



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

**DESARROLLO DE UN PAN COMPLEMENTADO CON HARINA
DE AMARANTO (*Amaranthus hypochondriacus*)
CON ALTA CALIDAD NUTRIMENTAL.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERA EN ALIMENTOS.

P R E S E N T A:

YENIFER DAYAN CORTÉS AVILA

ASESOR: M. EN C. ENRIQUE MARTÍNEZ MANRIQUE.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



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

U. N. A. M.

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

DRA. SUEMI RODRÍGUEZ ROMO
 DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLÁN
 PRESENTE



ATN: L.A. ARACELI HERRERA HERNÁNDEZ
 Jefa del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el Art. 28 del Reglamento de Exámenes Profesionales nos permitimos comunicar a usted que revisamos la Tesis:

Desarrollo de un pan complementado con harina de amaranto (Amaranthus Hypochondriacus)
con alta calidad nutrimental

Que presenta la pasante: Yenifer Dayan Cortés Avila
 Con número de cuenta: 405005909 para obtener el Título de: Ingeniera en Alimentos

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

ATENTAMENTE
 "POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
 Cuautitlán Izcalli, Méx. a 05 de septiembre de 2011.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	I.A. Laura Margarita Cortazar Figueroa	
VOCAL	Dra. Ma. de los Ángeles Cornejo Villegas	
SECRETARIO	M. en C. Enrique Martínez Manrique	
1er SUPLENTE	I.A. Frida Rosalía Cornejo Garcia	
2do SUPLENTE	I.A. Alberto Solís Díaz	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 120).
 HHA/pm

Libre, y para mí sagrado, es el derecho de pensar...

*La educación es fundamental para la felicidad social; es el principio en el que descansan la libertad y el engrandecimiento de los pueblos. **Benito Juárez***

*El conocimiento que se convierte en arrogancia es igual a un conocimiento vacío sin fin alguno....**Kostia Santana***

Agradecimientos y Dedicatorias.

A DIOS.

En primer lugar quiero agradecerte a ti Dios, por ayudarme a concluir este proyecto, gracias por darme las fuerzas y el coraje para seguir con este sueño realidad, por estar conmigo en cada momento de mi vida , por cada regalo de gracia que me has dado aunque a veces no lo merezca, gracias por tu fidelidad ya que prometiste una buena escuela para mí y diste algo que supero mis expectativas, pero antes de ser profesionista quiero ser siempre tu hija, ya que es el mayor privilegio que podemos tener más valioso que todos los títulos de la tierra.

A mis ABUELOS (Juanita Salazar López, Nicolás Ávila y Paula Soto, José Luis Cortés) esta tesis va para ustedes en donde quiera que estén, que me amaron y me dieron sus consejos.

A mis PADRES (Ana Ávila López y José de Jesús Cortés Yáñez)

Porque gracias a su esfuerzo lograron formar una profesionista y ver en mí su sueño anhelado hecho realidad; además de darme su cariño, comprensión y confianza. Porque siempre hemos compartido momentos felices y momentos difíciles dando siempre lo mejor de nosotros. Y sé que no existen palabras para agradecerles todo lo que han hecho en mí. LOS AMO.

A mis HERMANOS (Brian y Abril)

Por su cariño y apoyo incondicional. Por estar siempre conmigo, hermano gracias por enseñarme lo lindo y hermoso que es una familia, hermanita porque tu risa y tus juegos son mi fortaleza.

A mi MADRINA (Yolanda)

Porque siempre ha estado al pendiente de mí. , me has ayudado en todo y aunque he tenido momentos difíciles siempre hemos estado unidos como la gran familia que somos.

Al M en C. ENRIQUE MARTÍNEZ MANRIQUE.

Porque aún sin conocerme, me permitió formar parte de su equipo de trabajo. Por su apoyo incondicional y permitirme estar en constante aprendizaje.

A la Empresa Molinera de México, S. A, por permitirnos el uso de sus instalaciones y equipo para la determinación de Calidad de las Harinas para la elaboración del pan. En especial a la ING. OLIVIA GONZÁLES responsable del Laboratorio de Control de Calidad.

A la I. A. VERÓNICA JIMÉNEZ VERA.

Por su apoyo y amistad que me ha brindado durante todo este tiempo. Porque es parte importante en el desarrollo de este proyecto y siempre me regaló una sonrisa en buenos y malos momentos.

A todos MIS AMIGOS que me permitieron compartir momentos especiales durante la carrera en especial a: Maricela, Ivonne, Leticia, Lupita, Jazmín, Dulce, Mar, Lexlie, Tania, Georgina, Carlita (colombiana), Tonantzin, Ninel, Shantal, Jaxiel a Juan Pablo, Francisco Javier, Ricardo, Gabriel, y todos aquellos que me regalaron un minuto de su tiempo. Gracias por su amistad. Y por su puesto a mi gran amigo Jorge Francisco Ramírez que siempre ha estado en momentos buenos y malos y a mis amigos que no son de la carrera pero me han apoyado en todo: Carolina, Daniela, Esmeralda. Y Rosalba

A mis compañeros y amigos del Laboratorio de Bioquímica de Granos y Cereales de FES-C, que de alguna manera contribuyeron en la realización de este proyecto de tesis, en especial a: Patricia y a Jorge Iván Mil Gracias.

A todos mis Profesores de la carrera por enseñarme sus conocimientos y darme sus consejos.

A los Sinodales por el tiempo dedicado en la revisión de este trabajo.



ÍNDICE

	Índice de Figuras.	iii
	Índice de Tablas	iv
	Resumen	1
	Introducción	2
1	Antecedentes	3
1.1	Trigo	3
1.1.1	Origen	3
1.1.2	Producción	3
1.1.3	Clasificación botánica	4
1.1.4	Características del trigo	5
1.1.5	Composición química y valor nutritivo	7
1.2	Gluten	9
1.2.1	Generalidades	9
1.3	Panificación	10
1.3.1	Origen	10
1.3.2	Definición	11
1.3.3	Clasificación	11
1.3.4	Métodos de panificación	12
1.3.5	Ingredientes principales y elaboración del pan	13
1.3.6	Calidad del pan	16
1.3.7	Composición química y valor nutritivo	18
1.3.8	Producción y consumo	20
1.4	Amaranto	21
1.4.1	Origen	21
1.4.2	Clasificación botánica	22
1.4.3	Descripción de la planta	22
1.4.4	Producción comercial del amaranto	24
1.4.5	Composición química y valor nutritivo	24
2	Objetivos	32
3	Metodología de investigación experimental	33
3.1	Cuadro metodológico	33
3.2	Preparación de la muestra	34
3.2.1	Material biológico	34
3.3	Análisis químico proximal	34
3.3.1	Determinación de humedad	35
3.3.2	Determinación de extracto etéreo	35
3.3.3	Determinación de proteína	36
3.3.4	Determinación de cenizas	36



PAN DE AMARANTO

3.3.5	Determinación de fibra	37
3.3.6	Determinación de carbohidratos	37
3.4	Determinación de calidad y textura de las harinas	38
3.5	Elaboración de pan tipo bolillo	41
3.5.1	Método de panificación	41
3.6	Parámetros de calidad del pan tipo bolillo	43
3.6.1	Peso del pan	43
3.6.2	Volumen específico	43
3.6.3	Color	43
3.7	Determinación de triptófano y Análisis Químico Proximal de los panes	44
3.8	Evaluación sensorial	44
3.9	Método estadístico	44
4	Resultados y discusión	45
4.1	Análisis químico proximal de materias primas	45
4.2	Pruebas de textura de las diferentes formulaciones de harinas	45
4.3	Elaboración de pan por el método directo	48
4.4	Parámetros de calidad del pan tipo bolillo	51
4.4.1	Peso del pan	51
4.4.2	Volumen del pan	51
4.4.3	Color del pan	53
4.4.4	Determinación de triptófano	54
4.5	Análisis químico proximal de los panes	55
4.6	Prueba de nivel de agrado	57
	Conclusiones	59
	Recomendaciones	60
	Anexos	61
	Referencias	66



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Gráfico producción de trigo.	4
Figura 2.	Planta de trigo.	4
Figura 3.	Corte longitudinal y transversal de grano de trigo.	5
Figura 4.	Imagen de los diferentes panes.	11
Figura 5.	Imagen planta de amaranto.	22
Figura 6.	Imagen de amaranto rosado.	23
Figura 7.	Diagrama de secciones: transversal(a) y longitudinal (b) de semilla de amaranto.	25
Figura 8.	Preparación de la harina de amaranto.	34
Figura 9.	Farinógrafo brabender.	38
Figura 10.	Alveógrafo chopin.	40
Figura 11.	Procedimiento del alveógrafo.	40
Figura 12.	Diagrama de proceso de elaboración de pan tipo bolillo.	42
Figura 13.	Imagen del equipo de medición de volumen específico.	43
Figura 14.	Imagen del proceso de elaboración del pan tipo bolillo.	49
Figura 15.	Imágenes de las muestras de los panes tipo bolillo preparados con las formulaciones propuestas.	50
Figura 16.	Volumen de los panes tipo bolillo elaborados con las diferentes formulaciones	52
Figura 17.	Prueba sensorial de nivel de agrado.	57



ÍNDICE TABLAS

Tabla 1.	Clasificación de trigos basados en diferentes características.	7
Tabla 2.	Composición química promedio del trigo.	7
Tabla 3.	Composición de aminoácidos de la proteína del Trigo.	8
Tabla 4.	Clasificación de los trigos mexicanos con base en la funcionalidad del gluten.	10
Tabla 5.	Parámetros y valores obtenidos con el alveograma de una harina panificable.	17
Tabla 6.	Parámetros y valores de un farinograma para una harina panadera.	18
Tabla 7.	Composición de 100g de pan con respecto a las necesidades diarias de cada uno de los nutrientes.	19
Tabla 8.	Composición media en aminoácidos esenciales de la proteína del pan y del huevo.	19
Tabla 9.	Composición química del grano de amaranto (por 100 g de parte comestible).	25
Tabla 10.	Composición promedio aproximada del grano de amaranto y de algunos cereales.	26
Tabla 11.	Contenido de proteína de varias especies de amaranto.	27
Tabla 12.	Contenido de aminoácidos esenciales en la proteína amaranto de la especie <i>hypochoeridicus</i> .	27
Tabla 13.	Datos de calidad proteica del amaranto y otros alimentos.	28
Tabla 14.	Perfil de Aminoácidos del amaranto y otros granos.	29
Tabla 15.	Contenido de grasa en distintos granos.	30
Tabla 16.	Perfil de ácidos grasos del amaranto.	30
Tabla 17.	Contenido de Minerales en el Amaranto.	31
Tabla 18.	Contenido de Vitaminas en el Amaranto.	31
Tabla 19.	Formulaciones de las harinas y sus mezclas.	41
Tabla 20.	Análisis Químico Proximal de la materia prima.	45
Tabla 21.	Resultados de pruebas de textura en el Farinógrafo Brabender.	46



PAN DE AMARANTO

Tabla 22.	Resultados de pruebas de textura en el Alveografo.	47
Tabla 23.	Formulaciones para la elaboración de los bolillos.	48
Tabla 24.	Resultados de peso del pan tipo bolillo elaborado con las diferentes formulaciones.	51
Tabla 25.	Resultados de peso del pan tipo bolillo elaborado con las diferentes formulaciones.	53
Tabla 26.	Parámetros de color obtenidos en el colorímetro LAB de la Corteza y Miga de pan tipo bolillo elaborados con las diferentes formulaciones.	53
Tabla 27.	Resultados obtenidos en la determinación de Triptófano.	55
Tabla 28.	Resultados del análisis químico proximal de las muestras elaborados con las diferentes formulaciones de pan tipo bolillo	56
Tabla 29.	Evaluación Sensorial aplicada a la mejor formulación de amaranto.	57



RESUMEN

El amaranto representa un fuerte potencial en la industria de alimentos por su alto contenido de proteína y balance adecuado de aminoácidos esenciales (Mújica *et al.*, 1997); pero no se ha aprovechado para elaborar productos a nivel industrial, pues si bien se producen algunas cosas como: harina para atoles, dulces, galletas, tamales, etcétera, estas se realizan a nivel artesanal. Por otra parte, el pan es un alimento valioso desde el punto de vista tradicional, además proporciona un aporte energético importante y algunos macro y micro nutrientes (Calaveras, 2004), pero su calidad nutrimental es baja porque la calidad de su proteína es deficiente y tiene un alto contenido en carbohidratos y bajo contenido de fibra. Es por eso que, en el presente trabajo se planteó como objetivo general: Desarrollar una formulación para la elaboración de un pan que tenga como uno de sus ingredientes principales harina de amaranto para mejorar su calidad nutrimental. Para lograrlo, se usó amaranto (***Amaranthus hypochondriacus***) variedad Tulyehualco y harina de trigo (Selecta). Se prepararon diferentes formulaciones para la elaboración de los panes: 1) 100%HT ,2) 100%HA, 3) 40%HA-60%HT, 4) 50%HA-50%HT, 5) 60%HA-40%HT, 6) 60%HA-30%HT-10%G y 7) 50%HA-40%HT-10%G (HT=harina de trigo, HA=harina de amaranto y G=gluten aislado). Las formulaciones se evaluaron mediante pruebas de calidad de textura de las harinas (farinograma y alveograma), calidad panadera de los panes (peso, volumen y color) y su calidad nutrimental (determinación de triptófano y análisis químico proximal) y el pan elaborado con la mejor formulación se evaluó sensorialmente mediante una prueba de nivel de agrado a consumidores. Los resultados mostraron que el amaranto utilizado como materia prima fue de mejor calidad nutrimental que la harina de trigo comercial que se usa para la elaboración de bolillo. La mejor formulación fue la preparada con: 60% de Harina de amaranto – 10% de gluten vital – 30% de Harina de trigo pues se obtuvo un producto con buenas características panaderas como; peso, volumen y color. Se logró incrementar la calidad nutrimental del pan tipo bolillo al complementar con amaranto las formulaciones, pues al aumentar el contenido de triptófano aumentó la calidad de proteína, además el pan tuvo mayor contenido de grasa, fibra y minerales. Por último, el pan elaborado con la mejor formulación fue aceptado por el consumidor y obtuvo una calificación de 7.2 en una escala del 1 al 10.



INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se ha estimado que México y otros países, han tenido una historia importante de crisis (ambientales, sociales, económicas y políticas) con efectos en la seguridad alimentaria y la nutrición, cambios en los patrones culturales y crisis en el sector agrícola; lo que ha tenido como consecuencia una reducción en el aprovechamiento y consumo de algunos granos y semillas. Dentro de los granos de consumo no tradicional en nuestro país, diversas instituciones han tenido el interés de rescatar del olvido algunas semillas como lo es el amaranto y reconsiderar su utilización para la alimentación humana.

El amaranto fue reconocido desde 1975 por la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos, como uno de los alimentos más prometedores del Mundo (Teutónico y Knorr, 1985; Santín *et al.*, 1986), y en la década de los 80's se realizaron importantes trabajos en México (Sánchez-Marroquín, 1983; Trinidad *et al.*, 1990). Después de esa época disminuyó el interés de este grano hasta finales de los 90's y principios del siglo XXI. La transformación primaria del grano de amaranto, es el grano tostado del cual se elabora dulce de alegría. El amaranto es muy versátil para su transformación e industrialización, puede transformarse y utilizarse como cualquier cereal con mayores ventajas nutrimentales. La ausencia de gluten, tiene ciertas limitantes tecnológicas que pueden eliminarse si se mezcla con otros cereales y otros ingredientes (David, 2001).

Por otra parte, el pan es un alimento valioso desde el punto de vista tradicional y en los últimos años ha aumentado su consumo en México (INEGI, 2009) sobre todo en zonas urbanas y aunque proporciona un aporte energético importante y algunos macro y micro nutrientes (Calaveras, 2004) su calidad nutrimental es baja. Mientras que el amaranto tiene una gran calidad nutrimental, en especial un alto contenido de proteína, calcio, ácido fólico y vitamina C (Kill y Turnbull, 2004). Su proteína destaca por su alto contenido de lisina y triptófano comparado con otros cereales, lo que permite una excelente complementación con las proteínas de cereales convencionales: maíz, trigo, arroz (Hoseney, 1991).

Por lo antes expuesto, es de interés el complementar la elaboración de pan de trigo con el amaranto y es por eso que en el presente trabajo se plantea: Desarrollar una formulación para la elaboración de un pan que tenga como uno de sus ingredientes principales harina de amaranto para mejorar su calidad nutrimental.



1. ANTECEDENTES.

1.1 TRIGO

1.1.1 Origen.

El origen del actual trigo cultivado se encuentra en la región asiática comprendida entre los ríos Tigris y Éufrates. Desde Oriente Medio el cultivo del trigo se difundió en todas las direcciones. Las primeras formas de trigo recolectadas por el hombre hace más de doce mil años eran del tipo *Triticum monococcum* y *T. dicoccum*, caracterizadas fundamentalmente por tener espigas frágiles que se disgregan al madurar (David, 2001). Los primeros estudios en 1855 encontraron especies silvestres de trigo en la región que hoy corresponde a Israel, descubriéndose también trigo silvestre más tarde en Palestina. También se estableció que especies de trigo se cultivaban alrededor de 8400-7500 años a.C. en Siria y en zonas que son parte de Irak (Kill y Turnbull, 2001).

Se dice que el trigo llegó a nuestro país en la época de la conquista, a través de embarcaciones españolas que arribaron con grandes cantidades de trigo, pero la historia lo documenta de otra manera. Según relato de los historiadores Andrés de Tapia y Francisco López de Gomorra, el negro portugués Juan Garrido, criado de Hernán Cortés, fue el primero en sembrar y cosechar trigo en México al encontrar mezclados tres granos en un costal de arroz. Sólo germinó uno que dio 180 granos y de esa espiga se hicieron otras siembras que comenzaron a cultivarse en diferentes regiones de la Nueva España (Primo, 1987; Hosoney, 1991).

1.1.2 Producción

El cultivo de trigo en México ocupa el segundo lugar en importancia después del maíz en cuanto a la superficie de cosecha. Por otra parte, es también el segundo cereal más consumido en México. Entre los años agrícolas 2000 y 2004 la superficie cosechada de trigo disminuyó un 26.8%, mientras que entre los años 2004 y 2008 hubo un crecimiento del 59.9% y para el 2009 se esperaba una cosecha de 824 mil hectáreas, cifra 0.6% inferior a la observada en 2008. Cabe señalar que el 78% de la superficie de siembra es de riego, de esta forma es posible afirmar que los vaivenes que se identifican en la cosecha de trigo están estrechamente asociados a los cambios climáticos (figura 1).

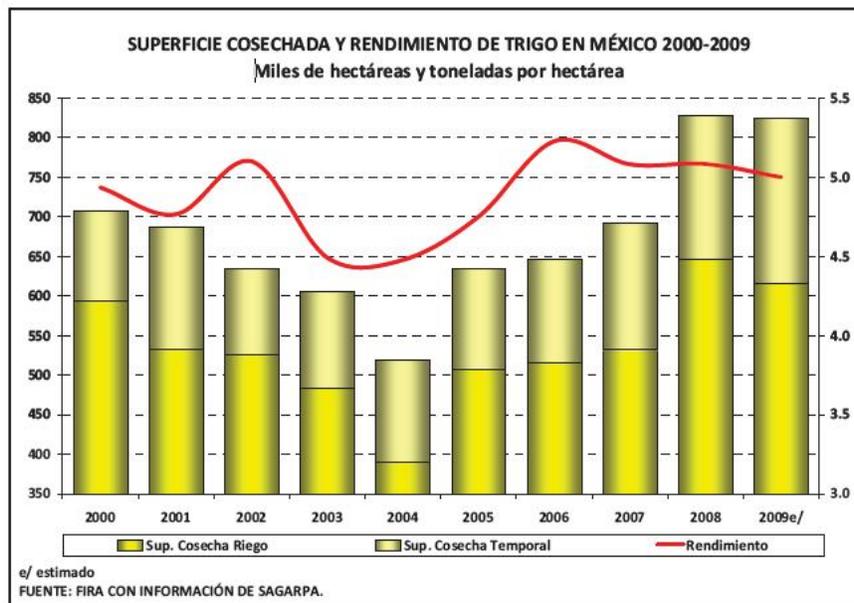


Figura 1. Grafica de producción de trigo (SAGARPA, 2010)

1.1.3 Clasificación Botánica

Reino: Vegetal

División: Fanerógamas.

Subdivisión: Angiosperma

Clase: Monocotiledóneas

Orden: Glumíforas

Familia: *Gramíneas*

Genero: *Triticum*

Especie: *T. aestivum*, *T. compactum*, *T. durum*.



Figura 2. Espigas de Trigo

Fuente: Calaveras (2004).

El trigo es una planta gramínea de crecimiento anual de la familia del césped, de altura promedio de un metro (figura 2). Sus hojas verdes, parecidas a las de otras gramíneas, brotan muy pronto y van seguidas por tallos muy delgados rematados por espigas de cuyos granos molidos se obtiene la harina (Calaveras, 2004).



PAN DE AMARANTO

1.1.4 Características del trigo

El grano de trigo corresponde al fruto que encierra una sola semilla o botánicamente, la cariósipide de la planta común del trigo, *Triticum aestivum* (Desrosier, 1989). Los granos de trigo son ovalados, redondeados en ambos extremos (figura 3). La longitud promedio de los granos es de 8 mm y el peso de 35 mg; el tamaño de los granos varía según la variedad y la posición de la espiga. El color, generalmente es blanco o rojo (aunque también puede ser púrpura), depende del pigmento en la cubierta de la semilla. El germen se encuentra en un extremo, mientras que en el otro hay un grupo de finas vellosidades. En general el grano de trigo está compuesto por endospermo que constituye el 83% del total del grano; el salvado formado por las capas externas del pericarpio, las capas envolventes del endospermo o aleurona y las del germen, que constituyen el 14% del total del grano y por último el germen que constituye el 3% del total del grano y su finalidad es formar la futura planta (Hoseney, 1991).

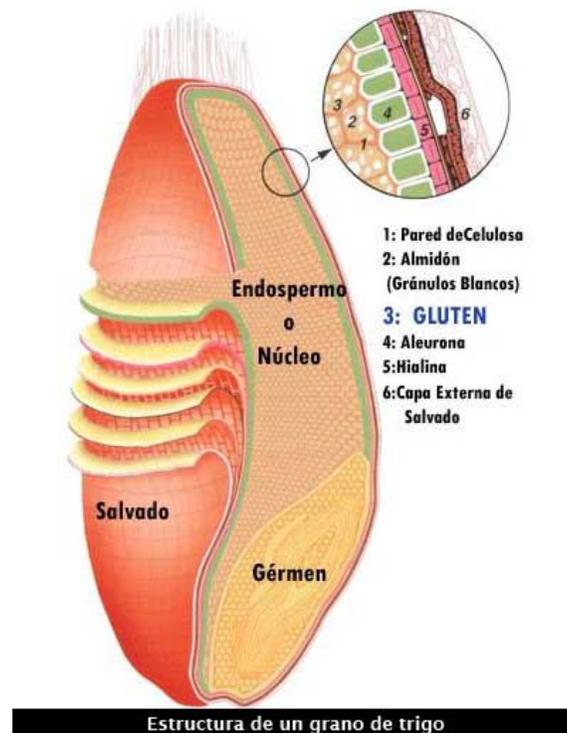


Figura 3. Corte longitudinal y transversal de un grano de trigo.

Se puede observar en la figura 3 el corte longitudinal y transversal de un grano de trigo, donde se aprecia sus componentes (Stenvert y Kingswood, 1977).



PAN DE AMARANTO

Hay diferentes tipos y variedades de trigos y cada país establece sus propios sistemas de clasificación. Una clasificación importante en la industria de molienda, está dada por la dureza del grano:

- A) Muy duros (durum)
- B) Duros (hard)
- C) Suaves o blandos (soft).

La «dureza» y «blandura» son características de molinería, relacionadas con la forma de fragmentación del endospermo. En los trigos duros, la fractura tiende a producirse siguiendo las líneas que limitan las células, mientras que el endospermo de los trigos blandos se fragmenta de forma imprevista, al azar (Stenvert y Kingswood, 1977).

Trigos Duros: Los trigos duros producen harina gruesa, arenosa, fluida y fácil de cernir. Por su gran cantidad de gluten y las propiedades coloidales de la misma se emplean preferentemente para la fabricación de macarrones, spaghetti y otras pastas alimenticias (Calaveras, 2004).

Trigos blandos: Los trigos blandos producen harina muy fina compuesta por fragmentos irregulares de células de endospermo (incluyendo una proporción de fragmentos celulares muy pequeños y granos sueltos de almidón) y algunas partículas aplastadas que se adhieren entre sí, se cierne con dificultad y tiende a obstruir las aberturas de los cedazos; se emplean principalmente en la industria galletera y para productos de panificación, en la tabla 1 se muestra la clasificación de los trigos.



Tabla 1. Clasificación de trigos basadas en diferentes características.

Características	Clasificación
Endospermo	Vítreo Almidonoso
Dureza del grano	Fuerte Medio Fuerte Suave Tenaz Cristalino
Época de Crecimiento	Invierno Primavera
Color del salvado	Blanco Ámbar Rojo Oscuro

Fuente: Calaveras, 2004.

1.1.5 Composición Química y Valor Nutritivo.

El grano maduro del trigo está formado por: hidratos de carbono, (fibra cruda, almidón, maltosa, sacarosa, glucosa, melobiosa, pentosanos, galactosa y rafinosa), compuestos nitrogenados (principalmente proteínas: albúminas, globulinas, prolaminas y gluteínas), lípidos (Ácidos Grasos: mirístico, palmítico, esteárico, oléico, linoléico), sustancias minerales (K, P, S, Cl) y agua junto con pequeñas cantidades de vitaminas (tiamina, riboflavina y otras del complejo B) y otras sustancias como pigmentos (Tabla2) (Primo, 1987; Hosenev, 1991).

Tabla 2. Composición química promedio del trigo en base seca.

Componente	(%)
Proteína	13.4 ^a
Minerales	1.9
Lípidos	2.4
Fibra	2.4
Hidratos de carbono	82.1

Fuente: Primo, 1987. a. N x 5.83



PAN DE AMARANTO

Estos nutrientes se encuentran distribuidos en las diversas partes del grano de trigo, y algunos se concentran en regiones determinadas. El almidón está presente únicamente en el endospermo, la fibra cruda está casi exclusivamente en el salvado y la proteína se encuentra por todo el grano. Aproximadamente la mitad de los lípidos totales se encuentran en el endospermo, la quinta parte en el germen y el resto en el salvado, pero la aleurona es más rica que el pericarpio y testa. Más de la mitad de las sustancias minerales totales están presentes en el pericarpio, testa y aleurona.

Las proteínas de los cereales son deficientes en uno o más aminoácidos esenciales. Los alimentos preparados con trigo son fuente de proteínas incompletas, esto significa que pudiera contener los 8 aminoácidos esenciales pero no todos ellos en niveles adecuados, por lo que, la combinación del trigo con otros alimentos podría proporcionar una proteína completa (Tabla 3), como podría ser el amaranto. El primer aminoácido limitante es la lisina, seguido, por la metionina y triptófano (Primo, 1987; Serna, 1996). Por otra parte, las proteínas de reserva del trigo son únicas, porque son proteínas funcionales. Tienen la facultad de formar una masa fuerte que retendrá gas y rendirá productos horneados esponjosos; concretamente la gliadina y glutenina, proteínas que forman el gluten (Hoseney, 1991).

Tabla 3. Composición de aminoácidos de la proteína del Trigo. (g /100g de proteína.)

Fenilalanina	2.6	Ac. Aspártico	3.7
Histidina	4.1	Ac. Glutámico	20.0
Isoleucina	2.9	Alanina	4.2
Leucina	5.1	Arginina	10.6
Lisina	3.7	Cistina	1.5
Metionina	1.2	Glicina	6.1
Treonina	2.4	Prolina	9.0
Triptófano	1.1	Serina	5.3
Valina	4.2	Tirosina	1.7

Fuente: Primo, 1987.



PAN DE AMARANTO

1.2. GLUTEN

1.2.1. Generalidades

Entre las proteínas que contiene el trigo, las principales, desde el punto de vista tecnológico, son las que forman el gluten. Este componente es esencial para la elaboración de pan y en general para la elaboración de productos de panificación; ya que las proteínas que lo forman, la gliadina y la glutenina al mezclarse con agua forman lo que se conoce como gluten, componente responsable de formar masas fuertes y elásticas (Charley, 2000).

Las gliadinas (prolaminas) son un grupo amplio de proteínas con propiedades similares. Su peso molecular medio es de unos 40.000, son de cadenas simples y son extremadamente pegajosas cuando están hidratadas. Tienen poca o nula resistencia a la extensión y parecen ser la responsables de la cohesividad de la masa.

Por otra parte, las gluteninas (glutelinas) también parecen ser un grupo heterogéneo de proteínas. Son de cadena ramificada y su peso molecular oscila entre unos 100.000 y varios millones, aproximadamente unos tres millones. Físicamente, la proteína es elástica, pero no cohesivas. La glutenina confiere aparentemente a la masa su propiedad de resistencia a la extensión (Hoseney, 1991; Charley, 2000).

La relación en que se encuentran la gliadina y glutenina determinan la resistencia mecánica del gluten, normalmente ésta es de 20% de Glutenina y un 80% de Gliadina. Dada la importancia del gluten en la elaboración de productos a base de trigo, existe una clasificación de este grano basada en el tipo de gluten que presenta (Tabla 4).



PAN DE AMARANTO

Tabla 4. Clasificación de los trigos mexicanos con base en la funcionalidad del gluten.

Grupo	Denominación	Características
I	Fuerte	Gluten fuerte y elástico apto para la industria mecanizada de panificación. Usados para mejorar la calidad de trigos débiles.
II	Medio-Fuerte	Gluten medio-fuerte apto para la industria artesana de panificación.
III	Suave	Gluten débil o suave pero extensible apto para la industria galletera. Usado para mejorar las propiedades de trigos tenaces.
IV	Tenaz	Gluten corto o poco extensible pero tenaz, apto para la industria pastelera y galletera
V	Cristalino	Gluten corto y tenaz, apto para la industria de pastas y sopas.

Fuente: Primo, 1987

1.3 PANIFICACIÓN

1.3.1 Origen

El pan fue el alimento básico de la Humanidad desde la prehistoria. Algunos autores se imaginan que al inicio, el pan podría haber sido una masa de granos semi-molidos y ligeramente humedecida cocida al sol sobre una piedra caliente, o simplemente haberse dejado abandonado junto al fuego, o fuente de calor diversa (David, 2001). La evolución histórica del pan se fundamenta en tres vías posibles: por un lado la mejora y evolución en los elementos mecánicos que pulverizan los granos (los molinos), por otro, la mejora en los microorganismos que forman la levadura y finalmente la evolución de los hornos y los elementos que proporcionan focos de calor. Se sabe que los egipcios elaboraban pan desde hace siglos, y de ellos datan también las primeras evidencias arqueológicas de la utilización de la levadura en el pan así como el empleo de hornos (Calaveras, 2004).

Su nombre proviene del latín *pannus* lo que significa masa blanca (Giovanni, 1991). El pan fue sufriendo mejoras en su molienda, su horneado y poco a poco fue pasando de un producto elaborado artesanalmente a un producto industrial al que se le añaden diversos aditivos. En la actualidad la maquinaria facilita en gran medida el trabajo; se emplean amasadoras, hornos automáticos, transportadoras, enfriadoras, cortadoras y hasta máquinas para envolver. A finales del siglo XX se popularizan los panes integrales o negros.



PAN DE AMARANTO

1.3.2. Definición

Producto que resulta de la fermentación de la masa por acción de agentes leudantes o levadura, preparada con harina de trigo, harinas de cereales integrales o de leguminosas, agua, sal, azúcar, grasas comestibles y otros ingredientes (Serna 1996). En la figura 4 se muestra una imagen de los panes más comunes provenientes de la panificación.



Figura 4. Imagen de diferentes panes (Serna, 1996).

1.3.3. Clasificación

Clasificación de los productos de panificación de acuerdo a la norma

NMX-F-521-1992

ALIMENTOS PRODUCTOS DE PANIFICACION

Se clasifican de acuerdo a su composición en:

TIPO I Pan Blanco, Bolillo y Telera

TIPO V Galletas

TIPO II Pan de Harinas Integrales

TIPO VI Pastas Secas

TIPO III Pan, Productos de Bollería

TIPO VII Pastel

TIPO IV Pan Dulce

TIPO VIII Pay o Tarta

Como en el presente trabajo interesa la elaboración de pan bolillo, nos enfocaremos a describir este tipo de productos del tipo I.

- Pan Blanco, Bolillo y Telera

Son productos alimenticios cocidos por horneado de la masa fermentada, elaborada con harina de trigo, agua potable, sal yodada, azúcar, levadura, ingredientes opcionales y aditivos alimentarios permitidos por la Secretaría de Salud.



PAN DE AMARANTO

1.3.4. Métodos de panificación

Para la fabricación de pan es necesario preparar la masa y los ingredientes básicos tales como la levadura, sal, azúcar y agua, los cuales, se mezclan siguiendo diferentes métodos. Las acciones de extender y doblar se utilizan para encontrar las condiciones idóneas de la masa en el momento en que las proteínas se humedecen y absorben agua y forman el gluten. El desarrollo correcto del gluten es esencial para la elaboración del pan.

Se han desarrollado diferentes sistemas para fabricar pan, los más comunes son los siguientes:

- Método de amasado directo; en este método los ingredientes se mezclan juntos de una sola vez y se dejan fermentar en diferentes periodos cortos, este es un método popular especialmente para hacer pan en pequeñas cantidades, el tiempo de fermentación va de 1 a 3 horas.
- Método de esponja y amasado, esto se hace en dos etapas; toda la levadura, el 50% de la harina y el 60% de agua, se mezclan y se dejan fermentar o esponjar entre 1-6 horas. En la segunda etapa, se mezclan el resto de los ingredientes y tras un segundo y breve periodo de fermentación es dividido el amasado.
- Método continuo altamente mecanizado más eficiente menos mano de obra y cortos tiempos.

En este trabajo se empleó el método de amasado directo porque es de interés que se mezclen todos los ingredientes y se permita fermentar antes para que la masa esponje, el pan de levadura hecho mediante el método directo tiene un alta proporción de líquido, de tal manera que el gluten se puede desarrollar por medio del amasado. Este método es el utilizado comúnmente en la industria de panificación pequeña para la elaboración del pan bolillo, este es el de interés en este trabajo.



PAN DE AMARANTO

1.3.5. Ingredientes principales para la elaboración de pan

Ingredientes principales

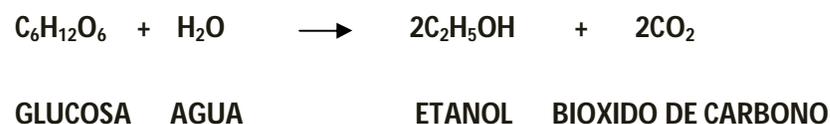
Entre los ingredientes básicos que se utilizan para la elaboración de pan se encuentran la harina de trigo, agua, levadura, mejorantes de panificación, azúcar y sal; cada ingrediente cumple con una funcionalidad que se explica brevemente a continuación:

Harina de trigo: La harina para la elaboración de pan debe proporcionarse de trigos fuertes que tenga un bajo contenido de cenizas (0.4%) y alto contenido de proteína (11 -14.5%) y un contenido de humedad menor a 14%. Que cuando se hidrate produzca un gluten que sea satisfactorio respecto a la elasticidad, resistencia y estabilidad.

En la formación del gluten la gliadina y la glutenina contienen abundantes enlaces disulfuro, pero mientras que en la gliadina son principalmente del tipo intramolecular originando plegados de cadenas, en la glutenina son en su mayor del tipo intermolecular originando agregados de alto peso molecular (Charley, 2001).

Agua: Solubiliza ingredientes, activa levaduras y enzimas, hidrata el almidón y la proteína de la harina y es esencial para el desarrollo del gluten. El agua libre en la masa influye en su extensibilidad, si es mucha la masa es pegajosa y muy suave y si es poca se hace dura y se resiste al estiramiento. La consistencia de la masa influye en la resistencia a la presión ejercida por el bióxido de carbono, acumulado durante la fermentación, y a la presión de los gases expandidos durante el horneado. El volumen del pan y la textura del migajón también se ven afectados. El agua es esencial para la gelatinización del almidón cuando se hornea la masa (Calaveras ,2004).

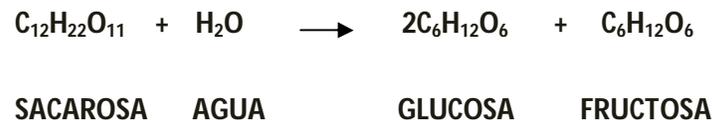
Levadura: La levadura de panadería es *Saccharomyces cereviceae*. Fermenta azúcares sencillos produce etanol, CO₂, energía y ácidos orgánicos los cuales producen el perfil del sabor. La actividad de la levadura aumenta rápidamente con la temperatura. La reacción global sería:





PAN DE AMARANTO

Las células de la levadura también poseen la enzima invertasa sobre o cerca de la pared celular, que cataliza la hidrólisis del disacárido sacarosa para liberar los azúcares simples y fermentables y la reacción es la siguiente:



La maltosa se fermenta solo después que el aporte de glucosa y fructosa se ha agotado y entonces la fermentación procede lentamente. Las células de la levadura no solo producen bióxido de carbono que infla la masa, si no también, mediante una vía bioquímica secundaria, sustancias que modifican la elasticidad, la adhesividad y las propiedades del flujo de la masa, los productos de la fermentación contribuyen al perfil de sabor y aroma (Charley, 2001).

Sal: Se adiciona con objeto de dar sabor al pan aunque también hace más correoso el gluten y menos pegajosa la masa, rebaja la velocidad de fermentación y es por ello que se usa en mayor cantidad en sistemas que emplean una fermentación prolongada que en los de fermentación corta.

Azúcar: El azúcar se incluye en la masa para pan de levadura principalmente para servir como una fuente de azúcar fermentable.

Proceso de elaboración del pan

Así como se encuentran los ingredientes básicos en panificación también para los procesos de elaboración existen etapas fundamentales, las cuales se mencionan a continuación (David, 2001):

Mezclado y Amasado: Durante el mezclado se obtiene una masa cohesiva elástica cuando se le adiciona agua al resto de los ingredientes y se amasa. Estas cualidades provienen de la tendencia de las proteínas para adherirse unas con otras. Las gliadinas imparten movilidad a la masa. A medida que esta estructura continua se va formando aparece una red mientras que la fuerza elástica deriva de la serie de conexiones acopladas proporcionalmente por las gluteninas (Calaveras, 2004).



PAN DE AMARANTO

Los fenómenos que se producen durante la maduración de la masa, interviene la harina hidratada, la proteína experimenta un desenrollamiento de las moléculas la desunión por enlaces cruzados, para formar una red proteica llamada gluten. Las cadenas proteicas se mantienen unidas entre sí por varios tipos de enlaces incluyendo los enlaces disulfuro (-SS-) estos enlaces permiten que la molécula sufra un desdoblamiento y pueda tener diferentes posiciones, uniendo entre sí moléculas separadas de proteína lo que constituye una parte importante en el amasado.

También están presentes en las moléculas de proteína grupos sulfhidrilos (-SH) en forma de grupos laterales del aminoácido cisteína. Las reacciones entre grupos -SH y los -SS- se desplazan por la masa causando un efecto de intercambio en la relajación de la masa por la distensión, inducida por la operación del amasado (Brenan, 1990).

Rolado y formado: Esta etapa tiene la función de remover el gas atrapado en la masa y crear nuevos espacios. También en esta etapa, se le da la forma deseada a la masa y se deja reposar, para hacer una pre fermentación a temperatura ambiente (25°C).

Fermentación: Webster definió la fermentación como un grupo de reacciones químicas que dan el perfil de sabor. El cambio más importante es el proceso de conversión de azúcares fermentables en gas carbónico y alcohol por obra de las enzimas de la levadura. En la levadura fermenta dos tipos de azúcares, primero la sacarosa y la maltosa presentes originalmente en la harina y segundo la maltosa producida por la acción enzimática de la enzima β -amilasa contenida en el almidón de la masa. Durante esta etapa se produce un aumento en la temperatura y la masa se hace ligeramente ácida, ya que las bacterias presentes en ella, crecen con más rapidez, convirtiendo los azúcares en ácidos; cerca del 75% es ácido láctico y el resto es principalmente ácido acético. La fermentación se debe de realizar a una humedad relativa del 80 % y a una temperatura de 40 °C por 40 minutos aproximadamente.

Horneado: Durante las etapas iniciales de cocción, la masa se hincha rápidamente debido al aumento de la actividad enzimática producido por la elevación de la temperatura y también por la expansión de los gases y vapor en la masa. La levadura se hace menos activa cerca de los 42°C y queda sin efecto a los 54°C, la amilasa es inactivada a los 70°C. El almidón se gelatiniza a los 65°C, la coagulación del gluten se inicia a los 74°C, la temperatura interior del pan raras veces



PAN DE AMARANTO

excede los 100°C. La masa se hornea a 210°C durante 10 minutos y en los primeros minutos se le inyecta vapor. Durante el proceso de cocción, la parte exterior de la masa alcanza una temperatura mucho más elevada que la interior formando una corteza seca y de color marrón, el color es debido a tres procesos químicos diferentes que también le dan un sabor agradable. El primer proceso químico parte del almidón, se descompone en dextrinas. En segundo lugar, parte de los azúcares se caramelizan. En tercer lugar se da la reacción de Maillard entre las proteínas del pan y los azúcares. El caramelo y las dextrinas tienen el mismo valor energético que los azúcares y el almidón de que están hechos siempre y cuando no hayan sido excesivamente calentados.

1.3.6. Calidad del pan

Las pruebas de calidad del pan se dividen en diferentes categorías; pruebas químicas, fisicoquímicas, reológicas o de textura y pruebas de panificación.

Pruebas químicas

Incluyen la determinación de almidón, humedad, proteína, grasa, cenizas, fibra y carbohidratos. La tendencia hoy en día se basa principalmente en la cantidad y calidad de la proteína, atribuyendo a ésta una relación entre el contenido de proteína y el volumen del pan.

Pruebas fisicoquímicas

Incluye producción y retención de gas, tiempo de fermentación, sedimentación de harina. Todas estas pruebas son esencialmente empíricas y no son fáciles de interpretar.

Pruebas reológicas o de textura

Estas pruebas se desarrollaron para tener una medida objetiva de las características de la masa como son: la capacidad de hidratación, la extensibilidad y la elasticidad a la producción de gas por la acción de la levadura y retención del mismo y el comportamiento de la masa en el proceso de horneado. Las características viscoelásticas; elasticidad, extensibilidad, tenacidad, estabilidad, capacidad de producción y retención de gas de una masa, pueden estimarse fácilmente con el



PAN DE AMARANTO

alveógrafo , el farinógrafo , el extensógrafo , el zomotaquigrafo y el fermentógrafo. Los más usados en la actualidad son el alveógrafo y el farinógrafo.

Alveógrafo Chopin: este equipo mide las características de la harina y da la clasificación de las mismas. El alveograma es una curva con los siguientes parámetros:

P.- Expresa la tenacidad y mide la resistencia que opone la masa a la rotura, se expresa en mm >60 muy tenaz, de 50 a 60 tenaz, de 35 a 50 normal de 25 a 35 limitada tenacidad y < 25 baja tenacidad.

L.- expresa la extensibilidad y mide la capacidad de la masa para ser estirada.>115 muy extensible; de 90 a 115 buena extensibilidad; de 70 a 90 débil o limitada extensibilidad y < 50 baja extensibilidad.

P/L.- indica el equilibrio y la relación entre la tenacidad y la extensibilidad. Del equilibrio dependen el destino más adecuado de la harina (panadera, galletera, fabricación de pastas, etc.).

G.- indica el grado de hinchamiento (volumen de la masa). >26 excesiva, de 23 a 26 elevada, de 20 a 23 normal, de 18 a 20 baja, <16 muy baja.

W.- expresa la fuerza panadera e indica el trabajo. >250 fuertes o mejorantes, de 200 a 250 gran fuerza, de 150 a 200 media fuerza, de 90 a 250 flojas y de <90 muy flojas.

En la tabla 5 se muestran los valores característicos de una harina panificable:

Tabla 5. Parámetros y valores obtenidos con el alveograma de una harina panificable.

P(mm)	L(mm)	G	W(J)	P/L
110	48	26	350-400	1.1

Fuente (Calaveras, 2004)

Farinógrafo de Brabender: mide la plasticidad y movilidad de la masa a temperatura constante y con un amasado continuo. Los datos obtenidos de esta curva (esfuerzo-tiempo) son: *a) la capacidad de absorción de agua* que nos indica la cantidad de agua necesaria para alcanzar una consistencia de 500 UF, *b) tiempo de desarrollo* que es el tiempo necesario para alcanzar la máxima consistencia de la masa, *c) estabilidad* de la masa que significa el tiempo durante el cual



PAN DE AMARANTO

masa mantiene la máxima consistencia y *d) tolerancia al amasado* que indica la caída de la consistencia cinco minutos después del tiempo de desarrollo (David, 2001; Vaglia, 1991 y Serna, 1996). En la tabla 6 se muestran los valores característicos para una harina panadera.

Tablas 6. Parámetros y valores de un farinograma para una harina panadera

Consistencia Máxima UF	Tiempo de desarrollo MIN.	Estabilidad MIN.	Índice de tolerancia (MTI) UF	Tiempo de ruptura MIN.
489	2.7	8.9	30	7

Fuente (Calaveras, 2004)

De esta manera el farinograma nos permite contar con las siguientes referencias:

- La cantidad de agua que necesita una harina para obtener la consistencia ideal.
- El tiempo de amasado adecuado para obtener una masa correctamente desarrollada.
- El punto máximo de amasado que resistirá la masa.
- Qué sucede con esa harina si aumentamos o disminuimos los ingredientes menores: sal, azúcar, etc.

Los datos obtenidos de esta curva como la capacidad de absorción de agua, el tiempo de desarrollo, o la estabilidad de la masa expresada en minutos facilitan en gran medida el trabajo, permitiendo obtener una producción de calidad equilibrada.

1.3.7. Composición química y valor nutritivo

La evolución tecnológica del pan se debe fundamentalmente al gran consumo del mismo, el pan es muy importante en la alimentación humana. En la tabla 7, vemos referida la composición química media de 100 g de pan y el porcentaje de la necesidad diaria de nutrientes, se puede observar que el pan es rico en carbohidratos aproximadamente un 58% considerándose una fuente óptima de calorías y contiene un 9% de proteína que es un porcentaje relativamente bajo porque la ingestión de 100 g de pan cubre solo el 32% de la necesidad diaria de proteínas vegetales.



PAN DE AMARANTO

Tabla 7. Composición de 100 g de pan con respecto a las necesidades diarias de cada uno de los nutrientes.

Parámetros	Agua (g)	Proteínas (g)	Lípidos (g)	Glúcidos (g)	Calorías
Pan	30	9	2	58.50	279
Necesidades diarias	-	28	1	500	2400
Porcentaje con respecto a 100g de pan	-	32	5	12	11.6

Fuente (Giovanni, 1991)

Se puede decir que proporciona el porcentaje de proteína adecuado, pero la calidad de la misma no es la adecuada porque no aporta a los aminoácidos esenciales en la cantidad requerida. En la tabla 8, se muestra la comparación de dichos aminoácidos comparando el contenido del pan con el del huevo, que se usa como referencia, y como se puede ver la cantidad de aminoácidos es menor en el pan.

Tabla 8. Composición media en aminoácidos esenciales de la proteína del pan y del huevo (g /100 g proteína)

Aminoácidos	Huevo	Pan
Lisina	5.83	1.99
Treonina	4.54	2.51
Triptófano	1.59	1.03
Valina	6.37	4.41
Metionina	3.07	1.38
Isoleucina	5.19	3.90
Leucina	8.21	7.16
Fenilalanina	5.05	4.78
Índice de AAE	100	58
AA limitante	-	Lisina

Fuente (Giovanni, 1991)



PAN DE AMARANTO

El índice de aminoácidos esenciales, es un valor mediante el cual es posible determinar el valor biológico de la proteína. De la relación entre la composición en aminoácidos de la proteína del huevo y del pan se puede establecer que el aminoácido limitante es la lisina y que el índice de AAE es igual al 58%, siendo este un valor inferior al de alimentos de origen animal (mayor del 80%) pero comparable con otros alimentos de origen vegetal entre las cuales está la cebada, el maíz, el arroz y las hortalizas.

1.3.8. Producción y consumo

El consumo saludable también se hace presente en el mundo de los productos panificados. En México, se lanzaron al mercado productos de panificación funcionales en el periodo 2007/2008, los cuales contenían nutraceuticos, tales como omega 3, omega 9 y vitamina D; la mayoría de las innovaciones relacionadas con productos saludables durante ese periodo tuvo lugar en las panaderías artesanales, donde la oferta de panes elaborados con múltiples granos y alto contenido de fibras crece constantemente (INEGI, 2009).

En 2008 las ventas de pan aumentaron en un 8%. Puede decirse que el pan envasado/de elaboración industrial no compite con el pan no envasado/artesanal, porque quienes compran este último lo hacen porque prefieren el pan fresco, mientras que quienes optan por el primero lo hacen por razones de conveniencia (compran pan solamente una vez por semana).

El pan blanco es el producto de mayor consumo (40% de las ventas) debido a la herencia europea de la población del país. Lo sigue de cerca el pan integral (33% de las ventas), como consecuencia de los ingredientes nutraceuticos que contiene (Canainpa, 2009).

Es probable que las ventas de productos de panadería aumenten a una Tasa Compuesta de Crecimiento Anual del 2% en el periodo 2008/2013. Ello ocurrirá como consecuencia del redescubrimiento del pan como producto saludable, que puede consumirse sin preocupación alguna, y que no sea causante de sobrepeso (Canainpa, 2009).

Es por eso que un pan complementado con amaranto pudiera tener gran aceptación en este nuevo nicho de mercado, al proporcionar al consumidor un producto con mayor calidad nutrimental que se refleje en un mejor estado de salud.



PAN DE AMARANTO

1.4. Amaranto

1.4.1 Origen

La palabra Amaranto deriva del griego, que significa "inmortal" e "inmarchitable", es uno de los más antiguos cultivos alimenticios conocidos (Paredes, 2001). Registros históricos revelan que la producción y uso del amaranto, tanto en forma vegetal como grano estuvo en su máximo apogeo durante los períodos maya y azteca (Sánchez-Marroquín *et al.*, 1986). En México, la historia de este grano es bastante peculiar y aun cuando actualmente su cultivo está algo restringido, en el tiempo de los aztecas el amaranto era uno de los cultivos más importantes desde el punto de vista de su consumo junto con el maíz y frijol (Irving *et al.*, 1981).

Muestras arqueológicas, del grano de amaranto, encontradas en Tehuacán, Puebla datan del año 4,000 a.C., e indican que probablemente se originó en América Central y América del Sur. El amaranto fue un alimento de primera importancia en la dieta diaria de los aztecas y producían entre 15 y 20 mil toneladas de este cultivo al año, lo que lo ubicaba en tercer lugar después del maíz y el frijol. (Teutónico y Knorr, 1985; Paredes, 2001).

La conquista española acabó con el uso del amaranto como producto básico, eliminando la posibilidad de que se integrara en la alimentación mundial un producto de alto valor nutrimental (Vargas, s.f.; Santín *et al.*, 1986).

A primera vista, la semilla de amaranto parece ser algo desconocido, pero resulta familiar al saber que de ella se obtienen las tradicionales "alegrías". El nombre "alegría" se asignó en el siglo XVI al dulce que se fabrica con la semilla reventada y luego, por extensión, a la planta entera. Antes de la llegada de los españoles, los indígenas sólo utilizaban el *huahutli* (amaranto reventado). A fray Martín de Valencia (1473-1534) se le ocurrió mezclarlo con miel. Cuentan los relatos de la época que uno por uno los indígenas fueron probando el dulce resultante y les pareció tan sabroso que empezaron a bailar y cantar de alegría. De ahí -dice la leyenda- surgió el nombre de este dulce (Santín *et al.*, 1986).



PAN DE AMARANTO

1.4.2. Clasificación Botánica.

Reino: Vegetal

División: Fanerogama

Subdivisión: Angiosperma

Clase: Dicotiledoneae

Subclase: Archyclamidae

Orden: Centrospermales

Familia: Amaranthaceae

Género: *Amaranthus*

Sección: *Amaranthus*

Especies: *caudatus*, *cruentus* e *hypochondriacus*



Fig. 5 Planta de Amarantho

La familia *Amaranthaceae* se compone de 60 géneros y más de 50 especies de *Amaranthus* (Matz, 1991) de las cuales la mayoría son nativas de América y sólo 15 especies provienen de Europa, Asia, África y Australia. Solo tres especies de amaranto se utilizan actualmente para la producción de grano: *Amaranthus hypochondriacus*, originario de México, *A. cruentus*, originario de Guatemala y el sureste de México y *A. caudatus*, cuyo origen es América del Sur (Mújica *et al.*, 1997; Teutónico y Knorr, 1985 y Segura-Nieto y Velásquez-Sánchez, 1992).

Asociadas a éstas, existen tres especies de malezas o arvenses: *A. powelli*, *A. hybridus* y *A. quitensis*; de éstas solo *A. hybridus* se encuentra ampliamente distribuida por todo el mundo. Estudios realizados con la técnica de Amplificación al Azar de Polimorfismo de DNA (RAPD por sus siglas en inglés), sugieren que las especies *A. hypochondriacus* y *A. caudatus* son genéticamente más cercanas entre sí, comparadas con *A. cruentus*, a pesar de haberse originado en áreas diferentes (Mújica *et al.*, 1997).

1.4.3. Descripción de la planta de amaranto.

El amaranto es una especie anual, herbácea o arbustiva de diversos colores que van del verde al morado o púrpura con distintas coloraciones intermedias (figura 6). El tallo es cilíndrico y anguloso con gruesas estrías longitudinales que le dan una apariencia acanalada, alcanza de 0.4 a 3 m de longitud. Las hojas son pecioladas, opuestas o alternas con nervaduras prominentes en el envés,



PAN DE AMARANTO

lisas o poco pubescentes cuyo tamaño disminuye de la base al ápice, de tamaño variable de 6.5-15 cm. La inflorescencia del amaranto corresponde a panojas amarantiformes o glomeruladas muy vistosas, que pueden variar de totalmente erectas hasta decumbentes, con colores que van del amarillo, anaranjado, café, rojo, rosado, hasta el púrpura; el tamaño varía de 0.5-0.9 m pudiendo presentar diversas formas incluso figuras caprichosas y muy elegantes.



Figura 6. Amaranto rosado (Nieto, 1990)

La semilla es pequeña, lisa, brillante de 1-1,5 mm de diámetro, ligeramente aplanada, de color blanco, aunque existen de colores amarillentos, dorados, rojos, rosados, púrpuras y negros; el número de semillas varía de 1000 a 3000 por gramo, las especies silvestres presentan granos de color negro con el epispermo muy duro (Mújica *et al.*, 1997; Teutónico y Knorr, 1985 y Nieto, 1990).

Aparentemente, los amarantos crecen bien en una amplia variedad de suelos, desde los muy ácidos y con alto contenido de aluminio, hasta los alcalinos y salinos. Las zonas de México donde se está cultivando amaranto tienen características de altitud muy contrastantes, lo mismo se le encuentra a nivel del mar que a 3000 metros sobre el nivel del mar (msnm). Se sabe que *A. caudatus* se desarrolla solo en altitudes mayores a los 2500 msnm.

El amaranto se desarrolla bien cuando la temperatura del día es alta o por lo menos de 21 °C pero hay variedades que muestran óptima germinación con temperaturas entre los 16 y los 35°C, la rapidez de la maduración aumenta en el extremo superior de ese rango; *A. hypochondriacus* y *A. cruentus* toleran temperaturas elevadas y no resisten las heladas, su crecimiento se detiene por completo a unos 8 °C y las plantas se dañan a temperaturas inferiores a 4 °C. El *A. caudatus* siendo nativo de áreas altas de los Andes peruanos resiste mejor las heladas que las demás especies.



PAN DE AMARANTO

1.4.4 Producción comercial del amaranto.

Las principales zonas de producción y cultivo de amaranto son las mismas de la época precolombina. Puebla es el mayor productor de amaranto en México con el 51% de la producción nacional. Le sigue Tlaxcala, el Distrito federal, el estado de México y Guanajuato con el 22, 18, 9, 6 y 2% respectivamente (Asociación Mexicana del Amaranto, 2003). Se siembra predominantemente *A. hypochondriacus* en condiciones de temporal, en áreas pequeñas, con semilla mezclada de variedades diferentes, como se hace con el maíz, a fin de asegurar la cosecha. En Guatemala se siembra principalmente *A. cruentus*, en condiciones similares de cultivo, en los departamentos de Guatemala, Chimaltenango y Alta Verapaz (Mújica *et al.*, 1997).

Actualmente la producción comercial del amaranto en México, se concentra principalmente en cuatro estados:

- San Miguel del Milagro, Nativitas, San José Atoyatenco y San Felipe Ixtacuixtla en el Estado de Tlaxcala.
- Cuautla, Hualzuco, Amiltzingo, Jantetelco y Amayuca en el Estado de Morelos.
- Tulyehualco, Mixquic, Nativitas, Milpa Alta y Xochimilco en el Distrito Federal.
- Huaquechula, Santiago Tetla, Tochimilco y Tulcingo del Valle en el Estado de Puebla.

La adaptabilidad del amaranto se extiende a las tecnologías utilizables para su siembra y transformación. Su producción se puede acoplar a la agricultura de “minifundio” – pequeña superficie, escasez de capital y mano de obra intensiva – y también a la producción primaria en gran escala. Su comercialización se realiza con buena rentabilidad, porque es muy resistente a plagas y enfermedades, posee un alto valor nutritivo y buena adaptación a suelos y climas marginales.

1.4.5. Composición Química y Valor Nutritivo.

En el grano se distinguen cuatro partes importantes (Figura 7): *epispermo* ó *pericarpio* que viene a ser la cubierta seminal, constituida por una capa de células muy finas, *endospermo* que viene a ser la segunda capa, *embrión* formado por los cotiledones que es la más rica en proteínas y una interna llamada *perispermo* rica en almidones (Irving *et al.*, 1981).



PAN DE AMARANTO

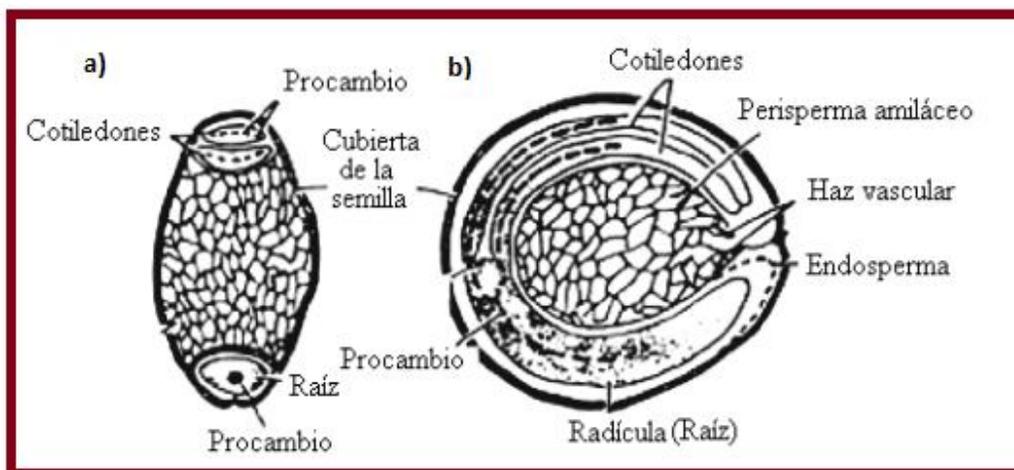


Figura 7. Diagrama de secciones transversal (a) y longitudinal (b) de semilla de amaranto (FAO, 1985)

Los botánicos y nutriólogos estudiaron el amaranto y han encontrado que tiene una gran calidad nutrimental, en especial por su alto contenido de proteínas, calcio, ácido fólico y vitamina C (Tabla 9). Una de sus principales propiedades es que revienta en condiciones muy calientes y se convierte en una palomita cerealera, con alto valor nutritivo, conteniendo de 15 a 18 por ciento de proteína y buena cantidad de lisina y metionina, un alto contenido de fibra, calcio, hierro y vitaminas A y C (Teutónico y Knorr, 1985).

Tabla 9. Composición química del grano de amaranto por 100 g de parte comestible (en base seca)

Característica	Contenido
Proteína (g)	12 – 19
Carbohidratos (g)	71,8
Lípidos (g)	6,1 - 8,1
Fibra (g)	3,5 - 5,0
Cenizas (g)	3,0 - 3,3
Energía (kcal)	391
Calcio (mg)	130 – 164
Fósforo (mg)	530
Potasio (mg)	800
Vitamina C (mg)	1,5

Fuente: Nieto, 1990.



PAN DE AMARANTO

Técnicamente el grano de amaranto es considerado como un *pseudocereal*, ya que tiene características similares a las de los granos de cereales verdaderos que son monocotiledóneas (Becerra, 2000), su sabor es parecido al de ellos y producen grano o semilla del tipo de los cereales, pero el amaranto pertenece a las dicotiledóneas (Santín, *et al.*, 1986) por eso, no es considerado como un cereal verdadero. Al igual que éstos, contiene cantidades importantes de almidón componente principal en la semilla del amaranto, pues representa entre 50 y 60% de su peso seco, con la diferencia de que éste se encuentra almacenado en el perispermo y no en el endospermo como en los cereales. El embrión ocupa gran parte del grano, conformando así una buena fuente de lípidos. La proteína del amaranto se encuentra principalmente en el embrión (65%) a diferencia de los cereales como maíz y arroz que presentan el 80% de la proteína en el endospermo (Bressani, 1989). El contenido de proteína del grano de amaranto es elevado (Tabla 10) y mayor que el de los cereales (Yáñez *et al.*, 1994).

Tabla 10. Composición promedio aproximada del grano de amaranto y de algunos cereales (g/100 g base seca).

Composición	Amaranto	Trigo	Maíz	sorgo	Arroz
Humedad	8.0	12.5	13.8	11.0	11.7
Proteína cruda	15.8^a	14.0 ^b	10.3 ^c	12.3 ^d	8.5 ^c
Grasa	6.2	2.1	4.5	3.7	2.1
Fibra	4.9	2.6	2.3	1.9	0.9
Cenizas	3.4	1.9	1.4	1.9	1.4
Calorías/100 g	366	343	352	359	353

a. Nx5.85; **b.** Nx5.7; **c.** Nx6.25; **d.** Nx5.8

Fuente: Paredes *et al.*, (s/f)

Además, existe una importante variación en el contenido y calidad de la proteína en diferentes especies de amaranto (Tabla 11). Es preciso señalar que estas características de su estructura son importantes en la determinación de las tecnologías a utilizar en el procesamiento del grano.



PAN DE AMARANTO

Tabla 11. Contenido de proteína de varias especies de amaranto (g/100 g muestra)

Especie	N° de genotipos	Rango	Promedio
<i>A. Caudatus</i>	36	11,1 - 19,4	13,5
<i>A. hypochondriacus</i>	26	12,7 - 17,9	15,5
<i>A. cruentus</i>	21	13,0 - 20,6	15,7
<i>A. hybridus</i>	2	13,1 - 14,3	13,7

Fuente: Bressani, 1989.

La proteína del grano está compuesta por un buen balance de aminoácidos esenciales, principalmente lisina que es uno de los aminoácidos estratégicos en la nutrición y los niveles de esta, son superiores a los de todos los cereales, aunque se ha reportado que es deficiente en treonina (Búcaro y Bressani, 2002). Se ha estudiado el contenido de fracciones proteicas en el grano, basada en su solubilidad y se ha reportado que la distribución de proteínas, era de 20.7% de albúminas, 19.2% de globulinas, 2.2% de prolaminas y 49.5% de glutelinas, con una relación entre globulinas y albúminas de 0.95 (Bressani y García –Vela, 1990).

El balance de aminoácidos del amaranto, se acerca mucho a la proteína ideal propuesta por la FAO para la alimentación humana (Tabla 12). Además, la digestibilidad de su grano es del 93%. Por otra parte, la calificación química de *A. hypochondriacus* es de 86 y de 77 en *A. cruentus* (Mújica *et al.*, 1997).

Tabla 12. Contenido de aminoácidos esenciales en la proteína amaranto de la especie *hypochondriacus* (mg de aminoácidos / g de proteína) .

Aminoácido Esencial	<i>A. hypochondriacus</i>	Patrón FAO/OMS
Isoleucina	250	250
Leucina*	388	440
Lisina	401	340
Metionina*	131	220
Fenilalanina	328	380
Treonina*	268	250
Triptofano	84	60
Valina	304	310

Fuente: Mújica *et al.*, 1997. a. FAO/OMS/ONU, 1985 b. Collazos *et al.*, 1975.



PAN DE AMARANTO

Se puede apreciar el alto valor biológico de su proteína comparándola con las calificaciones químicas de la proteína del trigo (49) y soya (74), mientras que las proteínas de origen animal no tienen calificación química por no tener aminoácidos limitantes (Tabla 13).

Tabla 13. Datos de calidad proteica del amaranto y otros alimentos.

Alimento	Calificación Química	Valor Biológico	PER
Amaranto	86	73.0	2.40
Trigo	49	64.7	1.53
Arroz	63	64.0	2.18
Avena	57	64.9	2.25
Maíz	44	59.6	1.18

Fuente: FAO, 1985.

Lo que destaca de la proteína del amaranto es su alto contenido en lisina comparado con otros cereales, lo que permite una excelente complementación de aminoácidos con las proteínas de maíz, arroz y trigo (Tabla 14).

En un estudio realizado por Barba de la Rosa y colaboradores (1992), describen que la composición de aminoácidos de las proteínas constituyentes del grano de amaranto son así: la albúmina es rica en lisina y valina, globulinas ricas en metionina y cisteína; prolamina rica en aminoácidos azufrados y fenilalanina y por último, las glutelinas en leucina, treonina e histidina (Búcaro y Bressani, 2002). El único factor limitante en relación con la harina obtenida de la semilla de amaranto es la ausencia o escaso contenido de gluten (Sánchez –Marroquín, 1983; Yáñez *et al.*, 1994).



PAN DE AMARANTO

Tabla 14. Perfil de Aminoácidos del amaranto y otros granos (mg / 100 mg de alimento).

Cereal Aminoácido	Amaranto	Trigo	Trigo 70-80% ext.	Avena Harina	Arroz	Maíz
1. Isoleucina	695	426	435	526	296	350
2. Leucina	1030	871	840	1012	581	1190
3. Lisina	970	374	248	517	255	254
4. Metionina	344	196	174	234	150	182
5. Cistina	NR	332	304	372	108	147
Total de a.a azufrados (4-5)	344	528	478	606	259	329
7. Fenilalanina	707	589	581	698	342	464
8. Tirosina	657	391	277	459	226	363
Total de a.a aromáticos (7-8)	1364	980	858	1157	568	827
10. Treonina	676	382	321	462	234	342
11. Triptófano	84	NR	128	NR	NR	67
12. Valina	842	577	493	711	408	461
13. Arginina	1449	602	422	876	534	398
14. Histidina	451	299	248	292	165	258
15. Alanina	667	472	367	633	401	716
16. Ac. Aspartico	1624	644	491	1075	673	596
17. Ac. Glutámico	3005	3900	4171	2919	1350	1800
18. Glicina	1703	512	424	656	307	351
19. Prolina	707	1298	1387	723	331	850
20. Serina	1380	600	562	656	329	473

Fuente: FAO, 1970. NR: no reportado



PAN DE AMARANTO

El contenido de lípidos va de 5 a 8% y su aceite es reconocido por ser la fuente vegetal con mayor concentración de escualeno (aproximadamente 6%), un tipo de grasa que hasta ahora se obtenía de tiburones y ballenas; el aceite de amaranto es de buena calidad ya que no contiene colesterol y su rendimiento puede ser superior al del maíz, cereal que se emplea comercialmente como fuente de aceite (Tabla 15).

Tabla 15. Contenido de grasa en distintos granos

Cereal o grano	Contenido de extracto etéreo
Amaranto	7,2
Cebada	2,1
Maíz	4,4
Avena	4,4
Arroz	5,1
Centeno	2,1
Sorgo	3,4
Trigo	1,9

Fuente: García et al., 1987.

Los principales ácidos grasos esenciales presentes en el amaranto en niveles altos son: el ácido oleico y el ácido linoleico (Tabla 16) lo que le confiere una mayor calidad nutricional (Paredes, 2001).

Tabla 16. Perfil de ácidos grasos del amaranto (g/ 100 g de proteína)

Ácido graso	Contenido de grasa
Ácido oleico	29.3
Ácido linoleico	44.0
Ácido palmítico	18.4
Ácido linolénico	1.3
Ácido mirístico	0.2
Ácido miristoleico	0.1
Ácido miristolénico	0.1
Ácido palmitoleico	0.8
Ácido palmitolénico	0.9
Ácido esteárico	3.8

Fuente: Casillas, 1986.



PAN DE AMARANTO

El amaranto también contiene gran cantidad de minerales principalmente calcio, magnesio y hierro.

Tabla 17. Contenido de Minerales en el Amaranto. (mg / 100 g base seca)

Mineral	<i>A. cruentus</i>	<i>A. hypochondriacus</i>
Sodio	31.0	6.7-10.0
Potasio	290	--
Calcio	175	137-167
Magnesio	244	292-363
Hierro	17.4	9.1-21.7
Zinc	3.7	3.6-3.9
Cobre	1.2	0.6-0.8
Manganeso	4.6	1.9-2.9

Fuente: Teutónico y Knorr, 1985.

En cuanto a las vitaminas, el amaranto contiene tiamina, riboflavina, niacina y vitamina C en cantidades similares a las de los cereales, que se distribuyen principalmente en la cáscara (Tabla 18).

Tabla 18. Contenido de Vitaminas en el Amaranto. (mg / 100 g base seca)

Vitamina	<i>A. cruentus</i>	<i>A. hypochondriacus</i>
Tiamina	0.07-0.1	0.25
Riboflavina	0.19-0.23	0.29
Niacina	1.17-1.45	1.15
Ácido ascórbico	4.5	2.8

Fuente: Teutónico y Knorr, 1985.

El amaranto prácticamente no tiene factores antinutrimientales, como las leguminosas u otros granos, como: saponinas, inhibidores de tripsina y taninos, ni compuestos fenólicos. Los oxalatos y nitratos presentes en las hojas no representan un serio problema puesto que pueden eliminarse por medio del lavado (Sánchez- Marroquín, 1983; Paredes, 2001).

Con base en las grandes cualidades nutrimentales del amaranto, descritas anteriormente, en el presente trabajo se decidió usar este grano para elaborar un nuevo producto de alto consumo en nuestro país, como es el pan para mejorar su calidad nutrimental.



PAN DE AMARANTO

2. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una formulación para la elaboración de un pan que tenga como uno de sus ingredientes principales harina de amaranto para mejorar su calidad nutrimental.

OBJETIVO PARTICULAR 1

Evaluar las harinas de (trigo y amaranto) que se utilizarán como materia prima mediante un análisis químico proximal para determinar su calidad química.

OBJETIVO PARTICULAR 2

Evaluar diferentes formulaciones con mezclas de harina de trigo y amaranto por medio de pruebas de textura y calidad del pan (peso, volumen, color) para seleccionar el que tenga mejores características comparadas con un control.

OBJETIVO PARTICULAR 3

Evaluar la calidad nutrimental del pan tipo bolillo elaborado con diferentes formulaciones mediante la cuantificación de triptófano y su análisis químico proximal para determinar en cuál de ellos tiene un mayor aumento.

OBJETIVO PARTICULAR 4

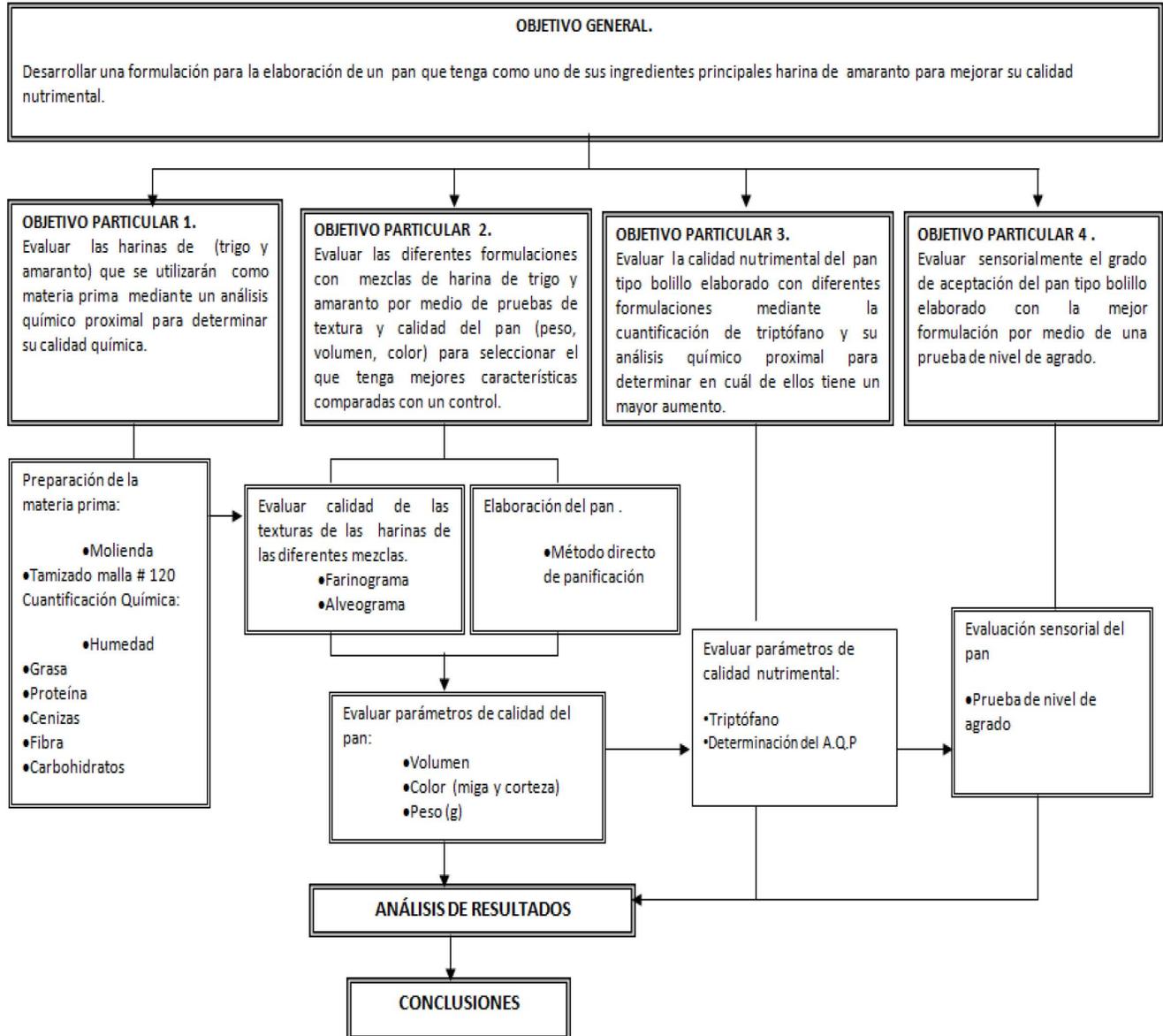
Evaluar sensorialmente el grado de aceptación del pan tipo bolillo elaborado con la mejor formulación por medio de una prueba de nivel de agrado.



PAN DE AMARANTO

3. Metodología de investigación experimental

3.1. Cuadro metodológico





PAN DE AMARANTO

3.2. Preparación de la muestra.

3.2.1. Material biológico.

Se utilizó el grano de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) cosecha 2010 variedad Tulyehualco y harina de trigo marca Selecta.

Los granos de amaranto empleados, fueron sometidos a molienda en un molino de. El producto se tamizo garantizándose pasará por malla 120 serie Tyler (figura 8).



Figura 8. Preparación de la harina de amaranto

3.3 Análisis Químico Proximal.

Se realizó este análisis a la materia prima: harina de trigo, harina de amaranto integral (*Amaranthus hypochondriacus*) y las pruebas fueron; humedad, cenizas, lípidos, proteína (N x 5.85) para amaranto y (N x 5.7) para trigo, fibra cruda y carbohidratos por diferencia, de acuerdo a los métodos propuestos por la AOAC (2000).



PAN DE AMARANTO

3.3.1. Determinación de humedad.

Se determinó el contenido de humedad por el método de secado por estufa; el cual se basa en la eliminación del agua por efecto del calor aplicado a la muestra. Se calculó el contenido de humedad, por la pérdida de peso en la muestra debida a la evaporación del agua por calentamiento a 103 °C, hasta peso constante. El resultado se expresó como porcentaje de humedad.

$$\% H = [(W_2 - W_3) / W_1] \times 100$$

Donde: W_1 = Peso de la muestra (g)

W_2 = Peso de la muestra húmeda (g)

W_3 = Peso de la muestra seca (g)

3.3.2. Determinación de Extracto Etéreo.

El contenido de grasa se determinó por el método Soxhlet; el cual se basa en la solubilidad de las grasas en compuestos no polares como el éter etílico, a partir de muestra libre de humedad. El solvente se elimina por evaporación quedando solo el residuo de grasa. El resultado se expresó como porcentaje de grasa extraíble.

$$\% \text{ Grasa extraíble} = [(W_3 - W_2) / W_1] \times 100$$

Donde: W_1 = Peso de la muestra (g) antes de la desecación

W_2 = Peso del matraz sin grasa (g)

W_3 = Peso del matraz con grasa (g)



PAN DE AMARANTO

3.3.3. Determinación de Proteína.

Se determinó el contenido de proteína por el método de micro Kjeldahl; el cual se basa en la combustión húmeda de la muestra, el producto se digiere con ácido sulfúrico concentrado en presencia de catalizadores metálicos para convertir el nitrógeno orgánico en iones amonio. A la solución de la digestión se le añade álcali y se destila hacia una solución de ácido bórico. El destilado se titula con ácido clorhídrico. El resultado se expresó como porcentaje de proteína.

$$\% \text{ Proteína cruda} = \text{Nitrógeno total} \times (F)$$

$$\text{Nitrógeno total} = (V_2 - V_1) (N) (0.014) / W;$$

Donde: V_1 = Volumen de HCl gastado en la muestra (ml)

V_2 = Volumen de HCl gastado en el blanco (ml)

N = Normalidad del HCl

W = Peso de la muestra (g)

F = Factor de conversión de nitrógeno a proteína (Amaranto= 5.85 y Trigo= 5.7)

3.3.4. Determinación de Cenizas.

El contenido de cenizas totales se determinó mediante la obtención del residuo inorgánico resultante de la calcinación e incineración de la materia orgánica a 530 °C. El resultado se expresó como porcentaje de cenizas totales.

$$\% \text{ Cenizas Totales} = [(W_3 - W_2) / W_1] \times 100$$

Donde: W_1 = Peso de la muestra (g)

W_2 = Peso del crisol sin muestra (g)

W_3 = Peso del crisol con las cenizas (g)



PAN DE AMARANTO

3.3.5. Determinación de Fibra.

Se determinó mediante el método de fibra cruda, este se basa en la digestión ácida y alcalina de la muestra obteniéndose un residuo de fibra cruda y sales después de la calcinación.

$$\% \text{ Fibra cruda} = [(W_2 - W_1) - (W_4 - W_3) / W_5] \times 100$$

Donde: W_1 = Peso del papel filtro a 130° (g)

W_2 = Peso del papel filtro con residuos secos a 130° (g)

W_3 = Peso del crisol vacío (g)

W_4 = Peso del crisol después de la incineración (g)

W_5 = Peso de la muestra previamente desengrasada (g)

3.3.6 Determinación de Carbohidratos.

El contenido de carbohidratos se determinó por diferencia.



PAN DE AMARANTO

3.4. Determinación de Calidad de Textura de la harina.

Para conocer las características de textura de las harinas, se prepararon mezclas de harina integral de amaranto, harina de trigo y gluten vital, de acuerdo con las formulaciones propuestas (tabla 19). Los instrumentos que se emplearon para medir las características de textura fueron; el Farinógrafo y el Alveógrafo (David, 2001; Serna, 1996).

FARINÓGRAFO

El equipo utilizado fue el Farinógrafo Brabender (figura 9).



Figura. 9 Farinógrafo Brabender

Procedimiento:

1. Determinar el contenido de humedad por el método de secado por estufa a 130 °C por 1 hora de la harina por analizar.
2. Encender el equipo e iniciar el programa que controla el farinógrafo.
3. Ingresar los datos de contenido de humedad al sistema y pesar la cantidad de muestra que se indica.
4. Llenar la bureta con agua a 30°C.
5. Colocar la muestra en el tazón del farinógrafo iniciar el equipo por un minuto hasta llegar a la línea del minuto cero. En ese momento empezar a agregar el agua requerida de acuerdo a la absorción de la harina.



PAN DE AMARANTO

6. Cuando se empiece a formar la masa, introducir cuidadosamente por la cubierta plástica del tazón, una espátula de plástico para bajar la masa que se encuentra pegada en las paredes.
7. Observar la curva que se está formando y si está por encima de las 500(UF) unidades formadoras, agregar más agua. Cuando no se tiene información sobre los porcentajes de absorción, se hace una determinación por medio de prueba y error. Por cada 20 UF que se desfase la curva de las 500 UF, aumentar o disminuir la cantidad de agua.
8. En cada prueba agregar toda el agua dentro de los primeros 60 segundos después de abrir la llave de la bureta. Dejar correr el equipo hasta obtener la curva para su interpretación.
9. Una vez terminada la corrida se adiciona harina al tazón del aparato para limpiarlo.

NOTA: Se decidió que el porcentaje de agua agregado para iniciar el amasado, fuera el mismo para todas las muestras (70%).



ALVEÓGRAFO

El equipo utilizado fue el alveógrafo Chopin (figura 10).



Figura 10. Alveógrafo Chopin

Procedimiento

1. Se mezcla una muestra de 250 g. de harina con una solución salina para formar la masa.
2. Se forman 5 tortas circulares de 4.5 cm y se dejan reposar en el alveógrafo en un tratamiento de temperatura regulada a 25°C, aproximadamente 25 minutos.
3. Cada torta de masa se prueba individualmente. El equipo envía aire dentro de la torta de la masa, la cual se expande en una burbuja que acaba por reventar.
4. La presión dentro de la burbuja queda registrada como una curva en el programa.



Figura 11. Procedimiento de uso del alveógrafo Chopin



PAN DE AMARANTO

3.5. Elaboración del pan tipo bolillo.

3.5.1. Método de panificación directo.

Se prepararon lotes de 1000 g de mezclas de harinas para los bolillos de acuerdo a las formulaciones propuestas (Tabla 19).

Tabla 19. Formulaciones propuestas de mezclas de las harinas de amaranto y trigo.

Formulación	1	2	3	4	5	6	7
Harina Integral de Amaranto (%)	0	100	40	50	60	50	60
Harina de trigo (%)	100	0	60	50	40	40	30
Gluten (%)	0	0	0	0	0	10	10

H.A.= Harina Integral de Amaranto, H.T.= Harina de trigo y G= Gluten Vital

Se pesaron los ingredientes :harina , levadura ,mejorante de panificación ,sal, azúcar y agua se mezclaron de 3 min, se adicionó agua a una temperatura de 25 °C y se amasó, el tiempo de amasado fue de 15 min . La masa homogénea se dejó reposar 5 min y posteriormente se cortaron porciones de 190 g cada uno, se rolo y se le dio la forma de bolillo, previamente se agregó un poco de aceite en una charola donde se colocaron los bolillos para que no se pegaran, posteriormente se metieron a la cámara de fermentación a una humedad relativa de 80% y temperatura de 40°C por un tiempo de 25 minutos, se sacó de la cámara y se dejó reposar 5 minutos para después sesgarlo, para darle la forma de bolillo, se horneó durante 10 minutos a una temperatura de 210°C se sacó del horno y se dejó enfriar a temperatura ambiente y se obtiene el producto terminado. El diagrama de proceso se muestra en la figura 12.

PAN DE AMARANTO

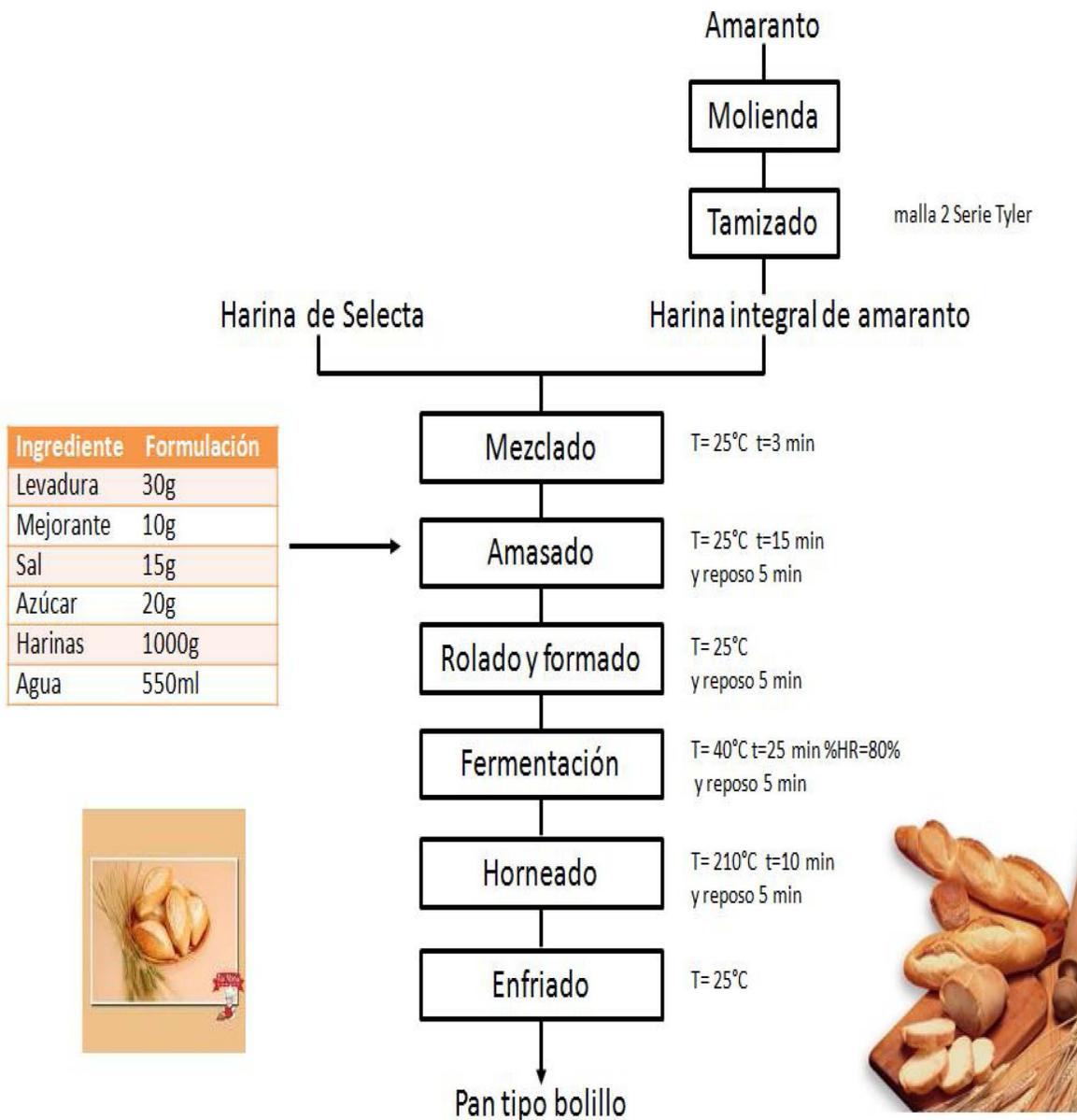


Figura 12. Diagrama de proceso de Elaboración de pan tipo bolillo a base de Trigo -Amaranto- Gluten



PAN DE AMARANTO

3.6. Parámetros de calidad panadera del pan tipo bolillo

Para determinar la calidad panadera de los panes, se realizaron las siguientes pruebas: peso del pan, volumen específico y color (Vaglia 1991).

3.6.1 Peso del pan.

Se realizó la determinación de peso de cada uno de los panes elaborados, usando una balanza digital pce-bsh 10000.

3.6.2. Volumen específico.

La determinación de volumen específico es por desplazamiento de semillas de nabo. En la figura 10 se muestra el equipo de medición de volumen, el bolillo se coloca en un recipiente con tapa que está en la parte superior (figura 13) y se gira 180° y del recipiente del otro extremo caen por gravedad semillas de nabo, las cuales, llenan el recipiente donde está el pan, pero una parte de las semillas queda fuera y su volumen se mide directamente en una probeta que está uniendo a los dos recipientes; este volumen medido es el del pan (Vaglia, 1991).



Figura 13. Equipo para medir el volumen específico del pan

3.6.3. Color.

El color de la corteza y de la miga se determinó con un colorímetro que usa el sistema de medición cromática CIELAB y constituye el diagrama tridimensional L, a, b de Hunter (1958).



PAN DE AMARANTO

Define las coordenadas espaciales del color. En este sistema, iguales distancias son percibidas por iguales diferencias de color. L es el brillo, a y b representan las coordenadas de la cromaticidad.

L: denominado luminosidad, brillo o claridad, es la cantidad de luz incidente que es reflejada por la superficie del pan, también en el migajón o miga. Dentro de un mismo tono o saturación, esta coordenada oscila entre 0 (negro) y 100 (blanco). Para los colores oscuros L es pequeño, dado que se produce una mayor absorción del color y una menor reflexión, mientras que para los valores claros su valor es grande (menor absorción, mayor reflexión); cambios de color producen variaciones en los valores de L.

a: es negativo para el color verde y positivo para el rojo; su valor se incrementa a medida que la coloración aumenta, al desplazarse hacia la parte derecha del diagrama de Hunter.

b: es negativo para el azul y positivo para el amarillo. Al igual que ocurre con L y el tono, una mayor coloración roja implica menores valores de b.

3.7. Determinación de triptófano y Análisis Químico Proximal de los panes

La determinación de triptófano en los panes se realizó de acuerdo con la metodología propuesta por Arrizón, (1987), y la determinación del análisis químico proximal de los panes fue por los métodos propuestos por la AOAC (2000).

3.8. Evaluación Sensorial.

Al pan que fue elaborado con la formulación que tuvo las mejores características de calidad panadera, reológicas y alto porcentaje de proteína, se le realizó una prueba de nivel de agrado Pedrero y Pangbord (1989). Para esta prueba se utilizó una escala no estructurada, también llamada hedónica y 100 jueces no entrenados (Anexo 2).

3.9. Método Estadístico.

Todas las pruebas se realizaron por triplicado y se calculó su promedio, desviación estándar y coeficiente de variación. Para el análisis de los promedios se utilizó la prueba de rango múltiple t-student con un nivel de significancia de 0.05.



PAN DE AMARANTO

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1 Análisis Químico Proximal de la materia prima

Para conocer la composición química de la materia prima y determinar si existían diferencias entre ellas, desde el punto de vista nutricional, se realizó el análisis químico proximal a la harina de trigo (Selecta) y a la harina de amaranto integral. Este análisis mostró que las muestras, el amaranto contenía mayor porcentaje de proteína con respecto al trigo (Tabla 20), la cual se sabe, posee un balance de aminoácidos esenciales que cumple con los requerimientos recomendados para una óptima nutrición humana (FAO/OMS/ONU, 1985), además tuvo mayor cantidad de fibra y grasa, y menor contenido de carbohidratos, lo que confirmó la mayor calidad nutricional del amaranto sobre el trigo.

Tabla 20. Análisis Químico Proximal de la materia prima utilizada en la experimentación.

HARINA	%Humedad	%Grasa	%Cenizas	%Proteína	%Fibra	*%CHOS
Harina trigo Selecta	10.8 ^{a*} +/-0.02	1.18 ^a +/-0.02	1 ^a +/-0.03	11 ^a +/-0.03 †	2 ^a +/-0.07	74.04 ^a
Harina de Amaranto Tulyehualco	8.52^b +/-0.11	7.35^b +/-0.07	1.4^a +/-0.04	16.81^b +/-0.1 ‡	6^b +/-0.05	59.9^b

*Diferentes letras entre los renglones indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$)

†Nx5.83 ‡Nx5.87. *CHOS= Carbohidratos por diferencia

4.2 Pruebas de Textura de las diferentes formulaciones de harinas.

Como usando sólo harina de amaranto no se pudo elaborar el bolillo, fue necesario combinarla con harina de trigo, para que ayudara a mejorar la consistencia del pan, haciéndolo más estable y con un mejor esponjado. Pero como se estableció que, la formulación debía tener como mínimo un 50% de amaranto, para que este grano pudiera complementar la harina de trigo; se decidió agregar gluten vital, para lograr obtener panes con ese porcentaje de amaranto. Para saber el comportamiento reológico de las formulaciones propuestas se sometieron a pruebas en un farinógrafo y en un alveógrafo.



PAN DE AMARANTO

De acuerdo a los resultados obtenidos (tabla 21), se observó que las formulaciones de amaranto sin gluten no lograron desarrollar una masa con la consistencia adecuada y fueron estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$) al control (100% Trigo), la única formulación que tuvo una consistencia estadísticamente igual al control, fue 60%harina de amaranto-30%harina de trigo-10%gluten. Esto fue debido, a la baja cantidad de trigo en las primeras formulaciones, pues es el trigo quien contiene los componentes químicos que le dan consistencia a la masa (Calaveras, 2004) y esto se confirmó porque cuando se adicionó gluten vital a las masas mejoró su consistencia.

Tabla 21. Resultados de pruebas de textura en el Farinógrafo Brabender, de las diferentes formulaciones de harinas propuestas para la elaboración de pan.

HARINA	Consistencia Máxima UF	Tiempo de desarrollo MIN.	Estabilidad MIN.	Índice de tolerancia (MTI) UF	Tiempo de ruptura MIN.	% de H ₂ O Absorción
100% H.T.	489^{a*}	2.7^a	8.9^a	30^a	7^a	57.7^a
100% H.A.	310 ^b	3.2 ^b	0 ^b	60 ^b	3.2 ^b	65.5 ^b
40%H.A. - 60% H.T.	261 ^c	2.9 ^a	2.9 ^c	0 ^c	15 ^c	64.5 ^b
50%H.A. - 50% H.T.	186 ^d	0.4 ^c	0 ^d	53 ^d	0.4 ^d	45,2 ^c
60%H.A. - 40%H.T.	182 ^d	0.4 ^c	0 ^d	25 ^e	0.4 ^d	45,1 ^c
50%H.A-40%H.T. -10%G.	370 ^e	11. ^d	6.6 ^e	0 ^c	15 ^c	68.3 ^b
60%H.A-40%H.T. -10%G.	430^{ae}	6.7^e	3.8^f	53^d	9.7^e	68.8^b

*Diferentes letras entre los renglones indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

La influencia del gluten se puede ver al analizar otros parámetros como la estabilidad, en la que se observa que las formulaciones más parecidas al control son las dos que contienen gluten vital y algo similar ocurre con la absorción de agua y en menor medida con el tiempo de ruptura. Lo que observamos con estas pruebas, es que las formulaciones con amaranto son más tenaces a medida que aumenta el contenido de este grano y que las formulaciones 60%harina de amaranto-30%harina de trigo-10%gluten y 50%harina de amaranto-40%harina de trigo-10%gluten son mejores.



PAN DE AMARANTO

Los resultados del alveógrafo se muestran en la tabla 22 y se observó que la mayoría de las formulaciones fueron estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$) al control, en los parámetros evaluados. La tenacidad (P) de las formulaciones sin gluten vital estuvieron por debajo del control y las formulaciones con gluten vital son mayores, lo que indica que estas últimas masas tienden a ser tenaces.

Tabla 22. Resultados de pruebas de textura en el alveógrafo de las diferentes formulaciones de harinas empleadas en la elaboración de pan.

HARINA	P (mmH ₂ O)	L (mm)	G	W (10E -4J)	P/L
100% H.T	98^a	89^a	21^a	311^a	1.10^a
100% H.A	92 ^a	15 ^b	8.6 ^b	79 ^b	6.13 ^b
40%H.A - 60% H.T	51 ^b	50 ^c	15.7 ^c	95 ^c	1.02 ^a
50%H.A - 50% H.T	108 ^c	16 ^b	8.9 ^b	78 ^b	6.75 ^b
60%H.A - 40%H.T	96 ^a	50 ^c	15.7 ^c	29 ^d	1.92 ^c
50%H.A-40%H.T-10%G	119 ^d	40 ^d	14.1 ^d	188 ^e	2.97 ^d
60%H.A-40%H.T -10%G	148^e	31^e	12.4^e	190^e	4.77^e

*Diferentes letras entre los renglones indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

La elasticidad (L) de todas las formulaciones fue menor que la harina control; el trabajo en la harina control (W) fue mayor que las formulaciones sin gluten, que fueron muy flojas y no son muy buenas para la panificación (Calaveras, 2004), mientras que las formulaciones con gluten vital tuvieron valores de trabajo (W) mayores que el control lo que las hace masas más tenaces y de mejor calidad panadera. Lo que se puede decir es, que las formulaciones con gluten vital son mejores para la panificación.



PAN DE AMARANTO

4.3. Elaboración de pan por el método directo

En la tabla 23 se muestran las formulaciones que se emplearon para la elaboración de los bolillos. Se puede observar que la cantidad de levadura adicionada al control, fue menor a la usada en las otras formulaciones, esto se hizo para mejorar la fermentación y la producción de CO₂, por que las masas son más tenaces, como lo muestran los resultados de textura (tabla 21), y se necesitará mayor fuerza para aumentar el volumen del pan.

Tabla 23. Formulaciones evaluadas para la elaboración del pan tipo bolillo

Ingrediente/ Formulación (g)	Base 100%H.T	40%H.A 60%H.T	50%H.A 50%H.T	60%H.A 40%H.T	50%H.A. 40%H.T 10%G	60%H.A 30%H.T 10%G
Levadura	30g	40g	40g	40g	40g	40g
Mejorante	10g	10g	10g	10g	10g	10g
Sal	15g	15g	15g	15g	15g	15g
Azúcar	20g	-	-	-	-	-
Harinas	1000g	1000g	1000g	1000g	1000g	1000g
Agua	550ml	550ml	550ml	600ml	630ml	630ml

Además, solo se adicionó azúcar en la formulación control, porque se observó que la masa empezaba a agrietarse, y probablemente este agrietamiento se debía a una disminución en el contenido de agua, porque esta interactúa con la azúcar (Hoseney , 1991). En la figura 14 se muestra en imágenes el proceso de elaboración del pan, el cual se realizó por el método directo.



Figura 14. Proceso de panificación

Se hicieron los panes tipo bolillo con las formulaciones, pero las que no contenían gluten vital tuvieron la forma pero no el volumen característico de un bolillo, además tenían un agrietamiento, que fue más visible conforme se aumentó el contenido de harina de amaranto; mientras que las formulaciones a las que se les agregó gluten vital, mejoraron su volumen y consistencia, además disminuyó el agrietamiento (tabla 24). Estos datos refuerzan los resultados de las características de las masas (tabla 21), que mostraron que las formulaciones con gluten vital fueron mejores.



Figura 15. Imágenes de las muestras de los panes tipo bolillo preparados con las formulaciones propuestas.



PAN DE AMARANTO

4. 4 Parámetros de Calidad del pan tipo bolillo.

Para determinar la calidad panadera de los panes tipo bolillo, se realizaron las siguientes pruebas: peso del pan, volumen específico y color (Vagilia 1991). Para la calidad nutrimental se realizó la determinación de triptófano (Arrizon, 1987) y el análisis químico proximal.

4.4.1 Peso del pan.

En la tabla 24 se muestran los resultados de los pesos del pan, en ellos se observó que el control tuvo el menor peso, y que las formulaciones con amaranto fueron estadísticamente ($P \leq 0.05$) iguales. El mayor peso de los panes con amaranto, podría deberse a que la harina de amaranto le proporcionó mayor fuerza al gluten (tabla 22) y esto provoca que disminuya la pérdida de agua durante el horneado, donde normalmente se pierde agua (Belitz, 1997) y por esta razón el peso de estos bolillos fue mayor que el del control (Vagilia, 1991).

Tabla 24. Resultados de peso del pan tipo bolillo elaborado con las diferentes formulaciones.

Formulación	Peso (g)
100 H.T	120.23 ^a +/- 0.86
40%H.A-60%H.T	163.03 ^b +/- 1.67
50%H.A-50%H.T	159.48 ^b +/- 0.81
60%H.A-40%H.T	159.73 ^b +/- 1.86
50%H.A-40%H.T-10%G	155 ^b +/- 1.69
60%H.A-30%H.T-10%G	162^b +/- 1.05

H.A=Harina de amaranto, H.T= Harina de trigo y G=Gluten vital

*Diferentes letras entre columnas indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$)

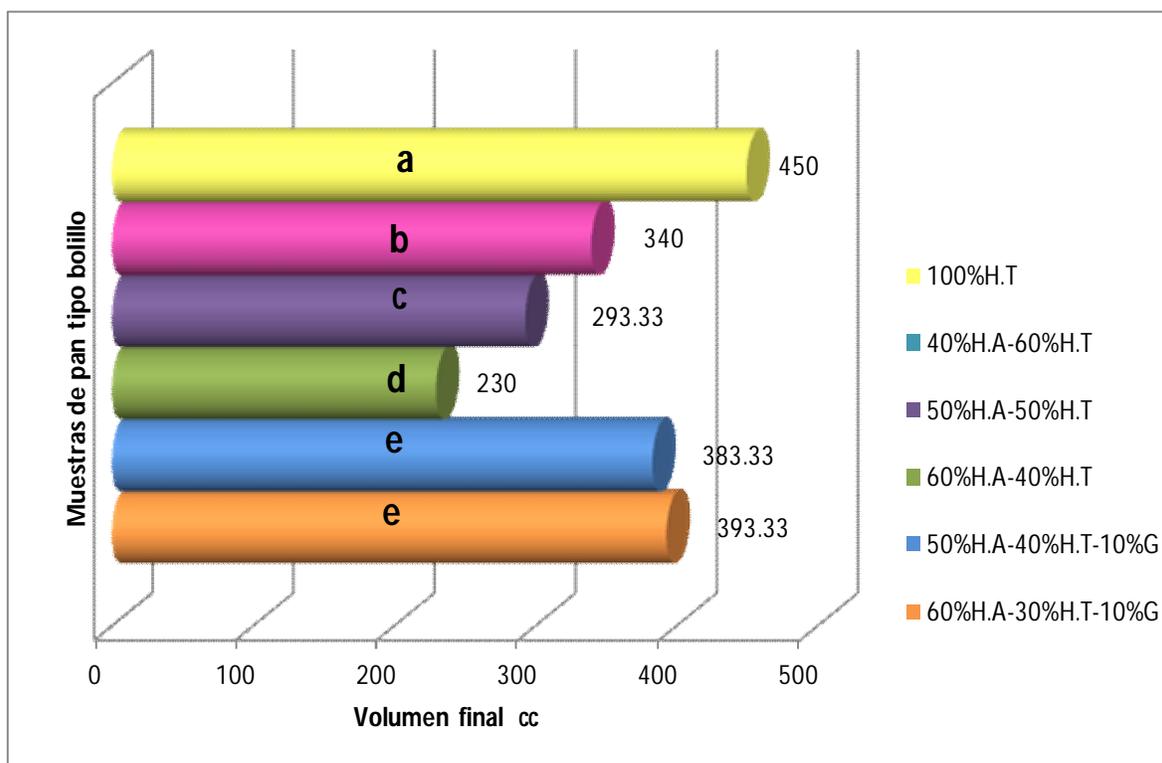
4.4.2. Volumen del pan.

El volumen es un parámetro de calidad en la industria de la panificación muy importante en los bolillos (Vagilia, 1991). Los resultados muestran que el volumen disminuyó conforme aumenta el contenido de amaranto (figura 16) pero solo en las formulaciones sin gluten vital; porque en estas



PAN DE AMARANTO

formulaciones, el volumen es parecido al control. Por lo tanto, podemos decir que las mejores formulaciones fueron: 50% Harina de Amaranto-40%Harina de Trigo-10%Gluten y 60% Harina de Amaranto-30% Harina de Trigo -10% Gluten y entre estas dos formulaciones no existió diferencia significativa ($P \leq 0.05$).



*Diferentes letras entre las barras indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

Figura 16. Volumen de los panes tipo bolillo elaborados con las diferentes formulaciones

En la tabla 26 se muestran los resultados del volumen específico de los panes, el cual fue calculado mediante la relación de volumen entre peso. El volumen específico del pan se redujo en la medida que se incrementó el nivel de sustitución de la harina de amaranto en la formulación, pero nuevamente el gluten ayudó a recuperarlo, seguramente porque este es responsable de atrapar el dióxido de carbono liberado durante la fermentación y provocar el 'hinchamiento' de la masa en la fermentación (Vagilia, 1991). Nuevamente las mejores formulaciones 50% Harina de Amaranto-40%Harina de Trigo-10%Gluten y 60% Harina de Amaranto-30% Harina de Trigo -10% Gluten.



PAN DE AMARANTO

Tabla 25 Resultados de peso del pan tipo bolillo elaborado con las diferentes formulaciones.

Formulación	Peso (g)	Volumen (cc)	Volumen específico (cc / g)
100 H.T	120.23 ^a +/- 0.86	455 ^a +/- 0.405	3.78 ^a
40%H.A-60%H.T	163.03 ^b +/- 1.67	340 ^b +/- 0.001	2.08 ^b
50%H.A-50%H.T	159.48 ^b +/- 0.81	293.33 ^c +/- 0.573	1.83 ^c
60%H.A-40%H.T	159.73 ^b +/- 1.86	230 ^d +/- 0.816	1.43 ^d
50%H.A-40%H.T-10%G	155 ^b +/- 1.69	383.33 ^e +/- 0.539	2.47 ^e
60%H.A-30%H.T-10%G	162^b +/- 1.05	393.33^e +/- 0.577	2.47^e

H.A=Harina de amaranto, H.T= Harina de trigo y G=Gluten

*Diferentes letras entre las barras indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

4.4.3. Color del pan.

Se midieron los parámetros L, a, b de la escala Hunter en la corteza y en la miga del pan con las seis formulaciones mencionadas. En la tabla 26 se muestran los parámetros de color.

Tabla 26. Parámetros de color obtenidos en el colorímetro LAB de la Corteza y Miga de pan tipo bolillo elaborados con las diferentes formulaciones.

Serie	Corteza		
	L	A	B
100 H.T	51.64 +/- 5.96	11.83 +/- 2.219	26.858 +/- 2.736
40%H.A-60%H.T	55.74 +/- 1.763	13.84 +/- 0.716	28.150 +/- 0.657
50%H.A-50%H.T	53.73 +/- 1.311	13.33 +/- 0.303	25.93 +/- 0.556
60%H.A-40%H.T	55.21 +/- 1.39	12.93 +/- 0.471	26.93 +/- 1.359
50%H.A-40%H.T-10%G	54.53 +/- 1.117	12.79 +/- 0.246	23.97 +/- 1.442
60%H.A-30%H.T-10%G	54.03 +/- 1.89	12.47 +/- 0.3830	22.96 +/- 1.214
Serie	Miga		
	L	a	B
100 H.T	65.54 +/- 2.177	-1.29 +/- 0.106	8.11 +/- 0.398
40%H.A-60%H.T	64.79 +/- 1.656	2.51 +/- 0.125	20.39 +/- 0.329
50%H.A-50%H.T	64.91 +/- 0.835	2.50 +/- 0.077	20.35 +/- 0.481
60%H.A-40%H.T	58.29 +/- 1.159	2.52 +/- 0.291	19.16 +/- 0.783
50%H.A-40%H.T-10%G	62.85 +/- 2.984	2.50 +/- 0.583	19.13 +/- 0.497
60%H.A-30%H.T-10%G	64.56 +/- 1.786	2.31 +/- 0.195	19.24 +/- 0.441



PAN DE AMARANTO

En esta tabla se puede observar que, la luminosidad (L) de la corteza del pan control es semejante a la de las demás formulaciones. Con respecto a los parámetros (a) y (b) indican que el control se aproxima a colores café-anaranjado y la formulación 60% Harina de Amarantho-10%Gluten -30% de Harina de trigo tiende a colores marrón y tonos amarillos rojizos que en conjunto dan un color café-anaranjado característico de los panes integrales (Vagilia, 1991).

Con respecto a la luminosidad (L) en la miga del pan control, se observa que tiende a los tonos grises más oscuros y esta luminosidad es semejante a las demás formulaciones. Mientras que, los parámetros (a) y (b) del control son diferentes a los de las otras formulaciones.

Se puede concluir que el color de la corteza del pan control es parecido al de los otros panes, pero la miga es diferente entre el control y las otras formulaciones.

4.4.4. Determinación de triptófano

La proteína del grano de amaranto está compuesta por un buen balance de aminoácidos esenciales, principalmente lisina y triptófano estos son aminoácidos estratégicos en la nutrición y su contenido en el amaranto es superior a los cereales (Búcaro y Bressani, 2002). Se midió el contenido de triptófano porque es el aminoácido que se encuentra en menor concentración en el amaranto, además es sensible a altas temperaturas y es importante corroborar si tolera el proceso de horneado (Calaveras, 2004), por lo tanto, el comportamiento de este aminoácido en el pan, nos podrá sugerir el comportamiento de los demás, es decir, si el contenido de triptófano aumenta, seguramente el contenido de los demás aminoácidos esenciales aumentará.

Los resultados de la determinación de triptófano se muestran en la tabla 27. Como se puede observar, en la harina de amaranto se obtuvo el valor más alto de triptófano y el más bajo fue para el pan elaborado solo con trigo. En las formulaciones con amaranto, el contenido de triptófano fue aumentando conforme se aumentaba la proporción de esta harina. Las formulaciones con 60% de amaranto, con gluten y sin gluten vital, tuvieron el contenido de triptófano más alto y no hubo diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre ellas, pero aunque el contenido de triptófano no haya variado en estos panes, se consideró que la formulación con gluten fue la mejor, tomando en cuenta los resultados presentados anteriormente como: las características panaderas, apariencia de los bolillos, peso y volumen (tablas 24-26, figura 15-16) y



PAN DE AMARANTO

la consistencia de la masa (tabla 21), en los que se observó que la mejor formulación fue: 60% Harina de Amaranto -30% de Harina de trigo-10%Gluten.

Tabla 27. Contenido de Triptófano en las muestras elaboradas con diferentes formulaciones de pan tipo bolillo

MUESTRA	g Try /100g Proteína
Harina de amaranto	1.24^a ±0.06
Pan 100% H.T	0.74 ^b ±0.096
Pan 40%H.A-60%H.T	0.908 ^c ±0.067
Pan 50%H.A-50%H.T	0.945 ^c ±0.022
Pan 60%H.A-40%H.T	1.12 ^d ±0.02
Pan 50%H.A-40%H.T-10%G	0.87 ^{bc} ±0.017
Pan 60%H.A-30%H.T-10% G	1.10^d±0.073

*Diferentes letras entre las barras indican diferencia significativa (P ≤ 0.05).
H.A=Harina de amaranto, H.T= Harina de trigo y G=Gluten vital

El **triptófano** es un aminoácido esencial, precursor de la serotonina, melatonina y vitamina B3. Este nutriente es importante para la estructura y función de las proteínas, participa en la producción de neurotransmisores, mantiene el sistema inmune en óptimas condiciones, es necesario para la producción de vitamina B3, inhibe el dolor, ayuda a mantener un peso corporal saludable, previene el síndrome carcinoide y equilibra el consumo de hidratos de carbono (Belitz, 1997).

4.5. Análisis químico proximal de los panes

Por otra parte se realizó el análisis químico proximal a las muestras de pan tipo bolillo elaborados con las diferentes formulaciones (Tabla 28), para complementar los resultados de triptófano y determinar la calidad nutrimental de las diferentes formulaciones.



PAN DE AMARANTO

Tabla 28. Resultados del análisis químico proximal de las muestras elaborados con las diferentes formulaciones de pan tipo bolillo

Muestra de pan tipo Bolillo	Componente					
	Humedad	Proteína	Grasa	Cenizas	Fibra	Chos
100 H.T	7.09 ^a +/-0.016	10.35 ^{a*} +/-0.021	3.36 ^a +/-0.021	3.1 ^a +/-0.026	72.64 ^a	72.64 ^a
40%H.A60%H.T	9.75 ^b +/-0.04	10.61 ^a +/-0.181	2.54 ^b +/-0.087	3.59 ^a +/-0.049	6.20 ^b +/-0.087	67.31 ^b
50%H.A50%H.T	8.54 ^{ab} +/-0.016	11.25 ^{ab} +/-0.007	2.91 ^b +/-0.043	3.8 ^a +/-0.048	6.20 ^b +/-0.089	67.29 ^b
60%H.A40%H.T	9.27 ^b +/-0.064	12.96 ^b +/-0.052	3.02 ^{ab} +/-0.034	3.99 ^a +/-0.001	4.96 ^c +/-0.088	65.79 ^b
50%H.A-40%H.T-10%G	6.77 ^{ae} +/-0.048	18.75 ^c +/-0.0143	3.03 ^{ab} +/-0.037	3.56 ^a +/-0.004	7.60 ^{bd} +/-0.035	60.28 ^b
60%H.A-30%H.T10%G	11.87^c+/-0.014	20.4^c+/-0.014	4^c+/-0.032	2.86^{ab}+/-0.072	6.73^b+/-0.042	54.11^c

*Diferentes letras entre columnas indican diferencia estadísticamente significativa (P≤ 0.05). **CHOS= Carbohidratos por diferencia
H.A=Harina de amaranto, H.T= Harina de trigo y G=Gluten vital

En los panes tipo bolillo elaborados con las formulaciones propuestas, se puede observar un incremento en el porcentaje de proteína al aumentar la proporción de amaranto en las formulaciones y la que mayor porcentaje tuvo fue la formulación con 60% de Harina de amaranto 10% Gluten y 30% de Harina de trigo (tabla 28), resultados que coinciden con el comportamiento del triptófano. El contenido de grasa, también es mayor en la formulación antes mencionada y esto es benéfico por la calidad de los ácidos grasos contenidos en el amaranto como el ácido oleico, y el ácido linoleico, además por la cantidad importante de escualeno que contiene esta grasa (Bressani, 1989), porque es un compuesto conocido por su papel clave como intermediario en la biosíntesis del colesterol y además tiene propiedades antioxidantes (Becerra, 2000). En cuanto al contenido de fibra, los porcentajes más altos los tienen las formulaciones con gluten vital, esto es importante porque la fibra, además de captar agua, es capaz de disminuir y ralentizar la absorción de grasas y azúcares de los alimentos (índice glicémico), lo que contribuye a regular los niveles de colesterol y de glucosa en sangre y aceleran el tránsito intestinal (Bressani 1989; Belitz, 1997). Por lo tanto, todos los resultados mostrados junto con el triptófano, nos llevan a concluir que el pan elaborado con la formulación: 60% de Harina de amaranto 30% de Harina de trigo y 10% Gluten, es el de mejor calidad nutrimental y está por arriba de la calidad nutrimental del pan tradicional elaborado con trigo.



PAN DE AMARANTO

4.6. Prueba de Nivel de Agrado.

La prueba de nivel de agrado tiene como objetivo conocer de acuerdo a un criterio sensorial si la muestra escogida como la mejor: 60% de Harina de amaranto 30% de Harina de trigo y 10% de gluten vital, es aceptada o no por los consumidores. Con esta medición se intenta cuantificar la preferencia de los sujetos por un producto, midiendo cuánto les gusta o les disgusta, es decir, el grado de satisfacción.

Esta prueba se realizó con 100 jueces no entrenados, a los cuales, se les dio a probar el pan (figura 17) y posteriormente contestaron un cuestionario (Anexo 2). El resultado de esta prueba indicó, que el sabor del pan fue aceptado por un 72% de los jueces afectivos y la calificación promedio obtenida fue de 7.2 (Tabla 29). Esto nos indica que la aceptación es buena y que nuestro producto es aceptado (Anexo 3).

Tabla 30. Evaluación Sensorial aplicada al pan elaborado con la mejor formulación de amaranto mediante una prueba de nivel de agrado.

Pan	# DE JUECES	CALIFICACIÓN	% DE ACEPTACIÓN
Amaranto-Trigo-Gluten 60%-30%-10%	100	7.198	71.98



Figura 17. Prueba sensorial de Nivel de Agrado.



PAN DE AMARANTO

Como parte de la prueba, también se le pidió al juez que anotara un breve comentario del porqué de su decisión; y el resultado fue que el pan tenía un sabor agradable muy similar a los panes integrales y opiniones positivas con respecto al olor, color y textura (Anexo 4).

Esto nos lleva a concluir que la formulación 60% de Harina de amaranto 30% de Harina de trigo y 10% Gluten, además de tener buena calidad panadera y mejor calidad nutrimental que un bolillo de trigo, si fue aceptado por los consumidores, lo cual representa una oportunidad para que este alimento pueda contribuir a combatir la obesidad en nuestro país.



CONCLUSIONES

- Se logró caracterizar las harinas de trigo y amaranto que se utilizaron como materia prima, mediante el análisis químico proximal se evaluó la calidad de su composición química y el amaranto utilizado como materia prima fue de mejor calidad nutrimental que la harina de trigo comercial que se usa para la elaboración de pan tipo bolillo .
- Fueron evaluadas las diferentes formulaciones con mezclas de harina de trigo y amaranto por medio de pruebas de textura y calidad del pan (peso, volumen, color) y se logró sustituir a la harina de trigo por harina de amaranto para la elaboración de pan bolillo hasta en un 60%, obteniendo un producto con buenas características de calidad panadera como; peso, volumen, color y una buena textura de la harina, aunque es importante señalar que para lograrlo se tuvo que adicionar gluten vital.
- Fue evaluada la calidad nutrimental del pan tipo bolillo, elaborado con la mejor formulación: 60% harina de amaranto – 10% gluten vital – 30% harina de trigo, mediante la cuantificación de triptófano y un análisis químico proximal y se concluyó que se logró incrementar su calidad nutrimental, porque aumentó el contenido de proteína y su calidad al incrementar la concentración de triptófano, además de su contenido de grasa, fibra y minerales.
- Se evaluó sensorialmente el grado de aceptación del pan tipo bolillo elaborado con la mejor formulación por medio de una prueba de nivel de agrado. El pan fue aceptado por el consumidor y obtuvo una calificación de 7.2 en una escala del 1 al 10.
- Esto nos lleva a concluir que el producto desarrollado en este trabajo puede representar una opción para contribuir a combatir la problemática de la mala nutrición en nuestro país.



RECOMENDACIONES

Aunque el triptófano es un aminoácido que sirvió como indicador del comportamiento de los aminoácidos esenciales en el producto elaborado en este trabajo, se recomienda realizar el perfil de aminoácidos en los bolillos para conocer con certeza su contenido.

También sería importante realizar la determinación del índice de eficiencia proteica (PER) y su digestibilidad *in vivo* del bolillo, para complementar la información nutrimental del producto.

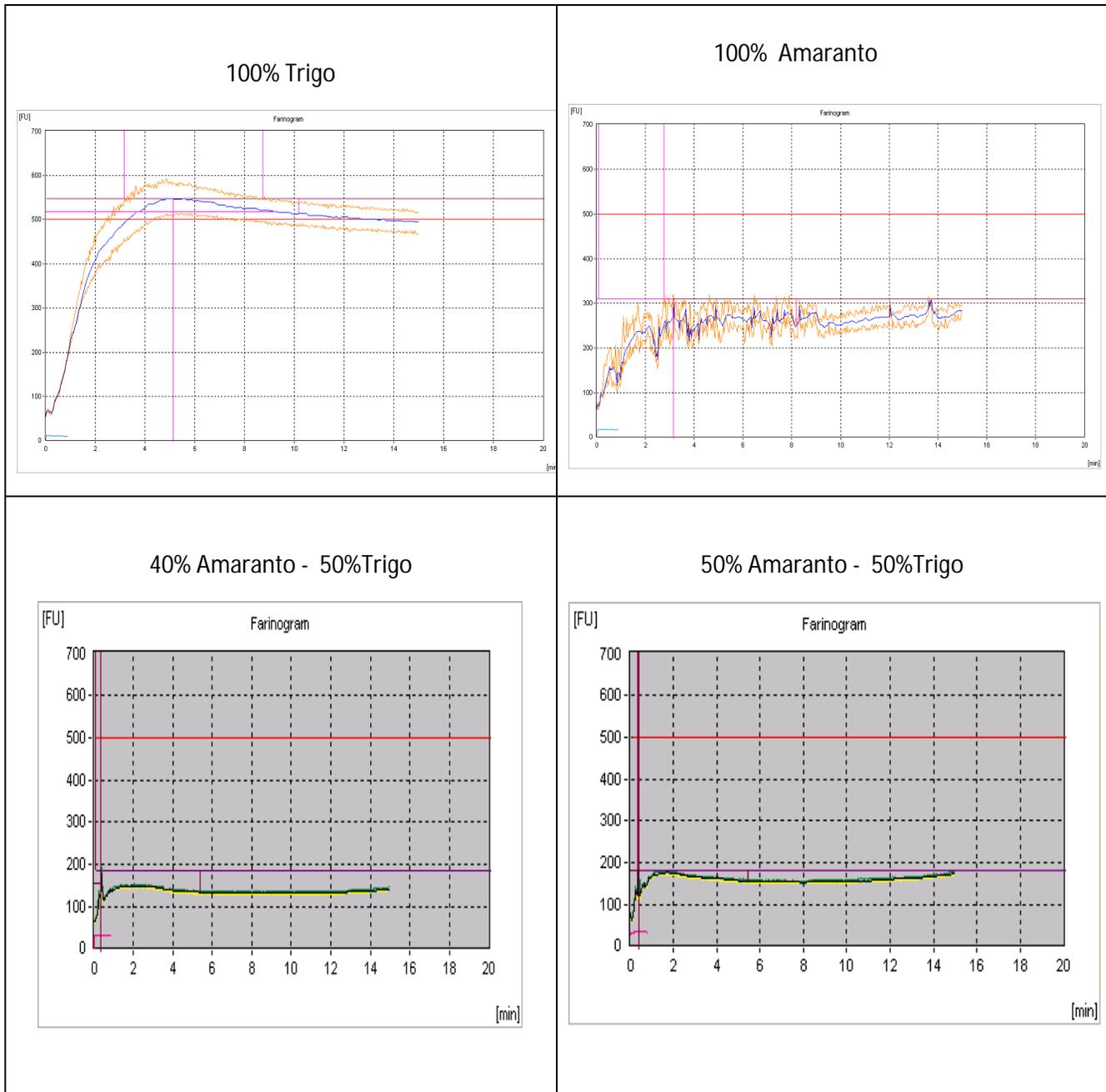
Por último, se recomienda realizar un estudio de factibilidad financiera de este producto para poder explorar la posibilidad de producirlo a nivel industrial y/o proponer su elaboración a los productores de amaranto.



ANEXOS

ANEXO 1

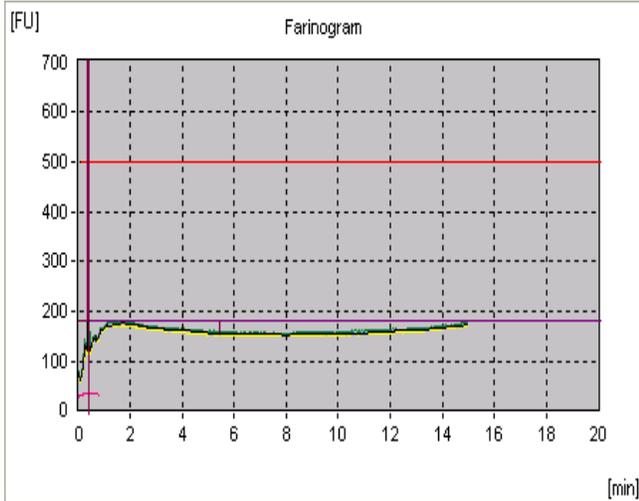
I. Farinogramas de mezclas al 70% de absorción de agua.



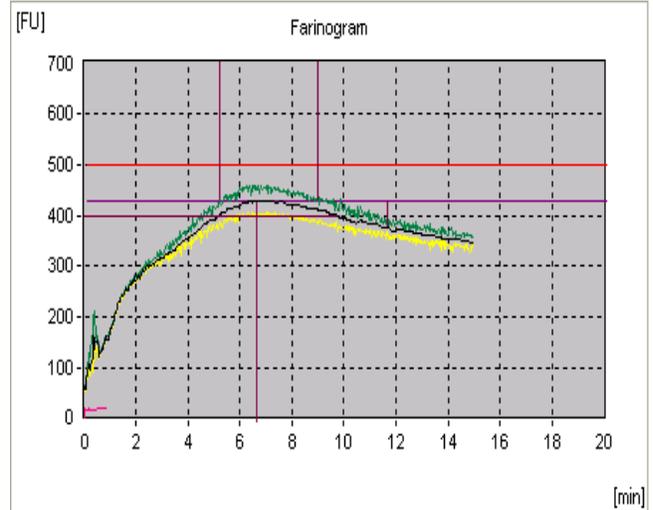


PAN DE AMARANTO

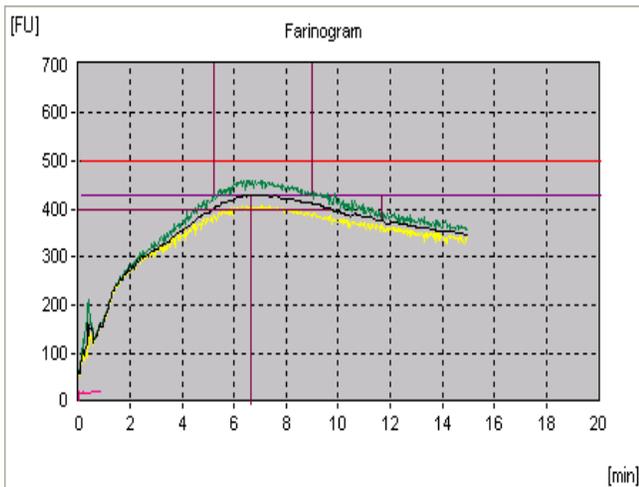
60% Amaranto - 40%Trigo



60% Amaranto - 30%Trigo -10% Gluten



50% Amaranto - 40%Trigo -10% Gluten





PAN DE AMARANTO

ANEXO 3

I. HOJA DE VACIADO DE DATOS

Prueba de Nivel de Agrado para pan 60% de Harina de Amaranto 10% Gluten y 30% Harina de trigo

Escala de Calificación: -5= DISGUSTA MUCHO A 5= GUSTA MUCHO Para traducir de 0 a 10 centímetros.

JUEZ (n)	CALIFICACIÓN	JUEZ (n)	CALIFICACIÓN	JUEZ (n)	CALIFICACIÓN
1	10	35	8.8	69	6.4
2	10	36	8.7	70	6.4
3	10	37	8.7	71	6.2
4	10	38	8.6	72	6
5	10	39	8.6	73	5
6	10	40	8.5	74	5
7	10	41	8.5	75	5
8	10	42	8.5	76	5
9	10	43	8.3	77	5
10	10	44	8.2	78	5
11	10	45	8.2	79	5
12	10	46	8	80	5
13	10	47	8	81	5
14	10	48	8	82	5
15	10	49	7.8	83	5
16	10	50	7.8	84	5
17	10	51	7.8	85	4.2
18	10	52	7.8	86	4
19	10	53	7.8	87	4
20	10	54	7.7	88	4
21	10	55	7.5	89	3.8
22	10	56	7.4	90	3.3
23	10	57	7.2	91	3
24	10	58	7.2	92	3
25	10	59	7	93	3
26	10	60	7	94	3
27	9.5	61	6.9	95	2
28	9.5	62	6.8	96	2
29	9.5	63	6.8	97	0
30	9.4	64	6.7	98	0
31	9.3	65	6.6	99	0
32	9.2	66	6.6	100	0
33	9.1	67	6.5	-	-
34	9	68	6.5	-	-

SUMATORIA: 719.8

PROMEDIO: 7.19

% DE ACEPTACIÓN: 71.98

PAN DE AMARANTO



ANEXO 4

Descriptores obtenidos en la evaluación sensorial.

Características positivas

Sabor	Consistencia	Textura	Olor	Color
Agradable	Bueno	Buena	Bueno	Bueno
Bueno		Suave		
Rico		Crujiente		
Integral		Agradable		

Características negativas

Sabor	Consistencia	Textura	Olor	Color
Malo	Apelmazado	No agradable	-	-
Simple	Pastoso	Chicloso		
Amargo	No cocido	Gomoso		
Húmedo				
salado				
indiferente				



REFERENCIAS

- A.O.A.C. 2000. Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists. Cunnif, P., Published by AOAC International, Edition, USA.
- Aphalo P., Castellani O.F., Martínez E.N. y Añón M.C. 2004. Surface Physicochemical Properties of Globulin-P Amaranth Protein. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 52 (3): 616-622.
- Arrizon L. V., Slocum R, Leep. (1987). Expanded protein hydrolyzate analysis system 63007300. Application Notes No A630-AN-007, Palo Alto California: Spinco Division of Beckman Instruments Inc.
- Becerra Rosalba. 2000. El Amaranth. Boletín Bimestral de la Comisión Nacional para el conocimiento de la Biodiversidad. 5 (30): 1-6.
- Belitz H.D y Grosch W. 1997. Química de los Alimentos. Ed. Acribia. Zaragoza, España.
- Brenan P., Castellani O.F., Martínez E.N. y Añón M.C. 1990. Surface Physicochemical Properties of Globulin-P Amaranth Protein.
- Bressani R. 1989. The proteins of the grain Amaranth. Foods Reviews International 51: 1338.
- Bressani R. y García-Vela L. A. 1990. Protein fractions in Amaranth grain and their Chemical Characterización. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 38(5): 1205-1209
- Calaveras J. 2004. Nuevo Tratado de Panificación y Bollería. AMV Ediciones. Madrid, España. Segunda Edición.
- Casillas G. F. 1986. Importancia de la semilla. Primer Seminario Nacional del Amaranth. Chapingo, México. 289-299.
- Charley Helen. 2000. Tecnología de Alimentos, Procesos Químicos y Físicos en la preparación de alimentos. Ed. Limusa, S.A. de C.V. Grupo Noriega, México
- David A. V. Dendy. 2001. Cereales y productos derivados. Química y Tecnología. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza, España.
- Desrosier N. W. 1989. Elementos de Tecnología de Alimentos. Ed. Continental. México.
- FAO/OMS/ONU. 1985. Necesidades de energía y proteínas. OMS, Ginebra. Serie de Informes Técnicos No. 724



PAN DE AMARANTO

- García L. A., Alfaro M. A. y Bressani R. 1987. Digestibility and nutritional-value of crude-oil from three amaranth species. J Amer. Oil Chem. Soc. 64: 371-375.
- Giovanni R. K. 1991. Tecnología de los Cereales. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza, España.
- Han-Ping H. y Corke H. 2003. Oil and Squalene in Amaranthus Grain and Leaf. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 51 (27): 7913-7920.
- Hosene R. C. 1991. Principios de Ciencia y Tecnología de los Cereales. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza, España.
- REVISIA Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI (2009). Fecha de consulta: 23 de noviembre 2010. Disponible en: <http://dgcnesyp.inegi.org.mx/cgi-win/bdieintsi.exe/ACT>.
- Irving, D.W., Betschart A. A. y Saunders R.M. 1981. Morphologic studies on *Amaranthus cruentus*. J. Foods Science 46: 1170-1173.
- Kill R. C. y Turnbullk. 2004. Tecnología de la elaboración de pasta y sémola. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza, España.
- Matz S. A. 1991. The Chemistry and Technology of Cereals as Food and Feed. Editorial Avi Book, Estados Unidos. 2a. edición.
- Mújica S. Á., Berti D. M. e Izquierdo J. 1997. El cultivo del amaranto (*Amaranthus spp.*): producción, mejoramiento genético y utilización. FAO, Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Fecha de consulta: 06 de Julio 2011. Disponible en: <http://www.rlc.fao.org/prior/segalim/prodalim/producg/cdrom/contenido/libro01/home/-htm>
- Nieto, C. 1990. El cultivo de amaranto (*Amaranthus spp*) una alternativa agronómica para Ecuador. INIAP, EE. Santa Catalina. Publicación Miscelánea No. 52 Quito, Ecuador.
- NOM-147-SSA1-1996. Norma Oficial Mexicana. Cereales y sus productos. harinas de cereales, sémolas o semolinas. alimentos a base de cereales, de semillas comestibles, harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. productos de panificación. disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales.
- NMX-F-521-1992. Alimentos y productos de Panificación.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 1970. Contenido en Aminoácidos de los Alimentos y Datos Biológicos sobre las Proteínas. FAO: Estudios sobre nutrición. No. 24. Roma.



PAN DE AMARANTO

- Paredes-López, O., Barba de la Rosa A. P., Hernández D. y Carabez A. [s.f.]. Amarantho. Características alimentarias y aprovechamiento agroindustrial. Secretaría General de la Organización de las Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washinton, D.C.
- Paredes-López O. 2001. De ofrenda de los dioses a cultivo olvidado, Alimentos mesoamericanos: el amaranto. Fecha de consulta: 23 Marzo del 2011. Disponible en: www.jornada.unam.mx/2001/oct01/011022/cien-paredes.html.
- Pedrero F. D. y Pangbord R. M. 1989. Evaluación sensorial de los alimentos, Métodos Analíticos. Ed. Alambra Mexicana, S.A. de C.V. Primera Edición.
- Primo Y. 1987. Química Agrícola III. Alimentos. Ed. Alhambra. Madrid, España.
- Q Vaglia G. 1991. Ciencia y Tecnología de la Panificación. Ed. Acribia S.A., Zaragoza España.
- SAGARPA (2009). Fecha de consulta: 23 de noviembre 2010. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/Paginas/default.aspx>
- Sánchez-Marroquín A. 1983. Dos cultivos olvidados, de importancia agroindustrial: El Amarantho y la Quinoa. Centro de Estudios Económicos y Sociales del Tercer Mundo, A.C. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 1(33): 11-32.
- Sánchez. M. A., Domingo M. V., Torres J. A. y Maya S. 1986. Fortificación de semolina con harina integral de amaranto. p. 479-494. Primer Seminario Nacional del Amarantho. Chapingo, México. Citado por: Mújica *et al.* 1997.
- Santín H. C., Lazcano S. M. y Morales de León J. 1986. Presente pasado y futuro del amaranto. Cuadernos de Nutrición. 1 (9): 17-32.
- Segura-Nieto Magdalena, Velásquez-Sánchez Nelida, Rubio-Velázquez Hilda, Olgín-Martínez Laura E., Rodríguez-Nester Carlos E. y Herrera-Estrella Luis. 1992. Characterization of Amaranth (*Amaranthus hypochondriacus L.*) Seed Proteins. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 9 (40): 1553-1558.
- Serna S. S. R. O. 1996. Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. AGT Editor, S.A. México.
- Stenvert y Kingswood, 1977. Pastas para sopa de valor nutritivo mejorado a base de una mezcla trigo – soya. Tecnología de Alimentos (Méx.). 3 (18) 7-11.
- Teutónico R. A. y Knorr D. 1985. Amaranth: Composition, Properties and Applications of a Rediscovered Food Crop. Food Technology. 39 (4): 49-61.