ^c
	<i>a*</i>	-1.2924± 0.045 ^c	-1.0632±0.08 ^b	-0.6432±0.07 ^a
	<i>b*</i>	15.9445±1.55 ^c	17.3527±1.84 ^b	19.3559±1.76 ^a
	<i>C</i>	16.00	17.40	19.40
	<i>H</i>	85.36	86.49	88.09

Valores con diferentes letras dentro del mismo parámetro presentan diferencia significativa ($p < 0.05$)

Los valores de a^* y b^* se transforman a coordenadas polares, para obtener valores de cromaticidad y tonalidad mediante las ecuaciones:

$$C = (a^2 + b^2)^{1/2}$$

$$H = \tan^{-1}(b/a)$$

Representación gráfica del Análisis de colorimetría de Costra en las tres formulaciones de Pan de Caja

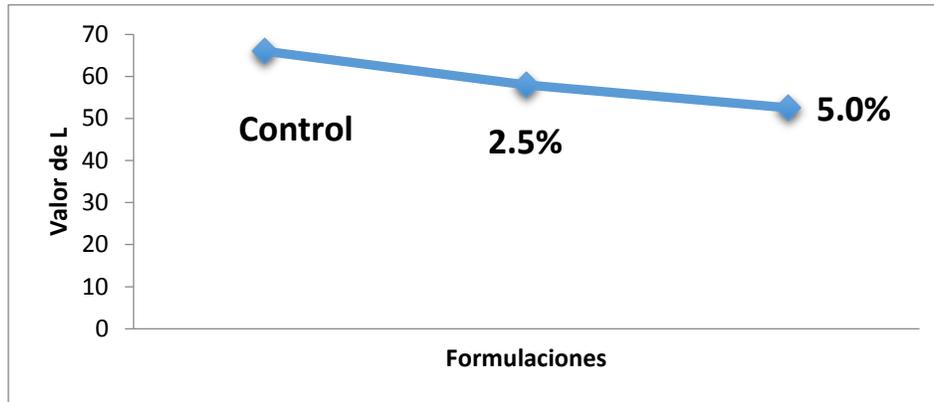


Figura 11. Gráfica valores de L para todas las formulaciones

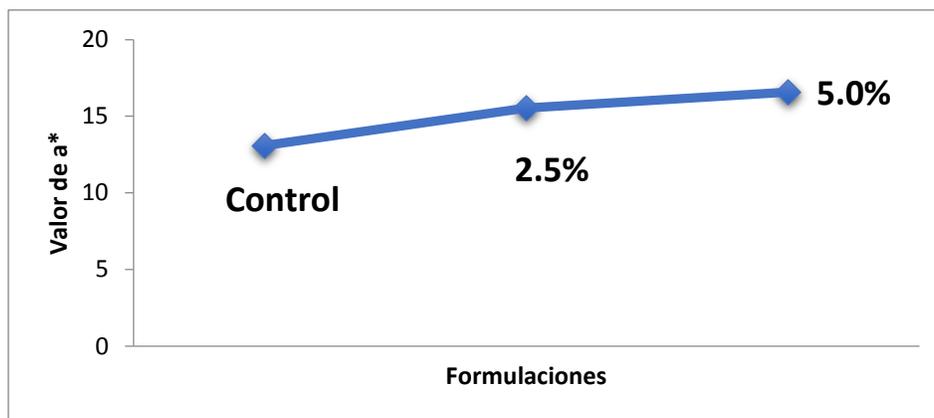


Figura 12. Gráfica valores de a* para todas las formulaciones

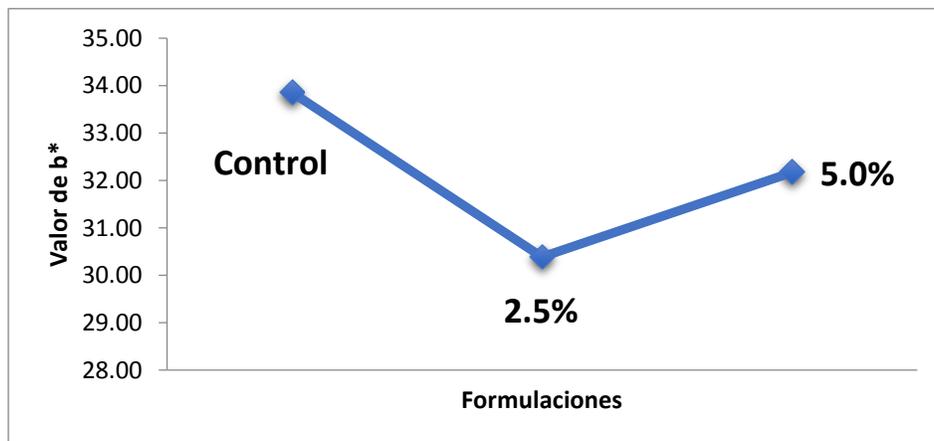


Figura 13. Gráfica valores de b* para todas las formulaciones

Representación gráfica del Análisis de colorimetría de Miga en las tres formulaciones de Pan de Caja

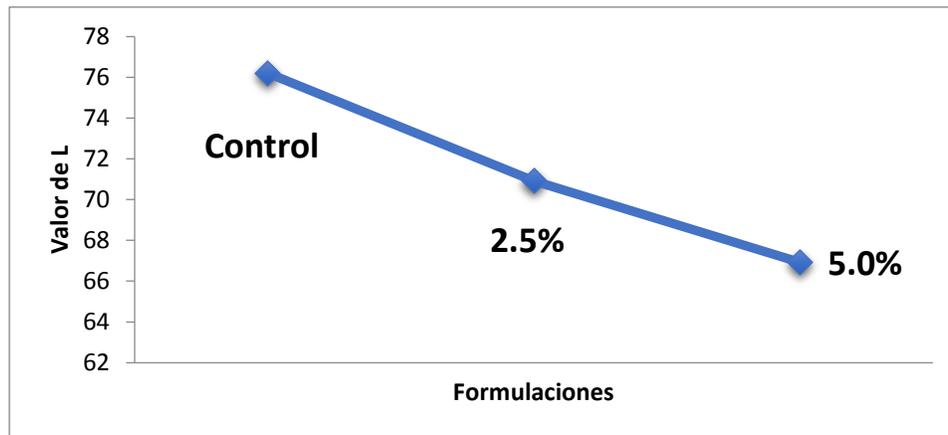


Figura 14. Gráfico valores de L para miga

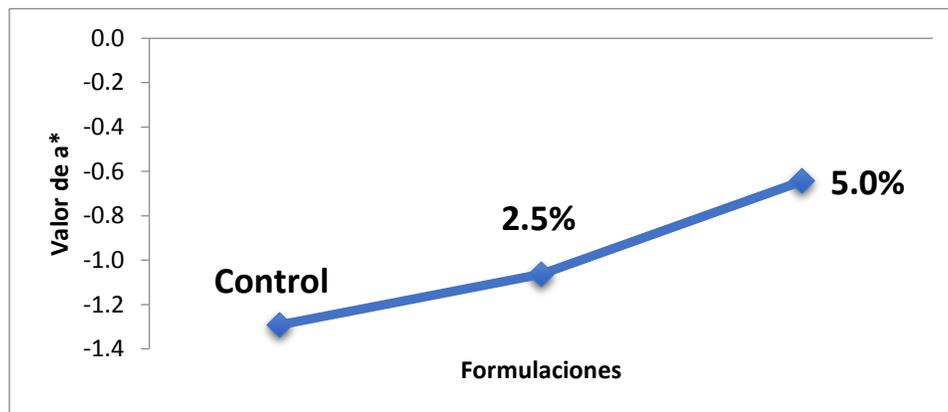


Figura 15. Gráfico valores de a* para miga

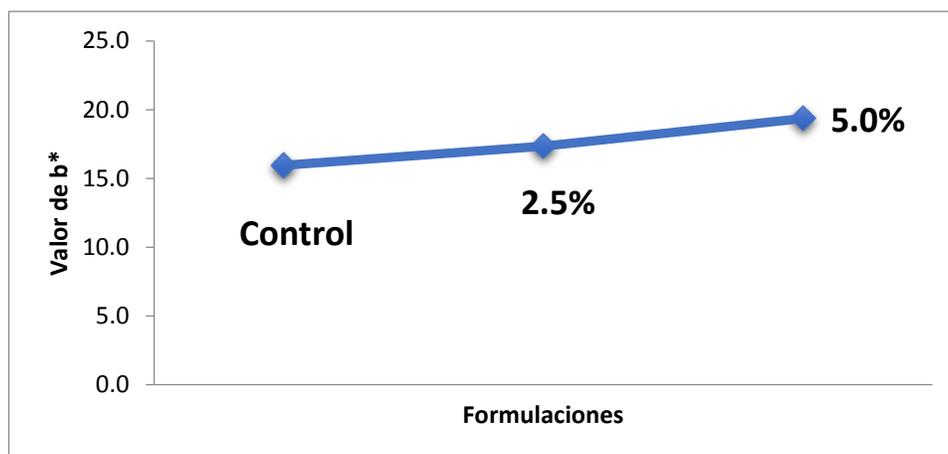


Figura 16. Gráfico valores de b* para miga

El color de las piezas de pan fue evaluado analíticamente mediante los parámetros L, (a) y (b), tomando L como el valor más importante debido a que tiene un impacto directo en el valor comercial del producto.

El valor de L es el parámetro que representa la luminosidad (100) y la oscuridad (0) de un producto, el valor de (a) representa los matices rojizos (+ve) a los verdes (-ve), así como el valor de (b) representa una escala que va del amarillo (+ve) al azul (-ve) (Cheftel y Cheftel, 1992).

En general el valor L de la corteza tiende a disminuir cuando existe un aumento en la concentración de proteína añadida, esto es, el color presentado en la corteza de la formulación control (0% de proteína de chícharo) es más claro que el color que presenta la formulación 2.5% y aún más en comparación con la formulación que contiene 5.0% de proteína de chícharo. La importancia radica en la percepción que el cliente puede tener de un producto cuyo color es más oscuro y la asociación mental que se tiene hacia un producto “quemado” y de mala calidad.

Para el análisis de los resultados obtenidos en los diferentes parámetros representados en un estudio de colorimetría se realizó un ANOVA Monofactorial con una Prueba de Tukey a un nivel de confiabilidad de 95%, mismo que arrojó los siguientes resultados: para el parámetro L en la costra de la formulación control (0% de proteína de chícharo), el valor 66.0191 ± 1.60 obtenido para dicha muestra presenta diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al valor 57.9841 ± 1.65 obtenido en la medición de dicho parámetro; la diferencia es más significativa todavía si se compara con el resultado de 52.5341 ± 1.49 perteneciente a la formulación con 5.0% de sustitución de proteína de chícharo.

Si el parámetro L representa la luminosidad u oscuridad dentro de una escala de 0 a 100, donde los valores aumentan a la par de la oscuridad del tono del producto, quiere decir que la formulación control presenta la mayor luminosidad mientras que en las formulaciones que contienen proteína de chícharo existe un aumento en la intensidad de su color ámbar de la corteza, la figura 11 muestra de forma más clara los resultados obtenidos.

La importancia de este resultado en particular radica en la percepción visual que el cliente tiene del producto debido a que la costra es un “gancho” para el cliente y en la mayoría de los casos este se busca una costra crujiente, brillante y de color amarillo dorado.

El parámetro de color L también fue medido para la miga, encontrándose una tendencia similar a la de la corteza, los valores de L disminuyen a mayor concentración de proteína debido a un tono más oscuro observable en las piezas. La miga de la formulación control presenta la mayor luminosidad con un valor de

76.2000± 1.49, seguido por la formulación con 2.5% de proteína de chícharo con una valor de 70.9086±1.40 y por último se tiene la formulación con 5.0% de proteína de chícharo donde se presenta la menor luminosidad con un valor de 66.9127±1.88, existiendo diferencia significativa entre ambas formulaciones en estudio y el testigo.

El valor de (a) tanto de la corteza como de la miga fue igualmente considerado debido a que este representa que tan rojizo es el matiz de un producto (cuando los valores son positivos), los resultados de (a) de la corteza nos indican una tendencia de aumento a mayor concentración de proteína, esto es, la corteza de las formulaciones con proteína pasan de tener un matiz más cercano al verde (formulación control) a tener un matiz tendiente al rojo en las formulaciones con proteína de chícharo adicionada, en contraste con los valores reportados para la miga que se encuentran todos como valores negativos, lo cual indica presencia de coloraciones verdosas en esta parte de la piezas. Dichos resultados se encuentran en concordancia con la evaluación visual realizada a este componente de las hogazas.

Los valores de (b) de la costra muestran resultados contrarios a los obtenidos para (a), debido a que los resultados muestran que el matiz amarillo disminuye con el aumento del matiz rojo. Para la formulación control se encontró un valor de 32.6723± 1.25 cuya diferencia no se observa significativa con respecto a los resultados obtenidos para la formulación con 5.0% de proteína de chícharo con un valor de 32.1736±1.30 pero sí en contraste con la formulación con 2.5% de proteína que arrojó un valor promedio de 30.3877±0.96. En general los valores de (b) de la corteza obtenidos para las formulaciones en estudio, se presentan constantes.

En cuanto a los resultados para la miga, podemos observar que la formulación control tiene los valores más bajos dentro de los matices amarillos (se trata de valores positivos), tendiendo a aumentar dicho matiz a mayor cantidad de proteína añadida.

10.5) Resultados del Comparativo visual del producto final de las formulaciones en estudio



Figura 17. Apariencia visual de la costra de las tres formulaciones de Pan de Caja

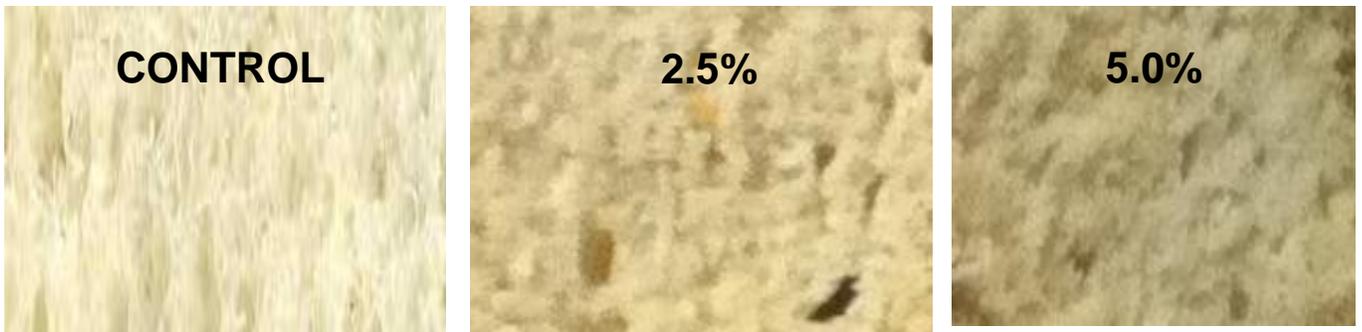


Figura 18. Apariencia visual de la miga de las formulaciones de Pan de Caja

Para poder seleccionar la formulación en la que se obtengan las mejores características visuales y de textura, la observación de dichas características es elemental inclusive desde el proceso de elaboración del producto.

De acuerdo al proceso de manipulación de las masas, se pudo percibir que las masas suplementadas con proteína de chícharo tienden a ser más pegajosas al incrementar la cantidad de proteína incluida, debido a la mayor cantidad de agua absorbida, pero además las masas que contienen 5% de proteína son más difíciles de manejar, la masa se siente más dura y por lo tanto difícil de manipular.

La proteína incluida a una concentración de 5.0% da como resultado una masa sólida cuyo comportamiento elástico se ve comprometido, dando como resultado una masa cuyo tiempo de amasado se ve aumentado debido a la presencia de grumos y una formación (laminación) que presenta una mayor dificultad en su manejo.

Visualmente se encontró que las dos formulaciones en estudio, tenían una forma regular muy parecida a la formulación control, existiendo diferencias únicamente en el volumen de las piezas, esto es una relación inversa entre la cantidad de

proteína incluida en la formulación y el volumen final de las piezas de pan obtenidas. Dichas observaciones se encuentran en concordancia con los valores de volumen obtenidos.

No se presentaron grietas significativas en la corteza de las piezas en las formulaciones en estudio, tampoco en comparación con la formulación control.

En cuanto al color de la costra o corteza, se observa que esta sufre cambios y se aprecia un tanto más accidentada (áspera, ondulada) a mayor concentración de proteína adicionada. En cuanto al color, las formulaciones en estudio presentaron colores más oscuros que la formulación control y esta tendencia se observa de manera más pronunciada cuando se incrementa la concentración de proteína añadida.

En cuanto a la miga de la formulación con sustitución del 2.5% de proteína de chícharo, se observaron alveolos de tamaño regular comparables con los alveolos observados en la formulación control, por otro lado la formulación con 5.0% de proteína de chícharo posee alveolos más pequeños que se encuentran en concordancia con el menor volumen observado en estas piezas.

El color de la miga se aprecia con diferencias visualmente perceptibles, el tono de la miga se torna levemente más oscuro a mayor concentración de proteína añadida. Los resultados del análisis por colorimetría se discuten posteriormente.

La proteína de chícharo posee un color amarillo pálido, mismo color que le es transmitido a la masa y el producto posterior. Tomando como referencia percepciones meramente subjetivas podemos afirmar que existen diferencias visualmente perceptibles en cuanto al color de las masas y de la costra de las hogazas.

10.6) Resultados de Volumen Específico de las formulaciones en estudio

Se realizaron evaluaciones del Volumen Específico de las hogazas de las tres formulaciones de estudio, a continuación se muestran los resultados:

Cuadro 13. Valores de Volumen específico de la formulación control y las formulaciones en estudio.

Volumen (cm ³ /g)	Contenido de Proteína de Chícharo		
	0%	2.5%	5.0%
	4.6355± 0.36 ^a	3.6673±0.25 ^b	3.1505± 0.41 ^c

Valores con diferentes letras dentro del mismo parámetro presentan diferencia significativa ($p < 0.05$)

Las siguientes imágenes muestran un comparativo visual de las formulaciones con inclusión de proteína de chícharo contra la formula control.

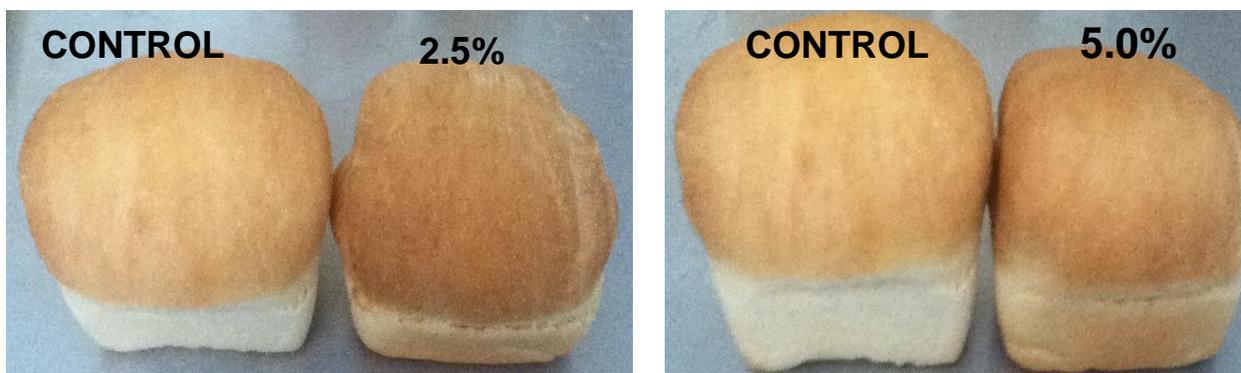


Figura 19. Apariencia visual de la formulación control y las formulaciones con inclusión de 2.5% y 5.0% de proteína de chícharo.

Representación gráfica del Análisis de Volumen Específico en las tres formulaciones en estudio

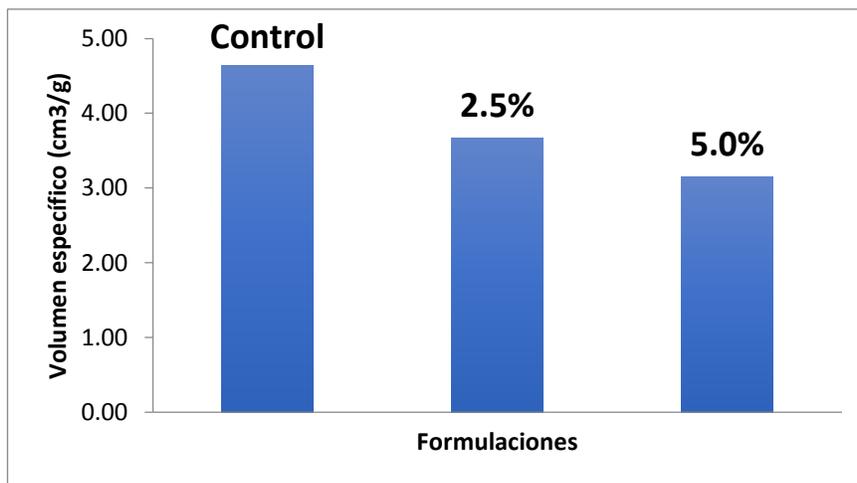


Figura 20. Valores de Volumen Específico para formulación control y formulaciones en estudio

El volumen es una de las características que más se deben de cuidar, ya que no debe ser excesivo porque entonces la miga es muy abierta, ni deficiente, porque no es un producto atractivo al consumidor. El buen volumen se logra con un adecuado trabajo a la masa, cantidad de agua suficiente, adecuados tiempo y humedad de la cámara de fermentación y la debida temperatura de horno.

Los resultados de volumen específico se recogen en el Cuadro 14. En todos los casos la formulación control (0% proteína de chícharo) tuvo el mayor volumen con un valor promedio de $4.6355 \pm 0.36 \text{ cm}^3/\text{g}$, a un nivel de suplementación de 2.5% se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) al obtenerse un valor de $3.6673 \pm 0.25 \text{ cm}^3/\text{g}$. La diferencia se mostró aún más significativa con el resultado obtenido para la formulación que contiene 5.0% de proteína de chícharo de $3.1505 \pm 0.41 \text{ cm}^3/\text{g}$. (volumen menor de las 3 formulaciones) por lo tanto a mayor cantidad de proteína añadida, mayor es la diferencia significativa encontrada entre los resultados.

Manejando en porcentajes dichas diferencias y teniendo la formulación control como un 100% (volumen ideal) encontramos que entre esta formulación y la muestra con 2.5% de proteína añadida existe una diferencia del 21%, esto es decir, una disminución del 21% en el tamaño de la hogaza de pan producida.

Si aplicamos el mismo principio para la formulación de 5.0% existe una diferencia de 32% con respecto a la formulación control. Entre las formulaciones en estudio

(2.5% y 5.0% de proteína añadida) existe una diferencia de 11% del tamaño de la hogaza producida.

Wang *et al.* (2002) reporta que existe una disminución en el volumen específico de las hogazas de pan suplementadas con productos provenientes de chícharo, aseveración que concuerda con los resultados obtenidos tanto en el análisis visual como en la medición de volumen específico llevado a cabo por el método de desplazamiento de semillas.

El menor volumen encontrado en las hogazas con suplementación de proteína se puede deber a la alta capacidad de absorción de agua de los restos aminoacídicos de la proteína de chícharo que puede llevar a una menor formación de vapor de agua durante el proceso de horneado, así como a la formación de una masa en la que la red formada por el gluten en interacción con dicha proteína no sea tan resistente y deje escapar el CO₂ formado por las levaduras durante el proceso de fermentación. De hecho, el vapor de agua junto con el CO₂ formado durante el proceso de fermentación son los factores que mayor influencia tienen sobre el volumen específico de las hogazas durante el proceso de panificación. Una menor capacidad de absorción de agua de la matriz formada en la masa, favorece una mayor formación de vapor de agua que en combinación con el CO₂ conduce a una mayor expansión de la masa y por lo tanto un mayor volumen de la hogaza. Menores volúmenes de las hogazas han sido reportados para productos suplementados con proteínas con altos contenidos de aminoácidos como al lisina (harina de soya), comportamiento que se ha clasificado como concentración dependiente (Hoover, 1979). Los resultados obtenidos en este estudio se encuentran en perfecta concordancia con lo reportado en literatura.

El volumen específico es un parámetro que caracteriza la calidad del pan que indica la capacidad de retención de gases de la masa así como su elasticidad.

Cuando se realiza un estudio de volumen específico se tiende a relacionarlo únicamente con las características visuales del producto, sin embargo, autores como Axford (1968) señalan que se ha estudiado el efecto del volumen específico en la tasa de envejecimiento del pan encontrándose que a menor volumen específico, aumenta la tasa de envejecimiento de dicho producto debido a la migración de agua existente desde la miga y a la corteza del pan.

Si se requiere un aumento en las propiedades como el volumen específico sería necesaria la adición de fosfolípidos u otros agentes tensioactivos a la masa para contrarrestar los efectos adversos de las proteínas extrañas sobre el volumen de la hogaza. En este caso la película surfactante/proteína compensaría los daños

causados a la película del gluten. Sin embargo los cambios en la calidad sensorial del producto podrían no ser aceptables para el consumidor

10.7) Resultados del Análisis de Perfil de Textura en Costra (TPA) de las formulaciones en estudio

De acuerdo al Análisis de Perfil de Textura, se obtuvieron los siguientes resultados de parámetros de Fracturabilidad, Dureza y Cohesividad:

Cuadro 14. Resultados de los análisis de textura de costra y de miga de las formulaciones en estudio.

	Parámetros	Contenido de Proteína de Chícharo		
		0%	2.5%	5.0%
TPA Costra	Fracturabilidad (gf.mm)	22074.45±583 ^c	23212.27±361 ^b	27149.09±456 ^a
	Dureza (gf)	2691±148 ^c	3117.90±152 ^b	3530.81±144 ^a
	Cohesividad	0.4623±0.017 ^c	0.5243±0.014 ^b	0.5812±0.029 ^a

Valores con diferentes letras dentro del mismo parámetro presentan diferencia significativa ($p < 0.05$)

Representación gráfica del Análisis de Perfil de Textura de Corteza en las tres formulaciones de Pan de Caja



Figura 21. TPA Valores de Fracturabilidad de Costra

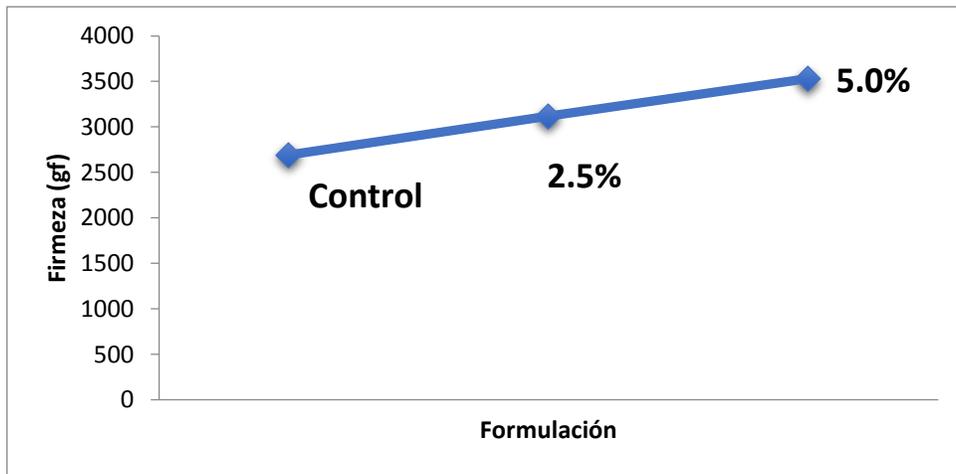


Figura 22. TPA Valores de Firmeza de Costra

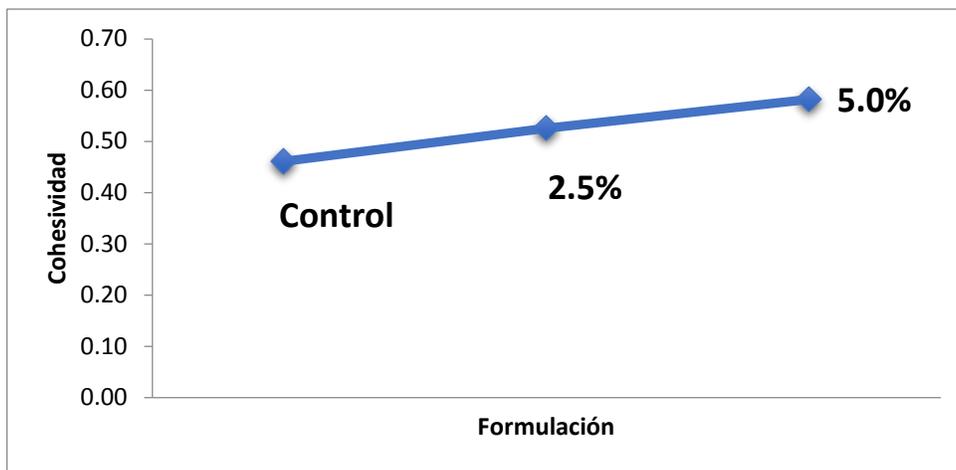


Figura 23. TPA Valores de Cohesividad de Costra

10.8) Resultados del Análisis de Perfil de Textura en Miga (TPA) de las formulaciones en estudio

Al igual que en la costra, se llevaron a cabo estudios TPA de la miga de Pan tomando como parámetro la firmeza de la misma:

Cuadro 15. Valores obtenido del Perfil de Análisis de Textura para la miga de la formulación control y las formulaciones en estudio

TPA Miga	Parámetros	Pan con 100% de harina (control)	Pan enriquecido con 2.5% de proteína de chícharo	Pan enriquecido con 5% de proteína de chícharo
	Firmeza (gf)		927.24± 133 ^c	1183.21±167 ^b

Valores con diferentes letras dentro del mismo parámetro presentan diferencia significativa ($p \leq 0.05$)

TPA para Miga de las tres formulaciones de Pan de Caja

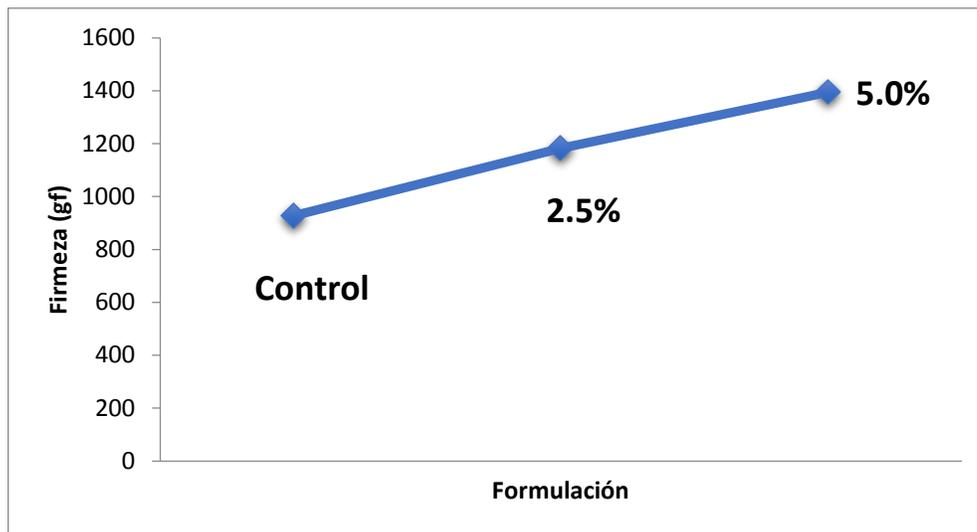


Figura 24. Gráfico valores de firmeza TPA para miga

Gracias al Análisis de perfil de textura llevado a cabo en las muestras se pudo conocer las diferencias en cuanto a la estructura de la corteza y la miga de las piezas de pan de las formulaciones en estudio en comparación con la formulación control.

Debido a que la firmeza (suavidad) del producto está relacionada con la fuerza necesaria para comprimir el alimento entre los molares, el estudio de dicho parámetro nos ayuda a conocer la calidad del pan debido a que la firmeza tanto de la corteza como de la miga están altamente correlacionados con la percepción que tiene el consumidor de la frescura del producto de panadería (Giannou & Tzia, 2007).

La firmeza del pan es causada principalmente por la formación de redes entre el almidón parcialmente solubilizado y las proteínas del gluten, el agua funciona como un plastificante, cuando la humedad disminuye, se acelera la formación de los enlaces almidón-gluten y por lo tanto aumenta la dureza de dicho producto.

Como se puede observar en los datos obtenidos del estudio TPA para el parámetro de fracturabilidad, se encontró que la formulación control, tiene el menor valor promedio 22074.45 ± 583 gf.mm, mostrándose una diferencia significativa con respecto a la formulación con 2.5% de proteína de chícharo en la cual se obtuvo un valor de 23212.27 ± 361 gf.mm y más aún en comparación con la formulación con inclusión del 5.0% de proteína de chícharo cuyo valor promedio se encuentra muy por encima de las anteriores 27149.09 ± 456 gf.mm, por lo tanto, se puede afirmar que la fuerza para romper o fracturar la corteza del pan de caja formada por las redes almidón-gluten y la pérdida superficial de agua es mayor a mayor cantidad de proteína añadida, datos que concuerdan con los resultados obtenidos para porcentaje de agua en donde se observa una mayor pérdida de agua después del horneado y un menor volumen específico para las formulaciones modificadas.

El parámetro de firmeza (relacionado con los conceptos de dureza y suavidad) mostró que la formulación control presenta la menor dureza con un valor de 2691 ± 148 gf, este valor es significativamente menor en comparación con los valores obtenidos para el pan suplementado al 2.5% de proteína de chícharo (3117.90 ± 152 gf) y aún menor que la firmeza del pan suplementado con 5.0% de proteína en donde el resultado refleja la influencia de la proteína en las características superficiales del producto.

Las proteínas vegetales así como sus harinas son pobremente solubles en agua; dicha condición se convierte en uno de los factores más influyentes para la firmeza del producto. Nulifer *et al.* (2008) reporta que la adición de proteína de soya de

baja solubilidad en productos de panificación aumenta significativamente la firmeza del producto. La adición de proteína de soya altamente soluble por el contrario aumenta la suavidad del producto haciéndolo lucir más fresco. (Kim & Moon, 1999). La presencia de residuos de polisacáridos en la proteína de chícharo también puede contribuir a la dureza en la corteza del pan (Davidou *et al.*, 1996; Zobel & Kulp, 1996).

La cohesividad es un parámetro cuya medición sensorial es sumamente difícil, se obtiene de la división A1/A2 de las curvas obtenidas en las dos compresiones llevadas a cabo por el Texturómetro y por lo tanto es adimensional. La cohesividad refleja el grado de unión que existe entre los enlaces internos que forman el cuerpo de un producto; es así que de acuerdo a los resultados promedio obtenidos para esta medición, se encontraron diferencias significativas entre la formulación control 0% (0.4623 ± 0.017), la formulación con sustitución de 2.5% (0.5243 ± 0.014) y la formulación con 5.0% de inclusión (0.5812 ± 0.029). En productos frágiles (mayor fracturabilidad) la cohesividad es baja y la firmeza variable.

Aunado a los análisis anteriores se midió la firmeza de la miga, misma que complementa el estudio de la calidad global del producto. Se encontró diferencia significativa entre los resultados de la formulación control (927.24 ± 133 gf), la formulación 2.5% de inclusión (1183.21 ± 167 gf) y la formulación con 5.0% de sustitución (1394.92 ± 66 gf), mismos que se encuentran en concordancia con la evaluación visual donde se observa una miga más cerrada (apretada) con alveolos de menor tamaño a medida que se incrementa la cantidad de proteína añadida.

Gracias a todos los resultados se pueden rescatar las siguientes tendencias:

A mayor volumen de producto, mayor es su suavidad, la miga se observa esponjosa con alveolos de tamaño regular a grande; mientras que la formulación control posee las características anteriores, las formulaciones con sustitución de proteína de chícharo muestran una clara tendencia en el incremento de la firmeza del pan debido a su menor volumen y su corteza más dura por una mayor pérdida de agua superficial.

La cohesividad se presenta en una relación inversa con la fracturabilidad, debido a que la cohesividad es la fuerza de unión que tienen las partículas formadoras del pan de caja, a mayor cohesividad es más difícil que exista ruptura o fractura del producto, esto también se encuentra directamente relacionado con la dureza, a mayor dureza, es más difícil que exista fractura del producto.

11) ESTUDIO CON ADICIÓN DE GLUTEN.

Para tener una idea más precisa del impacto que tiene la proteína de chícharo en la formación de una hogaza con características aceptables y las consecuencias que presenta debido al reemplazo que tiene del gluten propio de la harina de trigo, se realizó un experimento donde se añadió Gluten Vital de Trigo en las mismas proporciones que se trabajaron de proteína de chícharo en las formulaciones en estudio.

A continuación se presentan las formulaciones y resultados de la evaluación visual llevada a cabo en este estudio.

Formulaciones.

	INGREDIENTES	CANTIDAD (g)	PORCENTAJE PANADERO
FORMULACIÓN 1 (Control Proteína 0%)	Harina de trigo	100	100%
	Mantequilla	6.00	6.00%
	Leche en polvo	4.00	4.00%
	Azúcar	4.00	4.00%
	Levadura	1.80	1.80%
	Sal	0.50	0.50%
	Gluten	0.00	0.00%
	TOTAL	116.30	116.3%
FORMULACIÓN 2 (Proteína 2.5%)	Harina de trigo	97.50	100%
	Mantequilla	6.00	6.15%
	Leche en polvo	4.00	4.10%
	Azúcar	4.00	4.10%
	Gluten	2.50	2.56%
	Levadura en polvo	1.80	1.84%
	Sal	0.50	0.51%
	TOTAL	116.80	119.26%

FORMULACIÓN 3 (Proteína 5%)	Harina de trigo	95.00	100%
	Mantequilla	6.00	6.31%
	Gluten	5.00	5.26%
	Azúcar	4.00	4.21%
	Leche en polvo	4.00	4.21%
	Levadura	1.80	1.90%
	Sal	0.50	0.52%
	TOTAL	116.80	122.41%

11.1) Evaluación Visual

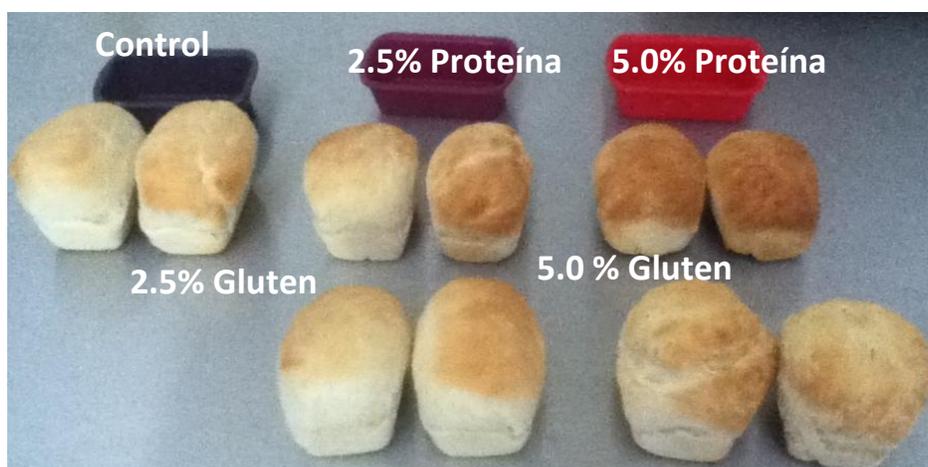


Figura 25. Evaluación Visual de las formulaciones con Proteína de chícharo y Gluten Vital

El objetivo de este estudio es realizar una rápida comparación entre el producto con Gluten y el producto con proteína de chícharo para conocer si la presencia de proteína de chícharo en sustitución de la harina de trigo tienden a modificar las características físicas y tecnológicas del producto, a continuación se realiza una breve descripción de los resultados obtenidos (ANEXO X)

El Gluten Vital de trigo, la proteína que se encuentra de manera natural en el trigo, se incorpora como ingrediente de productos de panificación para añadir textura, elasticidad de la masa y volumen de los productos obtenidos. En este estudio se pudieron evaluar de manera rápida y sencilla las siguientes características:

- Desde el proceso de preparación de los productos con Gluten se obtuvieron masas más elásticas y manejables.
- Las masas con Gluten Vital de Trigo levaron más durante su proceso de fermentación en comparación con las hogazas sustituidas con Proteína de chícharo.
- La miga se sintió más aireada, estas burbujas de aire permitieron obtener productos más livianos, con miga más abierta y por lo tanto una textura más liviana.
- En la Evaluación Visual se pudieron observar el incremento de volumen de los productos con diferentes cantidades de gluten con respecto a las hogazas preparadas con proteína de chícharo (de 4.7 cm³/g a 3.6 cm³/g respectivamente) ,así como las diferencias colorimétricas de ambos productos cuyo valor con mayor diferencia fue el parámetro L* que muestra un notable decremento en las hogazas preparadas con proteína de chícharo debido a las interacciones existentes entre dicha proteína y la temperatura del horno que dieron como resultado hogazas de una marcada tonalidad caramelo mucho más fuerte que las hogazas preparadas con Gluten).

IV

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

En conclusión se presentaron diferencias significativas entre los resultados de todos los parámetros de estudio en las comparaciones realizadas entre las formulaciones en estudio y la formulación control, encontrándose que la inclusión de 2.5% de proteína de chícharo en pan de caja presenta la menor diferencia significativa con respecto a la muestra patrón.

Según los resultados de este estudio los productos de panadería elaborados a base de harina de trigo pueden contener proteína de chícharo a un nivel de suplementación no mayor al 2.5% si es que se requiere mantener las características sensoriales lo más apegadas posible a un producto comercial común sin proteína añadida.

La hipótesis nula se rechaza ya que de acuerdo al ANOVA Monofactorial realizado a los resultados de todas las pruebas de calidad establecidas en la metodología, existieron diferencias significativas entre las dos formulaciones con inclusión de proteína de chícharo y la formulación control, siendo la formulación con 2.5% de proteína de chícharo la que obtuvo los mejores resultados en cuanto a su nivel de funcionalidad, facilidad de uso y características visuales y de textura impartidas a los productos elaborados con dicho ingrediente.

Esta proteína resulta idónea en la formulación de alimentos funcionales debido a su buena digestibilidad y completo perfil proteico que se complementa de un modo importante con las proteínas que contienen cereales como el maíz o el trigo, sin embargo se debe de tener especial cuidado en las características sensoriales impartidas por dicho producto si se quiere adicionar en concentraciones mayores a la estudiadas en este trabajo.

Sin embargo la sustitución de harina de trigo por ingredientes provenientes de leguminosas a un nivel superior al 10% es generalmente dañino para el procesamiento del pan. Puede llevar a una desestabilización de la masa, decremento del volumen de la hogaza e incremento de la dureza de la miga.

De acuerdo a las características impartidas por la proteína de chícharo a 5.0% de concentración, podemos concluir que visualmente no es adecuada para su aplicación en pan de caja, sin embargo su uso podría ser más apropiado para pan integral o pan de centeno debido a sus características de color (tono más oscuro), textura (miga más cerrada) y menor volumen.

Finalmente el conocimiento de la formulación, el procesamiento y las condiciones de almacenamiento en conjunto con una evaluación estructural y de las

características reológicas resulta fundamental para el estudio de matrices complejas como es el caso de los productos de panadería, donde numerosas variables influyen en la calidad final del producto (ingredientes, formulación, proceso de preparación, tiempo, temperatura, fermentación, etc.)

ANEXOS

Condiciones y especificaciones de proceso y análisis

Cuadro . Condiciones y especificaciones de proceso y análisis.

Proceso	Condiciones	
Dosificación de Ingredientes	Pesado en Balanza Analítica	
Mezclado	Mezclado de secos	Velocidad 1 de 5
		Tiempo 1 minuto
		Temperatura ambiente
	Mezclado de líquidos	Velocidad 1 de 5
		Tiempo 3 minutos
		Temperatura agua 25°C +/-1 (cantidad dependiente de la concentración de proteína añadida)
		Velocidad 2 de 5

Amasado	Mecánico	Tiempo 4 minutos
		Temperatura no mayor a 28°C
	Manual	No mayor a 2 minutos Sólo en el caso de las formulaciones con proteína añadida
Pesado	Manual	Balanza analítica
Dividido	Manual	Se divide la masa de las tres formulaciones hasta obtener piezas de 80 g que representan el peso adecuado para los moldes
Proceso	Condiciones	
Medición de pH	Medición anterior a la fermentación	Utilización de Potenciómetro Conductronic pH 10
Fermentación	Cámara de fermentación	Cámara de Fermentación con las siguientes condiciones: - Temperatura 40°C +/-3

		<ul style="list-style-type: none"> - Humedad relativa <60% - Tiempo de fermentación: 50 minutos
Medición de pH	Cámara de fermentación	Medición posterior a la fermentación con Potenciómetro Conductronic pH 10
Formado de las masas	Manual	Se aplana o lamina la masa con un rodillo, se expelle el gas de la masa, se enrolla la masa estirada dándole una forma cilíndrica, se introducen las piezas en los moldes de silicón para su horneado.
Horneado	Horno de Convección PLUS HCX II Marca San-Son®	Condiciones: Temperatura: 200°C +/- 5 Tiempo de horneado: 18 minutos
Enfriamiento		Condiciones: Temperatura ambiente 20 minutos
Pesado	Pesado final	Balanza analítica
Determinación de color	Colorímetro Konika Minolta Chroma Meter CR-410 (Konika Minolta Sensing Inc., Tokio, Japón)	Obtención de variables L*, a* y b*
Volumen específico	Método de desplazamiento de	Obtención del volumen específico (cm ³ /g)

	semillas	
Textura	Texturómetro EZ Test Marca SHIMADZU®	TPA Perfil de Análisis de Textura Medición de parámetros: Fracturabilidad Suavidad Cohesividad

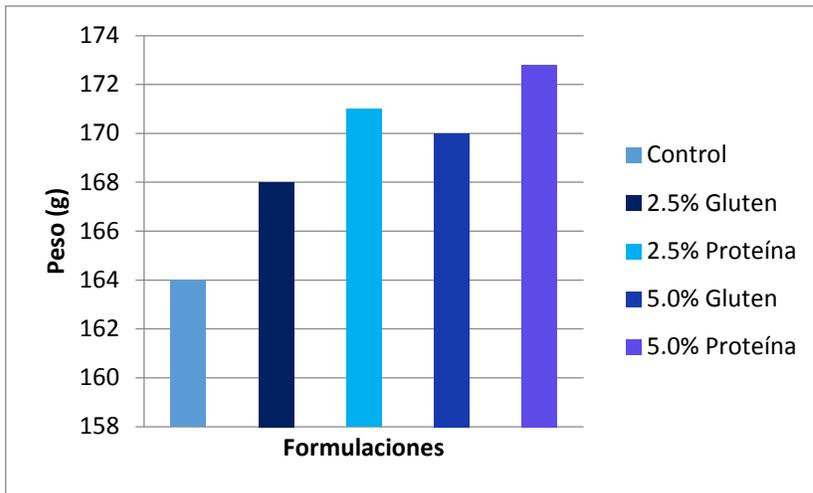
ESTUDIO COMPARATIVO PRODUCTO CON GLUTEN Y PRODUCTO CON PROTEÍNA DE CHÍCHARO.

RESULTADOS.

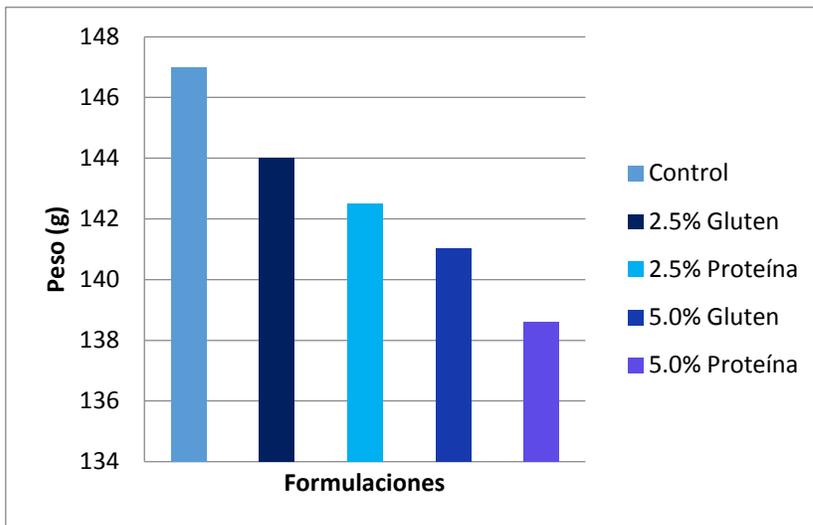
	Control	2.5% Gluten	2.5% Proteína	5.0% Gluten	5.0% Proteína
Peso masa	164 g	168 g	171 g	170 g	172.8 g
Peso hogaza	147 g	141 g	142.5 g	139 g	138.6 g
Absorción de agua	55 ml	57 ml	60 ml	61 ml	63 ml
Volumen Específico	4.6 cm ³ /g	4.7 cm ³ /g	3.6 cm ³ /g	5.01 cm ³ /g	3.1 cm ³ /g
Colorimetría Corteza	L* = 70.30	L* = 64.33	L* = 64.52	L* = 65.96	L* = 54.09
	a* = 8.54	a* = 8.36	a* = 7.97	a* = 8.11	a* = 13.47
	b* = 28.91	b* = 36.31	b* = 32.90	b* = 26.74	b* = 34.40
Colorimetría Miga	L* = 76.23	L* = 73.72	L* = 71.97	L* = 72.15	L* = 70.17
	a* = -2.63	a* = -2.06	a* = -1.01	a* = -2.01	a* = -0.99
	b* = 19.06	b* = 18.17	b* = 22.48	b* = 18.61	b* = 21.76

ANÁLISIS GRÁFICO DEL PAN DE CAJA CON ADICIÓN DE GLUTEN.

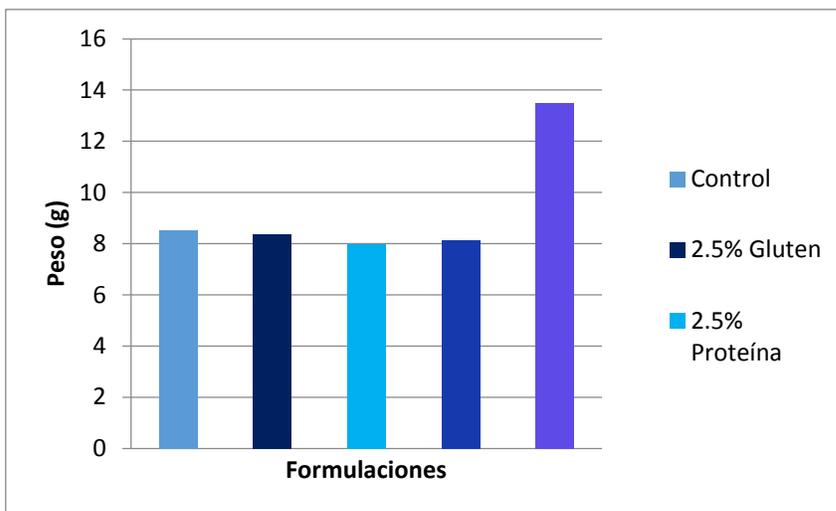
PESO MASA



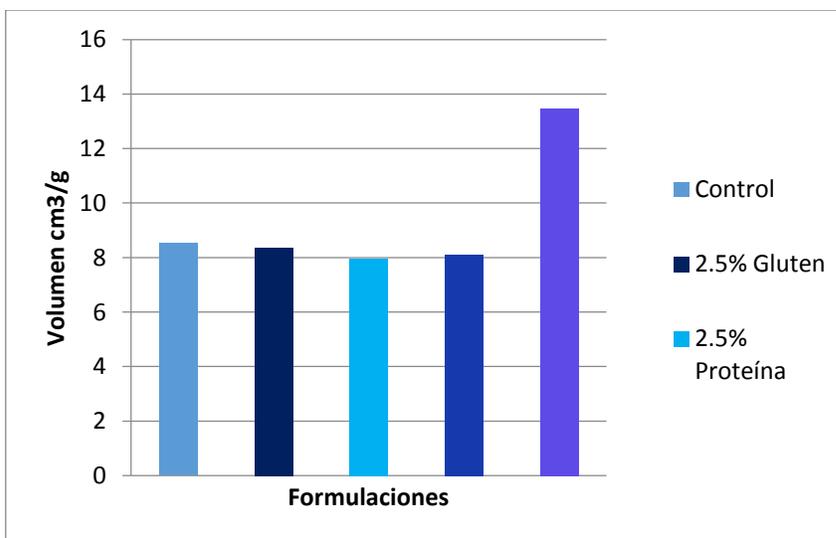
PESO HOGAZA



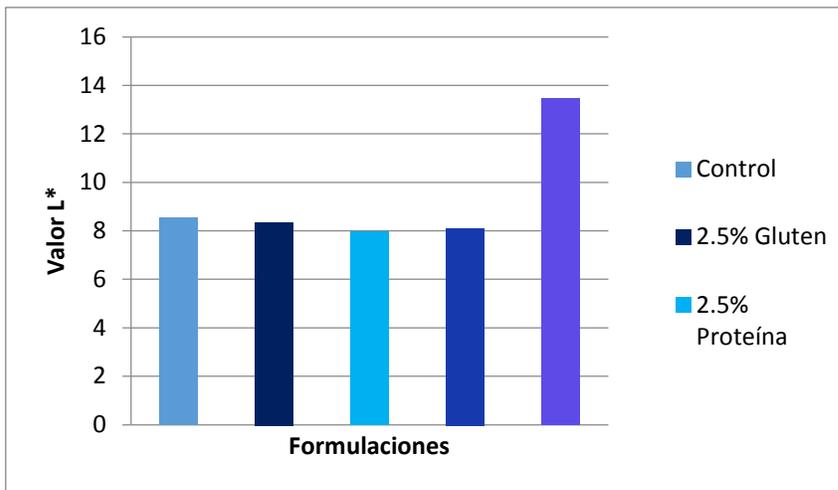
AGUA ABSORBIDA



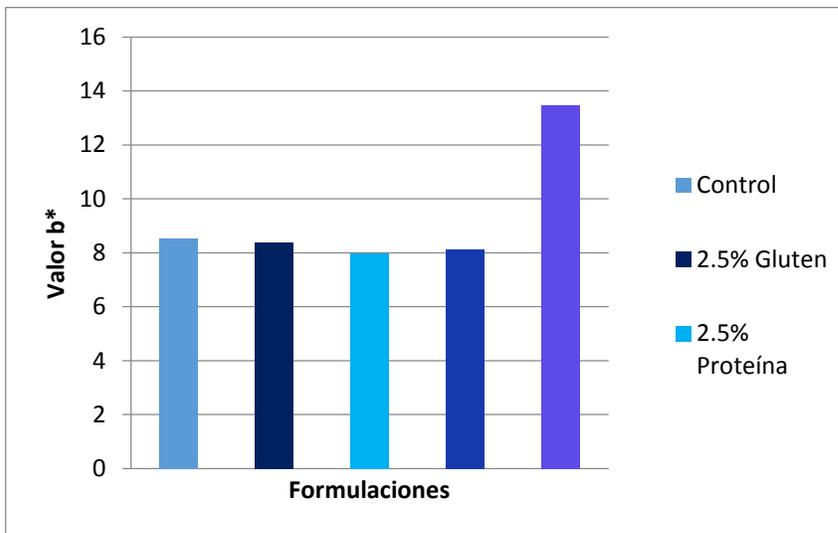
VOLUMEN ESPECÍFICO



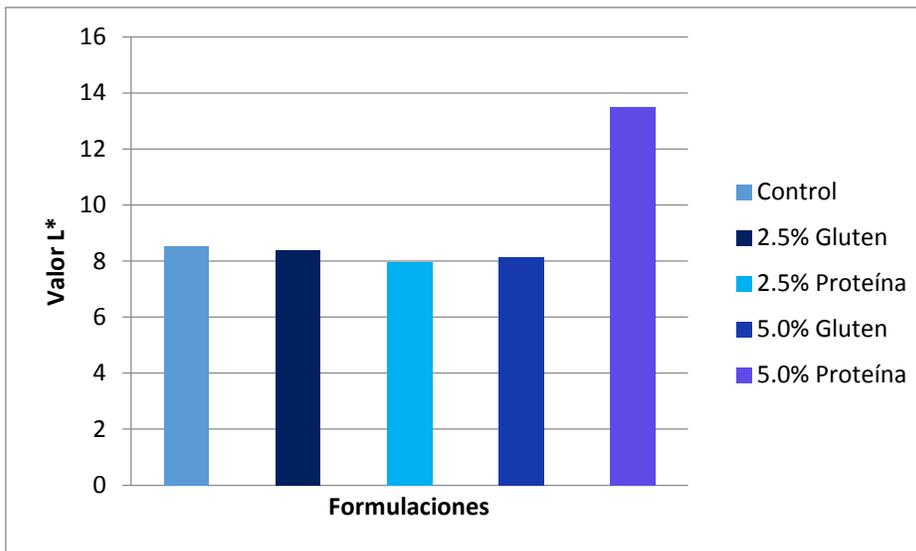
COLORIMETRÍA CORTEZA VALOR L*



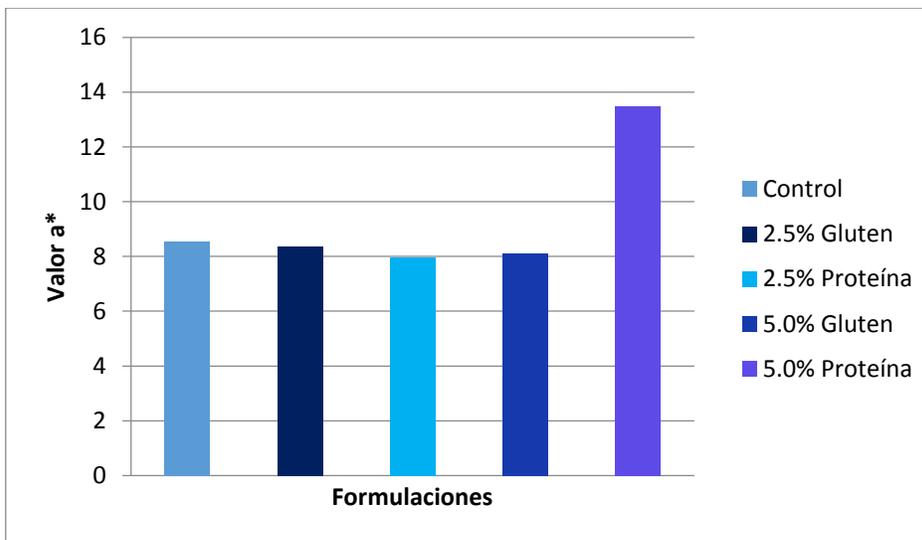
COLORIMETRÍA CORTEZA VALOR b*



COLORIMETRÍA MIGA VALOR L*



COLORIMETRÍA MIGA VALOR a*

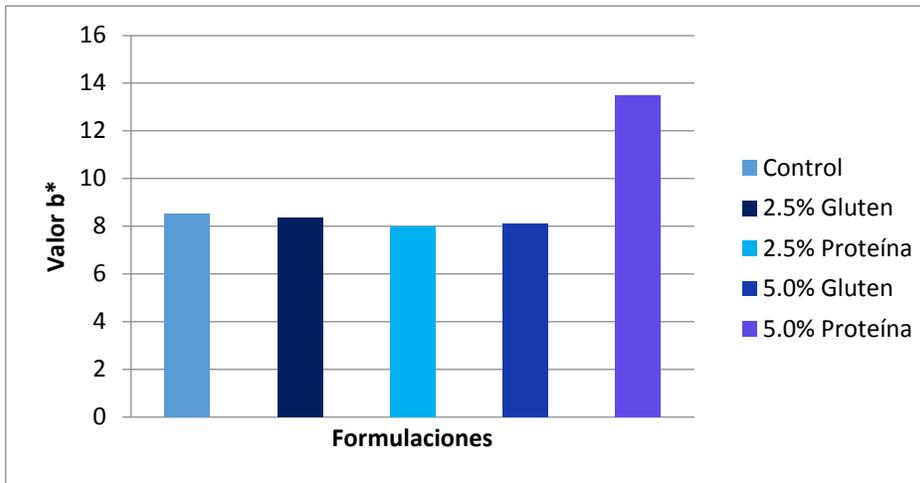


COLORIMETRÍA

MIGA

VALOR

b*



IMÁGENES EQUIPOS UTILIZADOS

**Horno de Convección PLUS
HCX II Marca San-Son®**



**Colorímetro Konika Minolta
Chroma Meter CR-410**



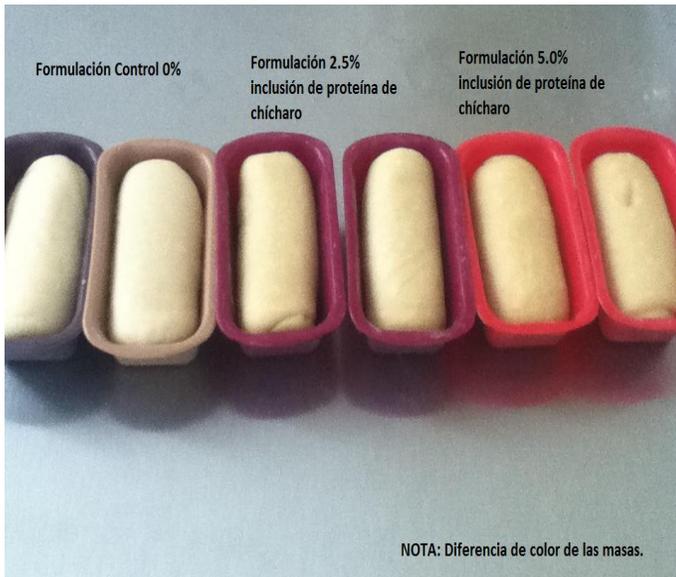
Cámara de Fermentación BOEKEL®



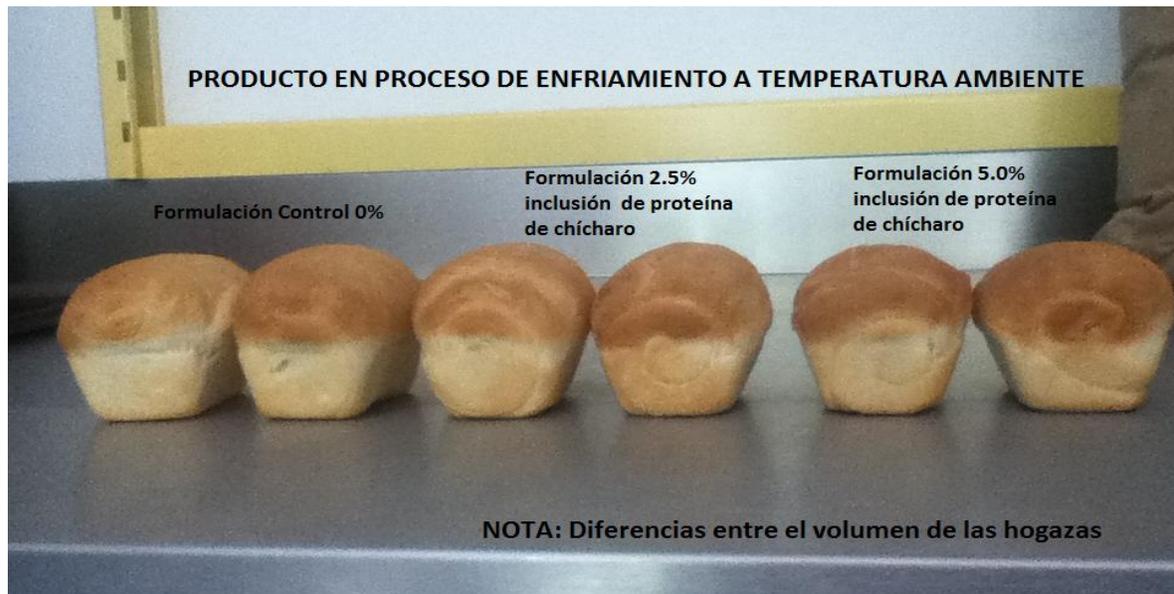
Texturómetro EZ Test SHIMADZU®



IMÁGENES PROCESO DE PREPARACIÓN.



IMÁGENES PRODUCTO TERMINADO





IMÁGENES PROTEÍNA DE CHÍCHARO



BIBLIOGRAFÍA

- Alasino, M., Osella, C., De la Torre, M., & Sánchez, H. (2011) “Efecto de Oxidantes y Emulsionantes sobre la Calidad del Pan elaborado con incorporación de Harina de Arvejas (*Pisum sativum*) inactivadas Enzimáticamente”, **Universidad Nacional del Litoral**, Información Tecnológica Volumen 22(1), 41-50.
- American Institute of Baking (1993) “Applied Baking Technology”, Kansas,USA, 3-38.
- Barać, M., Čabrilo, S., Pešić, M., Stanojević, S., Pavličević, M., Maćej, O., & Ristić, S., (2007) “Functional Properties of Pea (*Pisum sativum*, L.) Protein Isolates Modified with Chymosin”, **Int. J. Mol. Sci.**, 12, 8372-8387.
- Benedito, C. (2001). Las nuevas tecnologías del frío: Su implantación en la pequeña y mediana producción” CEOPAN, España [en línea] consultado el día 16 de diciembre de 2012 de <http://www.expansion.com/edicion/noticia/0.2457.595006.00.html>
- Bourne, M. (2002). Food Texture and viscosity: Concept and Measurement 2ª. Ed. USA. Academic Press (Food Science and Technology, International Series).
- Boye, J., Ahmed, J., Ramaswamy H., Kasapis, S., (2010) “Novel Food Processing: Effects on Rheological and Functional Properties [Electro-Technologies for Food Processing Series](#), Taylor & Francis Publisher, pp. 23.
- Calaveras, J. (2004). Nuevo Tratado de Panificación y Bollería, España, AMV ediciones y Mundi-Prensa, 2ª edición, pp.293-353.
- Cauvain, S., L. Young (1998) “Technology of Breadmaking”, Ed. Academic and Professional , Inglaterra, pp. 57-58
- Cheftel, J. y Cheftel, H., (1992) “Introducción a la Bioquímica y tecnología de los alimentos” Vol. 1 Zaragoza: ed. Acribia.
- Chambers IV, E. y Bowers, J. 1993. “Consumer perception of sensory of qualities in muscle foods” **Food Technology** 11: 116-120
- Cuq B., Abecassis J., & Guilbert S., “State diagrams to help describe wheat bread processing” **International Journal of Food Science Technology** , 38: 759-766
- Curic, D., Novotni, D., Skevin, D., Rosell, C., Collar, C., Le Bail, A., Colic-Baric, I., Gabric, D., (2008) “Design of a Quality Index for the objective evaluation of Bread Quality: Application to wheat breads using selected bake off technology of bread-making”, **Elsevier Food Research International**, 41, 714-719.

- Davidou, S., Le Meste, M., Debever, E., Bekaert, D. (1996). "A contribution to the study of staling of white bread: Effect of water and hydrocolloid". *Food Hydrocolloids*, 10, 375-383.
- Des Marchais, L.; Foisy, M.; Mercier, S.; Villenueve, S., y Mondor, M. (2011) "Bread-making potential of pea protein isolate produced by a novel ultrafiltration /diafiltration process" **Procedia Food Science** 1, 1425-1430.
- Duana, A., & Benítez, M., "Situación actual de los alimentos en México" Observatorio de la Economía Latinoamericana, N° 127, 2010. Texto completo en <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/mx/2010/dabm.htm>
- Dewettink, K., Van Bockstaele, F., Kühne, B., Van de Well, D., Courtens, V., Gellynk, J., (2008) "Nutritional Value of bread: Influence of processing, food interaction and Consumer perception" **Journal of Cereal Science**, 48, 243-257.
- Fleming, S. & Sosulski, S., (1977) "Breadmaking Properties of four concentrated plants proteins" **Cereal Chemistry** 54(5): 1124-1140.
- Gómez, M.; Doyagüe, M., y de la Hera, E. (2012) "Addition of Pin-milled pea flour and air classified fractions in layer and sponge cakes" **LWT- Food Science and Technology** 46:142-147.
- Glenn, G., & Williams, C., (2000), "Functional foods: concept to product" Woodhead Publishing, England, pp. 215.
- Gutiérrez, L. (2011), "Desarrollo de un prototipo pan danés bajo el concepto de pan prefermentado congelado "Freezer to Oven" Tesis de Licenciatura, Toluca, México, Universidad Autónoma del Estado de México.
- Hoover, W. (1979). "Use of soy proteins in baked foods", **Journal of the American Oil Chemists' Society**, 56(3), 301-303.
- Kamaljit, K., Baljeet, S., & Amarjeet, K., (2010) "Preparation of bakery products by incorporating pea flour as a functional ingredient" **American Journal of Food Technology** 5 (2): 130-135.
- Kim, H., & Moon, T. W. (1999). "Quality attributes of bread with soymilk residue dietary fiber". **Food Science and Biotechnology**, 8, 245-250.
- Korus, J., Witczak M., Juszczak, L., Ziobro, R. (2008) "Grass pea (*Lathyrus sativus* L.) starch as an alternative for cereal starches: Rheological Properties and retrogradation susceptibility" **Journal of Food Engineering**, 88: 528-534.
- Laaksonen, T., (2001) "Effects of the ingredients on Phase and State Transitions of Frozen Wheat Dough" **Faculty of Agriculture and Forestry of Helsinki**, Finland.
- Lawless, H. y Heymann, H. 1998. "Sensory Evaluation of Food, Principles and Practices" New York: Chapman & Hall, pp. 430-601.

- Marinangeli, C., Kassis, A., Jones, P., (2009) “*Glycemic Responses and Sensory Characteristics of Whole Yellow Pea Flour Added to Novel Functional Foods*” **Journal of Food Science**, 74 (9): 385.
- Lin, W., y Lineback, D., (1992) “*Changes in carbohydrate fractions of enzyme supplemented bread and the potential relationship to staling*” **Starch/Stärke**, 42: 385.
- Martínez, A., Chaparro, D., Lee, R., & Páramo S., “*Postcosecha y mercadeo de hortalizas de clima frío bajo prácticas de producción sostenible*” Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, pp. 29.
- Metrotec, (n/d) “Principios y Teoría de la Texturometría” [en línea] consultado el día 19 de enero de 2013 de:
www.metrotec.es/...DOC/Texturometría_Principios-1-PPS-E-R1.pdf
- Minarro, B., Albanell, B., Aguilar, N., Guamis, B., Capellas, M. (2012) “*Effect of Legume Flours on baking characteristics of gluten-free bread*” **Journal of Cereal Science**, xxx, 1-6.
- Mushtaque, A., Saleh, M., Nawaz, A., & Wahab, A., “*Analysis of Pea Protein (Pisum sativum) and Gram (Cicer arietinum) by Electrophoresis and Paper Chromatography*”, **Pakistan Journal of Nutrition**, 10(9): 860-863.
- Newberry, M.(2004) “The secret life of gas bubbles and their role in bread doughs” *Food Processing* ” [en línea] consultado el día 22 de octubre de 2012 de
<http://www.foodprocessing.com.au>
- Nilufer, D., Boyacioglu, D., & Vodovotz, Y. (2008). “Functionality of soymilk powder and its components in fresh soy bread”. **Journal of Food Science**, 73(4), 275-281.
- Ozen, A., Pons, A., Tur, J., (2012) “*Worldwide consumption of Functional Foods: a systematic review*”, **International Life Sciences Institute**, 70(8):472-481.
- Pomeranz, Y. (1987), “*Modern cereal science and technology*” Editorial VHC, Amsterdam, pp. 123.
- Pyler, E., (1988) “*Baking Science and Technology, Vol. I*”, (3a. ed.), Sosland Publishing Company, pp. 234-250.
- Ramírez-Jiménez, J., Guerra-Hernández, E., García-Villanova, B., (2000) “*Browning indicators in bread*” **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 48:4176-4181.
- Sandber, A., (2011) “*Developing Functional Ingredients: a case study of pea protein*” Chalmers University of Technology, 358-377.
- Sandoval, E., Quintero, A., Aponte, A., “*Reología y Textura de masas: Aplicaciones en Trigo y Maíz*”, **Ingeniería e Investigación**, abril, 25(001): 72-78.

- Seow, C., Teo, C., (1996) "Staling of starch-based products: a comparative study by firmness and pulsed" **Cereal Chemistry** 80(6): 773-780.
- Sosulski, F. W., Elkowicz, L., & Reichert, R. D. (1982). "Oligosaccharides in eleven legumes and their air-classified protein and starch fractions" **Journal of Food Science**, 47, 498 - 502
- Spielmann, J., Stangl, G. & Eder, K., "*Dietary pea protein stimulates bile acid excretion and lowers hepatic cholesterol concentration in rats*" **Institute of Agricultural and Nutritional Sciences**, Martin-Luther-University of Halle-Wittenberg Germany, pp. 683-690.
- Technical Bulletin (2010) "NUTRALYS Pea Protein information" Roquette, pp. 3-17.
- Universidad de Buenos Aires (2005) "*Complementos de Bromatología: Curso práctico*" [en línea] consultado el día 16 de mayo de 2012 de: <http://www.qo.fcen.uba.ar/Cursos/CompBrom/GUIA.pdf>
- Universidad de las Américas Puebla (n.d) "Métodos de Análisis de Pan" [en línea]. Consultado el 26 de mayo de 2012 de:
- http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/ia/torres_p_ra/capitulo6.pdf
- Wang, J., Rosell, C., Benedito de Barber, C., (2002) "*Effect of the addition of different fibers on wheat dough performance and bread quality*" **Elsevier Food Chemistry**, 79, 221-226.
- Wang, N., Maximiuk, L., Toews, R., (2012) "*Pea starch noodles: Effect of processing variables on characteristics and optimization of twin-screw extrusion process*" **Elsevier Food Chemistry** , 133 , 742-753.