



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN IZCALLI

**“DESARROLLO DE PRODUCTOS LIBRES DE GLUTEN A
BASE DE AMARANTO, ARROZ Y MAÍZ QUE SEAN
APTOS PARA ENFERMOS CELIACOS”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERA EN ALIMENTOS

P R E S E N T A :
GARDUÑO BAUTISTA JESSICA

ASESORA: **DRA .MA. ANDREA TREJO MÁRQUEZ**



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.

Este trabajo estuvo bajo la asesoría técnica de la
M en C.
Norma Angélica Camacho de la Rosa



AGRADECIMIENTOS

A la Doctora Elsa Gutiérrez Cortés del Laboratorio Experimental Multidisciplinario de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Por su disponibilidad y apoyo durante el proceso de elaboración de harinas.

Se agradece a la Doctora Deneb Camacho Morfin del Laboratorio de Bromatología de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan Campo 4 por su apoyo y asesoramiento técnico.

A la I.A. Karen Pineda por su valiosa contribución y ayuda desinteresada en la aportación y apoyo experimental para la realización de pruebas funcionales a las harinas en la Harinera 'Los Vascos' Tlalnepantla, Estado de México.

Se agradece el apoyo técnico a la M. en C. Norma Angélica Camacho de la Rosa para la realización del presente trabajo.

DEDICATORIAS

A Dios por esa gran oportunidad de vida y permitirme lograr un sueño que creí inalcanzable.

A mis padres Asela y Miguel con admiración y respeto por que han logrado con su esfuerzo y sacrificio lo que ahora somos mis hermanos Avianney, Miguel y yo; ya que siempre nos han demostrado amor y cariño. Este esfuerzo también es de ustedes, por que han sabido orientarme, brindarme todo su apoyo siempre y en todo momento y por estar conmigo en las buenas y en las malas. Los quiero Mucho.

A Vulfrano por su amor, cariño y apoyo incondicional en todo momento, por no dejarme caer, por ayudarme a descubrir una nueva etapa compartida y aprender que los problemas no se hacen grandes ni se tratan a tiempo pero que detrás de cada logro lleva gran esfuerzo y lucha. ¡Lo logramos amor!.

A la Dra. Ma. Andrea Trejo Márquez por brindarme siempre apoyo y valiosos consejos no solo en el ámbito profesional, también de la vida diaria. Por sus enseñanzas llenas de sabiduría y amor, paciencia, respeto, perseverancia incansable y entusiasmo, pero sobre todo creer en cada uno y mostrarnos que el camino nos llevará al éxito y la culminación de nuestras metas. Con su apoyo todo es posible.

A mis sinodales, por sus valiosas sugerencias y acertados aportes para el mejoramiento de este trabajo.

A Fabiola Martínez, Adela, Carlos, Chule, Lupita, Lupita V., Luz, Isaac, Ivonne, Gaby, Mich, Martha, Monse, Miriam, Oli, Zaira, gracias por todas las experiencias vividas, por su compañerismo y amistad que me otorgaron, pero sobre todo por enseñarme que para alcanzar un sueño hay que trabajar con dedicación y entrega. A todos ustedes con cariño

A todos mis amigos, quienes me han acompañado a lo largo de la vida, especialmente a quienes compartieron su estancia conmigo en la Facultad, sin temor a omitirles me quedo con las vivencias muy agradables de cada uno de ustedes.

Para Anabel R., Carmen M., Clara López., Karen N., Raquel Beuyani. No podría pagarles ni con todo el oro del mundo, su apoyo, amistad y hermandad que siempre me han brindado. Por que comparten conmigo muchos días felices y llenos de risas y por que no, los días difíciles. Gracias amigas por permitirme entrar en sus vidas y compartir conmigo un poquito de cada una de ustedes.

Al Depto. de Gastroenterología del INNSZ, quienes han tratado a la Enfermedad Celiaca como un problema Nacional palpable, con toda la seriedad posible y que como yo, han reconfortado con aliento a otros pacientes a aprender a vivir y sobrellevar la carga de por si, ya muy complicada.

Por último quiero agradecer a la Universidad por permitirme crecer en todos los aspectos de mi persona, por ofrecerme las actividades que contribuyeron a mi formación y por que aquí he vivido la mejor etapa de mi vida.

Con infinito aprecio y respeto
Un millón de Gracias.

*Nadie esta a salvo de las derrotas,
pero es mejor perder algunos combates
en la lucha por nuestros sueños,
que ser derrotados sin saber siquiera
por que se esta luchando.*

Paulo Coelho





ÍNDICE GENERAL

Índice General	i
Índice de Tablas	iv
Índice de Figuras	v
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	1
I.- ANTECEDENTES	3
1.- <i>Enfermedad Celiaca</i>	3
1.1.- Definición	3
1.2.- Síntomas	6
1.3.- Complicaciones	6
1.4.- Tratamiento	7
1.5.- Incidencia	7
1.6.- Recomendaciones de dieta para pacientes con EC	8
2.- <i>Granos</i>	9
2.1.- Características botánicas y morfología de la semilla	9
2.2.- Composición química de granos	11
2.2.1.- Carbohidratos	11
2.2.2.- Vitaminas y Minerales	14
2.2.3.- Lípidos	15
2.3.- Tipos de proteína	15
2.3.1.- Gluten	17
2.4.- Importancia Tecnológica	20
2.4.1.- Trigo	20
2.4.2.- Amaranto	21
2.4.3.- Arroz	21
2.4.4.- Maíz	21
3.- <i>Alimentos funcionales</i>	22
3.1.- Definición	22
3.2.- Clasificación	23
3.3.- Productos para alimentación especial	23
3.3.1.- Características	24
3.3.2.- Alimentos libres de gluten en el mercado	25
3.4.- Legislación	28
II.- OBJETIVOS	30
III.- MATERIALES Y MÉTODOS	31
3.1 Cuadro metodológico	31
3.2.- Obtención de los granos	32
3.3.- Selección y limpieza de los granos	32
3.4.- Obtención de harinas de amaranto, arroz y maíz	32
3.5.- Caracterización de la calidad de las harinas	33
3.5.1 Determinaciones físicas realizadas a las harinas	33
3.5.1.1 Granulometría	33
3.5.2.- Determinación de la calidad de las harinas	33
3.5.2.1 Aspecto sanitario general	33



3.5.3.- Determinaciones tecnológicas realizadas a las harinas	34
3.5.3.1 Absorción de agua	34
3.5.3.2 Pigmentos	34
3.5.3.3 Índice de Sedimentación (prueba Zeleny)	35
3.5.3.4 Almidón alterado	35
3.5.3.5 Gluten	35
3.5.3.6 Cifra de Pelshenke	35
3.5.4. Propiedades funcionales a harinas	36
I.- Extensión y tenacidad	36
II.- Consistencia de la masa	37
3.5.5.- Determinaciones fisicoquímicas a harinas	38
3.4.5.1 pH y acidez	38
3.5.6.- Determinaciones químicas a harinas	38
3.5.6.1 Grasa	38
3.5.6.2 Cenizas	38
3.5.6.3 Fibra cruda	38
3.5.6.4 Carbohidratos totales	39
3.5.6.5 Porcentaje de humedad	39
3.5.6.6 Proteína	39
3.6.- Desarrollo de productos libres de gluten LDG	39
3.6.1.- Elaboración de pan blanco	39
3.6.1.1 Formulaciones de pan	39
a) Primera formulación	40
b) Segunda Formulación	41
c) Tercera formulación	43
d) Cuarta Formulación	44
3.6.1.2.- Parámetros físicos, químicos, microbiológicos y sensoriales evaluados en pan blanco	45
3.6.1.2.1 Parámetros físicos	45
I. Volumen	45
II. Impronta	46
III. Firmeza	46
3.6.1.2.2 Parámetros químicos	46
I. Detección de presencia de gluten	46
3.6.1.2.3 Determinaciones microbiológicos	47
3.6.1.2.4 Evaluación sensorial a formulaciones de pan	47
I. Preparación de las muestras	48
3.6.1.3.- Estudio de vida de anaquel en pan blanco	48
3.6.2.- Elaboración de galletas tipo María	49
3.6.2.1 Formulación de galletas	49
3.6.2.2 Parámetros físicos, químicos, microbiológicos y sensoriales evaluados en galletas tipo María	51
3.6.2.2.1 Parámetros físicos	51
I. Prueba de galletería	51
3.6.2.2.2 Evaluación sensorial a formulaciones de galletas	51
3.6.2.3 Estudio de vida de anaquel en galletas	52
3.7.- Comparación de productos desarrollados LDG con su análogo comercial	52
3.7.1.- Análisis de prueba triangular	53
3.8.- Tratamiento de los resultados	53
IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
4.1 Rendimiento de las harinas	54



4.1.1 Rendimiento de la molienda de harinas	55
4.2 Determinación de la calidad de las harinas	57
4.3 Determinaciones tecnológicas de harinas	58
4.4 Evaluación de propiedades funcionales de las harinas	60
4.4.1 Evaluación alveógrafica	61
4.4.2. Prueba farinográfica	63
4.5 Determinaciones fisicoquímicas de las harinas	64
4.6 Determinaciones químicas de las harinas	65
4.7 Desarrollo de formulaciones de pan	66
4.7.1 Formulación preliminar por método directo	66
4.7.2 Primera formulación método directo	67
4.7.3 Segunda formulación (Método Esponja)	67
4.7.4 Tercera formulación (Método Esponja)	69
4.7.5 Cuarta formulación (Método Esponja)	71
4.7.6 Almacenamiento y vida de anaquel de pan de amaranto	74
4.7.6.1 Porcentaje de humedad	75
4.7.6.2 Firmeza	76
4.7.6.3 Análisis microbiológico de pan blanco	78
4.8 Desarrollo de formulaciones de galletas	78
4.8.1 Galletas tipo María	80
4.8.2 Almacenamiento y vida de anaquel de galletas de arroz y maíz	83
4.8.3 Porcentaje de humedad	84
4.8.4 Firmeza	84
4.8.5 Análisis microbiológico de galletas	85
4.9 Análisis fisicoquímico de pan blanco y galletas tipo María	86
4.10 Análisis químico de productos desarrollados LDG	86
4.11 Comparación física de productos	87
4.11.1 Evaluación sensorial y física de pan elaborado de harina de amaranto con el pan de harina comercial libre de gluten	87
4.11.2 Volumen de pan de amaranto y comercial libres de gluten	88
4.11.3 Firmeza de pan comercial y desarrollado de amaranto	88
4.11.4 Comparación física de galletas tipo María de arroz y maíz con los comerciales libres de gluten	89
4.11.5 Contenido de gluten	90
4.11.6 Pruebas organolépticas de los productos comerciales (pan blanco y galletas tipo María comercial) y los desarrollados, pan blanco de amaranto y galletas de arroz y maíz	90
IV.- Conclusiones	92
V.- Recomendaciones	94
VI.- Anexos	95
VII.- Referencias	106
Glosario	113
Abreviaturas	114



ÍNDICE DE TABLAS

Tablas	Página
Tabla 1. Antecedentes de la Enfermedad Celiaca	3
Tabla 2. Lista de alimentos permitidos y prohibidos por el Departamento de dietología para pacientes con Enfermedad Celiaca (EC) del INNSZ	10
Tabla 3. Condiciones de cultivo de cereales	11
Tabla 4. Características botánicas y morfológicas de principales cereales utilizados en la alimentación	12
Tabla 5. Composición química de los granos	13
Tabla 6. Deficiencias nutricionales provocados por la EC	15
Tabla 7. Fracción de prolaminas y gluteninas contenidas en cada cereal	17
Tabla 8. Distribución de la fracciones proteicas en los cereales	17
Tabla 9. Porcentaje de prolaminas en cada cereal	18
Tabla 10. Productos comercializados libres de gluten (LDG)	26
Tabla 11. Productos alimentarios analizados sin presencia de gluten	27
Tabla 12. Codificación de harinas para pruebas funcionales	34
Tabla 13. Formulación preeliminar para elaborar pan blanco	40
Tabla 14. Primera y segunda formulación de pan blanco utilizando almidón de maíz y harina 83.5-16.5, goma □antana, lecitina de soya y ácido ascórbico	41
Tabla 15. Tercera formulación con adición de leche y huevo	43
Tabla 16. Cuarta formulación de pan blanco con sustitución de ingredientes	44
Tabla 17. Propuesta de formulaciones realizadas en la elaboración de pan	45
Tabla 18. Escala evaluativa del pan de acuerdo a volumen	46
Tabla 19. Evaluación de la impronta de acuerdo a escala calificativa	46
Tabla 20. Escala de atributos medidos en pan de amaranto LDG	48
Tabla 21. Primera formulación de galletas tipo María	50
Tabla 22. Escala de atributos medidos en galletas LDG	51
Tabla 23. Aspecto Sanitario general a un mes posterior a la molienda	57
Tabla 24. Determinaciones tecnológicas a harinas de amaranto, arroz y maíz	58
Tabla 25. Determinaciones tecnológicas a harinas (Porcentaje de gluten, cifra de Pelshenke y galletería)	60
Tabla 26. Porcentaje de humedad de las harinas acondicionadas para la prueba alveográfica	61
Tabla 27. Efecto de los tipos de harinas sobre los parámetros alveográficos.	63
Tabla 28. Determinaciones fisicoquímicas de las harinas	64
Tabla 29. Análisis químico de harinas	65
Tabla 30. Parámetros evaluados en la segunda formulación	68
Tabla 31. Parámetros evaluados en la tercera formulación	70
Tabla 32. Parámetros evaluados en la cuarta formulación	73
Tabla 33. Análisis Microbiológico de pan blanco 'vida de anaquel'	78
Tabla 34. Parámetros evaluados en galletas tipo María	79
Tabla 35. Parámetros evaluados en galletas segunda formulación	82
Tabla 36. Prueba microbiológica de galletas tipo María sabor canela	85
Tabla 37. Prueba microbiológica de galletas tipo María sabor vainilla	85
Tabla 38. Análisis químico de productos elaborados LDG	86
Tabla 39. Parámetros evaluados en panes de amaranto y comercial libres de gluten	89
Tabla 40. Comparación física de galletas de arroz y maíz con la comercial	90
Tabla 41. Presencia de gluten en productos desarrollados	90
Tabla 42. Prueba triangula de producto comercial y desarrollado LDG	91
Tabla 43. Determinaciones tecnológicas a mezclas	101
Tabla 44. Determinaciones tecnológicas a mezclas	102



ÍNDICE DE FIGURAS

Figuras	Página
Figura 1. Intestino delgado normal y atrofiado por EC	4
Figura 2. Intestino delgado afectado a consecuencia de la EC	5
Figura 3. Representación visual de una biopsia intestinal normal y dañada	7
Figura 4. Estructura de gluten y gluten amasado	18
Figura 5. Etiquetado de alimentos libres de gluten	25
Figura 6. a) molino de discos manual, b) molido de cuchillas marca ' Willey'	32
Figura 7. Serie de tamices 'Tyler'	33
Figura 8. Alveógrafo Chopan Harinera 'Los Vascos' Tlalnepantla	36
Figura 9. Farinógrafo Brabender 'Los Vascos' Tlalnepantla	38
Figura 10. Diagrama de proceso de elaboración de pan blanco por el método de esponja	42
Figura 11. Almacenamiento de producto terminado (pan de amaranto)	49
Figura 12. Diagrama de proceso de elaboración de galletas tipo María	50
Figura 13. Almacenamiento de de producto terminado (galletas tipo María)	52
Figura 14. Grano de amaranto, arroz y maíz seleccionados	54
Figura 15. Rendimiento de los granos después de la etapa de la clasificación	55
Figura 16. Harina de los granos de: a) amaranto, b) arroz y c) maíz	56
Figura 17. Rendimiento de la molienda de los diferentes granos	56
Figura 18. Distribución granulométrica de las harinas posterior a la molienda	57
Figura 19. Comparación alveográfica de las harinas de trigo, amaranto, arroz y maíz rojo para tenacidad y azul para extensibilidad.	62
Figura 20. Costra (superficie), miga e impronta de los panes primera formulación	67
Figura 21. Pan horneado segunda formulación vista lateral de los panes primera formulación	68
Figura 22. Análisis sensorial del pan blanco segunda formulación	69
Figura 23. a) panes a base de diferentes harinas, b) impronta de panes	70
Figura 24. Evaluación sensorial de las muestras de pan blanco tercera formulación	71
Figura 25. Corteza e impronta de amaranto, arroz y maíz. 1) Amaranto, 2) Arroz, 3) Arroz B, 4) Arroz C, 5) Maíz, 6) Maíz B, 7) Maíz C	72
Figura 26. Evaluación sensorial de pan blanco	74
Figura 27. Pan de amaranto almacenado a temperatura ambiente	75
Figura 28. Control de temperatura y humedad relativa durante el almacenamiento de pan blanco	75
Figura 29. Porcentaje de humedad de pan blanco durante el almacenamiento a 25°C y 50 % de HR	76
Figura 30. Cambios de firmeza en pan blanco almacenados a 25 ° C y 50 % HR	77
Figura 31. Color de la corteza e impronta del pan blanco a) día inicial b) día doce	77
Figura 32. Galletas tipo María primera formulación a) amaranto, b) arroz, c) maíz, d) trigo	79
Figura 33. Evaluación Sensorial de primera formulación de galletas	80
Figura 34. Evaluación sensorial de galletas sabor canela	81
Figura 35. Evaluación sensorial de galletas sabor vainilla	81
Figura 36. Formulación de galletas con sabor. Trigo, arroz y maíz sabor vainilla y canela	82
Figura 37. Almacenamiento de galletas empacadas en envase secundario de cartón	83
Figura 38. Control de monitoreo de temperatura y humedad relativa durante el almacenamiento	83



Figura 39. Cambios en el contenido de humedad de las galletas de arroz y maíz almacenados a 25 ° C y 50 % HR durante 4 meses	84
Figura 40. Evaluación de firmeza en galletas de arroz y maíz	85
Figura 41. Productos comerciales libres de gluten	87
Figura 42. Panes libres de gluten: A) pan de amaranto, b) pan de harina comercial LDG ,C) Impronta de pan de amaranto, D) Impronta de harina comercial	88
Figura 43. Comparación física de galletas comercial, arroz y maíz	89
Figura 44. Farinograma de la harina de trigo	98
Figura 45. Evaluación farinográfica de harina de arroz	98
Figura 46. Evaluación farinográfica de harina de maíz	99
Figura 47. Evaluación farinográfica de la Harina Panificable libre de gluten comercial HPP.	100
Figura 48. Farinogramas de la harina de amaranto	100
Figura 49. Farinograma de la mezcla de harina de amaranto	101
Figura 50. Alveógramas de las mezclas de harinas.	103



RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue desarrollar nuevos productos libres de gluten (pan blanco y galletas tipo María) a base de mezclas con harina de amaranto, arroz y maíz, que presenten las propiedades físicas, químicas, tecnológicas y funcionales similares a productos elaborados con harina de trigo y que sean aptos para enfermos celíacos.

Se obtuvieron harinas de granos comunes en México como: amaranto, arroz y maíz, las cuales se tamizaron, utilizando la fracción de partícula correspondiente a mallas No. 60 y 80, se les determinó parámetros de calidad como: absorción de agua, pigmentos, índice de sedimentación, almidón alterado, gluten y cifra de Pelshenke. Del mismo modo, se realizaron pruebas alveográficas y farinográficas además de pruebas químicas como: proteína, grasa, fibra cruda, almidón, cenizas y humedad.

La harina de amaranto presentó una tenacidad semejante a la harina de trigo, pero su extensibilidad fue nula. Las harinas de arroz y maíz no fueron tenaces, por lo que fueron destinadas a galletería. La harina de amaranto presentó un alto contenido de proteína, pero bajo contenido de humedad, caso contrario con la harina de maíz y arroz las cuales presentaron un porcentaje de humedad alrededor de 9 y 11% respectivamente, pero el contenido de proteína fue inferior. Debido a que el comportamiento no fue característico de una harina de trigo, se realizó una sustitución del gluten con aditivos para la elaboración del pan y las galletas tipo María.

Se elaboró pan blanco a partir de harina de amaranto con almidón de maíz, ya que las harinas de arroz y maíz no presentaron buenas características para la elaboración de pan, a la harina de amaranto se le adicionó goma xantana, lecitina de soya, huevo y leche. Al pan obtenido se le evaluó: impronta, firmeza, volumen, porcentaje de humedad y contenido de gluten.

La mejor formulación para la elaboración de galletas fue una mezcla de harina de maíz 41.6 % y almidón de maíz 17.8%. A las cuales se les determinó porcentaje de humedad, firmeza y contenido de gluten. Dichos productos presentaron un factor de expansión alrededor de cien, característico de una harina de trigo y una vida de anaquel de seis meses.

Se concluyó que el amaranto, arroz y maíz pueden ser buenas opciones tecnológicas para la elaboración de productos libres de gluten aptos para enfermos celíacos.



INTRODUCCIÓN

La Enfermedad Celiaca es un padecimiento digestivo crónico, inducido por el consumo voluntario o involuntario de cereales o granos que contienen proteínas de gluten, específicamente prolaminas, las cuales provocan una intolerancia severa en la mucosa del intestino delgado superior, produciendo alteraciones en la absorción de nutrientes y condicionando a determinados individuos a cierta predisposición genética. Los síntomas característicos de la enfermedad son: diarrea crónica, dolor abdominal, anemia (por mala absorción de hierro y ácido fólico), malnutrición, dermatitis herpetiforme y muchas manifestaciones clínicas (Anderson *et al.*, 1988; Stepniak y Koning, 2006; Hamer, 2005; Gerrard y Sutton, 2005; Gutiérrez y Villanueva, 2003; Serna, 2001).

En México, 1 de cada 100 personas padecen la enfermedad, según el Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición. Aunque la incidencia de la enfermedad no se tiene precisa, debido a que muchos no son diagnosticados y/o atendidos adecuadamente. El único tratamiento para esta enfermedad es llevar una dieta libre de gluten para que se normalice el intestino y funcione de manera normal, reduciendo el riesgo de mortalidad y mejorando la calidad de vida (Mustalahti, 2002; Cuomo *et al.*, 2003; Murray *et al.*, 2004; INNSZ, 2007; Giménez *et al.*, 2002).

El establecimiento de un régimen estricto sin gluten esta condicionado a consumir productos de origen natural y frescos; evitando en lo posible alimentos procesados, donde no se garantiza que estén contaminados con algún ingrediente secundario ó en la manipulación de ingredientes. El gluten, en la industria alimentaría, se utiliza ampliamente; además de sus bondades en panificación, extrusión y repostería; es muy útil como vehículo o excipiente de aditivos, agente preservador de humedad, barrera frente a grasas y aromas externos, evita la difusión de color y el proceso de oxidación; es aglutinante, espesante y estabilizador de textura (Gutiérrez y Villanueva, 2003; Acelmex, 2007).

Por otra parte, los cereales que más se aproximan taxonómicamente al trigo provocan dicha intolerancia al gluten, tal es el caso del centeno (secalinas), cebada (hordeínas); avena (aveninas). Las prolaminas del maíz (zeína), arroz (orzenina) y amaranto, son toleradas adecuadamente por los enfermos celíacos (Acelmex, 2007; Mazza, 2000, Cornell y Maxwell, 1982).



INTRODUCCIÓN

Un campo importante en tecnología de alimentos es el desarrollo de alimentos funcionales; para que un alimento sea funcional debe tener una apariencia similar a la de un alimento convencional; además de que presente, una función nutritiva básica, debe presentar propiedades fisiológicas benéficas y/o reducir el riesgo de contraer enfermedades crónicas. También existen productos especiales formulados que responden a necesidades dietéticas específicas, en donde los ingredientes contenidos son diferentes, tal es el caso de los alimentos sin gluten, donde se excluyen totalmente las prolaminas. Los alimentos exentos de gluten que se emplean en sustitución de alimentos básicos importantes, deben suministrar aproximadamente la misma cantidad de vitaminas y minerales de los alimentos originales en cuya sustitución se emplean (Astiasáran y Martínez, 2000; Mazza, 2000; Gutiérrez y Villanueva, 2003).

Existen en el mercado mexicano productos sin gluten destinados a celíacos, sin embargo, se encuentran a un precio elevado por ser productos de importación. Además estos productos presentan poco sabor y aroma, así como, pobre sensación en la boca. Los productos comerciales que su ingrediente principal es el amaranto, arroz o maíz no avalan que sean auténticos en su transformación, tal es el caso de pan y galletas de amaranto, arroz instantáneo o fécula de maíz. Es necesario, que todo el proceso de fabricación de productos sin gluten, se realice en condiciones de estricto control comprobando la completa ausencia de gluten en el producto final (Calaveras, 2004; Gómez y Bonastre, 2005).

El amaranto, siendo un pseudocereal nativo de México y de fácil acceso puede combinarse con otro cereal como maíz pudiendo ser muy útil en panificación por su composición aminoacídica con altos niveles de lisina y aminoácidos azufrados. Su digestibilidad aparente de proteína varía de 75 a 80%. Por lo que, su calidad proteínica se aproxima al valor de la caseína (Acevedo y Velásquez, 1991).

En el presente trabajo se desarrollaron galletas libres de gluten y pan blanco partiendo de harinas de arroz, maíz y amaranto que cubran las necesidades requeridas de un producto de calidad, que garanticen la completa exclusión de proteínas de gluten y que presente las cualidades de un producto tradicional, apto para Enfermos Celíacos.



GENERALIDADES

I. ANTECEDENTES.

1. ENFERMEDAD CELIACA.

1.1 Definición.

La Enfermedad Celiaca (EC) se define como una enteropatía sensible a proteínas de origen vegetal presentes en el trigo, cebada, centeno, avena y derivados, provocando una lesión severa de la mucosa del intestino delgado en determinados individuos, que son predispuestos genéticamente (Gutiérrez y Villanueva, 2003).

La primera descripción de esta enfermedad data del siglo II A.C. La palabra Celiaco, proviene del término griego que se utilizaba para describir a este tipo de enfermos “Koliakos” que significa “*aquellos que sufren del intestino.*” Sin embargo, las investigaciones comienzan a partir del siglo XX (Gómez y Bonastre, 2005). Como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Antecedentes de la enfermedad celiaca (EC).

Fecha	Investigaciones	Aportaciones
Siglo I	Aretaeus de Capadocia	Primera descripción clásica de la Enfermedad
1888	Samuel Gee	2da. Descripción clásica de la enfermedad
1908	Verter	Completa los Estudios de Gee
1921	Frederik Still Howland	Atribuyen a los carbohidratos los efectos nocivos para los celiacos.
1924	Hass	Observa que determinados carbohidratos son nocivos para los celiacos
1950	Dicke	Se descubre en pacientes celiacos una anomalía en la mucosa de intestino delgado.
1956	Shines	Describe la técnica de la biopsia intestinal

Fuente: Gutiérrez y Villanueva (2003)

La mucosa intestinal cumple la función de absorber los nutrientes presentes en la dieta, una vez que han sido digeridos por las enzimas digestivas. Si un paciente con esta enfermedad, ingiere gluten por descuido, provoca irritabilidad en las vellosidades y microvellosidades intestinales; permitiendo una deficiente absorción de los nutrientes (proteínas, grasas, carbohidratos, sales minerales y vitaminas), diarreas y retraso del crecimiento, entre otros. Este desorden intestinal inducido por intolerancia, puede movilizar mecanismos de autoinmunidad (capaces de fabricar anticuerpos contra partes



del propio cuerpo). Por lo que es una enfermedad pre-cancerosa (Bender, 1995; Fox y Cameron, 2000;).

Las paredes del intestino están dobladas formando proyecciones semejantes a dedos (vellosidades) que contienen vasos capilares, un vaso linfático y un área superficial muy grande. Los nutrientes no grasos, como el producto de la digestión de las proteínas y carbohidratos pasan directamente a la sangre a través de las vellosidades del intestino. Mientras que los ácidos grasos pasan de las vellosidades al vaso linfático donde vuelven a formar moléculas grasas. Cuando hay una mala absorción, intervienen factores como: menor área de absorción por acortamiento o desaparición de vellosidades, alteración del metabolismo de las células epiteliales y deficiencia de *disacaridasa*, debido a la alteración de las microvellosidades como se muestra en la Figura 1 (Fox y Cameron, 2000; ISPCH, 2006).



Figura 1. Intestino delgado normal y atrofiado por EC

Fuente: Instituto de Salud Pública de Chile (2006); Enciclopedia Médica ADAM (2008).

La estimulación crónica del gluten a los linfocitos les puede producir inestabilidad cromosómica, con el riesgo de transformación maligna.

Existen varias teorías sobre la patogénesis de la enfermedad, donde se manifiesta su posible resurgimiento. Tal es el caso de (Gutiérrez y Villanueva, 2003):

- TEORÍA ENZIMÁTICA. Provocada por una deficiencia enzimática de *proteasa* o *peptidasa* a nivel de enterocito, lo que impide el metabolismo adecuado del gluten.
- TEORÍA DE LECITINA. Se debe a un defecto de la membrana celular la cual desencadena una reacción que produce toxicidad celular. Similar a las lecitinas vegetales.
- TEORÍA DEL FACTOR GENÉTICO. El 95 % de este tipo de pacientes, poseen determinados genes (DQA1*0501 / DQB1*0201), perfectamente identificados en los



GENERALIDADES

cromosomas, los cuales codifican la región HLA-DQ responsable de proporcionar susceptibilidad a la enfermedad.

- ↳ TEORIA INMUNOLÓGICA. La posibilidad de un trastorno inmunológico es la teoría más aceptada. Aunque no se puede ignorar la acción de otros factores genéticos y ambientales (Gutiérrez y Villanueva, 2003).

El responsable de la intolerancia es un péptido presente en las gliadinas (prolaminas), ya que la secuencia de aminoácidos Prolamina – Serina – Glutamina - Glutamina, están presentes en las alfa-gliadinas. Los péptidos sometidos a hidrólisis péptica y trípica también son tóxicos. Los cereales que más se aproximan taxonómicamente al trigo pueden resultar más tóxicos. Aunque se tolera la ingesta de albúminas y globulinas de trigo, así como de almidón; sin estar clara todavía la toxicidad de las gluteninas. Se considera, que tal vez, exista una sensibilidad al gluten en relación con el control genético de las respuestas inmunocelulares. El fenómeno de toxicidad debido al gluten parece dirigido a los enterocitos. En la Figura 2 se muestra la parte afectada producida por la enfermedad celiaca (Cheftel *et al.*, 1989; Gómez y Bonastre, 2005).

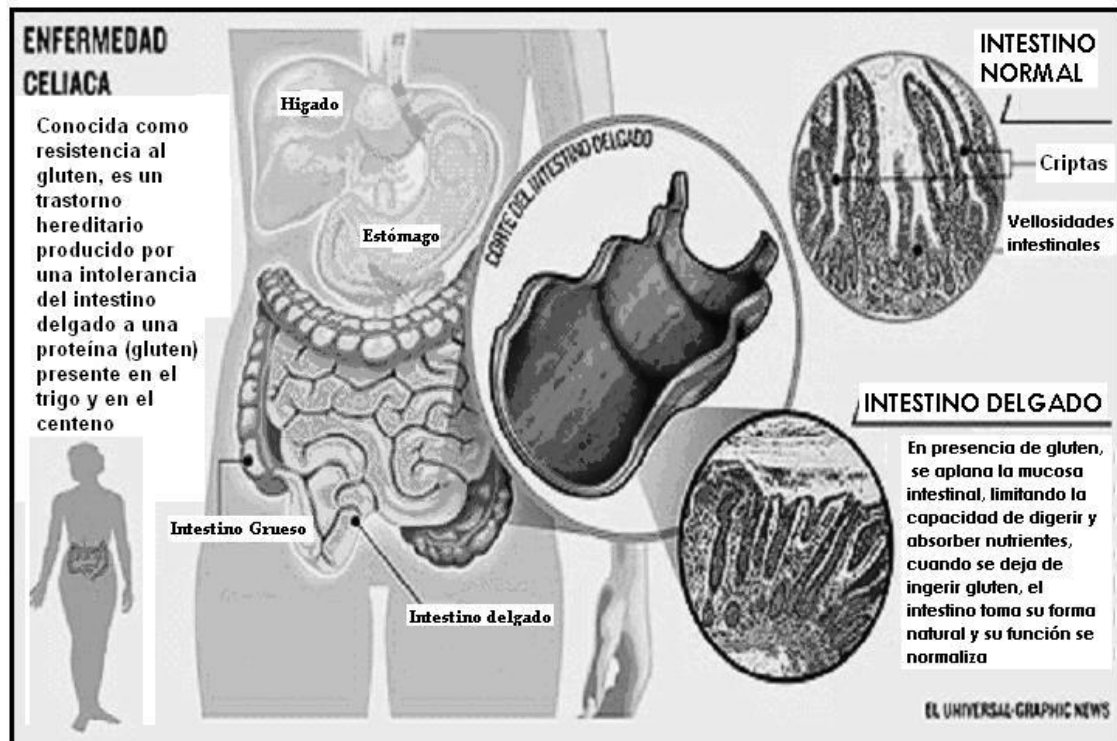


Figura 2. Intestino Delgado afectado a consecuencia de la EC.
Fuente: Herrera (2006)



GENERALIDADES

1.2 Síntomas.

Entre la sintomatología general puede presentar diarrea crónica, pérdida de peso, dolor abdominal recurrente e hinchazón, gases, heces malolientes y pálidas así como, fatiga; aunque, se sospecha cuando solo se presenta anemia por deficiencia de hierro (Gutiérrez y Villanueva, 2003; ISPCH, 2006; Stepniak y Koning, 2006).

1.3 Complicaciones.

Según el Instituto de Salud Pública de Chile, la enfermedad celiaca puede presentarse de manera variable, algunas personas desarrollan síntomas en la niñez, otras en la edad adulta y pueden presentarse de manera más abrupta que en otras. Si éste es diagnosticado tardíamente con respecto al inicio de los síntomas y no se realiza correctamente una dieta estricta sin gluten, tienen riesgo aumentado de padecer cáncer (Hamer, 2005; ISPCH, 2006).

De no llevarse a cabo un adecuado diagnóstico y tratamiento se presentan manifestaciones clínicas y funcionales muy variadas que pueden ser fatales aún en personas asintomáticas (Catássi y Fasano, 2008).

- | | |
|--|------------------------------------|
| ✘ Deficiencia de vitaminas y minerales | ✘ Osteoporosis |
| ✘ Anemia | ✘ Desorden en el sistema nervioso |
| ✘ Aborto e Infertilidad | ✘ Insuficiencia de páncreas |
| ✘ Síndrome de Down | ✘ Diabetes dependiente de insulina |
| ✘ Síndrome de Sjogren | ✘ Lupus y cirrosis biliar |
| ✘ Depresión | ✘ Dermatitis Herpetiforme |
| ✘ Enfermedad de la tiroides | ✘ Linfoma intestinal |

No es fácil dar un diagnóstico a primera instancia, ya que no hay parámetros a seguir cuando se presenta un caso. Por ejemplo:

- *Enfermedad celiaca Clásica.* solo manifiesta síntomas secundarios a la mala absorción intestinal.
- *Enfermedad Celiaca con síntomas atípicos.* Presenta manifestaciones extradigestivas con pocos o ningún síntoma.
- *Enfermedad Celiaca silente.* Son pacientes asintomáticos pero con serología positiva y datos de atrofia en las biopsias de las vellosidades intestinales.



GENERALIDADES

- ↘ *Enfermedad Celiaca latente.* Los pacientes presentan serología positiva pero sin atrofia en las vellosidades.

El diagnóstico para la enfermedad debe realizarse por un especialista en Gastroenterología, el cual realiza una biopsia intestinal, análisis clínicos, acompañado de una valoración del estado nutricional del paciente, seguida de una dieta libre de gluten y repetición de biopsias de acuerdo a la mejoría de las vellosidades (Vergara, 2004).

1.4 Tratamiento.

De acuerdo al Instituto Nacional de Nutrición Salvador Zuribán (INNSZ), el tratamiento de la Enfermedad Celiaca consiste, en la eliminación completa de alimentos que contengan gluten. Una vez que el Médico gastroenterólogo y el dietista establecen cual es su condición, el enfermo celiaco debe apegarse y llevar un control adecuado del consumo de sus alimentos. Debiendo reponer las deficiencias nutricionales provocadas por el daño. La dieta sin gluten excluye todos los cereales excepto: arroz, maíz, amaranto, tapioca y soya. Con la eliminación del gluten de la dieta, el intestino recupera su estructura normal y también la capacidad de absorber completamente las sustancias nutritivas (INNSZ, 2007; Quaglia, 1991).

Al realizar las biopsias subsecuentes en el intestino delgado, el especialista en Gastroenterología determina el avance o retroceso de la enfermedad. En la Figura 3 se muestran las vellosidades de manera normal y dañada.

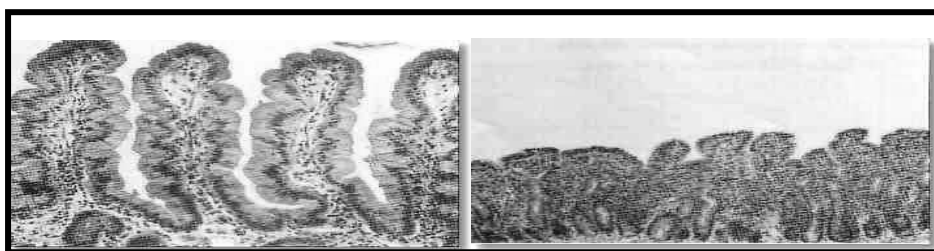


Figura 3. Representación visual de una biopsia intestinal normal y dañada.
Fuente: ASCE. (2001)

1.5 Incidencia.

Un estudio realizado por el departamento de Gastroenterología, en el Hospital Alemán de Buenos Aires, arrojó datos de acuerdo a la prevalencia de la enfermedad en esa población, destacando que un 85% prevelece en mujeres contra un 15% en hombres. Clásicamente, se consideraba una prevalencia de 1/3000-4000. Actualmente se estima una prevalencia de 1/100 a 1/300 (Acelmex, 2007; Gimenez *et al.*, 2002; Gómez y Bonastre, 2005; INNSZ, 1999; Mustalathi, 2002; ISPCH, 2006; Stepniak y Koning, 2006).



GENERALIDADES

En México se estima una prevalencia de 1/100, de acuerdo con el INNSZ. Sin embargo, no son estadísticas confiables, ya que no se considera a aquellos que tienen un mal diagnóstico o no se han diagnosticado de manera adecuada, (ASCE, 2001; INNSZ, 1999; Senado de la república, 2006).

1.6 Recomendaciones de dieta para pacientes con EC.

Existen complicaciones derivadas de la alimentación, ya que es muy difícil llevar a cabo una dieta estricta; pero se sugieren algunas recomendaciones dentro y fuera de casa, entre éstas están (ASCE; 2001):

- Llevar a cabo una alimentación variada y equilibrada, para evitar carencias nutricionales.
- Elaborar sus comidas en casa, preferentemente separada de los demás miembros de la familia, esto debido a posibles contaminaciones incluyendo utensilios y accesorios de cocina.
- Fomentar el consumo de alimentos naturales que no contienen gluten: cereales sin gluten (maíz, arroz, amaranto), verduras y hortalizas, frutas, legumbres, tubérculos, leche, carnes, pescados, aceite, azúcar y miel pura.
- Reservar el consumo de productos manufacturados denominados “sin gluten” para casos o situaciones concretas.
- El trigo, centeno, avena y cebada pueden formar parte como aditivos de una gran cantidad de alimentos y deben suprimirse de la dieta, tales como: Cacao, café instantáneo, crema de leche, fiambres, caramelos masticables, confites, golosinas, etc.
- Leer atentamente las etiquetas de los alimentos y evitar los que incluyan ingredientes que no puedan clasificarse como libres de gluten por el fabricante. La falta de información en el etiquetado de productos por parte de los fabricantes origina complicaciones en las personas afectadas; excluir completamente.
- No consumir productos que incluyan entre sus ingredientes los siguientes aditivos: almidón, almidón modificado, amiláceos, cereales, espesantes (sin indicar procedencia), fécula, proteína, gluten, harina, proteína vegetal hidrolizada, proteína vegetal, proteína natural hidrolizada, sémola, estabilizador, aromatizantes o aditivos de cereales sin especificar su procedencia.



GENERALIDADES

- ☑ Identificar el símbolo internacional de alimentos permitidos para celíacos en los productos especializados (Acelmex, 2007; ASCE, 2001).
- ☑ Una forma más segura de consumir alimentos es tomando en cuenta, los sugeridos por el especialista en Dietas y/o consultando aquellos que pueden consumir sin mayor problema.

En la Tabla 2 se recopiló una lista de consumo de alimentos recomendados y prohibidos por el Departamento de Dietología del INNSZ, para pacientes con Enfermedad Celíaca en México.

2. GRANOS.

Los cereales juegan un papel muy importante en la dieta de los Celíacos, ya que también se debe proveer de los nutrientes que estos aportan. No obstante, en la industria alimentaria existe una gran variedad y versatilidad de productos alimenticios, sin que ello asegure que puedan ser consumidos libremente o se excluya totalmente las prolaminas. A continuación se presentan características generales de algunos cereales, usos y aplicaciones.

Los principales cereales utilizados en la alimentación humana son el trigo (*Triticum Vulgare*), arroz (*Oryza Sativa*), maíz (*Sea Mays*), así como, cebada (*Hordeum Vulgare*), centeno (*Secale Cereale*), mijo, tapioca y avena. El amaranto fue ampliamente utilizado en época prehispánica de México, aunque fue restringido, actualmente se está impulsando nuevas formas de consumo (Astiasáran y Martínez, 2000; Badui, 1999; Ortiz, 2006).

2.1. Características botánicas y morfología de la semilla.

Los cereales pertenecen a la familia de las *gramíneas*, siendo plantas monocotiledóneas, cuyo cotiledón se localiza en el germen del grano; denominado botánicamente *escutelum*. Estas poseen raíces fuertes y fibrosas con tallos rígidos, en su base crecen ramas y hojas estrechas. Los cereales destacan por la formación de frutos grandes llamados cariósides, cuyas cubiertas están soldadas a la semilla, aunque el amaranto es considerado como un pseudocereal debido a que tiene un alto valor proteico pertenece a la familia de las dicotiledóneas (Astiasáran y Martínez, 2000; Serna, 2001).

En la Tabla 3 y 4 se muestran algunas características generales de cultivo en los principales cereales, así como sus principales características botánicas y morfológicas.



GENERALIDADES

Tabla 2. Lista de Alimentos permitidos y prohibidos por el Departamento de Dietología para pacientes con EC del INNSZ.

Alimentos Seguros	Alimentos Prohibidos
Amaranto, maíz y derivados, arroz, tapioca	Trigo
Alfalfa	Cebada
Algas	Centeno
Vinagres: blanco, balsámico, de manzana y destilados	Malta de cebada
Alcoholes destilados y vinos de mesa, vodka, coñac, ginebra, sidra, tequila, ron, brandy	Malta de arroz (puede estar contaminada con cebada)
Ácido ascórbico	Cerveza
Bicarbonato de sodio	Pan
Frijoles, chícharos	Pasta
Semillas de sésamo, girasol	Cereales Integrales
Leche (a tolerancia), milo, té, yogurt light sin sabor	Harina de Trigo
Mantequilla (Checar aditivos)	Salvado de trigo
Carbonato de Calcio	Galletas y repostería
Aceite de canola	Levadura de Cerveza
Gomas: celulosa, metilcelulosa y Xantana	Blue Cheese (aderezo)
Caseína,	Salsa teriyaki
Quesos (Checar ingredientes)	Salsa de soya
Almendras, nuez	Malta
Ácido cítrico	Extracto de malta
Crema	Jarabe de malta
Dextrosa, miel, fenilalanina, fructosa, lactosa, aspartame	Saborizante a malta
Frutas todas (frescas y secas)	Vinagre de malta
Citrato y benzoato de Sodio	Cereal de trigo
Soya y derivados (Proteína hidrolizada, Lecitina), lecitina, inulina	Sémola y semolina de trigo
Tofu	Gérmén de trigo
	Almidón de trigo
	Aceite de gérmen de trigo
	Gluten de trigo hidrolizado
	<i>Triticum vulgare</i>
	Aminoácidos de trigo
	Proteína de trigo

Fuente: INNSZ (1999)



GENERALIDADES

Tabla 3. Condiciones de cultivo de granos.

TRIGO	AMARANTO	ARROZ	MAÍZ
Se siembra en regiones templadas húmedas. Comercialmente se denominan cereales pequeños. Cultivos de irrigación en lugares desérticos y semidesérticos del mundo. Fue consumido crudo, luego se tostaron los granos posteriormente en papillas y galletas. De ahí nació la idea del pan.	Se cultivó en las altiplanicies de América y Asia. Comenzó a declinar por cuestiones religiosas y volvió a retomarse en la década de los 70s por México, Guatemala e India. Las amarantáceas se caracterizan por su gran adaptabilidad a diferentes climas, ciclos de luz, condiciones ambientales diversas, resistencias a enfermedades y condiciones de sequía.	Se cultiva en trópicos con abundante lluvia y sol en regiones templadas. Es un principal cereal cultivado y alimento básico de la mitad de la población del mundo; excelente fuente de calorías. Contenido proteico es de calidad nutritiva mayor que la de otros cereales. Hipoalergénico, fácil digestión y presenta propiedades funcionales muy versátiles.	Su cultivo, incluyendo variedades e híbridos se adapta a diferentes condiciones de clima. Cereal de alto rendimiento. Produce harina amarillenta; el almidón de maíz se separa de la proteína y aceite del germen por el proceso de molienda húmeda, después de desecado se obtiene una harina fina que es el almidón casi puro. <corn flour><corn starch

Fuente: Astiasáran y Martínez (2000); López *et al.* (1996); Manley (1989); Serna (2001); Vaclavik (2002).

2.2. Composición química de granos.

La cantidad y calidad de los nutrientes difiere en los distintos géneros y especies de los cereales afectando propiedades nutritivas, culinarias y funcionales. Cabe mencionar, que el genotipo y condiciones ambientales durante el crecimiento y la maduración afecta la composición química de los granos (Serna, 2001).

En la Tabla 5 se muestra la composición química del grano de trigo, amaranto, arroz y maíz.

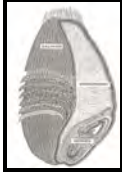
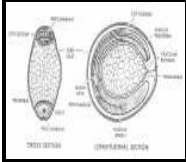
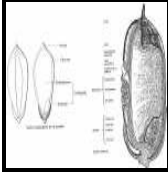
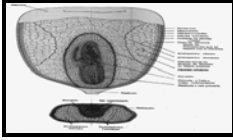
2.2.1. Carbohidratos.

El componente principal de esta fracción es el almidón, representando el 69- 90 % del peso seco en los granos de cereales, concentrándose en mayor proporción en el endospermo. El almidón es una mezcla de dos glucanos. La amilosa representando un 25 % de los cereales (es un polímero lineal de α (1 \rightarrow 4) glucosa) y la amilopectina con 75% de estructura ramificada al azar de cadenas lineales α (1 \rightarrow 6) en los cereales (Astiasáran y Martínez, 2000).



GENERALIDADES

Tabla 4. Características botánicas y morfológicas de principales cereales utilizados en la alimentación.

Características	TRIGO	AMARANTO	ARROZ	MAÍZ
<p>Morfológicas</p> <p>Todos los granos son similares estructuralmente. La carióspside del grano está compuesta de tres partes: el germen, el endospermo y el salvado.</p>	 <p>Endospermo 83 %, salvado 14.5 %, germen 2.5 % de la carióspside</p>	 <p>Sus principales componentes son: Procambium, embrión (germen), endospermo, perispermo, y cubierta.</p>	 <p>La cascarilla consta de lema, palea lemas estériles, pericarpio 6.0 %, endospermo 73 %, glumas 20%, germen 2.2 %</p>	 <p>Cáscara o salvado (Pericarpio y cubierta de la semilla) Germen 12 %, Endospermo 78 % Pericarpio 6.0 %</p>
<p>Botánicas</p>	<p>FAMILIA: <i>Gramíneas</i> Científico: <i>T. turgidum</i>, <i>T. durum</i>, <i>T. timopheevi</i>, <i>aestium</i></p>	<p>Familia: <i>Amaranthacea</i> Orden: <i>Caryophyllales</i> Científico: <i>amaranthus</i> 60 géneros y alrededor de 800 especies.</p>	<p>Familia: <i>Gramíneas</i> Científico: <i>Oryza sativa</i> Subespecie: <i>indica</i>, <i>japónica</i> y <i>javanica</i></p>	<p>Familia: <i>Gramíneas</i> Científico: <i>ZeaMays</i></p>
<p>Variedades</p>	<p>Duro-Rojo invernol Duro-Blanco Duro rojo Primavera Suave- Rojo primavera Suave- Blanco Durum – cristalino</p>	<p><i>A. Hypochondriacus</i>, <i>A. Caudatus</i>, <i>A. Edulis</i></p>	<p>Largo, Medio, Newrex, Toro, Japónica, hindú, Ceroso, Basmati, Negro</p>	<p>Amarillo, Tunicado, Reventón, Amiláceo, Dulce, Blanco, Azul y morado, Dentado, Cristalino, Palomero, Ceroso, pozolero</p>

Fuente: Mazza (2000); Olmedo (1958); Ortiz (2006); Paredez (1994); Serna (2001); Solórzano (1998); Vaclavik (2002).



GENERALIDADES

Tabla 5. Composición química de los granos.

Componente (%)	Trigo	Amaranto	Arroz	Maíz
Humedad	12.5	8.0	12.0	13.8
Proteína	12.3*	14.5	7.5	8.9
Grasa	1.8	5.7	1.9	3.9
Fibra	2.3	4.5	0.9	2.0
Cenizas	1.7	3.1	1.2	1.2
Cal/100g	343	366	353	352

Fuente: Tomado de Coronel y Delgadillo (1989) recopilado por: Ortiz (2006)

* El contenido de este puede variar de acuerdo al tipo de grano suave, panadero o cristalino de 9.9, 14.4, 13.2, respectivamente.

Los cereales contienen otros polisacáridos distintos del almidón, tales como: hemicelulosas (D-Xilosa y L-arabinosa), pentosanos (Pentosas: arabinosa o xilosa), celulosa (glucosa con uniones β más estables), β glucanos (liqueninas), y glucofructanos, aunque su contenido es inferior; pero constituyen la estructura de las paredes celulares. Es por ello, que su proporción es mayor en el pericarpio.

Los azúcares solubles (monosacáridos, disacáridos y oligosacáridos) se encuentran en el germen siendo la fructosa, glucosa y sacarosa principales carbohidratos solubles. Los polisacáridos distintos del almidón, solubles e insolubles y la lignina se denominan fibra alimentaria (Primo, 1987; Serna, 2001).

La función nutricional de los almidones es de gran importancia, ya que constituye después de la hidrólisis digestiva en glucosa, la principal fuente de calorías de la alimentación humana. Tienen un papel importante en la tecnología alimenticia debido a sus propiedades fisicoquímicas y funcionales.

El almidón tiene un rango de usos más amplio, que cualquier producto obtenido de fuentes vegetales. Su utilización es aplicable en la industria para propósitos como: espesante, como relleno, aglutinante, estabilizante, mejorador de textura, emulsionante y elemento ligante. La consistencia y textura de numerosos alimentos se debe a sus propiedades hidrocoloidales (Astiasáran y Martínez, 2000; Cheftel *et al.*, 1989; Primo, 1987; Ostertag, 1996).

El arroz blanco, producto de la molienda del arroz integral, es el endospermo del grano y está compuesto principalmente por almidón (90% de peso seco). La amilosa representa el 33% de almidón de arroz. Estos gránulos de almidón de arroz tienen un tamaño de 3 a 5 micras. La combinación de 20 a 60 de estos gránulos poliédricos



GENERALIDADES

forma un gránulo compuesto de amiloplasto, que es esférico o elipsoidal cuyo diámetro varía entre 7 y 39 micras (Mazza, 2000).

El contenido de carbohidratos del amaranto corresponde al 60% de la composición general de la semilla. La glucosa puede ser el principal azúcar libre (0.12 a 0.67 % base seca) seguido por la fructosa (0.05 a 0.13 % peso seco). Los niveles de carbohidratos simples presentes en variedades de amaranto se encuentran en un rango de 0.05 a 0.067%. Estos niveles son muy altos comparados con los encontrados en trigo (0.01 a 0.04 %) y maíz (0.02 a 0.09 %). El porcentaje de almidón en el amaranto es de 65 %, aunque existen pequeñas cantidades de sacarosa, maltosa, rafinosa y estaquiosa. La mayoría de los gránulos de almidón de amaranto son poligonales; en *A. Hypochondriacus* y *A. Caudatus*, los gránulos varían en 1 a 3 μm de diámetro. La semilla de amaranto llega a tener más bajo contenido de amilosa que otros cereales. Lo cual tiene influencia sobre las propiedades funcionales del almidón (González *et al.*, 2006; Ortiz, 2006; Paredéz, *et al.*, 1990).

Los gránulos de almidón del maíz tienen forma poligonal y están rodeados de una matriz proteica, es más duro que el almidón opaco del trigo. Los granos de maíz son muy duros lo que indica que los enlaces entre proteínas y almidón son fuertes. El agua por sí sola no permite la separación de almidón y proteína (Specher, 2005).

2.2.2. Vitaminas y minerales.

En los cereales los que más se encuentran son: fósforo, potasio y magnesio; en menor proporción se encuentra el silicio, sodio y calcio. Entre los micronutrientes el más abundante es el hierro (30 a 80 mg/Kg) seguido por el manganeso, cobre y zinc. Los niveles de P, Ca, K y Mg son generalmente altos comparados en los diferentes cereales y un gran contenido relativo de hierro (Paredéz, 1994; Primo, 1987).

El contenido en vitaminas en el grano de amaranto es bajo en tiamina y niacina comparado con otros cereales; aunque la riboflavina está presente en grandes cantidades.

En el grano la mayor parte de las vitaminas y minerales se encuentran en la cascarilla y el germen. Durante la molienda, se presenta una pérdida importante de nutrimentos en la obtención de las harinas. Los niveles mínimos de adición para la mayoría de los países son los siguientes: tiamina entre 4 y 5 mg/ Kg de harina; riboflavina, entre 1.5 y 3 mg / Kg; niacina, entre 30 y 35 mg/ kg, y el hierro entre 26 y 35 mg/ Kg de harina (Rosado *et al.*, 1999).



GENERALIDADES

Para los pacientes celíacos a pesar de seguir una dieta sin gluten, pueden desarrollar complicaciones debido a las deficiencias dietéticas como: Deficiencia de Calcio, Magnesio, vitamina D, hierro, Zinc y fibra; ya que la harina de trigo suele ser sustituida por almidones, los cuáles, no contribuyen significativamente en el aporte de la fibra dietética y otros nutrientes (Tabla 6).

Tabla 6. Deficiencias nutricionales provocados por la EC.

Al diagnosticar	Dieta sin gluten por tiempo corto	Dieta sin gluten a largo plazo
Proteínas/calorías	Fibra	Fibra
Fe, Zn, Cu, Mn	Fe, Zn	
Vit D, Vit K		Vit D
Ca, Mg	Ca, Mg	
Folato, B12	Folato, B12	Folato, B12
Niacina	Niacina	Niacina
Riboflavina	Riboflavina	Riboflavina
Piridoxina	Piridoxina	Piridoxina

Fuente: Asociación de Celíacos de Madrid (2007)

2.2.3. Lípidos.

Representan el 1-4 % del peso del grano. Estos son principalmente: triglicéridos y fosfolípidos. Aunque también se presentan mono-diglicéridos y ácidos grasos libres. Los lípidos totales contenidos en el grano de *A. hypocondriacus* están en un rango de 3.1 – 6.3 %; el 20 % se encuentra en el germen. Este pseudocereal contiene una cantidad considerable de ácido linoléico (44-48%) oléico (19-29%) y palmítico (11.5-21.3%), trazas de linoléico y otros ácidos (Ortiz, 2006; Primo, 1987).

2.3 Tipos de Proteína.

En los cereales se distinguen cuatro fracciones proteicas de acuerdo a su solubilidad; a partir de la harina se extraen sucesivamente las *albúminas* con agua, *globulinas* con una solución salina, y las *prolaminas* con etanol acuoso al 70 %, quedando las *glutelinas* en el residuo de la harina. Las albúminas y globulinas derivan de los residuos citoplasmáticos y otras fracciones subcelulares del grano, también, son de carácter enzimático. Las prolaminas y glutelinas son de reserva; según el tipo de cereal, varía la cantidad de proteínas en cada fracción (Astiasarán y Martínez, 2000).

El trigo es el que contiene mayor cantidad de prolamina; está, junto con la glutenina (ambas insolubles) en proporción de 2:3, forman gluten, en tanto que la globulina y albúminas (hidrosolubles) se encuentran en una proporción de 10-25% del total de proteína. Las prolaminas (gliadinas ω , α , γ) son proteínas monoméricas y las



GENERALIDADES

gluteninas se encuentran en forma agregada o polimerizada con interacciones hidrófobas, puentes de hidrógeno, enlaces iónicos, y puentes disulfuro intermoleculares (Cheftel *et al.*, 1989; Dendy y Dobraszczyk, 2001).

Las gliadinas y las gluteninas están caracterizadas por un alto contenido en glutamina (40-45%) y por lo tanto en nitrógeno; en algunas gliadinas el ácido glutámico se encuentra bajo la forma de glutamina, al igual, se considera que una gran parte del ácido aspártico esta bajo la forma de asparragina. El elevado contenido en glutamina, induce a pensar que la formación de enlaces hidrógeno entre cadenas polipeptídicas o con las moléculas de agua, es cualitativamente importante; la hidrólisis ácida convierte los residuos de glutamina en residuos de ácido glutámico; la transformación de los grupos amida en grupos éster, por metanólisis, reduce fuertemente las propiedades viscoelásticas del gluten. El contenido elevado, en aminoácidos de cadena lateral hidrófoba, sugiere la intervención de este tipo de interacciones, tanto a nivel de estructura cuaternaria de las gluteninas como por su asociación con los lípidos y la formación de la red de gluten en la masa de panadería (Cheftel *et al.*, 1989 y Serna, 2001).

En el aspecto nutricional, las proteínas de gluten contienen muy poca lisina (aprox. 1%), aunque, las albúminas y globulinas de trigo, son ricas en lisina y pobres en metionina. La zeína, principal proteína de maíz es deficiente en aminoácidos lisina y triptófano (Cheftel *et al.*, 1989, Mazza, 2000).

Ambas fracciones, en su forma hidratada, tienen efectos diferentes sobre las características reológicas de la masa. Las prolaminas son responsables sobre todo de la viscosidad, mientras que las glutelinas lo son, de la elasticidad de la masa panaria (Astiasáran y Martínez, 2000).

Aunque el contenido proteico del maíz, oscila alrededor del 9 % sobre una base con humedad de 13 %, esta proteína no forma gluten (Manley, 1989).

La importancia de la proteína de amaranto como alimento dietético en el mercado ha sido por que es libre de prolamina tóxica. Sin embargo, no se descarta la posibilidad de que haya sensibilidad a este tipo de proteínas (Paredes, 1994; Mazza, 2000). El contenido proteico del arroz es bajo, pero tiene alto contenido de almidón, este cereal tampoco contiene gluten.



GENERALIDADES

En la siguiente tabla se muestra las diferentes fracciones de los principales cereales.

Tabla 7. Fracción de prolaminas y gluteninas contenidas en cada cereal.

Fracción	Prolaminas	Gluteninas
Trigo	Gliadina	Glutenina
Centeno	Secalina	Secalinina
Cebada	Hordeína	Hordenina
Avena	Gliandina	Avenina
Maíz	Zeína	Zeanína
Arroz	Orzeina	Orizenina
Amaranto	Prolaminas	Gluteninas

Fuente: Astiasarán y Martínez (2000); Ortiz (2006)

La proteína de amaranto tiene aminoácidos esenciales incluyendo lisina y metionina. Los aminoácidos esenciales de la proteína del grano de amaranto es significativamente mejor que la de muchas otras proteínas de origen vegetal (Mazza, 2000) comparable con la de caseína. Su porcentaje en albúminas son las de mayor fracción, la fracción de gluteninas es la segunda en abundancia, las globulinas y prolaminas son de menor fracción como se representa en la Tabla 8 (Ortiz, 2006; Paredez, 1994).

Tabla 8. Distribución de las fracciones proteicas en los cereales.

Cereal	Albuminas (%)	Globulinas (%)	Prolaminas (%)	Gluteninas (%)
Arroz Blanco	4.2	2.8	3	79
Maíz	5	7	41	30
Amaranto	48.9- 65	13.7-18.1	1-3.2	22.4-42.3
Trigo Panadero suave	9	6	45	35

Fuente: Callejo (2002); Serna (2001)

2.3.1 Gluten.

En Italia (1728), Becari aisló por primera vez el gluten partiendo de una masa de harina de trigo mediante lavado con una corriente de agua, fue la primera proteína aislada de materia vegetal, en base seca está constituido de 75-86% de proteína, el resto lo conforman lípidos y carbohidratos fuertemente unidos a la matriz proteica. El



GENERALIDADES

gluten contiene diferentes tipos de enlaces: puentes disulfuro, de hidrógeno, interacciones hidrofóbicas y electrostáticas (Escarcega, 2001; Gutiérrez y Villanueva, 2003).

El gluten es un conjunto de proteínas de reserva glutelinas (gluteninas) y gliadinas (prolamina) insolubles en agua, la cual tiene propiedades únicas que hacen posible que las masas elaboradas con harina de trigo sean capaces de transformarse en pan gracias a sus interacciones intermoleculares como se muestra en la Figura 4 (Badui, 1999; Gómez y Bonastre, 2005).

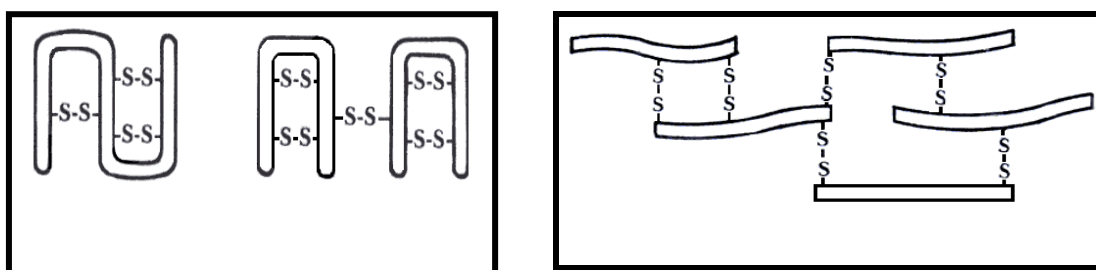


Figura 4. Estructura de Gluten y gluten amasado.
Fuente: Badui (1999)

Las prolaminas son el grupo cuantitativamente más importante en los cereales a excepción del arroz y la avena. Estas proteínas de reserva actúan como almacén de nitrógeno y carbono para el crecimiento de la planta. Ya que tienen una tasa elevada de aminoácidos prolina y glutamina, que pueden encontrarse entre un 30 y 70 % del resto de los aminoácidos. Cada uno de los cereales presenta variadas estructuras, aunque algunas son muy parecidas (Dendy y Dobraszczczyk, 2001).

En la Tabla 9 se muestra la proporción contenida de prolaminas en diferentes cereales La Zeína (maíz), Orzeína (arroz), gliadina (amaranto), aunque tienen una proporción de prolamina, no presenta toxicidad alguna en los pacientes con dicha enfermedad.

Tabla 9. Porcentaje de prolaminas en cada cereal.

Cereales	Tipo de Prolamina	Contenido %
trigo	Gliadina	69
centeno	Secalinina	30-50
avena	Avenina	16
cebada	Hordeina	46-52
maíz	Zeína	55
arroz	Orzenina	5
sorgo	Kafirina	52
Amaranto	Gliadina	1- 3.2

Fuente: Ortiz, (2006); Asociación de celíacos de México (2007)



GENERALIDADES

Las gluteninas y gliadinas pueden ser separadas mediante la adición de ácidos y bases diluidas y alcohol etílico. Las primeras precipitan y las segundas quedan en suspensión. El gluten se utiliza ampliamente en el campo de la alimentación como se indica a continuación (Gutiérrez y Villanueva, 2003).

- ↘ Panificación: se utiliza como mejorador natural, para incrementar la fuerza de la harina.
- ↘ Pastas: Aumenta la resistencia a la cocción de las pastas, mejora la firmeza del producto cocido y refuerza el contenido proteico.
- ↘ Embutidos: Es un aglutinante, homogeneizante y estabilizante de una textura determinada. (crudos, cocidos, rellenos de carne o pollo).
- ↘ Productos Dietéticos: Es utilizado como sustituto proteico, reduciendo carbohidratos en los regímenes dietéticos.
- ↘ Otros usos: Cereales para desayuno “carne vegetal”, alimento para animales y peces, etc.

Las propiedades funcionales del gluten de trigo como: absorción de agua, viscoelasticidad y termocoagulación no pueden ser reemplazados por otros productos para la elaboración de las anteriores aplicaciones. Estas propiedades son únicas y lo diferencian de cualquier otra proteína vegetal (Mazza, 2000).

Aunque su principal aplicación es la panificación, se recomienda en aquellos productos que deban soportar la carga de varios ingredientes, ya que se utiliza como vehículo o excipiente de aditivos, agente preservador de humedad, barrera frente a grasa y aromas externos, evita la difusión de color y el proceso de oxidación (Gutiérrez y Villanueva, 2003).

En estudios más detallados, tras el aislamiento del Gluten, se identificó la gliadina la cual es una fracción proteica presente en el gluten, como responsable de la toxicidad entérica en los individuos celíacos, debido a que la glutamina (aminoácido presente en la gliadina) sufre una desaminación a ácido glutámico, siendo un mecanismo crucial en la toxicidad del gluten (Callejo, 2002; Hamer, 2005; Hosney, 1991).

La glutamina esta distribuida ampliamente en todas las proteínas alimentarias, pero se encuentra en mayor concentración en el gluten de trigo, centeno, cebada y avena. A pesar de que el arroz y el maíz contienen glutamina (en cantidades menores) son tolerados adecuadamente por los pacientes con Enfermedad Celíaca (Anderson *et al.*, 1988).



GENERALIDADES

2.4 Importancia Tecnológica.

2.4.1 Trigo.

Es el grano que más se consume en forma de harina; se obtiene por molturación en seco. Dentro de la clasificación en trigo, los trigos duros, se emplea comúnmente para la elaboración de pan y productos afines fermentados, la clase suave, se utiliza para elaborar galletas, pasteles y productos leudados con agentes químicos. Los *durums* se emplean para sémolas para obtención de pastas. En los países más industrializados, las $\frac{3}{4}$ partes del consumo de cereales se basa en trigo y sus derivados. Los trigos de menor calidad, se emplean para alimentación animal (Serna, 2001).

Cuando existe un mal almacenamiento puede originar germinación, ya que surge al final del período de inactividad (proteólisis y amilólisis α desfavorables en panificación). La proliferación de mohos, provoca hidrólisis de glicolípidos y fosfolípidos. La acción de las lipasas y lipooxigenasas endógenas del grano, o la oxidación química de los lípidos, pueden provocar la formación de compuestos de sabor y olor desagradable (Cheftel *et al.*, 1989).

Los productos de la molturación se clasifican técnicamente, según el diámetro de las partículas en: Mostacilla ($> 500 \mu\text{m}$), Sémola (200-500 μm), Semolina (120-200 μm) y harina (14-120 μm) (Astiasáran y Martínez, 2000).

La composición de la harina depende del tipo de cereal del que procede y grado de extracción (cantidad de harina obtenida a partir de 100 Kg de cereal). A medida que aumenta el contenido en componentes de las envolturas de cereal aumenta también los minerales, vitaminas y fibra alimentaría.

Por otro lado, es necesario realizar análisis a la harina para determinar la calidad y control realizando ensayos como (Astiasáran y Martínez, 2000):

- Valoración del grado de refinación: para ello, es necesario conocer el contenido de minerales (salvado, aleurona y germen) mediante incineración y estimación del grado de contaminación de la harina midiendo el color.
- Valoración del estado de conservación: La harina no debe rebasar el 13 % de humedad para evitar proliferación de micotoxinas. Así como, conocer el grado de hidrólisis que han sufrido las grasas (acidez).
- Valoración de la calidad panaria: Se determina a través del contenido de gluten, plasticidad y consistencia (farinógrafo) capacidad de retención de



GENERALIDADES

gas y tolerancia a la fermentación (extensógrafo), capacidad de formación de alvéolos (alveógrafo).

2.4.2. Amaranto.

Actualmente solo se aprovecha la semilla de la planta del amaranto a nivel comercial, cuyo uso se limita a la elaboración de dulces de varias formas y tamaños. En el Distrito Federal (Tulyehualco región productora), han tratado de aprovechar el amaranto con fines comerciales produciendo una gran variedad de alimentos a base de este pseudocereal y trigo, sin embargo el impacto no ha sido suficiente en los consumidores a pesar de que su cultivo es una fuente barata y eficaz de proteína para toda la población (Chillo *et al.*, 2007; Tristán, 1994).

La harina de amaranto contiene 15.74% de proteína, 53% de fibra dietética e importantes cantidades de minerales como fósforo y calcio. Tosi y colaboradores (1996), utilizaron la harina de amaranto como posible sustituto de trigo en la elaboración de galletas con buenos resultados.

2.4.3. Arroz.

Su consumo requiere remover cascarilla y someterlo a molienda abrasiva. La cascarilla se utiliza como combustible para los secadores del proceso. El salvado es utilizado en alimentación animal y humana (aditivos en pastas para mejorar textura). El salvado de arroz se comercializa como complemento alimenticio y la obtención de sus proteínas le confiere propiedades funcionales aplicables en la industria alimentaria. También se industrializa en arroz inflado para snack, las sémolas finas de arroz se utilizan para espolvorear e impedir que las piezas de masa se adhieran unas a las otras. Dado que tiene poco aceite, tienen buenas propiedades de almacenamiento. Casi no se utiliza en la elaboración de galletas, salvo las cracker de Japón; pero no hay motivo alguno para impedir su utilización. El sabor de la harina de arroz es muy suave; también se han hecho formulaciones con esta harina para la elaboración de panes sin gluten (Gómez y Bonatre, 2005; Manley, 1989; Quaglia, 1991; Velázquez *et al.*, 2007).

2.4.4. Maíz.

A partir de maíz se obtienen harinas, sémolas, almidones, edulcorantes, alcohol industrial, bebidas alcohólicas, tortillas, snack, alimentos para desayuno y otros productos. La proporción destinada a alimentación humana se procesa por molienda seca y/o húmeda. En países subdesarrollados existe una tendencia mayor al empleo



GENERALIDADES

del maíz en alimentación humana con múltiples recetas, incluyendo grano entero y/o producto de molienda.

Generalmente, se utiliza como materia prima para la obtención de productos no horneados, tal es el caso de: jarabe de glucosa, polvos de dextrosa y dextrina mediante hidrólisis ácida o enzimática. La inclusión excesiva produce una sensación de sequedad. La harina de maíz puede tener cantidades de agua tan bajas como 1-2 %. La pureza del almidón y la ausencia de aceite hacen que este material sea muy resistente al deterioro por almacenamiento. En algunos países, la harina de maíz se utiliza pura o mezclada con la de trigo para la preparación del pan, siendo pobre en gluten, tiene cualidades inferiores a la de trigo (Callejo, 2002; Hosoney, 1991; Manley, 1989; Quaglia, 1991).

3. ALIMENTOS FUNCIONALES.

3.1 Definición.

La idea de diseñar productos alimentarios con efectos beneficiosos para la salud es relativamente nueva y responde al cada vez mayor reconocimiento del papel de la dieta en la prevención y tratamiento de enfermedades. Por lo que este tipo de productos son adicionados con vitaminas, antioxidantes, ácidos grasos, fibras y sustancias terapéuticas. En algunos casos el aporte real de los componentes funcionales es mínimo o bien, sus efectos son exagerados, Este tipo de alimentos funcionales genera la idea de estar consumiendo alimentos adecuados y saludables Pero por otro lado, la imagen de estos alimentos genera que se cree un sentimiento de estar comiendo alimentos no reales o de mal sabor (Specher, 2005).

Mazza (2000) sugiere una definición de alimentos funcionales como aquellos que tienen una apariencia similar a la de un alimento convencional, que es consumido como parte de una dieta normal, presentando propiedades fisiológicas beneficiosas reduciendo el riesgo de contraer enfermedades crónicas.

Actualmente, existen varias definiciones de los productos funcionales, básicamente se refiere a los alimentos que abarcan productos potencialmente saludables, incluyendo cualquier alimento modificado o ingrediente alimenticio que pueda proveer un beneficio a la salud más allá de los nutrientes tradicionales que pueda contener (Specher, 2005).



GENERALIDADES

3.2 Clasificación.

Se han utilizado muchas expresiones para describir los múltiples productos naturales con efectos sobre la salud tales como (Astiasáran y Martínez, 2000):

- | | |
|-----------------------------|------------------------------------|
| 1.- Productos Nutracéuticos | 6.- Sustancias fotoquímicas |
| 2.- Alimentos Funcionales | 7.- Alimenticias |
| 3.- Farmalimentos | 8.- Alimentos médicos |
| 4.- Alimentos de diseño | 9.- Suplementos alimentarios |
| 5.- Vitalimentos | 10.- Hierbas o plantas medicinales |

3.3. Productos para alimentación especial

Dentro de la clasificación anterior, los alimentos funcionales se caracterizan por aportar beneficios a la salud del consumidor, por ello, los alimentos tienen efectos positivos sobre esta, los PARTNUTS (alimentos para uso nutricional particular) se utilizan para usos nutricionalmente especiales que favorecen el bienestar de determinados consumidores, los cuales engloban nueve categorías tales como (Mazza, 2000):

1. Fórmulas infantiles
2. Leche de continuación y otros alimentos de continuación
3. Alimentos infantiles
4. Alimentos infantiles con bajo contenido energético o reducido diseñado para controlar el peso.
5. Alimentos dietéticos para usos médicos especiales.
6. Alimentos con bajo contenido de sodio
7. Alimentos sin gluten
8. Alimentos diseñados para el esfuerzo muscular intenso
9. Alimentos para diabéticos.

En la reglamentación técnico-sanitaria sobre preparados alimenticios para regímenes dietéticos especiales se definen los *productos alimenticios destinados a una alimentación especial*, como:



GENERALIDADES

Aquellos que, por su composición o por el proceso de su fabricación, se distinguen claramente de los productos alimenticios de consumo corriente, con un objetivo nutritivo señalado y se comercializan indicando que responden a dicho objetivo para determinadas personas cuyo proceso de asimilación o de metabolismo se encuentran alterados (Astiasáran y Martínez, 2000).

3.3.1. Características.

- Los preparados alimenticios para regímenes específicos deben estar preparados con ingredientes sanos, adecuados y apropiados para el uso a que se destinan (Codex alimentario, 1983).
- Las materias primas con que se elaboran deben cumplir con las especificaciones de composición, calidad e higiene que establecen las reglamentaciones correspondientes.
- La denominación de venta debe ir acompañada de la mención de sus características nutricionales especiales. Aquellos productos que estén destinados a personas con condiciones fisiológicas particulares o cuyos procesos de asimilación y metabolismo estén alterados, podrán caracterizarse por las indicaciones de DIETÉTICO ó de RÉGIMEN.
- En el etiquetado y publicidad, cabe mencionar que, salvo que tenga reglamentación específica, estos productos deberán reflejar la composición nutricional o el proceso que da al producto la condición especial, valor energético (Kcal y KJ), contenido de hidratos de carbono, proteínas y lípidos por 100 g ó 100 ml de producto.
- Es necesario que no se atribuya a los mismos, propiedades de prevención, tratamiento o curación de enfermedades. Evitando confusión por parte del consumidor (Astiasáran y Martínez 2000).

Un producto peligroso puede afectar al organismo humano de muy diversas formas, produciendo numerosos efectos negativos directos sobre tejidos u órganos (Mazza, 2000).

En la 20^{ava} reunión del comité del Códex Alimentario sobre Nutrición y Alimentos para Regímenes Especiales, (1996) definen los productos Sin Gluten, teniendo en cuenta el contenido en nitrógeno de los granos de cereales que contienen gluten (0.05 %



GENERALIDADES

gramos de dichos granos), así como su peso seco. Se entiende como alimento Libre de Gluten:

- ✓ Aquel que se preparara únicamente con ingredientes que no contienen prolaminas procedentes de trigo, o de todas las especies del género *Triticum*, centeno, cebada, avena, o sus variedades cruzadas, cuyo contenido de gluten no sea superior a 20 ppm.
- ✓ En cuya composición se encuentran ingredientes obtenidos a partir de trigo, cebada, centeno, avena o variedades, cuyo contenido de gluten no sea superior a 200 ppm.

Los alimentos libres de gluten que se emplean en sustitución de alimentos básicos importantes, han de suministrar aproximadamente, la misma cantidad de vitaminas y minerales que los alimentos originales en cuya sustitución se emplean. Es importante mencionar que, este tipo de alimentos deben prepararse conforme a buenas prácticas de manufactura para evitar la contaminación con prolaminas, y en su etiquetado, debe figurar la expresión “Exento de Gluten” muy cerca del nombre del producto, considerándolo como una declaración de propiedad (Figura 5) (Gutiérrez y Villanueva *et al.*, 2003).



Figura 5. Etiquetado de alimentos libres de gluten.
Fuente: Guzmán (2008).

3.3.2. Alimentos libres de gluten en el mercado.

Las personas celíacas pueden encontrar en el mercado, algunos alimentos totalmente desprovistos de gluten, los cuales se citan en la Tabla 10.

Por otro lado, una asociación mexicana encabezada por Cecilia Fonollá hizo una investigación previa sobre los alimentos comercializados en México, analizando



aquellos que dieron negativo en presencia de gluten. Existen algunos establecimientos particulares que elaboran productos de panadería sin gluten que no son mencionados en la lista, lo cual sugiere que pueden ser consumidos sin ningún problema aquellos que sufren de Enfermedad Celiaca (Tabla 11) (Acelmex, 2007).

Tabla 10. Productos comercializados libres de gluten (LDG).

TIPO	CARACTERÍSTICAS
Harina de arroz	Se obtiene de la molienda del arroz glaseado o perlado hasta conseguir la consistencia de la harina. Su almidón debido a su estructura, es el más digerible de todos los cereales.
Harina de Maíz	Producto de la molienda del grano de maíz. El proceso de molturación es diferente, por el mayor tamaño de sus granos
Sémola de Maíz	Producto resultante de dejar el grano de maíz a medio moler, después de pasar por los disgregantes y trituradores desprovisto de su cubierta. Su estructura granulosa depende del tipo de cernedor final por el que se ha pasado. Se utiliza para sopas.
Galletas	Elaboradas con una mezcla de harina de arroz, maíz y soya.
Pasta	Elaborada con almidón de maíz, tapioca, y puré de papa en polvo
Tostadas de pan	Elaboradas con una mezcla de harinas de arroz, maíz y soya por el procedimiento de extrusionado. Son de fácil digestión.
Tapioca y derivados	Es el almidón obtenido de la raíz de mandioca. Con la molturación de las raíces, se obtienen las harinas de mandioca, después, por purificación, dan el almidón, luego de la humectación y secado se transforma en tapioca. Se Utiliza en sustitución de pastas, panes y pasteles caseros, sola o en mezcla a fin de que reemplace la acción del gluten para retener los gases de la fermentación y ayudar al esponjamiento de la masa.

Fuente: Astiasáran y Martínez (2000)

En algunos casos, las empresas que se dedican a la manufactura de alimentos no solo procesan o empacan un tipo de producto, por ejemplo, una planta empacadora de amaranto solo deben empacar amaranto para evitar posible recontaminación y pueda

GENERALIDADES



ser consumido libremente por los celíacos. Para ello, es necesario asegurarse consultándolo directamente al establecimiento.

Tabla 11. Productos alimentarios analizados sin presencia de gluten.

PRODUCTO	CARACTERÍSTICAS
Kurson Kosher	Hamburguesa, salchicha árabe, pechuga de pavo ahumada, jamón de pavo rostizado, pastrami de res rebanado, roast beef, carne de res cocida rebanada, salami de res, bologna.
Alimentos Especiales pedidos	Galletas sin huevo, harina de arroz, arroz inflado, pan molido, galletas de almendra.
MASECA	Harina de maíz
HERDEZ	Ensalada de legumbres, champiñones enteros, jugo de naranja tetra pack, 200 ml, jugo de manzana tetra pack, 200 ml, salsa verde, atún en aceite y agua, Festín bebida con jugo de naranja y mandarina, Festín formula láctea sabor vainilla, fresa y chocolate.
Carlota	Jarabe de maple, jarabe de maple sabor mantequilla, miel de abeja
Mc Cormick	Mayonesa con jugo de limones, mostaza, mermelada de naranja, té negro, té de manzanilla, limón, canela.
Nestlé	Media Crema
Dulces	Pasitas cubiertas con chocolate, chocolate Mc Kim, arroz crocante cubierto con chocolate, chocolate Mk Kim, figuras de chocolate con leche y arroz crocante, chocolates Mc Kim, paleta de caramelo macizo acidulado sabor chocomenta, dulces Vero, paleta Tutti chupa pop de caramelo macizo sabor cereza relleno de gomitas de mascar.

Fuente: Acelmex (2007)

Muchos de los alimentos procesados que están permitidos consumir, es dudoso su consumo, debido a que no especifican el origen de las materias primas con que se elaboraron, tal es el caso de:

- | | |
|--------------------------------------|------------------------------|
| √ Saborizante artificial y/o natural | √ Especias |
| √ Color Caramelo | √ Maltodextrinas |
| √ Dextrinas | √ Glutamato monosódico (GMS) |
| √ Cubos de sazonadores | √ Mostaza en polvo |



GENERALIDADES

- √ Almidón modificado de alimentos
- √ Catsup, mayonesa, mostaza
- √ Alimentos fritos o a la parrilla

En su mayoría, alguno o varios de éstos, se encuentran especificados en la etiqueta sin mencionar su origen u obtención. Por ello se tiene que tener precaución al intentar consumir algún producto con estos ingredientes.

La problemática más importante de los Enfermos Celiacos es el no ingerir ningún tipo de producto de panadería y pastelería, por el contenido de gluten. Existe una correlación entre la Enfermedad Celiaca y la sucesiva incidencia de tumoración en intestino delgado. Por lo que, la necesidad de producir alimentos privados de gluten deberá ir en aumento (Quaglia, 1991).

Por lo que, se enfrenta a problemas de índole químico – analítica y de naturaleza tecnológica. Disponiendo de un método capaz de determinar, el contenido en gluten de la harina utilizada y /o disponer de productos, y en especial pan, adaptados para pacientes con esta enfermedad (Rossato *et al.*, 2004).

3.4 Legislación.

En la elaboración de productos libres de gluten para consumo de pacientes Celiacos, es necesario recurrir a la reglamentación establecida, incluyendo desde materias primas, producto terminado y etiquetado. No sin mencionar, la más importante, referida a los alimentos exentos de gluten (Codex Alimentario, 1985; Codex Alimentario, 1983).

Es importante mencionar que la ingesta diaria de total de prolaminas para pacientes celíacos no debe exceder de 10 mg al día (Informe de la 20^a Reunión del comité del Códex Alimentario sobre Nutrición y Alimentos para Regímenes Especiales, 1996).

Aunque vale la pena mencionar que este dato no es aplicable a un considerado número de pacientes con Enfermedad Celiaca. Por tanto, no hay acuerdo sobre el límite exacto a considerar generalizadamente.

En un sentido más estricto la National Health and Medical Research Council de Australia, 1975, indican que los ingredientes para la producción de alimentos privados



GENERALIDADES

de gluten deben contener un máximo de 0.05 % de nitrógeno, igual al 0.3 % de gluten (Quaglia, 1991).

De acuerdo al Códex alimentario se acepta el consumo de 20 ppm en alimentos que por naturaleza son libres de gluten y 200 ppm para productos especializados para enfermos celíacos (Mena, 2007).

A continuación se enlista las normas que regulan los alimentos de régimen especial libres de gluten.

- Norma del Códex para Alimentos <<Exentos de Gluten >> Códex Stan 118-1981. (Enmendada en 1983)
- CÓDEX STAN 146-1985 Norma General para el Etiquetado- Declaración de Propiedades de Alimentos preenvasados para régimen Especial
- Proyecto de norma revisada para alimentos exentos de gluten (CÓDEX STAN 118-1983).

En México existen asociaciones para celíacos que luchan por lograr una mejor calidad de vida de estos pacientes, incluso legisladores que han intentado proponer una iniciativa de etiquetado para productos que contienen gluten aún sin éxito. Sin embargo, se continúa exhortando a la Secretaría de Salud, y así, establecer una medida preventiva que favorezca a los enfermos celíacos, modificando la NOM-147-SSA1-1996. Bienes y Servicios. Cereales y sus Productos. Harinas de Cereales, Sémolas y Semolinas. Alimentos a base de cereales, de semillas comestibles, harinas con sus mezclas. Productos de panificación; las disposiciones necesarias a fin de que en el etiquetado de estos productos se indique el contenido de gluten o presencia de gluten.



II. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar nuevos productos libres de gluten (Pan blanco y galletas tipo María) a base de harinas y/o mezclas de amaranto, arroz y maíz; que cumplan con características físicas, químicas, fisicoquímicas y tecnológicas de un producto tradicional y que sea apto para Celiacos.

OBJETIVOS PARTICULARES

- 1.- Realizar una revisión bibliográfica sobre los síntomas y causas de la intolerancia al gluten para proporcionar información sobre la Enfermedad Celiaca y establecer su importancia en México.
- 2.- Desarrollar una harina libre de gluten a partir de amaranto, arroz y maíz que cumpla con características físicas, químicas y fisicoquímicas de una harina panificable
- 3.- Establecer las formulaciones para la elaboración de pan blanco y galletas tipo María, que sean aptos para pacientes con enfermedad Celiaca.
- 4.- Evaluar las características físicas (Volumen, textura, impronta y factor expansión); químicas (proteína, grasa, fibra cruda, carbohidratos, humedad, ceniza, ausencia de Gluten); fisicoquímicas (pH y acidez) y sensoriales a productos desarrollados libres de gluten.
- 5.-Estudiar los cambios durante el almacenamiento (Temp. ambiente y 45 % HR) del pan blanco y galletas libres de gluten que permita establecer su vida útil en el mercado.
- 6.- Comparar los productos desarrollados con los productos libres de gluten que se comercializan en México (Marca Santiveri y Noglut), para establecer su aceptabilidad sensorial en consumidores y requerimientos señalados en el Códex alimentario sobre alimentos destinados para regimenes especiales.



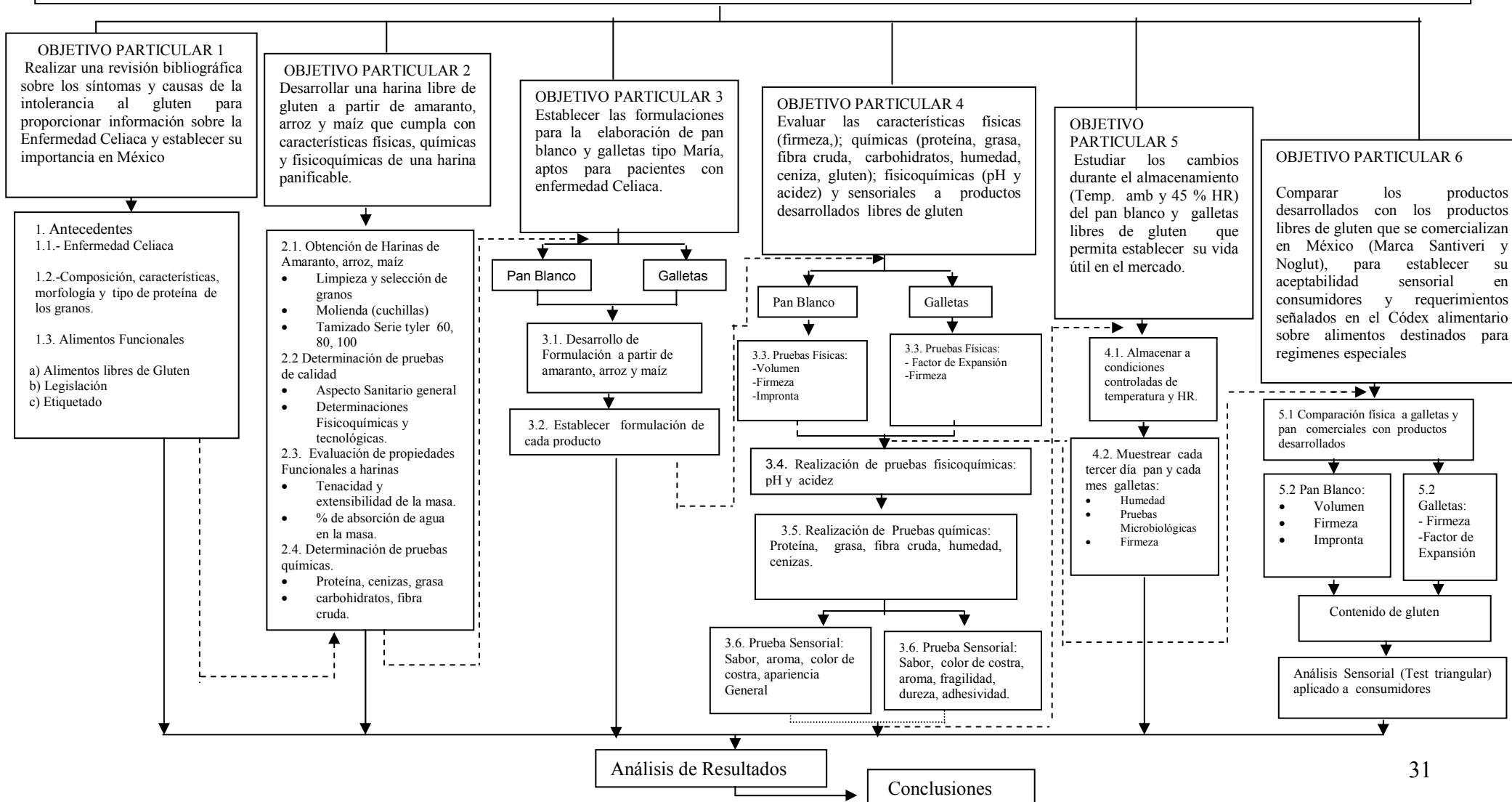
MATERIALES Y METODOS

III. Metodología Experimental

3.1 Cuadro Metodológico

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar nuevos productos libres de gluten (Pan blanco y galletas tipo María) a base de harinas y/o mezclas de amaranto, arroz y maíz; que cumplan con características físicas, químicas, fisicoquímicas y tecnológicas de un producto tradicional y que sea apto para Celiacos.





MATERIALES Y METODOS

3.2 OBTENCIÓN DE LOS GRANOS.

Para la realización de este estudio se emplearon granos que fueron adquiridos en diferentes centros de comercialización como indica a continuación:

El lote de amaranto reventado variedad '*A. Hypochondriacus*', fue adquirido en el poblado de Tulyehualco, D.F. El correspondiente lote de arroz extra largo variedad '*Sinaloa*', se adquirió en Bodega Aurrera sucursal Atizapán de Zaragoza, Estado de México. Mientras que, el de maíz variedad '*Blanco*' se obtuvo de la Central de Abastos, de la Ciudad de México.

3.3 SELECCIÓN Y LIMPIEZA DE LOS GRANOS.

Los granos de arroz y maíz fueron limpiados y seleccionados manualmente de acuerdo a su tamaño y color; para contar con lotes de características homogéneas, eliminando granos con malformidades, piedras y paja. El amaranto reventado se pasó por una coladera, para eliminarle restos de perispermo propios del grano, además de impurezas como polvo, paja y pasto. Cada lote de grano fue pesado y almacenado a temperatura de 10 °C en bolsas de polietileno de baja densidad, en un lugar seco, oscuro y a temperatura ambiente hasta su utilización.

3.4 OBTENCIÓN DE HARINAS DE AMARANTO, ARROZ Y MAÍZ.

Para la obtención de la harina de amaranto reventado, se utilizó un molino de discos manual (marca Estrella), mientras que la harina de arroz y maíz fueron obtenidos en un molino de cuchillas (marca 'Wiley') con cribas 2.0, 1.0 y 0.5 mm (Figura 6).

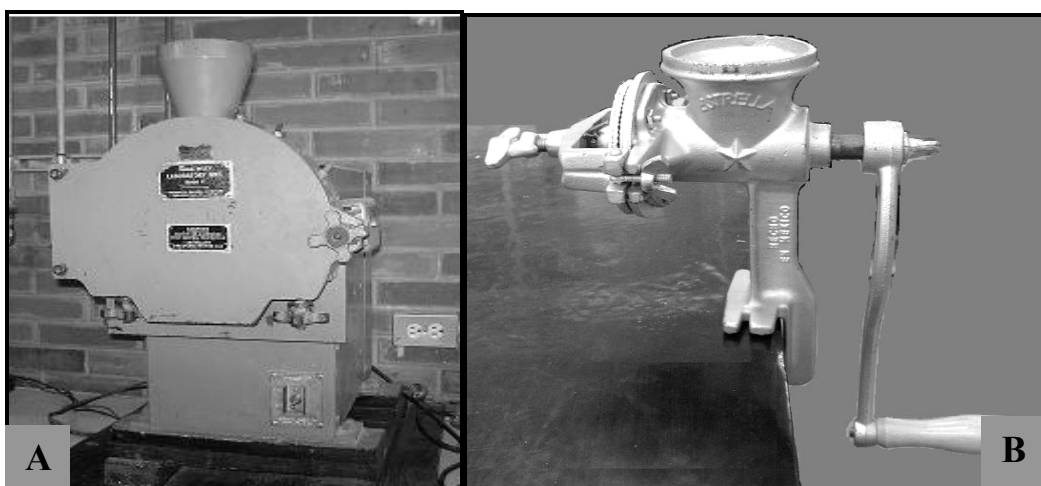


Figura 6. A) Molino de discos manual y B) molino de cuchillas marca 'Wiley'



MATERIALES Y METODOS

3.5 CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS HARINAS.

3.5.1 Determinaciones físicas realizadas a las harinas.

3.5.1.1 Granulometría.

Para obtener harinas con fracción de partícula uniforme, cada lote de grano molido fue tamizado en el equipo Rotap a través de la serie de tamices marca 'Tyler' (Figura 7) de mallas números 20, 40, 60, 80 y 100, las cuales fueron colocados de mayor a menor diámetro de abertura con una muestra de 100 gramos de harina, repitiendo esto varias veces. Cada fracción de harina retenida por cada tamiz se pesó y colocó en frascos de vidrio cerrados, sellados, etiquetados con tipo de harina, fracción de partícula (según la malla que la retuvo) y fecha de envasado.



Figura 7. Serie de Tamices 'Tyler'

3.5.2 Determinación de la calidad de las harinas.

3.5.2.1 Aspecto Sanitario General.

Esta prueba fue realizada inmediatamente después de la etapa de tamizado y después de un mes de almacenado de las harinas que se utilizaron para las formulaciones, las cuales fueron examinadas a simple vista con la finalidad de cuantificar la cantidad de materia extraña, cuerpos extraños, hongos e insectos contenidos en ellas. Debiendo ser satisfactorio acorde a la norma (SSA, 1996), la cual indica que el contenido de fragmentos de insecto debe ser menor a 50, no más de un pelo de roedor, exento de excretas en 50 gramos de producto.

El olor de cada harina debe ser característico de cada grano, sin olores extraños, principalmente sin enranciamiento, se evaluó de manera directa de la siguiente forma:

Se colocaron en un matraz Erlenmeyer 10 gramos de muestra de harina más 50 ml de agua, se tapó y se calentó en baño de agua hirviendo por un período de 10 minutos. Transcurrido este tiempo se destapó y se percibió el olor inmediatamente.



MATERIALES Y METODOS

3.5.3 Determinaciones tecnológicas realizadas a las harinas.

Estas determinaciones se realizaron a las harinas de amaranto, arroz y maíz comparándose con la harina de trigo comercial panificable. Por otro lado, se realizaron estas mismas determinaciones a las mezclas de las harinas con sus respectivos aditivos de las formulaciones obtenidas comparando con la harina comercial panificable libre de gluten como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12. Codificación de harinas para pruebas funcionales

Mezcla	Proporción %	Codificación
Amaranto	30	HAML2
Almidón	70	
Goma xantana	1.8	
Leche	2.0	
Maíz	41.65	MGMAÍZ
Almidón	17.85	
Leche	3.57	
Arroz	41.65	MG ARROZ
Almidón	17.85	
Leche	3.57	
Harina comercial LDG	100	HPP

A cada mezcla de harina se le asignó un código para facilitar su identificación

3.5.3.1 Absorción de agua.

Es una prueba empírica en la cual se determina el porcentaje de agua que absorbe la harina para la obtención de una buena masa ya que la proteína de gluten es más higroscópica que las proteínas de los otros cereales (Velázquez *et al*, 2007).

Esta prueba se realizó con 50 gr de harina al cual se le adicionó un volumen conocido de agua hasta llegar a una consistencia maleable. Los resultados se expresaron en porcentaje, se realizó por triplicado.

3.5.3.2 Pigmentos.

Las muestras de harina son sometidas a un proceso de extracción de pigmentos con una solución de agua y n-butanol para posteriormente filtrar y cuantificar el color con un espectrofotómetro marca 'Thermo spectronic' Genesys 10 UV, operando a 435.8 nm, por triplicado. La evaluación de color de las harinas es importante ya que esta relacionado con el grado de extracción de harinas y por consiguiente de la eficiencia del proceso de molienda (Serna, 2001).

Se realizó por el método de Espectro a una absorbancia de 435.8 nm



MATERIALES Y METODOS

La celda debe ser de un centímetro para aplicar el factor de 1.6632, debido a que un miligramo de caroteno en 100 ml de n-butanol saturado en agua, tiene una absorptividad de 1.6632 a 435.8 nm.

Aplicando la ecuación (1):

$$A=ecl..... (1) \text{ Ley Lambert'}$$

donde:

- A. Absorbancia
- e. Coeficiente de absorptividad molar
- c. Concentración
- l. Longitud de la celda.

3.5.3.3 Índice de Sedimentación. (Prueba de Zeleny)

El esponjamiento de la fracción de gluten de harina en solución de ácido láctico afecta el grado de sedimentación de una suspensión de harina en el medio de ácido láctico. A más alto contenido de gluten, mejor calidad de éste conduciendo a sedimentación más lenta y a más alto valor de sedimentación. Expresado en volumen sedimentado (ml) (Panreac Química S.A, 2008). Se mide el volumen después de 5 minutos de descanso de la harina hidratada y tratada con una solución acuosa de bromofenol y otra solución débil de Isopropanol. Las muestras con más alto contenido de gluten tienen mayores valores de sedimentación (AACC, 1962).

3.5.3.4 Almidón Alterado.

Se utiliza la técnica microscópica por triplicado, donde los gránulos de almidón alterado se pueden reconocer porque toman el color rojo congo. Los gránulos intactos no se tiñen, de acuerdo al método (AACC, 1962).

3.5.3.5 Gluten.

Es una prueba cualitativa, la cual se realiza por el método húmedo, donde es sometida la masa al chorro de agua y sal, extrayendo el almidón y proteínas solubles en agua como (albúminas y parte de globulinas), quedando un residuo húmedo con propiedades elásticas y cohesivas llamado gluten vital (gluteninas y prolaminas) (Serna, 2001). Esta prueba fue realizada por triplicado.

3.5.3.6 Cifra de Pelshenke:

Con harina, agua y levadura se hace una masa que es moldeada en forma de bola y es sumergida en una probeta con agua colocada en un gabinete de fermentación a 30 ° C.



MATERIALES Y METODOS

El tiempo que demora la masa en desintegrarse (Valor de Pelshenke) indica la calidad del gluten. Entre más fuerte es el gluten más tiempo tarda en desintegrarse la masa (AACC, 1962). Esta prueba debe realizarse por triplicado.

3.5.4 Propiedades funcionales de las harinas.

Estas determinaciones fueron realizadas a las harinas de amaranto, arroz y maíz comparadas con la harina panificable de trigo y a las mezclas de las harinas comparadas con la harina panificable libre de gluten.

I.- Extensión y Tenacidad.

En el ensayo con el Alveógrafo (Figura 8), la masa se extiende bidimensionalmente formando un alveolo, por efecto de la fuerza debido a la presión de aire que se infla por debajo de la lámina de masa obtenida. Este ensayo imita la formación de alvéolos en el seno de la masa por anhídrido carbónico producido por las levaduras durante la fermentación. El Alveógrafo mide las propiedades reológicas (extensión y tenacidad) de las masas (Escarcega, 2001; Panreac Química S.A, 2008; Serna, 2001).

Esta prueba se realiza por duplicado y los datos que se obtienen son:

S.- Área bajo la curva (cm) Se obtiene del alveograma (planímetro), este parámetro se relaciona con la fuerza de la harina.

H. Altura máxima (mm) Es la resistencia máxima a la deformación se determina de la base al pico más alto de la curva.

L. Largo de la curva (mm) da una idea de la extensibilidad de la masa, se determina del inicio de la curva hasta la ruptura.

P.- Tenacidad La tenacidad indica la resistencia a la deformación, este valor se obtiene multiplicando la altura máxima por 1.1.

Relación P/L Este parámetro indica el balance viscoelástico de los componentes de la masa entre la resistencia a la deformación (P) y la extensibilidad (L).

W.- Fuerza Es el trabajo mecánico que se aplica sobre el globo por gramo de fuerza ($J \cdot 10^{-4}$).



Figura 8. Alveógrafo Chopan Harinera 'Los Vascos' Tlalnepantla



II.- Consistencia de la masa

El principio se basa en determinar por medio de prueba y error la cantidad óptima de agua para lograr la consistencia ideal de la masa (500 UB) a través de un farinógrafo, el cual, mide la resistencia que opone la masa al mezclado debido a esfuerzo mecánico. Por medio de este instrumento se puede determinar el rendimiento probable de pan que puede dar una harina, midiendo la absorción de agua, así como el acondicionamiento de la masa y la resistencia que presentara a la fermentación (Alvarado, 2001; Benni3n, 1970; Serna, 2001).

Los parámetros que se evalúan son:

- √ Porcentaje de absorción. Es la cantidad de agua necesaria para centrar la curva en 500 UB, este parámetro me indica la cantidad de agua a adicionar en el amasado, para panificaci3n deben ser de 59-63% y las galleteras 51-53%.
- √ A.- Tiempo de llegada. Tiempo que tarda la masa en adquirir una consistencia de 500 UB, medida del grado de hidrataci3n de la harina.
- √ B.- Tiempo 3ptimo de desarrollo (minutos). Tiempo que tarda la curva en alcanzar el punto m3s alto. Representa la consistencia m3xima de la masa.
- √ C.- Estabilidad (minutos). Es el tiempo en que la curva permanece tocando por lo menos un punto de la l3nea de 500 UB. Indicando que tan estable es la masa durante el proceso. La harina panadera tiene un tiempo de 12 minutos mientras que las galleteras de 4 a 6 minutos.
- √ D.- Tiempo de partida (minutos). Es la suma del tiempo de llegada y la estabilidad. desde el tiempo cero, hasta que la curva abandona la l3nea de las 500 UB.
- √ E.- ITM 3ndice de Tolerancia al Amasado (UB). Valores altos indican masas con poca estabilidad. Se traza una l3nea horizontal desde el tiempo 3ptimo de desarrollo hasta 5 minutos despu3s, al final se dibuja una l3nea perpendicular hasta tocar la superficie de la curva. Si este valor es alto se corre el riesgo de sobreamasado.
- √ F.- Tiempo de Ca3da (minutos). Este parámetro se obtiene trazando una l3nea paralela 30 UB por debajo de la l3nea 500 UB, ubicando el punto donde la curva se centra, se registra desde el punto cero hasta dicho punto. Este valor indica el momento en que la estructura se rompe.



Figura 9. Farinógrafo Brabender

Fuente: Harinera 'Los Vascos' Tlanepantla, Edo. de México

3.5.5 Determinaciones fisicoquímicas a harinas.

3.5.5.1 pH y acidez total.

Una muestra de 10 gramos de harina se suspendió en 100 ml de agua destilada, la solución se filtró y al filtrado se le midió el pH en un potenciómetro manual digital (marca HANNA instruments, modelo pH ep1) este es medido por triplicado.

La acidez total se determinó de acuerdo al método de titulación directa descrito por AOAC (1980), tomando una alícuota de 20 ml de la solución filtrada y adicionando 3 gotas de fenolftaleína como indicador y por titulación directa con hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 N. por triplicado.

3.5.6 Determinaciones químicas a harinas.

3.5.6.1 Grasa.

La muestra previamente homogeneizada, seca y pesada se sometió a una extracción con éter de petróleo y libre de peróxidos o mezcla de ambos. Posteriormente, se realizó la extracción total de la materia grasa libre por el método de Soxhlet (AOAC, 1980). El resultado promedio de tres réplicas obtenido se expresó en porcentaje.

3.5.6.2 Cenizas.

Se determinó por el método de Klem descrito en (AOAC, 1980). El promedio obtenido de resultados de tres réplicas se expresaron en porcentaje.

3.5.6.3 Fibra Cruda.

Esta determinación se llevó a cabo por el método de Kennedy y Wendy, el cual consiste en determinar el residuo orgánico que queda después de hervir sucesivamente el



MATERIALES Y METODOS

material desengrasado con ácido sulfúrico e hidróxido de sodio diluidos. El resultado obtenido se reporta en porcentaje, se realizó por triplicado. (Pearson, 1989).

3.5.6.4. Carbohidratos totales.

Método realizado por diferencia, el cual fue calculado a partir de las otras fracciones del análisis proximal, expresado en porcentaje.

$$\% \text{ CHOS} = (100 - (\% \text{ humedad} + \% \text{ cenizas} + \% \text{ grasa} + \% \text{ proteína} + \% \text{ fibra cruda}))$$

3.5.6.5 Porcentaje de humedad.

Se determinó por estufa a 130 ± 3 °C durante dos horas (AACC método 44-15). Se tomaron muestras de harina de fracción de partícula de malla 80 para el caso de las harinas de arroz y amaranto, mientras que para la harina de maíz se utilizó malla 60, se realizó por triplicado.

Las muestras de harina que se analizaron en el Alveógrafo se les determinó humedad, en termobalanza marca 'Brabender', que se basó en la cuantificación de pérdida de peso al secado de una muestra que es sometido a luz infrarroja (Velázquez *et al.*, 2007).

3.5.6.6 Proteína.

Fue evaluado por el método descrito por (AOAC; 1980) Microkjeldahl, el cual se basa en la combustión húmeda de la muestra calentada con H₂SO₄ concentrado en presencia de un catalizador donde se transforman las sustancias nitrogenadas en sulfato de amonio valorable con desprendimiento de CO₂ y formación de agua (digestión), la muestra obtenida es colocada en un destilador con la finalidad de obtener el NH₃ libre a partir del (NH₄)₂SO₄ agregando NaOH + Na₂S₂O₃ y recibiendo el destilado en un volumen de H₃BO₃ (destilación) y quedando atrapado el NH₃ para finalmente titularlo con el objeto de valorar el ácido en exceso y colocar el NH₃ desprendido (titulación). El resultado obtenido se expresó en porcentaje, utilizando como factor 5.95 para arroz y 5.75 para las demás realizado por triplicado (Pearson, 1989).

3.6 DESARROLLO DE PRODUCTOS LIBRES DE GLUTEN (LDG).

3.6.1 Elaboración de pan blanco.

En la elaboración de formulaciones para pan de amaranto y arroz se utilizaron harinas de fracción de partícula de malla 80, mientras que la harina de maíz se utilizó la malla 60.

3.6.1.1 Formulaciones de pan blanco.

Para evaluar el comportamiento en panificación de las harinas de amaranto, arroz y maíz, se elaboró una prueba preeliminar de pan blanco como se describe en la Tabla 13, la cual fue utilizada para cada una de las harinas de amaranto, arroz y maíz, además de la harina comercial de trigo panificable como control por el Método de panificación Directo.



Tabla 13. Formulación preliminar para pan blanco Método Directo.

Ingredientes	Harina (%)
Harina	55.10
Agua	36.36
Azúcar	4.13
Levadura seca (<i>Saccharomyces Cerevisae</i>)	1.65
Manteca vegetal	1.65
Sal	1.10

- Formulación basada en porcentaje de proporción.
Fuente: Serna (2001); Velázquez *et al.* (2007).

El Método de Panificación Directo consiste en mezclar todos los ingredientes de la formulación al mismo tiempo con la levadura previamente hidratada en una proporción de agua. La masa obtenida se fermenta en una cámara acondicionada para ello a 30° C por un período de dos horas a humedad relativa de 85 % con un humidificador ultrasónico marca ('Sun Shine'). Una vez amasado se colocó en moldes para hornear con dimensión de 7 x 12 cm, para posteriormente llevar a cabo una segunda fermentación por una hora bajo las mismas condiciones anteriormente mencionadas, para finalizar con el cocimiento en el horno de convección marca ('Hamilton Beach') a temperatura de 200° C por 20 minutos.

a) Primera Formulación.

Esta formulación se realizó por el Método directo basándose en la propuesta de Serna, (2001) y la revista Proceli (2007), la cual se describe en la Tabla 14. Para la formulación de trigo fue necesario realizarla separadamente con utensilios distintos para evitar la contaminación cruzada.

Para la realización del pan sin gluten, se sustituyó la harina de trigo por harina de arroz para dar estructura a las masas, almidón de maíz como agente espesante, goma xantana para ayudar a la retención de gas, ambos imparten propiedades de textura y apariencia a los panes (Chillo *et al.*, 2007), lecitina de soya como emulgente proporcionando a la estructura estabilidad, así como el ácido ascórbico el cual aumenta tenacidad y elasticidad y actúa como un antioxidante y bicarbonato de sodio como gasificante, además de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) para el mismo fin, azúcar, sal y agua, del mismo modo se fue sustituyendo la harina de amaranto y la harina de arroz con el resto de los ingredientes. La relación de harina-almidón de maíz es de 16.5:83.5 partes respectivamente.



Tabla 14. Primera y segunda formulación de pan blanco utilizando almidón de maíz y harina (83.5-16.5), goma xantana, lecitina de soya y ácido Ascórbico.

Ingredientes	Trigo (%)	Amaranto/ arroz/maíz* (%)
Harina	54.87	7.63
Almidón de maíz	0	38.63
Agua	36.22	45.8
Azúcar	3.47	3.47
Goma xantana	0	0.416
Levadura seca	1.38	1.38
Manteca vegetal	1.38	1.38
Lecitina de soya	0.231	0.231
Sal	0.92	0.92
NaH(CO ₃) ₂	0.092	0.092
Ácido Ascórbico	0.0083	0.0083

Formulación basada en porcentaje de proporción (Método Directo)

* Esta formulación fue sustituida por cada harina

Fuente: Proceli 2007; Serna (2001).

La incorporación de almidón de maíz y goma xantana en estas proporciones, no produjo un efecto positivo en los panes obtenidos. Durante el amasado no se mostró una hidratación adecuada con el porcentaje de agua adicionado, cantidad utilizada de acuerdo a la prueba de porcentaje de absorción con respecto a la harina. Durante la fermentación las masas de amaranto, arroz y maíz mostraron grietas en la superficie de la costra debido a la baja retención de CO₂. Se obtuvieron panes con volumen muy bajo, impronta compacta y sin color de costra, esto puede deberse a la deficiencia de proteínas de gluten.

b) Segunda Formulación.

A partir de la formulación anterior se procedió a realizar por el método de esponja- Masa (Figura 10) que consiste en dos pasos, el primero es la formación de la Esponja, conformado por una proporción de harina y agua con el total de la levadura y el segundo paso correspondiente al Refresco, lo conforman el resto de los ingredientes de la formulación que son mezclados con la esponja previamente fermentada (Velázquez *et al.*, 2007).

La esponja del pan control se obtiene mezclando el 70% del total de harina (trigo) con el 64% de agua y la cantidad total de la levadura, está se fermentó durante cuatro horas a 30 ° C y 60 % de humedad relativa, posteriormente se mezcló la esponja fermentada con el refresco correspondiendo al resto de la harina (30%), sal, azúcar, manteca vegetal y el 36 % de agua.



MATERIALES Y METODOS

Para la realización de las formulaciones de amaranto, arroz y maíz, cada harina fue pesada de acuerdo al porcentaje correspondiente a esponja y refresco, del mismo modo se realizó con su correspondiente proporción de almidón de maíz. El total de la levadura previamente hidratada se adicionó a la mezcla del 70 % de harina con el 70 % de almidón de maíz, se fermentó a las mismas condiciones que la de trigo, la restante proporción fue adicionada en el refresco.

El procedimiento de fermentación se realiza a temperaturas relativamente bajas y es más lento: de 25-30 ° C y en algunas ocasiones dura hasta 13 horas, tiempo en el cual alcanza su volumen final (Velázquez *et al.*, 2007).

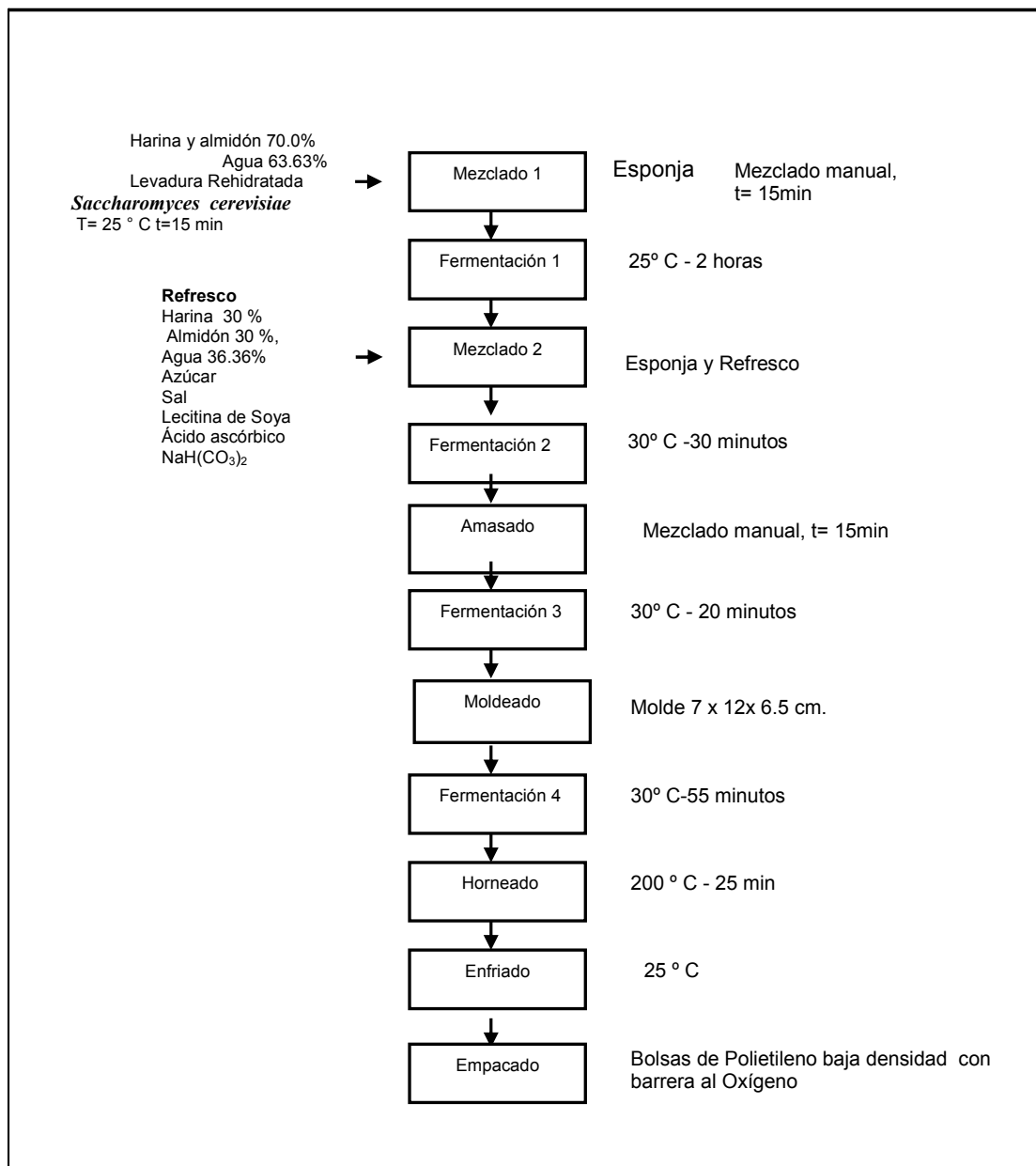


Figura 10. Diagrama del proceso de elaboración de pan por Método de Esponja.

Fuente: Velázquez *et al.* (2007)

Nota: El porcentaje reportado de harina, almidón y agua corresponde a la proporción de esponja y refresco.



MATERIALES Y METODOS

Este método favoreció positivamente en las formulaciones libres de gluten, ya que el procedimiento fue más lento, apreciando mejor un aumento de volumen en las fermentaciones, sin embargo en el horneado no se retiene el CO₂ suficiente para obtener un pan con mayor volumen. Las cuales fueron descartadas por presentar deficiencias en cuanto a volumen ya que se esperó un volumen aproximado a 450 cm³, característico de un pan de trigo. La evaluación sensorial se vio desfavorecida en los panes de amaranto, arroz y maíz.

c) Tercera Formulación.

Esta formulación se elaboró por el método de esponja, donde se realizó un producto a base de trigo e ingredientes básicos y otro de trigo con ingredientes adicionados en las demás formulaciones de arroz, amaranto y maíz. Se incorporó la adición de huevo y leche en la formulación para mejorar sabor y color de costra, además se sustituyó manteca vegetal por margarina. Al final de la etapa de fermentación se adicionó huevo en la superficie de la costra previo al horneado y se sustituyó la manteca vegetal por margarina para favorecer el sabor. Las cantidades utilizadas en esta formulación se indican en la Tabla 15.

Tabla 15. Tercera formulación con adición de huevo y leche.

Ingredientes	Trigo patrón (%)	Trigo Aditivos (%)	Amaranto/ arroz/ maíz* (%)
Agua	36.26	35.54	44.89
Almidón de maíz	0.00	0.00	31.74
Harina	54.95	53.85	13.60
Azúcar	4.40	4.04	3.40
Levadura seca	1.65	1.62	1.36
Margarina vegetal	1.65	1.62	1.36
Sal	1.10	1.08	0.91
Leche	0.00	1.08	0.91
Goma Santana	0.00	0.00	0.82
Lecitina de soya	0.00	0.54	0.45
Huevo	0.00	0.54	0.45
NaH(CO ₃) ₂	0.00	0.11	0.09
Ac. Ascórbico	0.00	0.01	0.01

- Formulación basada en porcentaje de proporción

* Esta formulación fue sustituida por cada harina

Nota: Para la formación de la esponja se utilizó 70 % de la proporción de harina y almidón y para el refresco el restante 30%.

Esta formulación se descartó debido a que mostró déficit de volumen, obteniéndose panes con improntas muy heterogéneas y volumen por debajo del control. Además de que el pan elaborado con harinas de trigo con o sin aditivos mostró una mejor evaluación



MATERIALES Y METODOS

sensorial. Por ello, fue necesario realizar otras formulaciones conforme los resultados se iban mejorando. Para el caso de arroz A y maíz A se realizaron sustituciones iguales a la de amaranto.

d) Cuarta Formulación.

La formulación de amaranto fue modificada únicamente la proporción de ácido ascórbico al doble de la formulación anterior para que aumente la tenacidad y elasticidad de las masas y así proporcionar mejor volumen al pan; además garantice una mayor estabilidad del pan durante más tiempo evitando la rancidez prematura.

Por otro lado, las formulaciones de arroz y maíz tuvieron que ser modificadas hasta por dos veces, debido a que no presentaron mejoría en volumen y sus características organolépticas distaban de un producto de trigo.

La formulación de arroz se adicionó el doble de porcentaje de leche de la anterior, mientras que al maíz, además de estas sustituciones se adicionó 2.5 partes de goma xantana (Tabla 16).

Se realizaron posteriormente algunas modificaciones a las formulaciones de arroz agregando una proporción de harina de tapioca y disminuyendo la proporción de arroz y almidón de maíz. Al igual, se adicionó una proporción de harina de amaranto a la formulación de maíz variando únicamente la mezcla de esta última harina, el almidón de maíz se mantuvo constante en esta formulación. Las harinas de arroz y maíz fueron diferenciadas con una letra de acuerdo al nivel de sustitución de ingredientes como se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16. Cuarta formulación de pan blanco con sustitución de ingredientes.

Ingredientes	Amaranto (%)	Arroz A (%)	Arroz B (%)	Arroz C (%)	Maíz A (%)	Maíz B (%)	Maíz C (%)
Agua	44.93	44.93	45	44.93	44.93	44.88	44.88
Almidón de maíz	30.40	30.40	32.32	22.47	30.40	30.05	30.04
Harina	13.62	13.62	7.81	13.62	13.62	6.80	3.40
Otra Harina**	0	0	3.90	7.94	0	6.80	10.20
Azúcar	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40
Levadura seca	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36
Margarina Vegetal	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36
Sal	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
Leche	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82	1.81	1.81
Goma xantana	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	1.13	1.13
Lecitina de soya	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
Huevo	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
NaH(CO ₃) ₂	0.09	0.09	0.01	0.01	0.09	0.09	0.09
Ac. Ascórbico	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.05	0.05

- Proporción adicionada de harina de tapioca a formulaciones de arroz y proporción adicionada de harina de amaranto a formulaciones de amaranto. Formulación basada en porcentaje de adición de ingredientes.



MATERIALES Y METODOS

Las formulaciones de arroz y maíz continúan dando valores de volumen muy bajos a pesar de la sustitución de ingredientes. Sin embargo, la formulación de amaranto destacó el volumen obtenido, además la evaluación sensorial por parte de los panelistas fue aceptable. Esta formulación quedó establecida para las demás determinaciones.

En la tabla 17 se resumen las formulaciones para la elaboración de pan, mostrando el método utilizado y la sustitución de gluten realizada en cada formulación.

Tabla 17. Propuesta de formulaciones realizadas en la elaboración de pan.

Formulación de pan	Método	Harina	Almidón de Maíz	Goma Xantana	Lecitina de Soya	Leche y huevo	Ácido Ascórbico
1	Directo	16.5	83.5	0.9	0.5	-	0.018
2	Esponja	16.5	83.5	0.9	0.5	-	0.018
3	Esponja	30.0	70.0	1.8	1.0	Si	0.018
4	Esponja	30.0	70.0	1.8	1.0	Si	0.027

Nota: formulación basada en 100 partes de harina

Para cada una de las formulaciones realizadas por el método de esponja descritas anteriormente, se evaluaron porcentaje de humedad (apartado 3.5.6.5), propiedades físicas y análisis sensorial con la finalidad de evaluar las mejores características obtenidas de cada producto similares a la formulación control (trigo).

3.6.1.2 Parámetros físicos, químicos, microbiológicos y sensoriales evaluados a pan blanco.

El pan blanco desarrollado con la formulación que proporcionó las mejores características se le determinaron los parámetros químicos como: carbohidratos totales, grasa, ceniza, fibra cruda, porcentaje de humedad, fibra cruda, carbohidratos totales, grasa, cenizas y proteína (ver apartado 3.5.6), parámetros físicos, pruebas microbiológicas y evaluación sensorial.

3.6.1.2.1 Parámetros físicos.

I. Volumen.

El volumen del pan se evalúa midiendo la cantidad de sopa de municiones o semillas de colza que ocupa el molde vacío y con el pan una vez que se horneó.

Para ello, se llena el molde al ras (con y sin pan) y se cuantifica el volumen con una probeta de 1000 ml, registrando el volumen desplazado por el pan. Para panes de 100 g de harina se obtienen un volumen de 650 a 1100 cm³ (Serna, 2001).



En la siguiente tabla se describe la evaluación de volumen de acuerdo a escala subjetiva.

Tabla 18. Escala evaluativa del pan de acuerdo a volumen.

volumen del pan		
Calificación	cm ³	Interpretación
5	>500	Excelente
4	451 a 500	Bueno
3	401 a 450	Regular
2	350 a 400	Malo
1	<350	Pésimo

Fuente: Velázquez *et al.* (2007)

II. Impronta.

Esta prueba se llevó a cabo de acuerdo al método descrito por Velázquez *et al.*, (2007). Se cortó una rebanada transversal, la del centro para que fuera de mayor altura. Se impregnó de tinta para sellos y se imprimió en un papel blanco (impronta). A través de esta prueba se evalúa la textura mediante la siguiente escala subjetiva (Tabla 19).

Tabla 19. Evaluación de la impronta de acuerdo a escala calificativa

Evaluación de impronta		
Textura de Miga	Calificación	Interpretación
Celdas pequeñas y uniformes	5 Excelente	Blanco
Algunas Celdas grandes	4 Bueno	Acremado
Presencia de muchas celdas grandes	3 Regular	Amarillo crema
Celdas grandes y pequeñas con distribución no uniforme	2 Malo	Amarillo
Celdas heterogéneas, desgarraduras y/o zonas de compactación	1 Pésimo	Café a café oscuro

Fuente: Velázquez *et al.* (2007)

III. Firmeza.

Es la fuerza necesaria para ocasionar la ruptura de la costra y la penetración de la miga utilizando un penetrómetro marca (Tr, mod. FT327) con sonda cilíndrica sobre la superficie del pan, expresado en kg /cm².

3.6.1.2.2 Parámetros químicos.

I. Detección de presencia de Gluten.

Esta prueba se llevó a cabo por el método enzimoinmuno ensayo de sándwich que cuantifica las proláminas de trigo (gliadina), cebada (secalina) y centeno (hordeína) en



MATERIALES Y METODOS

alimentos. El fundamento de esta prueba es la reacción de anticuerpo- antígeno. Los pozos de las tiras microtiter están recubiertas con anticuerpos específicos para gliadinas. Al añadir la solución de muestra estándar a los pozos, la gliadina específica es atrapada a los anticuerpos específicos. El resultado es un complejo anticuerpo – antígeno. Los componentes que no están ligados a los anticuerpos son eliminados en el lavado. Luego se añade al anticuerpo conjugado peroxidasa. Este anticuerpo conjugado está ligado al complejo Ab-Ag. Una vez incubadas se les añade a los pozos con el cromógeno, el cual reacciona con la enzima conjugada convirtiendo de incoloro a azul y finalmente amarillo. Las mediciones se realizan en el espectrofotómetro a 450 nm. La absorbancia es proporcional a la concentración de gliadina en la muestra (Ridascreen Fast gliadin, 2008).

3.6.1.2.3. Determinaciones microbiológicas.

Con la finalidad de obtener productos higiénicos e inoctrinos que no dañen al consumidor, es necesario un buen manejo de materias primas y productos terminados. Esta prueba se realizó al pan elaborado con harina de amaranto que mejores características obtuvo. De acuerdo a la NOM- 147-SSA1-1996 alimentos a base de cereales y productos de panificación; se realizaron los análisis microbiológicos, los cuales fueron: Coliformes totales, Hongos y Levaduras y Mesófilos aerobios.

Los coliformes y mesófilos aerobios se desarrollaron por medio de siembra por profundidad en cultivos de Agar Mc Conkey y Agar Nutritivo respectivamente, incubadas a una temperatura de $35-37 \pm 1$ ° C por un periodo de 48 horas.

Los hongos y levaduras se desarrollaron en un Agar Papa Dextrosa, incubados a temperatura 25 ° C por un periodo de 5 días.

3.6.1.2.4 Evaluación sensorial a formulaciones de pan.

Un análisis sensorial es la identificación, medida científica, análisis e interpretación de los atributos de un producto que se percibe a través de los cinco sentidos.

Por tal situación, se realizaron pruebas organolépticas a cada una de las formulaciones de productos desarrollados para el pan blanco. Con el propósito de conocer la opinión de los panelistas evaluando apariencia general, textura, sabor, color, olor. Para este estudio se estableció una escala hedónica con la cual se valoraron los atributos de las diferentes formulaciones. La evaluación se realizó con 12 panelistas (adultos) no entrenados, debido a que no hubo muestra suficiente para una población más representativa y los resultados obtenidos a partir de la escala de atributos propuesta, se trataron con el análisis estadístico ANOVA. En la Tabla 20 se muestra la escala utilizada en esta prueba (Carpenter *et al*, 2002)



MATERIALES Y METODOS

I. Preparación de las muestras.

Para esta evaluación se utilizó un lugar cerrado y acondicionado para tal efecto, con colores tenues a claros. Cada uno de los productos desarrollados se dividió en pequeños trozos y se colocaron en un plato previamente rotulado con cada una de las muestras. A cada panelista se le otorgó un plato con las diferentes muestras, un vaso de agua para evaluar en cada uno de los panes los parámetros de Apariencia General, Sabor, Aroma y Color de Costra. Se asignó una escala del 1 equivalente a Malo hasta 5 equivalente a excelente según su criterio como se muestra en la Tabla 20.

Tabla 20. Escala de atributos medidos en pan de amaranto LDG

Parámetros	1	2	3	4	5
Apariencia	Malo	Regular	Bien	Muy bien	Excelente
general	Malo	Regular	Bien	Muy bien	Excelente
Sabor	Malo	Regular	Bien	Muy bien	Excelente
Aroma	Malo	Regular	Bien	Muy bien	Excelente
Color de Costra	Nada dorado	Poco dorado	Ligero dorado	Dorado	Muy dorado

Fuente: Velázquez *et al.* (2007)

3.6.1.3. Estudio de Vida de anaquel en pan blanco.

Para determinar la vida de anaquel se elaboraron doce panes de la formulación que mejores características presentaron, los cuales fueron envasados en bolsas de polietileno de baja densidad que se sellaron y almacenaron en un lugar cerrado a humedad relativa y temperatura ambiente, Este empaque fue seleccionado por las características del material, que es inocuo y resistente, de tal manera que no reaccione con el producto de manera desfavorable (SSA, 2005), donde se fue registrando cada 24 horas la temperatura de almacenamiento y humedad relativa del ambiente (Figura 11).

Debido a que el pan tiene una vida útil corta, se determinó evaluar cada tercer día el porcentaje de humedad (apartado 3.5.6.5), parámetros físicos (apartado 3.6.1.2.1) por un período de 15 días. Así como también se le realizó el análisis microbiológico (apartado 3.6.1.2.3) al inicio, inmediato a su elaboración y a los 12 días de su elaboración.



Figura 11. Almacenamiento de producto terminado (pan de amaranto)

3.6.2 Elaboración de galletas tipo maría.

Para la elaboración de galletas tipo María se utilizaron harinas de amaranto y arroz de fracción de partícula de malla 80 y para el caso de las galletas de maíz fracción de partícula de malla 60.

3.6.2.1 Formulación de galletas.

El procedimiento para elaborar galletas se realizó de acuerdo al método descrito por Velázquez *et al.* (2007) (Figura 12).

En la primera etapa de mezclado se cortan las grasas sólidas con una batidora profesional a velocidad baja hasta reducir su tamaño lo más pequeño posible, posteriormente se adicionan los componentes líquidos y al final se incorpora la harina con velocidad media de batido hasta homogeneizarlos y formar una bola, en esta etapa se somete a amasado con un rodillo de 25 cm, para desarrollar el gluten (en el caso del trigo). En la fase de horneado, el producto adquiere las dimensiones de diámetro y volumen, obteniendo la textura de acuerdo a la humedad presente en la masa y se logra el sabor y textura estándar del producto terminado. El tiempo de enfriado depende del volumen de las piezas, al ser menor disminuye el tiempo de enfriado, ya que alcanza el equilibrio térmico con la temperatura ambiente de forma más rápida (Sánchez, 2006; Vaclavik, 2002).

Las galletas fueron realizadas tomando en cuenta la propuesta descrita por Serna, (2001), donde fue sustituida una proporción de harina de amaranto por almidón de maíz para proporcionar consistencia, forma y sabor, así mismo con las harinas de arroz y maíz en sustitución de la harina de trigo, la cual no se modificó nada permaneciendo intacta.

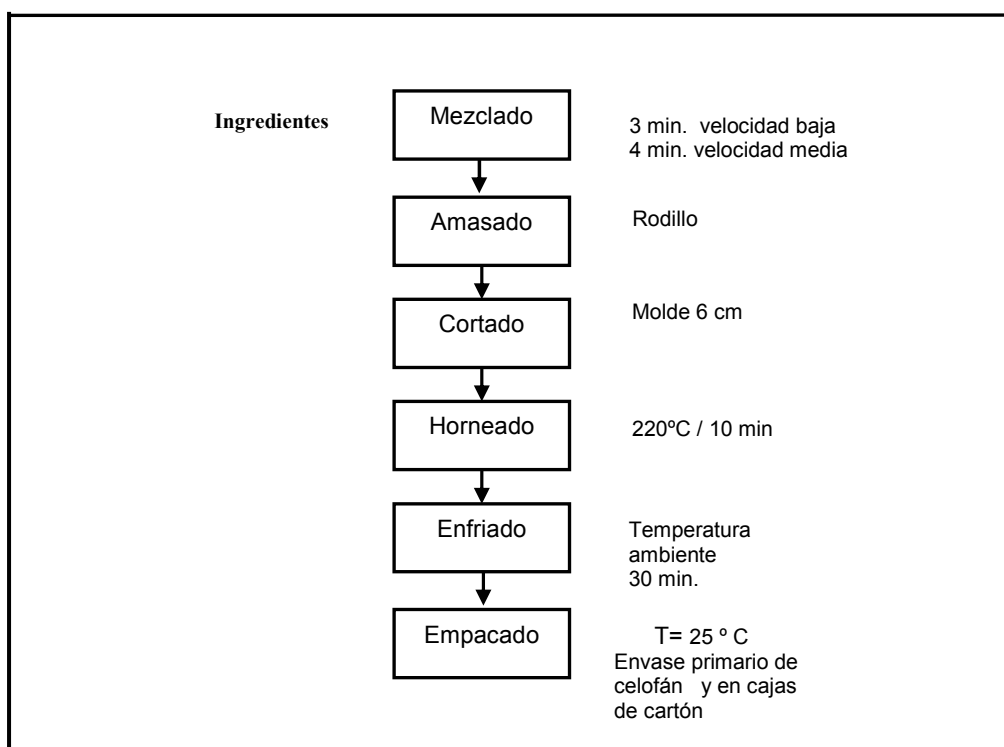


Figura 12. Diagrama del proceso de elaboración de galletas tipo María, Fuente: Serna, (2001); Velázquez *et al.* (2007).

La Tabla 21 muestra el porcentaje en proporción en cada ingrediente adicionado para la elaboración de las galletas.

Tabla 21. Primera formulación de galletas tipo María

ELABORACIÓN DE GALLETAS TIPO MARIA LDG				
INGREDIENTES	TRIGO (%)	AMARANTO (%)	ARROZ (%)	MAÍZ (%)
Harina de trigo	59.50	-	-	-
Harina de	-	-	-	-
Amaranto	-	41.65	-	-
Harina de Arroz	-	-	41.65	-
Harina de Maíz	-	-	-	41.65
Almidón de Maíz	-	17.85	17.85	17.85
Manteca Vegetal	14.88	14.88	14.88	14.88
Azúcar	11.90	11.9	11.9	11.90
Sal	0.89	0.89	0.89	0.89
NaH(CO ₃) ₂	0.29	0.29	0.29	0.29
Lecitina de Soya	0.17	0.17	0.17	0.17
Leche en Polvo	3.57	3.57	3.57	3.57
Huevo Entero	2.08	2.08	2.08	2.08
Mantequilla	0.71	0.71	0.71	0.71
Agua	5.95	5.95	5.95	5.95
Ácido Ascórbico	0.02	0.02	0.02	0.02

- Formulación basada en proporción a 100 partes de harina
- Fuente: Serna (2001)



MATERIALES Y METODOS

Por otro lado, se realizaron dos formulaciones de cada harina para la incorporación de un sabor. Así, a las galletas de trigo una vez divididas en dos partes, una proporción quedo con vainilla y la restante con canela, del mismo modo se realizaron la de arroz y maíz. Las formulaciones elegidas fueron adicionadas con sabor canela en una proporción de 1% y vainilla al 1%.

3.6.2.2 Parámetros físicos, químicos, microbiológicos y sensoriales de Galletas tipo María.

Las galletas tipo María desarrolladas con la formulación que proporciono las mejores características se les determinaron parámetros químicos como: carbohidratos totales grasa, fibra cruda, cenizas, porcentaje de humedad y proteína descritos en el apartado 3.5.6. asimismo, detección de presencia de gluten descrito en el apartado 3.6.1.2.2, parámetros físicos (firmeza) descrito en el apartado 3.6.1.2.1 inciso III, porcentaje de humedad (apartado 3.5.6.5), pruebas microbiológicas descritos en el apartado 3.6.1.2.3. y evaluación sensorial.

3.6.2.2.1 Parámetros físicos

I. Prueba de Galletería.

Se evaluó el desempeño de la harina en la elaboración de galletas mediante la cuantificación del diámetro y altura de 6 galletas, así como la relación diámetro/altura para determinar el factor de expansión multiplicando por 10 ($d/h \cdot 10$) de acuerdo al método (AACC 1962).

3.6.2.2.2. Evaluación sensorial a formulaciones de galletas tipo María.

Las galletas fueron evaluadas sensorialmente por 12 panelistas no entrenados como se describe en el apartado 3.6.1.2.4. En la Tabla 22 se muestra la escala utilizada en esta prueba (Carpenter *et al*, 2002).

Tabla 22. Escala de atributos medidos en galletas LDG

Parámetros	1	2	3	4	5
Apariencia general	Malo	Regular	Bien	Muy bien	Excelente
Sabor	Malo	Regular	Bien	Muy bien	Excelente
Aroma	Malo	Regular	Bien	Muy bien	Excelente
Color de Costra	Nada dorado	Poco dorado	Ligero dorado	Dorado	Muy dorado
Fragilidad	Muy frágil	Frágil	Ligeramente frágil	Poco Frágil	Nada Frágil
Dureza	Muy duro Muy adhesivo	Duro Adhesivo	Ligero duro Ligero adhesivo	Poco duro Poco Adhesivo	Nada duro Nada Adhesivo

Fuente: Velázquez *et al.*(2007).



3.6.2.3 Estudio de vida de anaquel en galletas.

Se evaluó la vida de anaquel a las galletas de arroz sabor canela y a las galletas de maíz sabor vainilla, ya que presentaron mejor características organolépticas y mejor parámetros sensoriales de sabor, aroma y color de costra descartando la formulación de amaranto. Para el desarrollo de este apartado se procesaron 240 galletas con las formulaciones seleccionadas con base en los mejores resultados las cuales fueron envasadas en paquetes de 20 galletas en bolsas de polietileno selladas y embaladas en cajas de cartón de manera individual, tomando en cuenta, que el material es inocuo y no reacciona con el producto. Se almacenaron en un lugar cerrado a humedad relativa y temperatura ambiente, monitoreando cada 24 horas estas condiciones (Figura 13).

Se determinó evaluar cada mes el porcentaje de humedad, parámetros físicos y pruebas microbiológicas al inicio de la preparación y al final del muestreo (4.5 meses).



Figura 13. Almacenamiento de producto terminado galletas tipo María.

3.7. COMPARACIÓN DE PRODUCTOS DESARROLLADOS LDG CON SU ANÁLOGO COMERCIAL.

Se realizó una comparación de las características físicas (volumen, impronta y firmeza) del pan blanco desarrollado en el laboratorio con el producto comercial marca Noglut. Asimismo, se compararon las características físicas (firmeza y factor de expansión) de galletas de maíz sabor vainilla y galletas de arroz sabor canela con productos comerciales marca Santiveri. Además, estos productos fueron evaluados sensorialmente con el objetivo de determinar si panelistas no entrenados identificaban diferencia entre las muestras comerciales y los productos desarrollados en el laboratorio. A continuación se describe la prueba triangular aplicada a los diferentes productos.



MATERIALES Y METODOS

3.7.1 Análisis de prueba triangular.

El test triangular consiste en una prueba de análisis sensorial que pretende establecer si existen diferencias organolépticas entre dos muestras. Se disponen de tres muestras para su evaluación: 2 muestras son idénticas (marca comercial o desarrollado) y la tercera es diferente (marca comercial o desarrollado). Las muestras se hayan codificadas mediante números de tres cifras escogidos aleatoriamente. Se deben degustar las muestras sucesivamente tratando de establecer diferencias entre ellas.

La evaluación se realizó con 18 panelistas no entrenados (adultos) y los resultados obtenidos a partir de la escala de atributos propuesta, se trataron con el análisis estadístico ANOVA (Carpenter *et al*, 2002).

3.8 Tratamiento de los resultados.

Los resultados obtenidos de forma triplicada se sometieron a un tratamiento estadístico: análisis de varianza (ANOVA) y se aplicaron pruebas de rango múltiple. Este tratamiento permite comparar si los valores de un conjunto de datos numéricos son significativamente distintos a los valores de otro o más conjuntos de datos. El procedimiento para comparar estos valores se basa en la varianza global observada en los grupos de datos numéricos a comparar.



IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1 Rendimiento de las harinas.

Los granos de amaranto, arroz y maíz fueron sometidos a una clasificación antes de la molienda, con la finalidad de eliminar todo el material extraño y granos dañados para contar con lotes homogéneos (Figura 14).

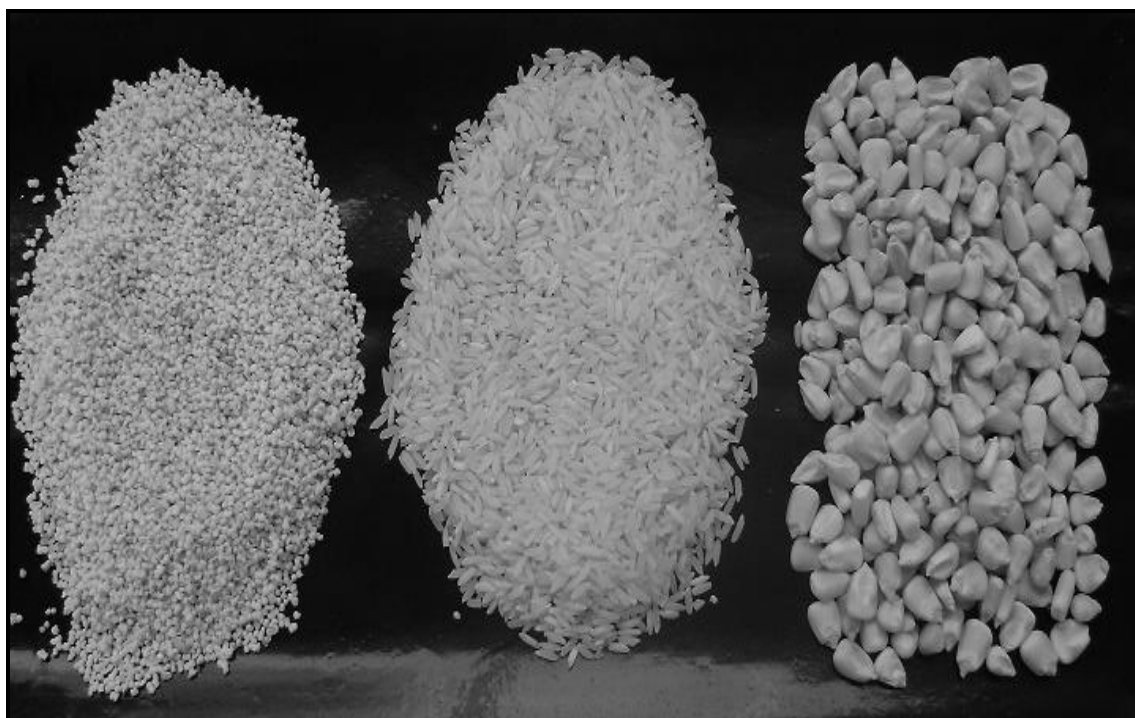


Figura 14. Grano de amaranto, arroz y maíz seleccionados.

El amaranto reventado presentó polvo, partículas ligeras, granos no reventados y pequeños trozos de paja, lo que representó un total del 7.3% de material extraño. Mientras que, al residuo de arroz se eliminaron granos enanos, en trozos, quebrados, paja, fracciones de cascarilla y granos de otro tipo como: semillas de colza y avena representando un total del 19% de material extraño. Por otro lado, el residuo de maíz presentó granos con fisuras pequeñas, daños físicos y malformidades de tipo genético en una proporción de 39.15% de impurezas. Ninguna harina presentó excretas, insectos o larvas acorde con las normas (SSA, 2005; Codex Alimentario, 2005; SSA, 1996).

En la Figura 15 se muestra la proporción de rendimiento de los granos después de ser clasificados y seleccionados.

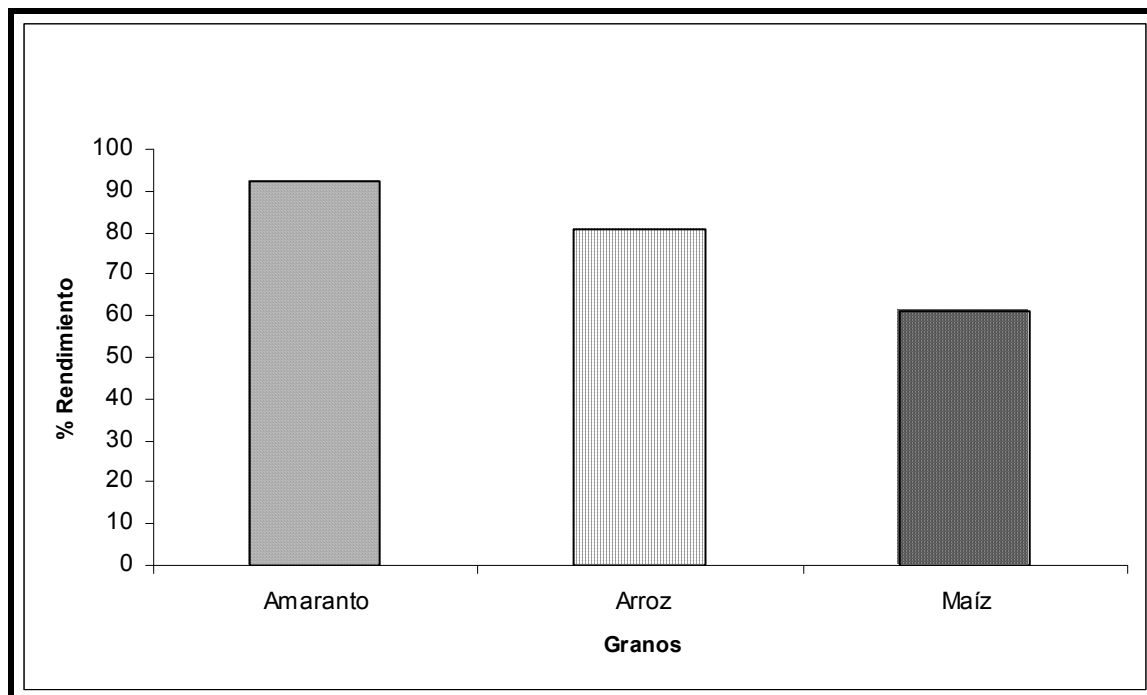


Figura 15. Rendimiento de los granos después de la etapa de la clasificación.

4.1.1 Rendimiento de la molienda.

El amaranto reventado presentó un menor rendimiento de harina (70 %), debido a que el proceso de reventado le confiere una estructura más frágil, por lo que provocó algunas dificultades durante su manipulación en molienda y tamizado, ya que presentó partículas muy ligeras y de baja densidad, las cuales se esparcieron en el ambiente al momento de manipularlo, éste se adhería a cualquier objeto en contacto directo. La obtención de harina a partir de la semilla de amaranto sin reventar aumenta los rendimientos como lo mencionan Búcaro y Bressani (2002), quienes reportaron rendimientos del 95.5 % .

Por su parte, el maíz presentó un rendimiento de 84.15%, esta harina mostró un ligero apelmazamiento durante la molienda y el arroz obtuvo un 87.71% utilizando la criba 1.0 mm, estas harinas mostraron dificultad al momento de reducir el diámetro de partícula, debido al sobrecalentamiento del equipo. La estructura de los granos de arroz y maíz es rígida y dura.

En la Figura 16 y 17 se muestran las diferentes harinas obtenidas y sus rendimientos.



Figura 16. Harinas de los granos de: A) Amaranto, B) Arroz y C) Maíz.

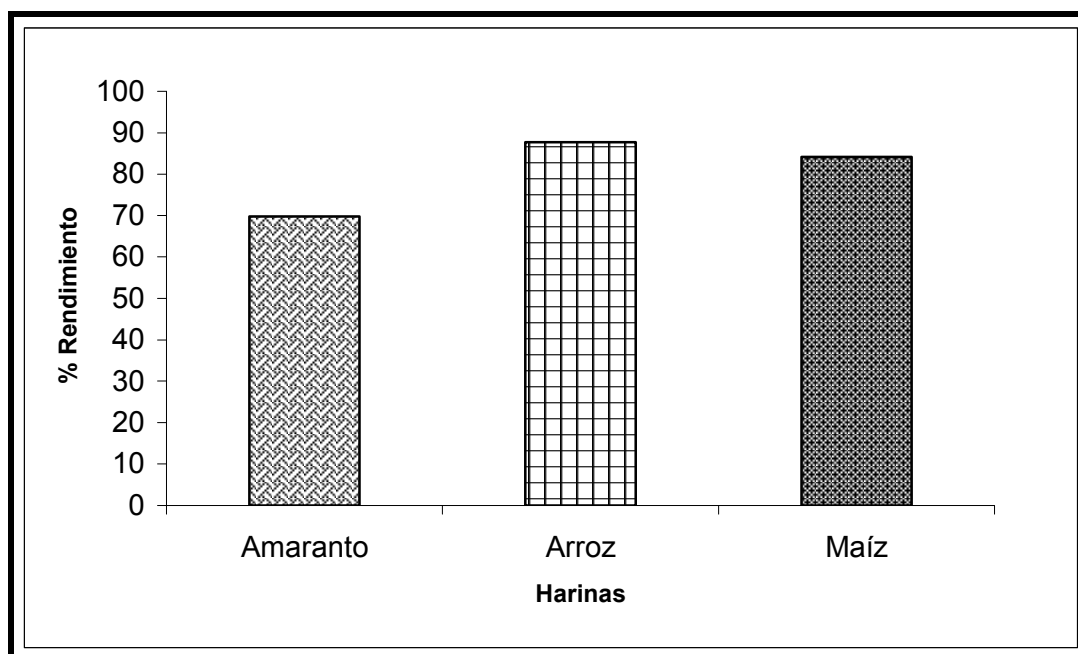


Figura 17. Rendimiento de la molienda de los diferentes granos.

El análisis granulométrico permitió identificar la distribución de diámetro de partícula obtenidas mediante el tamizado de las harinas de amaranto, arroz, maíz y la comercial panificable LDG, esta última presentó una mayor distribución de partícula superior a la fracción correspondiente de la malla No. 100 (0.0059 in) mostrando una tendencia más homogénea hacia los finos.

Por otro lado, se observó que la harina de amaranto mostró una distribución de partícula muy amplia desde malla No. 40 hasta 100 (0.0165-0.0059 in), lo cual indicó que este diámetro de partícula no es homogéneo. Aunque, la harina de arroz presentó una mayor distribución de partícula en malla No. 60 (0.0098 in), debido a que durante la molienda se obtuvieron fracciones de partícula de diámetro (0.0165 - 0.007 in). Sin embargo, la harina de maíz obtuvo una mayor distribución en malla No. 40 (0.0165 in); presentando una fracción de partícula más homogénea comparada con las otras harinas, mostrando una tendencia a diámetro de partículas mayores o groseras.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al tratar de reducir el tamaño de partícula, cabía la posibilidad de deterioro de los componentes de las harinas ocasionado por el sobrecalentamiento del equipo, por lo que fue necesario trabajar con las harinas más próximas a la fracción de partícula de la harina panificable comercial LDG, que fueron para el caso de la harina de arroz y amaranto, malla No. 80 (0.007 in) y para la harina de maíz, aunque muy limitada se decidió utilizar la fracción de malla No. 60 (0.0098 in). Estas se retomaron en las posteriores actividades.

En la Figura 18 se muestra la distribución granulométrica de las harinas que se obtuvieron en la etapa de molienda, las cuales fueron tamizadas en diferentes tamaños de malla.

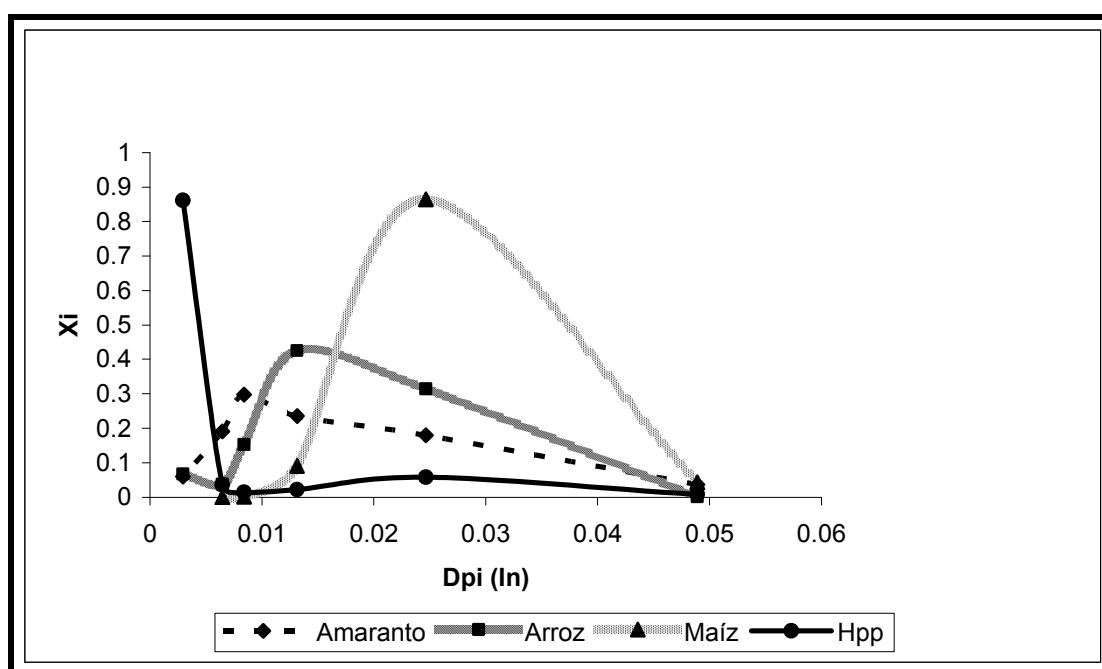


Figura 18. Distribución granulométrica de las harinas posterior a la molienda.

4.2 Determinación de la calidad de las harinas.

Las harinas fueron sometidas a la evaluación subjetiva de su aspecto general sanitario. En la Tabla 23, se presenta la evaluación efectuada en cada harina.

Tabla 23. Aspecto Sanitario General un mes posterior a la molienda.

Harina	Aspecto visual	Olor	Materia extraña %
Amaranto	Aceptable	Característico	0.00
Arroz	Aceptable	Característico	0.00
Maíz	Aceptable	Característico	0.00

Nota: Las harinas de amaranto, arroz y maíz, se expusieron a condiciones de temperatura ambiente, solo la de maíz y amaranto presentaron enranciamiento después de un mes.



Se observó que estas harinas no mostraron enmohecimiento, larvas, insectos, ni cualquier materia extraña por lo que presentó un adecuado estado sanitario. Posteriormente, para evitar su deterioro debido a enranciamiento de sus lípidos se almacenaron a 10 °C en un lugar oscuro, cerrado y seco, presentando las mismas características.

4.3 Determinaciones tecnológicas de harinas.

Las determinaciones tecnológicas de las harinas son de gran importancia, ya que son consecuencia de propiedades como: humedad, tamaño de partícula, pigmentos, absorción de agua, almidón dañado, proteína, sedimentación, entre otras. Las propiedades tecnológicas indican el uso que se le debe dar a la harina para cierto tipo de productos. Estas determinaciones que a continuación se describen se realizaron a las harinas de amaranto, arroz y maíz, comparándose con los valores que presentó la harina de trigo comercial panificable para identificar las propiedades específicas que el gluten aporta.

En la Tabla 24 se presentan los valores obtenidos en las determinaciones tecnológicas de las harinas.

Tabla 24. Determinaciones tecnológicas a harinas de amaranto, arroz y maíz.

Propiedades	Harinas			
	Amaranto	Arroz	Maíz	Trigo
Absorción de agua (%)	100.0 ± 0.0a	92.00± 0.7a	82.61 ± 2.8b	56.00 ± 0.3 c
Pigmentos Abs/ 1.6632 (%)	0.05± 0.0a	0.08± 0.0b	0.08 ± 0.0b	0.06 ± 0.0c
Sedimentación (ml)	0	30.52 ± 2.1 ¹ a	25.06 ± 1.4 ² b	60.50± 0.7 ³ c
Almidón alterado (%)	positivo	positivo	positivo	negativo

* El volumen de sedimentación leído, debe ser corregido por medio de un factor de acuerdo a la humedad de la harina. Factor de corrección ¹⁾0.99, ²⁾ 1.07 y ³⁾1.0,

* Los valores representan la media de tres determinaciones ± desviación estándar. Los valores seguidos de diferente letra en cada fila difieren significativamente ($p \leq 0.05$).

La prueba de absorción de agua indica el volumen en porcentaje adicionado, necesario para formar una buena masa, ya que está relacionado con el contenido de proteína, pentosanas y cantidad de almidón dañado. La harina de amaranto presentó el mayor porcentaje de absorción con un valor de 100% ligeramente abajo del porcentaje de 127 a 245 % de agua obtenido por Paredez *et al*, (1990), comparado



con el de trigo. La masa que se formó presentó una estructura muy adhesiva, debido a su alto contenido de albúminas solubles en agua y al contenido de almidón dañado presente en la harina.

Por su parte, la harina de arroz presentó un porcentaje de absorción de agua de 92% y el maíz un porcentaje de 82.6%, se sugiere que estuvo influenciado por el déficit de proteínas de gluten y por el diámetro de partícula, ambas harinas tuvieron un comportamiento similar al de trigo durante su amasado mostrando homogeneidad en toda su estructura.

El análisis estadístico mostró que las harinas de amaranto y arroz no presentaron diferencia significativa, entre sus repeticiones y entre ellas mismas ($p \geq 0.05$), Sin embargo, las tres harinas mostraron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto a la harina de trigo.

Por otro lado, la prueba de almidón alterado resultó positiva en las tres harinas (amaranto, arroz y maíz), esto fue de gran interés, ya que un mayor contenido de almidón dañado, provocó un incremento significativo en el índice de absorción de agua, por lo que las condiciones de molienda pudieron haber afectado directamente el almidón presente en las harinas aunque también tiene que ver con las características de cada grano (Callejo, 2002; Torri *et al.*, 2003).

La prueba de sedimentación es utilizada para predecir la funcionalidad de las proteínas de la harina; la muestra de amaranto tuvo dificultades al momento de la prueba, ya que no hubo separación de fases durante la prueba presentando grumos en la superficie, esta harina presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto a las demás harinas, siendo la de arroz la que más sedimento presentó (30 ml), por su parte, la muestra de trigo presentó un valor de (60 ml), cabe mencionar que valores por encima de 70 ml, indican un contenido de gluten fuerte apto para panificación (Velázquez *et al.*, 2007). La harina de arroz y maíz presentaron valores característicos de una harina de trigo débil, aunque cabe mencionar que esto no fue debido al contenido de gluten ya que estas harinas carecen de dicha proteína, pudiendo ser otros componentes como el diámetro de partícula lo que provocó dicho comportamiento.

Por otro lado, se llevó a cabo la determinación de gluten a las harinas de amaranto, arroz y maíz, las cuales no mostraron ningún tipo de contaminación con trigo. Esta última presentó un porcentaje de gluten seco de (8.39%) como se muestran en la Tabla 25.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 25. Determinaciones tecnológicas a harinas (Porcentaje de gluten, cifra de Pelshenke y galletería).

Determinación	Amaranto	Arroz	Maíz	Trigo
Gluten Seco (%)	ND	ND	ND	8.39
Cifra Pelshenke				
Flotación (min)	0.03 ± 0.00 a	no floto	no floto	2.26 ± 0.00c
Desintegración (min)	0.23 ± 0.01a	0.08 ± 0.01a	0.12 ± 0.01a	32.19 ± 0.70b
Prueba de galletería				
factor de exp. d/h*10	33.84a	55.94b	53.07b	56.45b

Los valores representan la media de tres determinaciones ± desviación estándar. Los valores seguidos de diferente letra en cada fila difieren significativamente ($p \leq 0.05$). ND: no detectado.

La prueba de galletería se realizó con el fin de conocer el factor de expansión de las galletas obtenidas. La que presentó un factor de expansión muy bajo fue la harina de amaranto con un valor de 33.84 no apropiado para galletas. Las harinas de arroz y maíz con valores de 55.94 y 53.07 respectivamente, no presentaron diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con respecto a la harina de trigo con un valor de 56.45, por lo que pueden ser adecuadas para la prueba de galletería (Tabla 25).

La cifra de Pelshenke evalúa el tiempo que tarda una masa en flotar una vez sumergido en agua 30° C, el cual es provocado por los gases producidos en la fermentación permaneciendo un tiempo variable hasta que rompen y caen en pedazos al fondo, el tiempo de flotación indica que está próxima la desintegración. Las muestras de arroz y maíz no flotaron durante la prueba, significando que no hubo producción de gas. Sin embargo, la desintegración fue en un tiempo aproximado de 10 segundos. La muestra de amaranto, se desintegró en 0.2 segundos y flotó en 0.03 seg, lo cual indicó que se trata de una harina muy débil, debido a que no contiene gluten. Cabe señalar que la harina de trigo presentó un tiempo de flotación de 3 minutos y de desintegración de 32 minutos, esto indicó que es una harina de gluten débil apropiada para realizar galletas (Velázquez *et al.*, 2007).

4.4 Evaluación de propiedades funcionales de las harinas.

Para conocer el comportamiento y fuerza panadera de las harinas con respecto a la harina de trigo se realizaron las siguientes pruebas funcionales tales como: las alveográficas y farinográficas. Estas pruebas son muy utilizadas en la industria panadera para la evaluación de las harinas.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.4.1 Evaluación Alveográfica.

Para la evaluación de las pruebas alveográficas, fue necesario acondicionar las harinas por un periodo de 72 horas a humedad relativa promedio (70%) en un cuarto cerrado, al final de este proceso las harinas llegaron a las condiciones de humedad requeridos por dicha prueba. En la Tabla 26 se presentan los resultados de humedad a la que llegó cada una de las harinas después del acondicionamiento. En el anexo 1, se describe el procedimiento de la prueba.

Tabla 26. Porcentaje de Humedad de las harinas acondicionadas para la prueba alveográfica.

Harina	Trigo	Amaranto	Arroz	Maíz
Humedad (%)	13.60	11.45	11.70	15.35

Estas muestras de humedad de las harinas fueron determinadas por termobalanza.

Al realizar los ensayos alveográficos (Figura 19 y Tabla 27), la masa de trigo presentó una altura de curva P de (76 mm), la cual representa la consistencia o tenacidad de la masa, este valor es 60 % menor al reportado por Escarcega, (2001) para trigo panadero, Sin embargo, la longitud de la curva L (113 mm) representó la extensibilidad ó elasticidad de la masa apta para hacer pan. La relación P/L (0.67) es un indicador de la calidad y uso potencial de la harina. Calderón *et al.* (2000) resume para este valor una masa con características de óptima consistencia y extensibilidad, lo que facilita la manipulación y retención de gas presentando panes con miga suave. Mientras que W (el trabajo para deformar la masa) es equivalente o proporcional al área bajo la curva, el valor de trigo fue de (272 J*10⁻⁴) esta relacionado directamente con la cantidad de proteína ó fuerza de la harina, para que una harina sea considerada como buena debe estar comprendida entre 200 y 250 (J*10⁻⁴) de lo contrario tendrá que utilizarse en mezcla con otra harina (Quaglia, 1991).

En el caso de la harina de amaranto, al hidratarla previo a la determinación alveográfica, no se comportó de manera similar a una harina de trigo, ya que tendía a presentar partículas de baja densidad que se dispersaban en el aire. La masa presentó una tenacidad de (P) 101 mm y presentó una extensibilidad de 21 mm, esto debido a que la masa fue muy pegajosa. La relación P/L fue de 4.87, la cual fue siete veces más grande comparada con el valor obtenido para la harina de trigo, aunque fue



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

muy tenaz, no presentó la misma extensibilidad de la harina de trigo, el valor de W (97 $J \cdot 10^{-4}$) indica que no es apta para panificación.

La harina de arroz fue deficiente en tenacidad y extensibilidad como se muestra en la Figura 19. Aunado a los problemas de hidratación, el comportamiento de esta harina mostrado en la Figura 19, indicó el déficit de proteínas de gluten. Esta harina presentó un valor de P/L de 1.45 (Tabla 27).

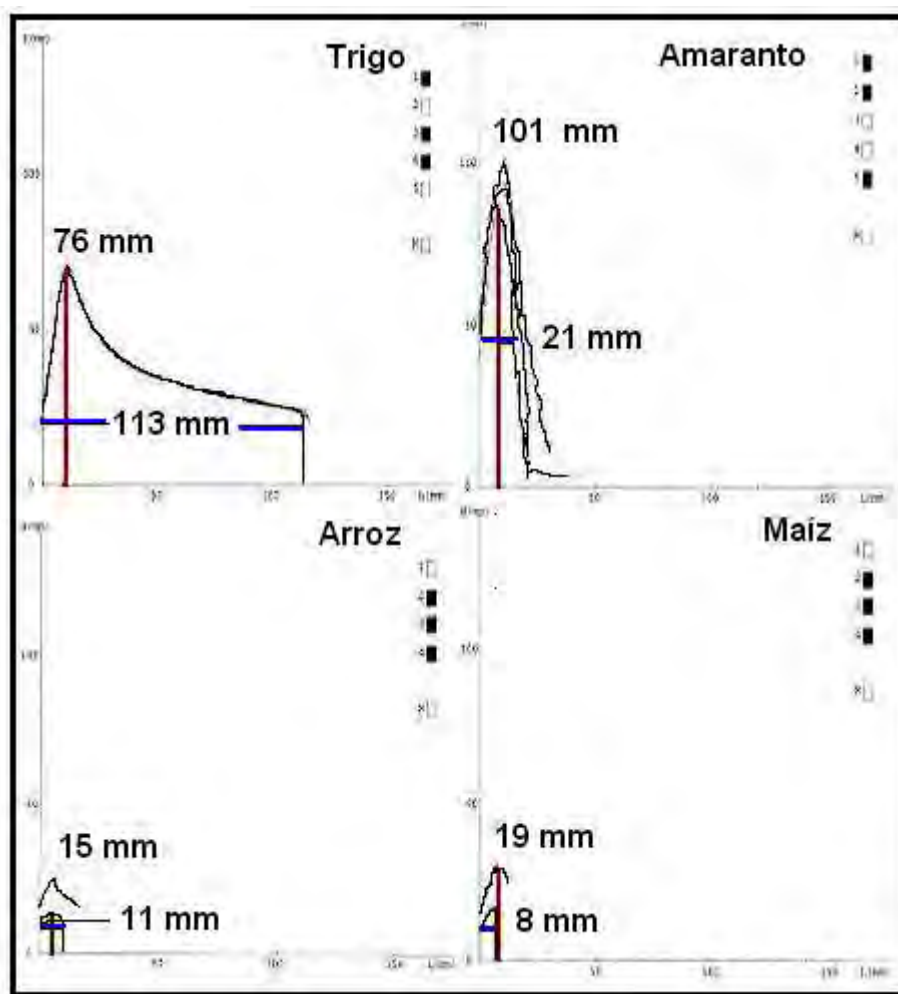


Figura 19. Comparación alveográfica de las harinas de trigo, amaranto, arroz y maíz. Las líneas de color rojo indican la Tenacidad y las de color azul la Extensibilidad.

La harina de maíz presentó la misma dificultad que la harina de arroz, al momento de mezclar no mostró la consistencia de una harina hidratada, por lo que fue necesario adicionar agua poco a poco hasta que se mejoró la masa, llevándose a cabo en un periodo de tiempo mayor a 8 minutos. Ésta fue extruida lentamente, presentando



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

grietas en la superficie de la masa, por ello fue necesario amasarla de forma manual, sin adicionar más agua hasta que presentó una adecuada homogeneidad. No presentó formación de globo, ya que durante la prueba de inflado, presentó filtración de aire reventando la masa antes de intentar elevarla. La tenacidad de esta harina fue muy débil de 19 mm, la extensibilidad de 8 mm y la relación P/L fue de 2.55 ($J \cdot 10^{-4}$).

En la Tabla 27 se muestra la comparación de datos de las cuatro harinas en los ensayos alveográficos.

Tabla 27. Efecto de los tipos de harinas sobre los parámetros alveográficos.

Harinas	Tenacidad (mm)	Extensibilidad (mm)	Energía de deformación ($J \cdot 10^{-4}$)	P/L
Trigo	76	113	272	0.67
Amaranto	101	21	97	4.85
Arroz	15	11	8	1.45
Maíz	19	8	7	2.55

*Los valores mostrados representan el promedio de dos muestras realizadas en el alveógrafo.

4.4.2. Prueba Farinográfica.

La prueba del farinógrafo mide y registra la resistencia de una masa al amasado. Esta prueba rara vez produce una curva cuya máxima resistencia este centrada en 500 UB en el primer intento (Escárcega, 2001). En el caso de la harina de trigo, se hizo un ensayo con 64.25 % de absorción de agua, pero esta quedo por encima de la línea 500 UB, por lo que se realizó otra corrida con 65.16 %, observando que la harina de trigo presentó una estabilidad durante la prueba que duró 17 minutos. Esta harina es típica de un trigo panadero (ver anexo 2).

Para la harina de arroz debido a su déficit de proteínas de gluten no mostró una curva típica de trigo panadero, ya que mostraba una masa sobre hidratada. Esta harina presentó problemas de absorción de agua debidos al diámetro de partícula de 180 μm (anexo 2).

La harina de maíz presentó el mismo comportamiento de la harina de arroz, ya que no contiene gluten, presentando problemas de absorción de agua, ya que en el farinograma presentó sobrehidratamiento.

En el caso de amaranto, el comportamiento fue diferente a las harinas de maíz y arroz, ya que ésta, presentó deficiencia de agua. Según resultados obtenidos por Necochea y colaboradores (1981) al tratar de caracterizar la harina de amaranto, esta no presenta las mismas características funcionales y enzimáticas del trigo, siendo débil



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

en elasticidad, fuerza y resistencia necesaria para elaborar pastas. Para este particular caso, la harina de amaranto tiene buenas propiedades de tenacidad, para hacer pan, pero es necesario encontrar un coadyuvante o varios como la goma xantana, lecitina de soya u otros aditivos para mejorar las características de amasado, retención de gas durante la fermentación y así obtener un pan con buenas características organolépticas.

4.5 Determinaciones fisicoquímicas de las harinas.

Las determinaciones fisicoquímicas como el pH y acidez dan un indicativo de las cualidades de las harinas. Se ha reportado que la acidez de las harinas aumenta durante el almacenamiento, sobre todo si están a temperatura demasiado alta, lo que ocasiona un debilitamiento de la fermentabilidad (Pearson, 1989).

En la Tabla 28 se muestran los pH y valores de acidez total de las diferentes harinas, donde se obtiene en la harina de amaranto un pH de 5.56, el arroz de 5.5 y para maíz 5.8. La harina de amaranto no presentó diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con respecto a la de arroz, pero esta última si muestran diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto a la de maíz. Belén y colaboradores (2001) determinaron los parámetros fisicoquímicos de las harinas de mesocarpio de coroba (*yesenia polycarpa*), con un pH de 5.0 y una acidez titulable de 0.34 g/100 g de muestra, los cuales concluyeron que era un producto de baja acidez. El pH de una harina de trigo debe ser de 6.1, las harinas analizadas están por debajo de este valor.

La harina de maíz presentó una mayor acidez, seguida de la harina de amaranto, mientras que la harina de arroz fue menor. La acidez en las diferentes harinas indica que cada una presentó distinto perfil de ácido. Este parámetro, presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en los tres cereales. La harina de trigo esta comprendida entre 0.25 para ser clasificada como primera calidad (SSA, 2005).

Tabla 28. Determinaciones fisicoquímicas de las harinas.

Parámetros	Harina			
	Amaranto	Arroz	Maíz	Trigo ²
pH	5.56±0.06a	5.5±0.20a	5.8±0.00b	6.10
Acidez total ¹	3.26±0.15a	1.85±0.07b	7.4±0.20c	0.25

¹ Se cuantifica a través de los mililitros de NaOH a 0.02 N. necesarios para neutralizar 1 gramo de muestra. Los valores representan la media de tres determinaciones \pm desviación estándar. Los valores seguidos de diferente letra en cada fila difieren significativamente. *

² Valor reportado bibliográficamente (SSA, 2005).



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.6 Determinaciones químicas de las harinas.

Un aspecto trascendental en el análisis químico es el porcentaje de proteína, ya que es un valor elemental tanto por sus características funcionales y nutricionales. La harina de amaranto presentó un porcentaje de 17% de proteína, este valor resultó ligeramente mayor que el reportado por Paredez *et al.*, (1990) y López *et al.*, (1996) que fue de 15 a 16%. Mientras que, el contenido proteico de las harinas de arroz y maíz estuvo por debajo del reportado bibliográficamente de 7.5 y 8.9 %, respectivamente Ortiz, (2006). De acuerdo a la norma para harina de trigo NMX-F-007-1982, el porcentaje de proteína para trigo es de 14%, solo la harina de amaranto fue superior a este valor considerando que su valor proteínico corresponde a albúminas y globulinas (Secretaría de Economía, 1982).

En la Tabla 29, se puede apreciar los resultados de las determinaciones químicas de las harinas de amaranto, arroz y maíz comparados con el bibliográfico de trigo.

Tabla 29. Análisis químico de harinas.

Componente (%)	Amaranto	Arroz	Maíz	Trigo ²
Grasa	4.8 ± 0.0a	1.8 ± 0.5b	3.8 ± 0.2c	1-2
Proteína ¹	17.5 ± 1.4a	5.9 ± 1.3b	6.6 ± 2.0b	9-14
Fibra cruda	3.8 ± 0.0a	0.7 ± 0.0b	0.4 ± 0.0b	0.2-04
Carbohidratos totales	63.9 ± 0.0a	79.5 ± 0.0b	78.6 ± 0.0c	60-70
Humedad	5.4 ± 0.5a	11.5 ± 0.0b	9.5 ± 0.4c	11-14
Cenizas	4.5 ± 0.2a	0.6 ± 0.0b	1.2 ± 0.0c	1-2

Los valores representan la media de tres determinaciones ± desviación estándar. Los valores seguidos de diferentes letras en cada fila difieren significativamente. * Factor de conversión de harinas de trigo, amaranto y maíz 5.75 para arroz 5.95.

² Valores reportados bibliográficamente. (SSA, 2005).

El contenido de carbohidratos totales (reportado en %) estuvo dentro de los límites reportados para las harinas de los cereales con que se trabajó, ya que de acuerdo a la norma el porcentaje de almidón para dichos cereales debe ser mayor de 60%.

El contenido de humedad es un parámetro muy importante para el proceso de panificación y es determinante en la calidad de la harina durante el almacenamiento Serna, (2001). La harina de amaranto, presentó un valor muy bajo de humedad de 5.4%, el límite adecuado de las harinas debe estar alrededor de 14 %. Esto debido a que se usó amaranto reventado y no se acondicionaron los granos antes de la molienda. Necoechea *et al.*, (1981). López y colaboradores, (1996) mencionan en su



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

investigación que el grano de amaranto, cuando es sometido a proceso de reventado pierde hasta el 50% de su humedad, ellos reportan un porcentaje de humedad de amaranto de 5.50 % similar al obtenido. Los valores reportados de humedad para estas harinas, no son propias para panificación ya que no presentaron un porcentaje adecuado de humedad, por lo que deben de acondicionarse previo a la etapa de molienda lo cual facilita su tamizado.

Por otro lado, el contenido de cenizas fue más alto, para la harina de amaranto de 4.51%, indicando un mayor contenido de perispermo y germen. Este valor fue muy alto comparado con el bibliográfico que es de 2.81% de acuerdo con López *et al.*, (1996) y Tosi *et al.*, (1996). La harina de maíz presentó un valor de cenizas de 1.23 % conteniendo aleurona, pericarpio y germen. Mientras que la harina de arroz presentó un valor de 0.6% similar al reportado por Reyes *et al.*, (2004), esta última presentó un valor ligeramente arriba del recomendado para trigo.

El contenido de grasa en el arroz (1.80%) fue mayor que el reportado por Reyes, (2004) de 0.65%. Mientras que el contenido de grasa en la harina de amaranto fue de 4.8 %, el reportado bibliográficamente por Ortiz, (2006) fue de 5.7 %. El contenido de grasa de la harina de maíz es similar al indicado por Specher, (2005).

En lo que respecta al contenido de fibra cruda, el maíz presentó un porcentaje menor comparado con el bibliográfico 2.0% de acuerdo a Ortiz, (2006), el arroz muestra un porcentaje de 0.7 %, ligeramente inferior a lo que establece la norma NMX-F-160-1982 para harina de arroz (Secretaría de Economía, 1982), aunque el amaranto esta ligeramente por debajo del reportado por la bibliografía 4.5 %. El amaranto muestra diferencia significativa con respecto a las demás harinas ($p \leq 0.05$). Esto permite observar que las harinas de amaranto, arroz y maíz presentan un contenido de fibra cruda más alto que el de trigo ya que este comprende valores de (0.2-0.4 %).

4.7 Desarrollo de formulaciones de pan.

4.7.1 Formulación preliminar por método directo.

La formulación preliminar no obtuvo resultados favorables con harinas de amaranto, arroz y maíz al 100 % ya que las masas no se hidrataron adecuadamente con el volumen de agua indicado en la formulación, obteniéndose panes con contenido de humedad muy bajos comparados con los que establece la norma, este pan se desmoronaba con mucha facilidad; por lo que fue descartada, debido a que no presentó panes con un adecuado volumen similar al de harina de trigo panificable, esto se observó desde las fermentaciones ya que las masas mostraron grietas en la



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

superficie. La estructura de pan horneado se mantuvo un tanto arenosa bastante duro y de difícil palatabilidad, esto se corrobora con los alveogramas de las harinas, que no son aptas para panificación.

4.7.2 Primera formulación (método directo).

El pan de amaranto, presentó un ligero aumento de volumen en la fermentación, durante el horneado perdió volumen y presentó un aspecto de aplastamiento. Para el arroz y maíz se colocó toda la masa en el molde quedando un pan con las mismas dimensiones de la pasta, su costra en ambos fue blanquecina. Estos panes presentaron una apariencia poco agradable para el consumo. No se desarrolló una estructura de miga adecuada en amaranto, arroz y maíz. Debido a que todas las mezclas presentaron impronta con celdas heterogéneas y muy compactas lo que en un pan convencional de trigo se calificaría como mala (Figura 20).

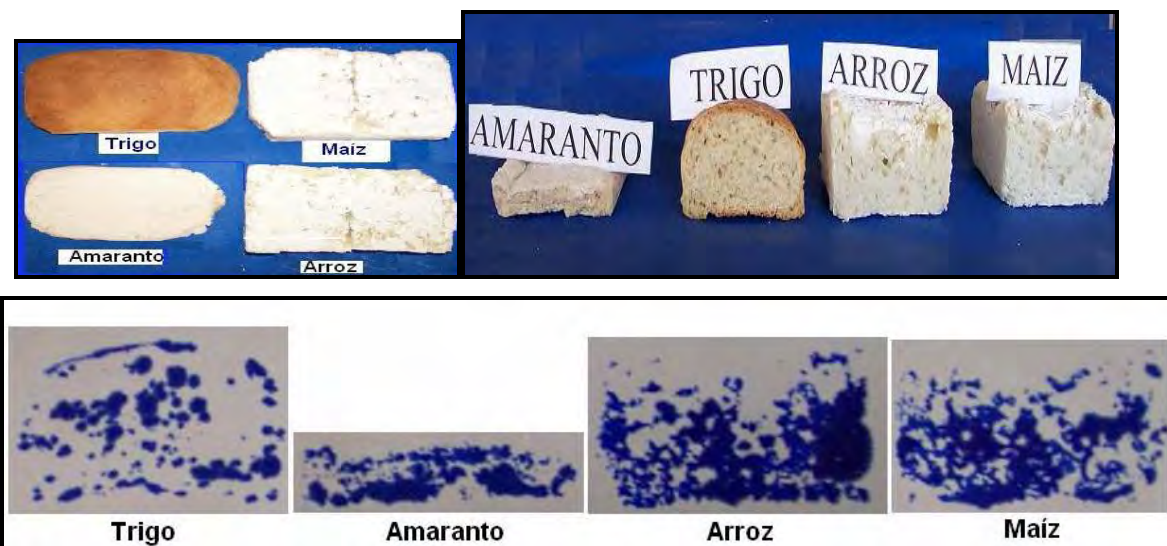


Figura 20. Costra (superficie), miga e impronta de los panes primera formulación.

4.7.3 Segunda formulación (Método de Esponja).

Durante la fermentación, la masa de amaranto mostró una mejor retención de gas; sin embargo en el horneado se vio afectado mostrando inestabilidad en la estructura interna de esta masa; sin embargo, la masa de maíz y arroz no mostraron aumento de volumen en ninguna etapa del proceso. La costra de los panes se vio favorecida con este método debido a que presentó una mejor coloración (Figura 21). El efecto de incorporar hidrocoloides hasta en 1%, mejora el incremento de volumen de pan, sin embargo, la goma xantana no provocó tal comportamiento. Lazariduo *et al.* (2006) también observaron ese comportamiento con la goma xantana.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al evaluar el volumen obtenido de esta formulación, el amaranto presentó un valor de 290 cm³, mientras que maíz (285 cm³) y arroz (285 cm³) mostraron un volumen similar a la harina de amaranto los cuales mostraron un 22% por debajo de la formulación de trigo. El porcentaje de humedad esta dentro de los límites establecidos por la norma. (Tabla 30).

Tabla 30. Parámetros evaluados en la segunda formulación.

Tipo	Peso (g)		Volumen (cm ³)	Rel masa/vol	Humedad (%)
	Masa	Pan			
Trigo	163.90	136.47	370	0.37	23.72
Amaranto	153.54	133.96	290	0.46	32.18
Maíz	169.20	145.61	285	0.51	30.06
Arroz	164.52	144.40	285	0.51	24.21

Los valores representan la media \pm desviación estándar.

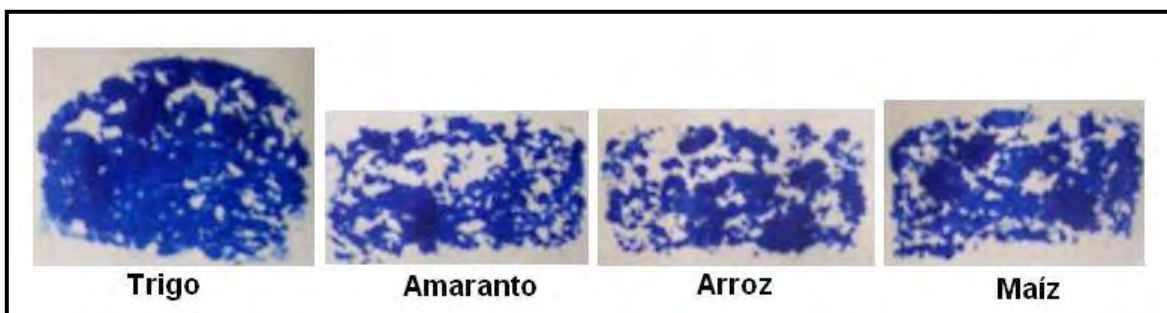


Figura 21. Pan horneado segunda formulación vista lateral, superficie e impronta.

En tanto que, las pruebas sensoriales se realizaron a partir de esta formulación en panelistas no entrenados para evaluar las características organolépticas del pan desarrollado, como se muestra en la Figura 22. El pan de arroz presentó una calificación menor en cuanto a apariencia general, color de costra y sabor, aunque su aroma está por encima del pan de amaranto y maíz, por otro lado, el sabor del pan de amaranto no fue agradable para los panelistas ya que presentó un sabor amargo, de acuerdo a lo que sugiere Acevedo *et al.* (1991) quienes indicaron que el proceso de



reventado induce a un tostado y las grasas de amaranto sufren una ligera oxidación. El pan de maíz obtuvo un color de costra poco atractiva a la vista y se ve reflejada en a calificación por parte de los panelistas.

Los resultados de la evaluación sensorial indican que la muestra de pan de trigo fue calificada en cuanto a su sabor, apariencia general, aroma y color de costra como “Muy bien”. Algunos autores como Reyes *et al.* (2004) mencionan que la sustitución de trigo con 30 % de harina de arroz mostró una mejor evaluación sensorial ya que la harina de arroz proporciona una mejor palatabilidad.

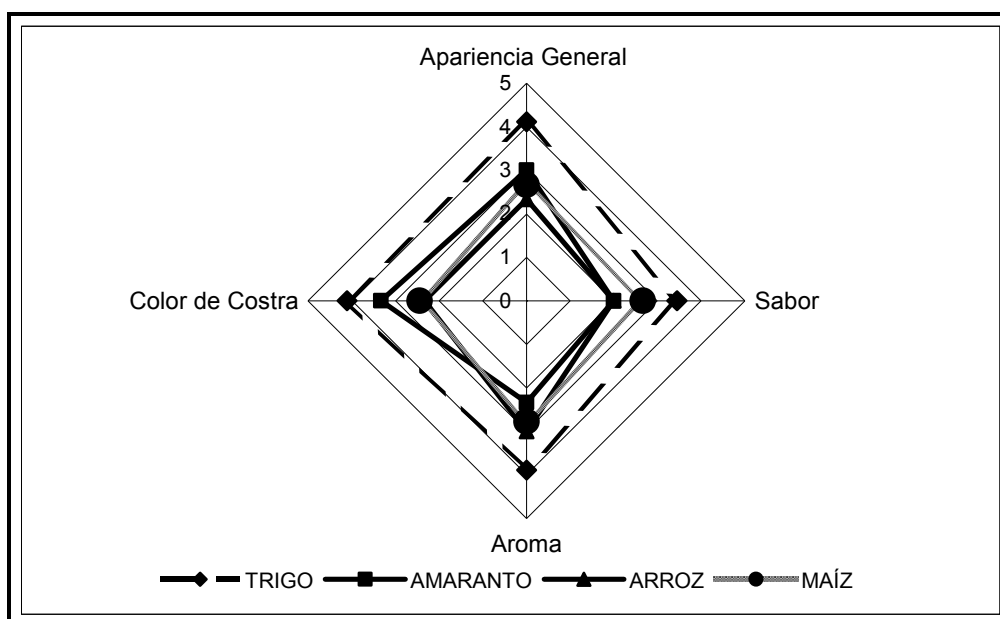


Figura 22. Análisis sensorial de pan blanco segunda formulación

4.7.4 Tercera formulación (método de Esponja).

La harina de amaranto presentó en el mezclado y amasado características de pegajosidad, disminuyendo considerablemente a partir de la segunda fermentación, sin embargo las mezclas con harina de arroz y maíz presentaron una masa muy fluida y poco maleable, presentando una textura arenosa. Reyes *et al.* (2004) obtuvieron un comportamiento similar con mezclas de arroz con trigo, quienes encontraron una correlación con la adición de harina de arroz con efectos directos en el volumen del pan, el cual mencionan que a mayor adición de harina de arroz menor es el volumen del pan obtenido. La impronta de los panes de trigo, amaranto y maíz presentaron algunas celdas grandes calificado como un pan de buenas características, aunque el pan de arroz mostró una impronta muy compacta; los aditivos adicionados a la masa de trigo mostró un pan con buenas características de volumen, aunque mostró una mayor rigidez comparado con las otras muestras (Figura 23).



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La firmeza de los panes de arroz y maíz fueron inferiores comparados con el de trigo (Tabla 31). Torres y Pacheco (2007) mencionan que los panes confeccionados con harinas de otros cereales muestran propiedades plásticas, mientras que la harina de trigo tiene propiedades elásticas, siendo esta propiedad lo que hace posible inflarse y retener burbujas de gas confiriendo una textura suave, la firmeza está relacionada con la proporción de ingredientes adicionados, ya que tiende a disminuir a medida que estos aumentan (Calderón *et al.*, 1995).

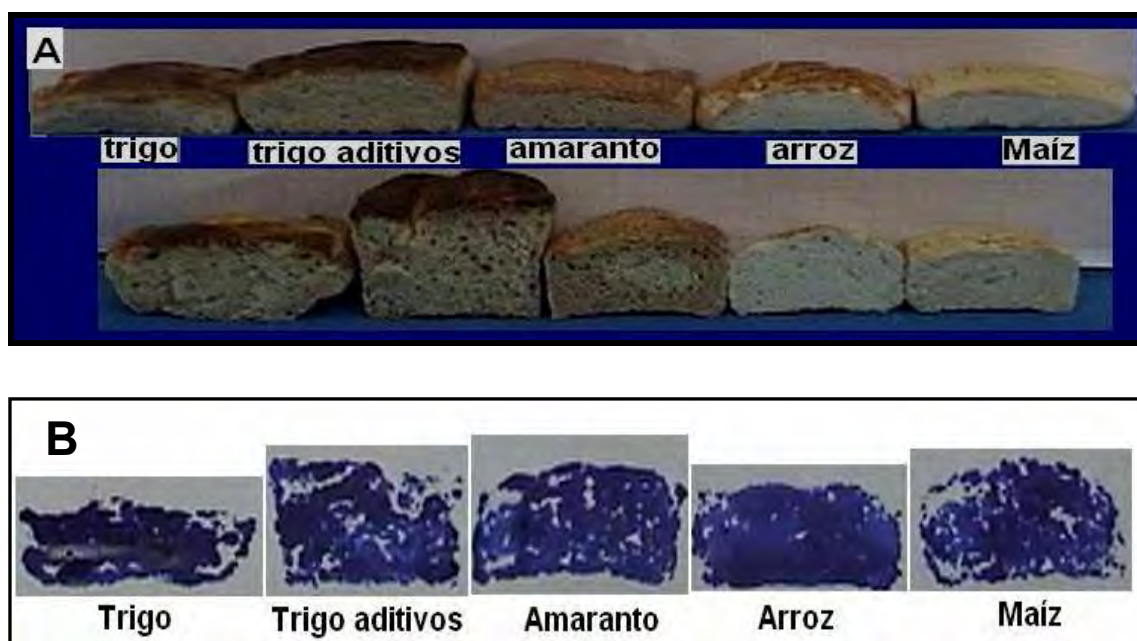


Figura 23. A) Panes a base de diferentes harinas, B) impronta de panes.

Tabla 31. Parámetros evaluados en formulación tres.

Tipo	Peso (g)		Volumen (cm ³)	Rel masa/vol	Firmeza (Kg/cm ²)	Humedad (%)
	Masa	Pan				
Trigo1	153.99	124.56	330	0.38	4.00	23.67
Trigo2	309.77	132.04	430	0.31	6.50	28.58
Amaranto	156.35	131.87	260	0.51	4.00	30.81
Maíz	162.6	139.33	249	0.56	2.00	30.73
Arroz	159.89	137.68	249	0.55	2.00	28.11

Los valores representan la media de tres determinaciones \pm desviación estándar

La evaluación por parte de los panelistas indicó que las formulaciones hechas con trigo no se pueden sustituir ya que se obtuvo los mejores resultados, esto se vio favorecido con la adición de aditivos, comparado con la formulación de pan sin aditivos, la cual presentó una baja calificación por parte de los panelistas en cuanto a apariencia general, sabor y aroma. Sin embargo, la formulación de amaranto tuvo una



mejor calificación en cuanto a color de costra por encima de la formulación de trigo sin aditivos, la apariencia general destacó por encima de las formulaciones de arroz y maíz, aunque en sabor y aroma obtuvo las peores calificaciones.

La formulación de arroz, mostró una evaluación por parte de los panelistas como bueno en todos sus parámetros, pero la formulación de maíz presentó una menor calificación en apariencia general, sabor y aroma como se muestra en la Figura 24.

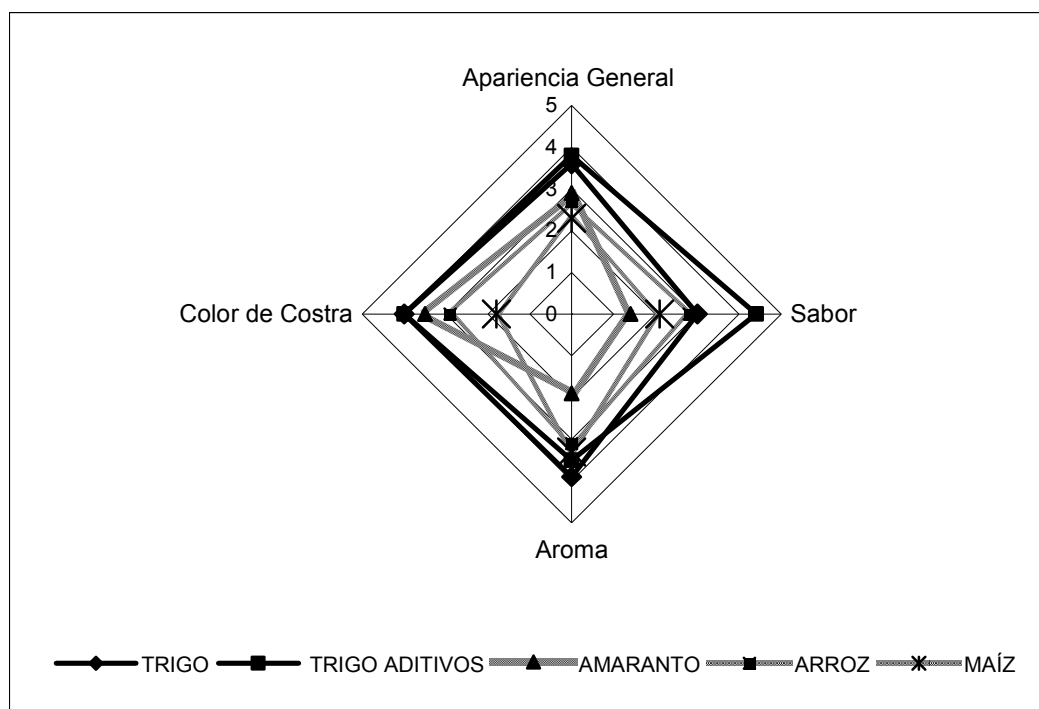


Figura 24. Análisis sensorial de las muestras de pan blanco tercera formulación.

4.7.5. Cuarta Formulación (método de esponja).

Durante el mezclado de las harinas con sus respectivos ingredientes se observó que las mezclas de arroz y maíz mostraron masas pastosas, adhesivas e inmaleables; mientras que durante la fermentación y el horneado éstas no mostraron aumento de volumen.

Por otro lado, el mezclado de los ingredientes del amaranto tanto en esponja como en refresco mostró adherencia a las manos. Chillo *et al.* (2007) obtuvieron comportamientos similares con harina de amaranto para la fabricación de espagueti. Durante la fermentación hubo una mayor retención de gas, mostrando que si hubo una interacción adecuada de los ingredientes en las cantidades adicionadas.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La impronta de los panes obtenidos destaca el de amaranto que presenta un menor número de celdas grandes, similar a un pan de trigo calificado como bueno. Las improntas de arroz y maíz mostraron una estructura muy compacta.

En la Figura 25 se muestran los panes obtenidos de la cuarta formulación de pan de amaranto, arroz y maíz (correspondiente a la letra A) y las reformulaciones de arroz y maíz (correspondientes a B y C), con sus respectivas improntas.

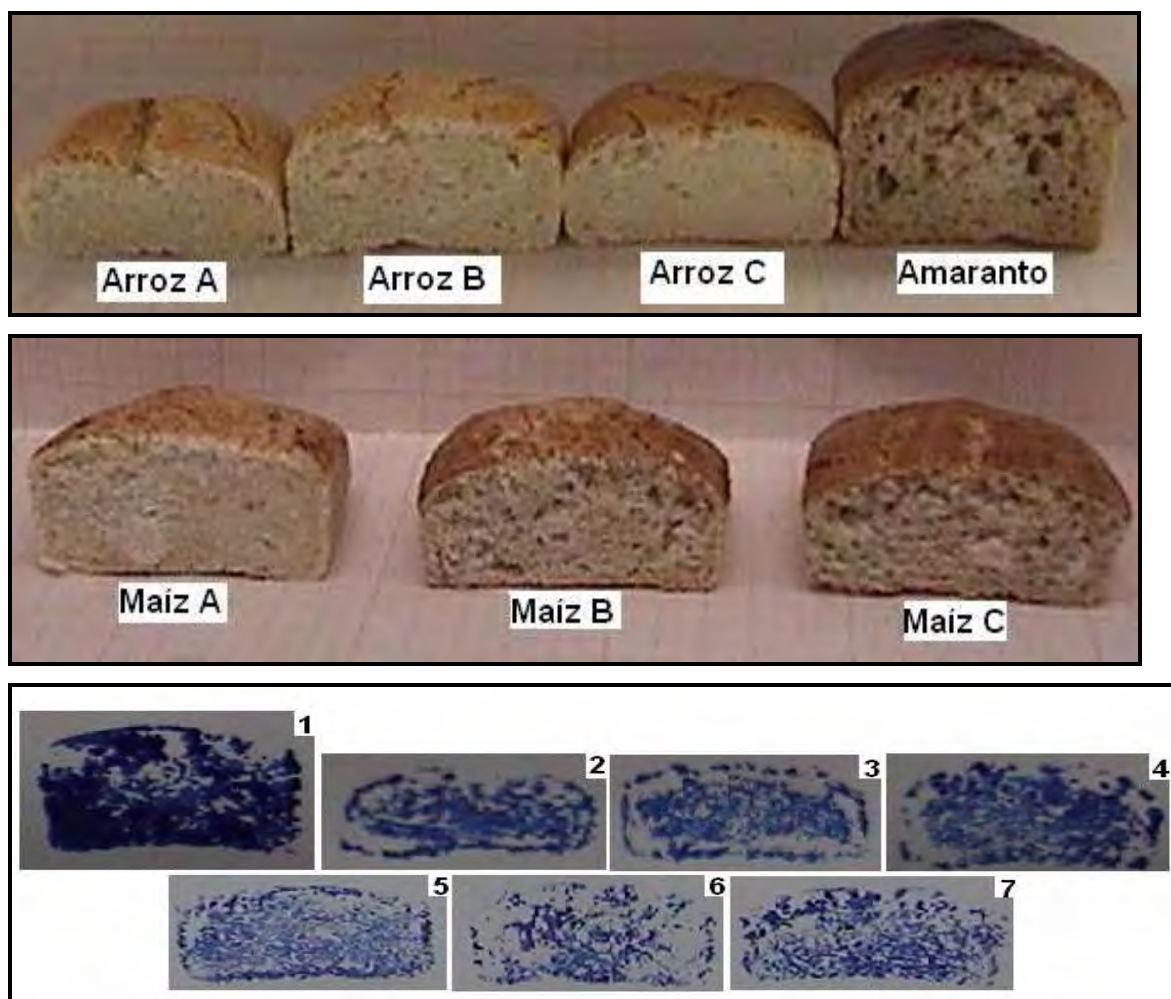


Figura 25. Corteza e Impronta de amaranto, arroz y maíz. 1) Amaranto A, 2) Arroz A, 3) Arroz B, 4) Arroz C, 5) Maíz A, 6) Maíz B, 7) Maíz C).

La formulación de amaranto presentó un aumento de volumen de 260 a 390 cm³ comparado con la formulación anterior, esto sugiere una interacción de la harina de amaranto con las propiedades que tienen la lecitina de soya, la leche y la goma xantana sobre la formación de la red para el esponjamiento (Gómez y Bonastre, 2005). En cambio, los panes elaborados con harina de arroz no observó un efecto favorable con esta formulación manteniéndose similar a las anteriores formulaciones, solo las mezclas de arroz B y C presentaron un ligero aumento de volumen con la adición de



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

otras harinas en mezcla, similar al reportado por Lazariduo y colaboradores, (2006). El cual obtuvo panes con volumen de 205 a 268 cm³ similares a los obtenidos con las formulaciones de maíz.

Por lo tanto, los parámetros físicos del pan de amaranto se ven favorecidos en cuanto a volumen y humedad (Tabla 32). Sin embargo, las muestras de arroz y maíz no presentaron aumento de volumen, aún con las posteriores propuestas de formulación; no obstante, se vio un efecto positivo en el volumen de la formulación de arroz B, mostrando un volumen similar a las formulaciones de maíz.

Se dice que al disminuir la fuerza del gel durante la cocción de las masas y el grado de retrogradación de los almidones durante el enfriamiento, se produce un aumento de firmeza en el pan, mostrando esa sensación directamente al momento de ser evaluado sensorialmente.

La humedad de los panes obtenidos con arroz C, estuvo por debajo del límite establecido por la norma Ministerio de Económica, Industria y comercio. (1993). Los demás se encontraron comprendidos en el límite 23-35% de acuerdo a la norma. La norma mexicana (NMX-F-406-1982) establece un límite de 15 a 35% por lo que todos los panes estuvieron dentro de este rango. La humedad de los panes de amaranto, arroz y maíz mostraron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al pan de trigo, mientras que las formulaciones de arroz y maíz (B y C), no mostraron diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con respecto a si mismas (Secretaría de Economía, 1982).

Tabla 32. Parámetros evaluados en la propuesta cuatro.

Tipo	Peso (g)		Volumen (cm ³)	Rel masa/vol	Firmeza (Kg/cm ²)	Humedad (%)
	Masa	Pan				
Amaranto	152.28	128.75	390	0.33	9.00	27.86
Arroz	144.43	120.83	190	0.64	7.00	23.67
Maíz	170.69	149.05	240	0.62	7.60	33.1
Trigo	309.77	132.04	430	0.31	6.50	28.58
Arroz B	157.44	137.95	230	0.59	8.30	30.36
Arroz C	160.01	139.64	220	0.63	8.00	22.06
Maíz B	149.55	124.97	220	0.56	9.00	27.58
Maíz C	146.6	125.09	240	0.52	8.70	26.37

Los valores representan la media de tres determinaciones \pm desviación estándar.

En la cuarta formulación de pan blanco, los panelistas prefirieron el elaborado a base de amaranto y almidón de maíz en relación (70-30 partes base 100) respectivamente, mostrando una mejor calificación de 2(malo) a 4 (bueno). Cabe mencionar que en el pan de amaranto predomina un característico sabor amargo similar al de un pan integral. Las formulaciones elaboradas con harinas de arroz y maíz, fue necesario



reformularlas para mostrar una mejor calificación (Figura 26). Por lo anterior, fue seleccionada la formulación de amaranto ya que presentó un mejor sabor y aroma, además fue aceptada ya que fue mejorada con respecto a las anteriores formulaciones. Esta mezcla de amaranto con sus aditivos fue evaluada en sus propiedades tecnológicas y funcionales, las cuales son mostradas en el anexo 3.

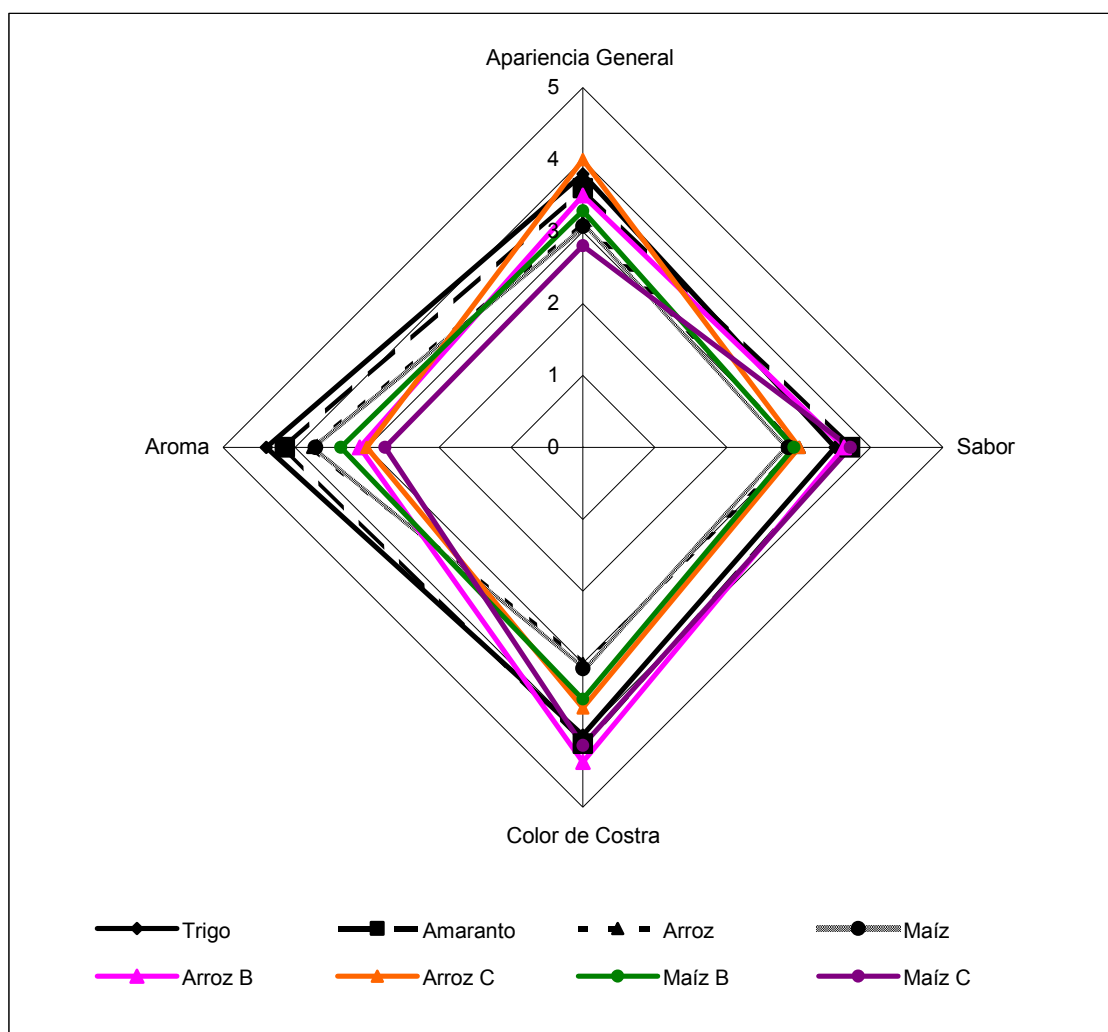


Figura 26. Evaluación sensorial de la Cuarta propuesta de formulación de pan blanco.

4.7.6 Almacenamiento y vida de anaquel de pan de amaranto.

Los productos que se exhiben en anaquel tienen como principal requisito mencionar en la etiqueta el consumo preferente o consumo antes de determinada fecha, sin que el producto pierda sus características organolépticas o lleve a cabo una transformación no deseada producida generalmente por microorganismos (Gutiérrez y Villanueva, 2003). Por ello, se analizó a los productos que desarrollaron mejores características de



volumen, impronta, firmeza y porcentaje de humedad obtenidas de las formulaciones desarrolladas (Figura 27).



Figura 27. Pan de amaranto almacenado a temperatura ambiente.

El pan blanco elaborado con harina de amaranto fue evaluado cada tercer día, desde su elaboración hasta 15 días de almacenamiento. Las determinaciones que se realizaron fueron: Porcentaje de humedad, firmeza, análisis microbiológico (hongos y levaduras, mesófilos aerobios y coliformes totales). Las condiciones de almacenamiento se registraron diariamente monitoreando al medio día aproximadamente. Se observaron fluctuaciones menores por debajo de los 25° C y la humedad relativa promedio fue inferior a 50 % como se muestra en la Figura 28.

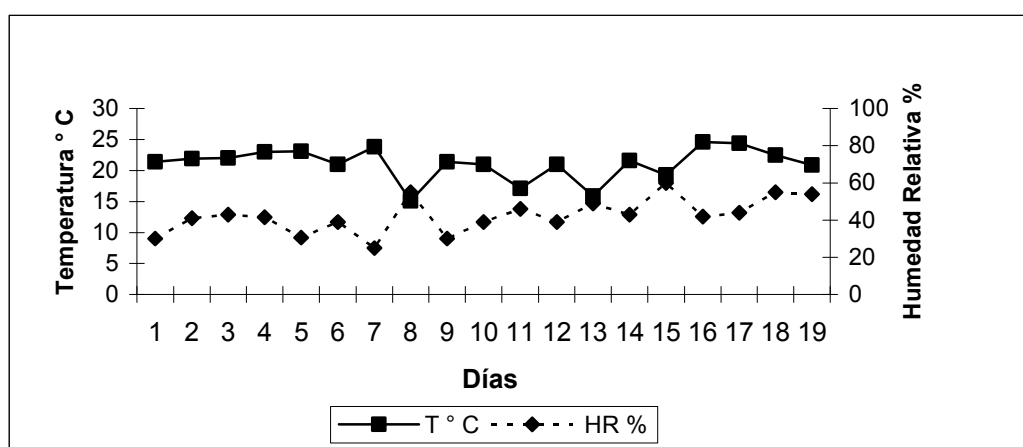


Figura 28. Control de temperatura y humedad relativa durante el almacenamiento de pan blanco.

4.7.6.1 Porcentaje de humedad.

Un parámetro importante a evaluar en vida de anaquel es el porcentaje de humedad contenida en el pan; ya que con un alto porcentaje es susceptible de proliferación microbiana aunque también se afectan sus propiedades sensoriales (Figura 29).



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este parámetro mantuvo un ligero descenso hasta el día seis, sin embargo, mostró un significativo descenso a partir del día 9 manteniéndose así hasta el día 12, para entonces, el pan ya mostraba endurecimiento y desmoronamiento palpable a las manos. El contenido de humedad de los panes se mantuvo entre 32-34 % por lo que cumplen con la norma NMX-F-376-S-1982 para pan blanco de trigo (Secretaría de Economía, 1982).

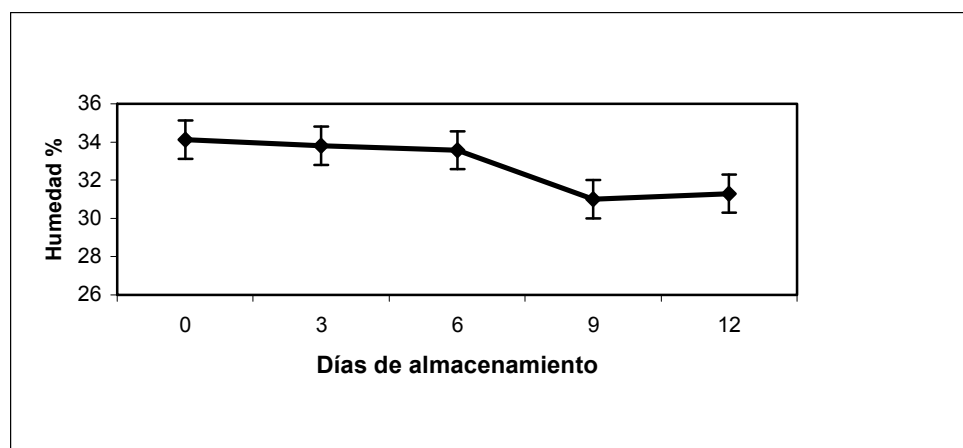


Figura 29. Porcentaje de humedad de pan blanco durante el almacenamiento a 25 ° C y 50 % de HR

4.7.6.2. Firmeza.

El pan blanco se caracteriza por mantener su frescura, aroma característico y textura suave. La firmeza esta relacionada directamente con la retrogradación del almidón ya que tiende a migrar algunos componentes principalmente la humedad Callejo, (2002). Un pan blanco sin aditivos generalmente tiene una vida de anaquel corta (3 días) presentando una corteza firme y una resequedad aparente durante el almacenamiento, generando enmohecimiento y envejecimiento comparado con el día inicial. Generalmente, un pan libre de gluten suele endurecerse rápidamente y presentar un escaso aroma debido a la retrogradación producidos en el almidón y migración de componentes aromáticos Gómez y Bonastre, (2005). El pan de amaranto presentó una firmeza cercana a 6 Kg/cm² durante los primeros seis días de almacenamiento, sin embargo fue incrementando su firmeza en el noveno día hasta llegar a 7.5 kg /cm². Al 12° día el pan ya presentaba características de endurecimiento y desmoronamiento, Reyes *et al.* (2004) observaron un aumento de firmeza de 7.67 a 19.82 Kg/cm²) en panes elaborados con mezcla de 70 % de trigo y 30 % de arroz. Los panes presentaron el día doce una mayor dureza comparada con los otros días, esto sugiere que se inicia la retrogradación del almidón y la pérdida de humedad.

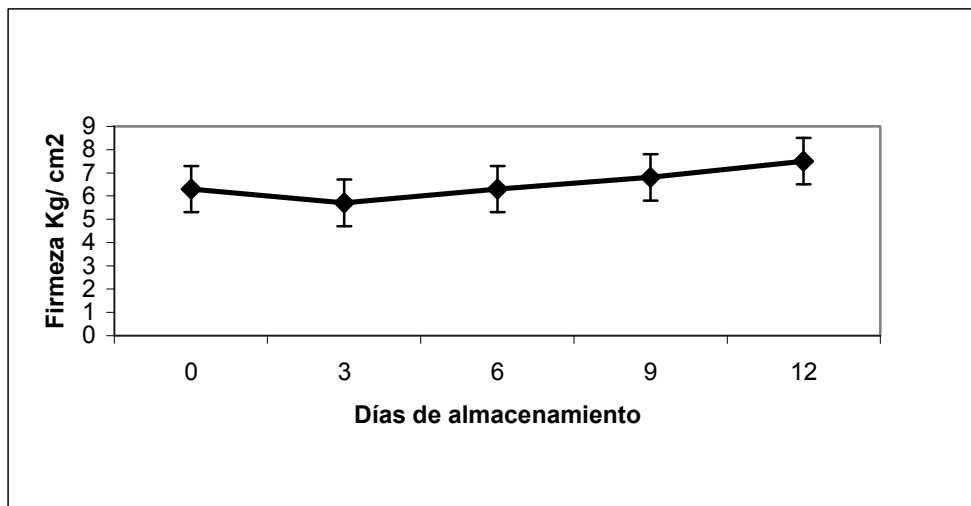


Figura 30. Cambios de firmeza en pan blanco almacenados a 25 ° C y 50 % HR.

Una vez que el pan comienza a envejecer, se produce una reorganización de estructuras de doble hélice en la fracción amilopectina y su reorganización en regiones cristalinas, estas proporcionan rigidez en el gránulo de almidón gelatinizado y al material intragranular funcionando como un entrelazamiento físico sobre toda la estructura, aunque los factores que intervienen en el proceso de endurecimiento comprenden la migración de humedad, evaporación de agua y degradación del almidón (Callejo, 2002; Quaglia, 1991).

Por otro lado, el color de la corteza fue ligeramente dorado y la impronta del pan presentó algunas celdas grandes el cual es calificado con 4 (bueno), observando que la distribución de los poros fue no uniforme, mientras que el color de la miga fue en un tono crema (Figura 28). La pérdida de peso del pan al final del muestreo disminuyó en 1.2 % con respecto al peso de la masa inicial en la muestra.

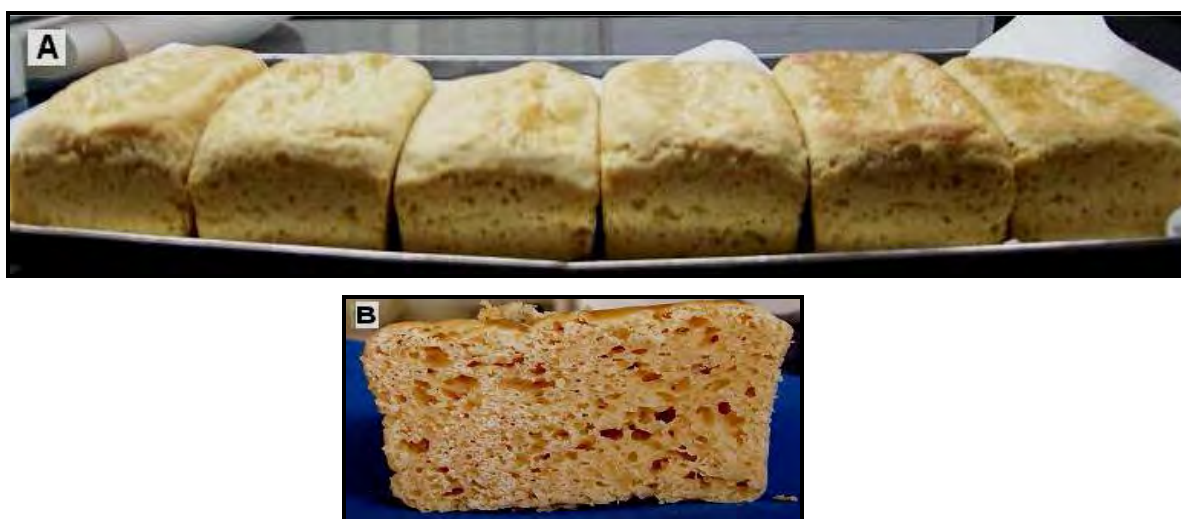


Figura 31. Color de la corteza e impronta del pan blanco a) día inicial, b) día doce.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.7.6.3 Análisis Microbiológico.

Las condiciones de almacenamiento, el empaque y el contenido de humedad del pan favorecieron para que las muestras no presentaran carga microbiana de consideración. El análisis microbiológico muestra la ausencia de microorganismos coliformes. Para hongos y levaduras, los valores al inicio y al final del muestreo fueron negativos, la norma establece un límite de hongos y levaduras de 300 ufc/g (Tabla 33)(SSA, 1996).

Tabla 33. Análisis Microbiológico de pan blanco 'vida de anaquel'.

	Coliformes (UFC/g)	Hongos y Levaduras (UFC/g)	Mesófilos (UFC/g)
Día 0	Negativo	Negativo	530
Día 12	Negativo	Negativo	559

Por otro lado, los mesófilos aerobios fueron de 530 UFC/g al inicio del muestreo, manteniéndose en valores similares al final (día 12). La norma establece un límite máximo de 10 000 UFC/g para productos horneados.

Los panes a base de amaranto libres de gluten tuvieron una vida de anaquel de 12 días de acuerdo al análisis microbiológico y al valor de firmeza, ya que el pan blanco mostraba una textura poco palpable y el porcentaje de humedad se ve desfavorecido a partir del noveno día ya que disminuye considerablemente comparado con los anteriores días. De acuerdo a las observaciones realizadas por Quaglia, (1991) es posible que el almidón pueda inducir fenómenos que sugieren que el endurecimiento de la miga es el resultado del endurecimiento del almidón sin pérdida considerable de humedad.

4.8 Desarrollo de formulación de galletas.

Las diferentes clases de galletas son elaboradas a partir de masas que presentan viscosidad, plasticidad y elasticidad muy diferentes entre si, estas son otorgadas por el gluten contenido en la harina de trigo, esencial para formar la miga porosa con lo cual se obtiene la incomparable textura al comerlos.

La formulación de trigo presentó una adecuada extensibilidad, durante el mezclado se forman una gran cantidad de hilos que son orientados en una misma dirección. Sin embargo estas cadenas se contraen formando resortes los cuales oponen resistencia al estiramiento y se contraen, por ello al momento de hornearlas, estas redujeron su tamaño al original, mostrando una galleta dura y con poco volumen (Manley,1989).



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Por otro lado, la formulación de amaranto presentó una manejabilidad inadecuada y su apariencia no es favorecida ya que interiormente la galleta quedó semicruda, el horneado se efectuó a 220° C por 10 minutos, la cual presentó un alto contenido de humedad (12%), siendo un valor muy alto comparado con lo establecido por la norma, por lo que debe ser inferior al 6% (Tabla 34). Estas galletas presentaron una estructura de biscocho, por lo que fueron descartadas debido a su alto porcentaje de humedad mayor al 10% y su apariencia no fue aceptada por los panelistas.

Mientras que las galletas de arroz y maíz se amasaron adecuadamente pero la masa no fue extensible dificultando el cortado de las galletas.

El factor de expansión de las galletas de arroz fue de 56 y para las de maíz presentaron un factor de expansión de 53. De acuerdo a lo expresado por Velázquez y colaboradores (2007), el factor de expansión debe estar alrededor de 100, los cuales presentaron diferencia significativa con respecto a la formulación de trigo ($p \leq 0.05$).

Con respecto a la humedad la muestra de arroz se mantuvo por debajo del límite máximo de acuerdo a la norma (NMX-F-376- S-1980). Las galletas de las cuatro formulaciones fueron significativamente diferentes ($p \leq 0.05$) (Secretaría de Economía, 1980).

Tabla 34. Parámetros evaluados en galletas tipo María.

Tipo	Peso (g)		Factor de Expansión	Humedad %
	masa	Galletas		
Trigo	78.19	63.58	37.16	6.265
Amaranto	101.9	75.14	33.84	12.90
Arroz	92.61	72.21	55.94	3.62
Maíz	112.66	76.72	53.07	4.71

Los valores representan la media de tres determinaciones \pm desviación estándar.

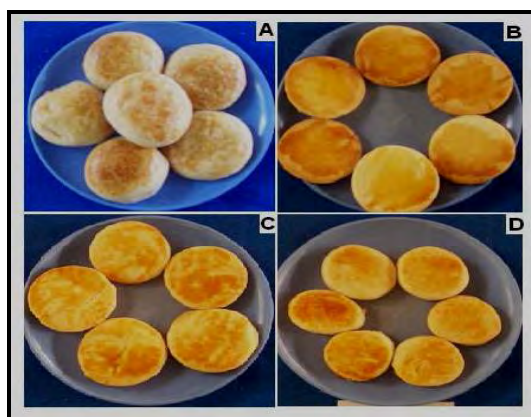


Figura 32. Galletas tipo María Primera formulación A) amaranto, B) Arroz, C) maíz, D) trigo.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la evaluación de parámetros sensoriales las galletas de arroz mostraron una mejor apariencia general aunque, todas las muestras no presentaron diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con respecto a la harina de trigo. En cuanto a aroma y sabor, las galletas de amaranto mostraron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto a las otras formulaciones, ya que estas presentaron un sabor ligeramente amargo y deficiente en aroma. Los panelistas coincidieron en adecuar la formulación agregando un saborizante a cada formulación, ya que las galletas presentaron un sabor característico a su correspondiente cereal. Todas las formulaciones de galletas presentaron una mayor fragilidad comparado con la dureza, presentándose más notorio en las galletas de amaranto. En cuanto a adhesividad, no presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) las galletas de arroz y maíz con respecto a las galletas de trigo (Figura 33).

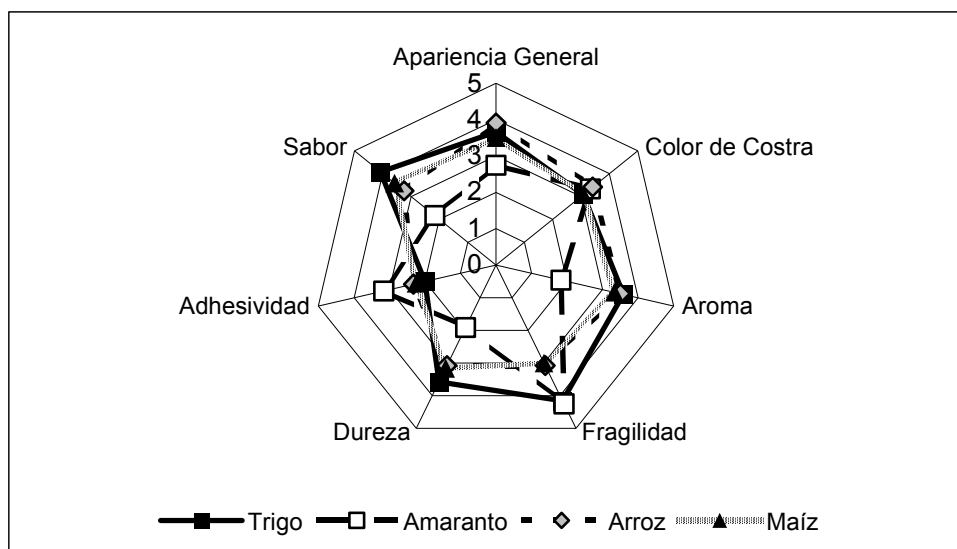


Figura 33. Evaluación sensorial de primera formulación de galletas.

4.8.1 Galletas tipo María.

La formulación establecida para la elaboración de galletas presentó un efecto positivo el adicionar un saborizante a las galletas de arroz y maíz. Dado que, las galletas de arroz con sabor a canela presentaron una mejor calificación por parte de los panelistas comparada con las de maíz y trigo. Sin embargo, la adhesividad y dureza son casi nulas. Esta formulación de arroz se vio favorecida por el saborizante adicionado como se muestra en las Figura 34, ya que presentó mejor sabor, apariencia general, color de costra y aroma, por encima de las galletas de trigo.

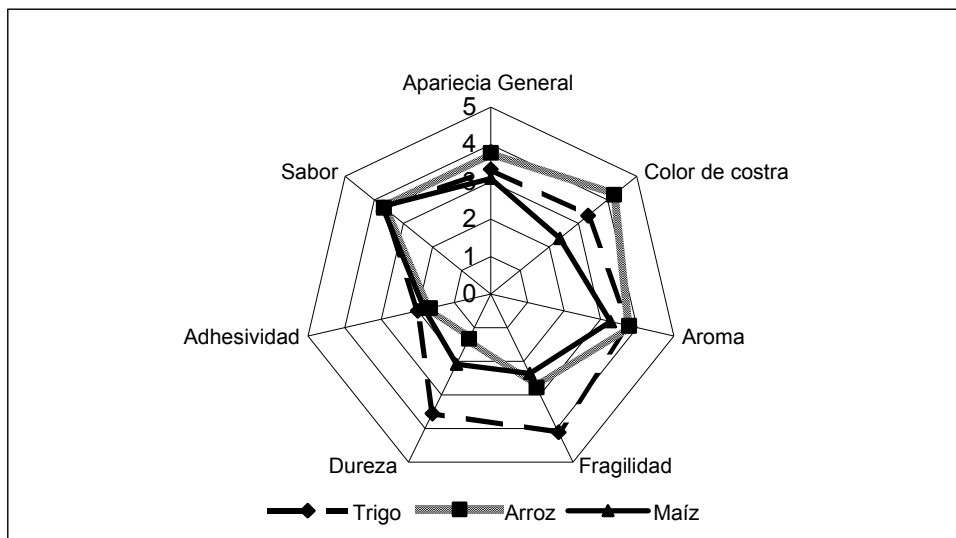


Figura 34. Evaluación sensorial de galletas sabor canela.

En la Figura 35 se muestra la evaluación sensorial realizada a las galletas de arroz, maíz y trigo sabor vainilla. Las galletas de maíz presentaron mejor sabor, apariencia general, color de costra y aroma destacando en el gusto de los panelistas comparadas con las galletas elaboradas con trigo y arroz. Aunque la adhesividad, dureza y fragilidad se presentaron en el orden de 1, correspondiendo a nada adhesivo, nada duro y muy frágil. En esta formulación destacó el sabor de las galletas elaboradas con harina de maíz ya que presentó una mejor evaluación en todos sus parámetros como se muestra en la Tabla 35. Las galletas de maíz sabor vainilla no presentaron diferencia significativa ($p \geq 0.05$) con respecto a las galletas de trigo del mismo sabor.

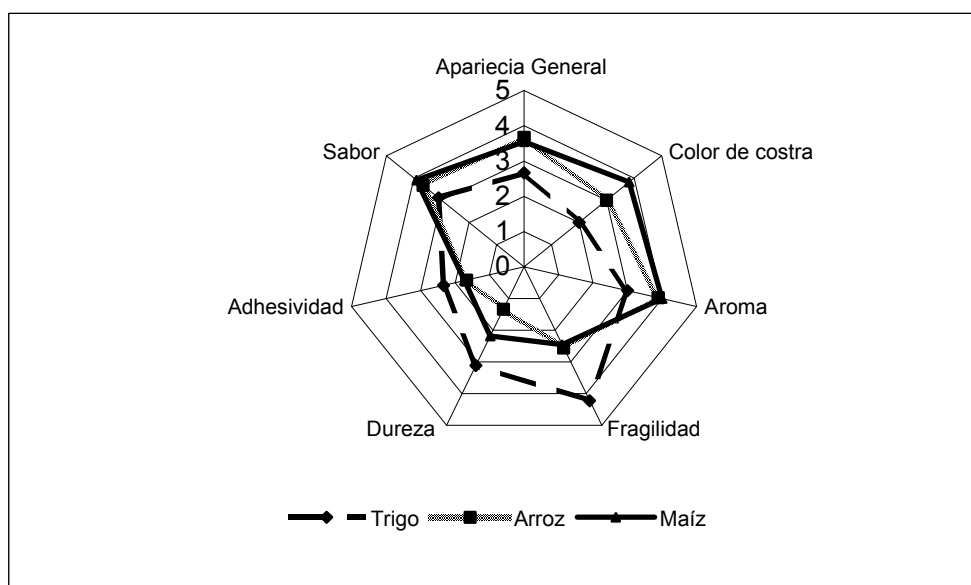


Figura 35. Evaluación sensorial de galletas sabor vainilla.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las formulaciones de las galletas de arroz sabor canela y maíz sabor vainilla obtuvieron un mejor factor de expansión alrededor de 100, no presentaron diferencia significativa ($p \geq 0.05$) entre ellas mismas.

Por otro lado, la humedad se mantuvo por debajo del límite máximo de acuerdo a la norma mexicana para galletas dulces (Secretaría de Economía, 1980). La humedad de las galletas de arroz no mostraron diferencia significativa entre las mismas ($p \geq 0.05$), pero si con las galletas de trigo y de maíz.

Tabla 35. Parámetros evaluados en galletas segunda formulación.

TIPO	Factor de Exp.	Humedad (%)
Trigo C	54.32±0.0	3.99±0.5
Arroz C	98.35±0.0	2.71±0.3
Maíz C	95.72±0.0	2.65±0.3
Trigo V	48.00±0.0	6.44±0.4
Arroz V	76.36±0.1	2.40±0.4
Maíz V	95.05±0.0	1.25±0.5

- C (galletas con sabor canela) y V (galletas con sabor vainilla).
- Los valores representan la media de tres determinaciones \pm desviación estándar.



Figura 36. Formulación de galletas con sabor. Trigo, arroz y maíz sabor vainilla y canela.

Cabe mencionar que en la elaboración de galletas influye mucho los procedimientos y prácticas de amasado, estas diferencias se deben al clima ambiental, harinas, formulaciones y altura sobre el nivel del mar.

La formulación aceptada para la elaboración de galletas tipo María fueron las elaboradas con arroz sabor canela y las de maíz sabor vainilla, por presentar mejor evaluación sensorial y por presentar valores óptimos de factor de expansión. Las mezclas utilizadas para la elaboración de estas formulaciones tanto de arroz como de



maíz fueron evaluadas sus propiedades tecnológicas y funcionales mostradas en el anexo 3.

4.8.2 Almacenamiento y vida de anaquel de galletas de arroz y maíz.

Para evaluar la vida de anaquel de las galletas se realizaron las siguientes determinaciones: humedad, firmeza, análisis microbiológico, las cuales se realizaron inmediato a su elaboración y cada treinta días durante cuatro meses. El empaqueo de los productos se desarrollo siguiendo la metodología descrita, una vez que se enfriaron las galletas recién horneadas (Figura 37).



Figura 37. Almacenamiento de galletas empaçadas en envase secundario de cartón

Las condiciones de almacenamiento fueron registradas diariamente. La temperatura varió por debajo de los 28° C y la humedad relativa promedio fue de 45 % (ver Figura 38).

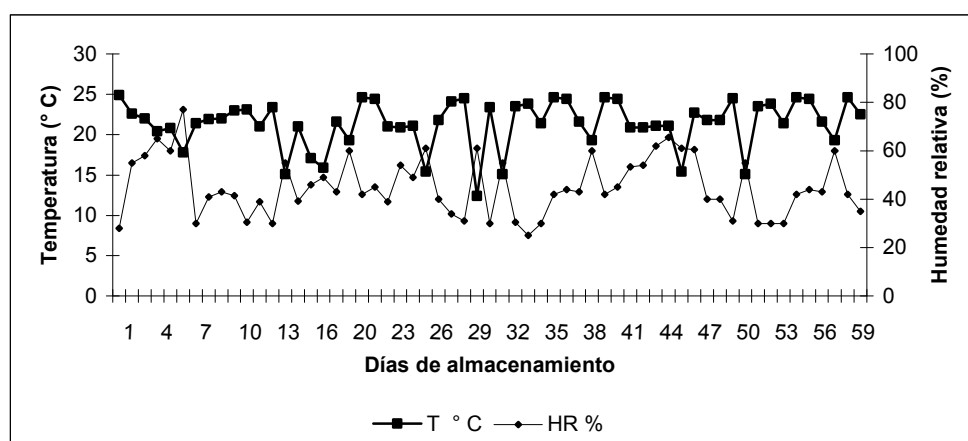


Figura 38. Control de monitoreo de temperatura y humedad relativa durante el almacenamiento.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.8.3 Porcentaje de Humedad.

Un parámetro importante en la calidad de las galletas es el porcentaje de humedad, ya que puede afectar la presencia de microorganismos. La humedad inicial de las galletas de arroz fue de 2.55 %, en los dos primeros meses no presentó una variación considerable en el tercer mes aumentó 3.52 % lo que representó un aumento de una unidad porcentual, ya para el cuarto mes fue de 6.44 %, 2.5 veces más con respecto al valor del día inicial.

Por su parte, las galletas de maíz presentaron un porcentaje de humedad inicial de 1.47%, para el segundo mes aumentó a 3.48 % representando un aumento del doble del contenido inicial, ya para el cuarto mes el porcentaje de humedad fue de 5.44 %, siendo un aumento global de 3.7 veces con respecto al inicial (Figura 35).

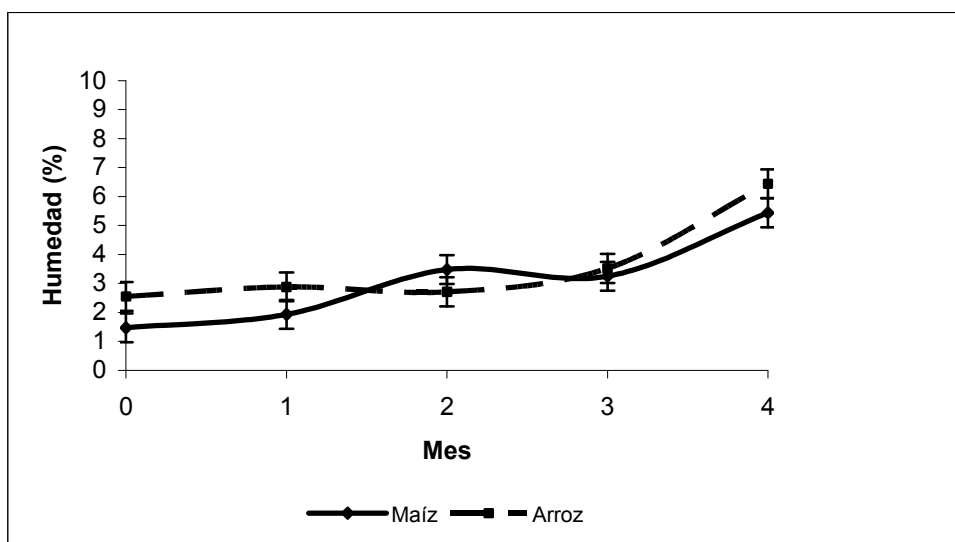


Figura 39. Cambios en el porcentaje de humedad de las galletas de arroz y maíz almacenados a 25 ° C y 50 % HR durante 4 meses.

4.8.4. Firmeza.

La firmeza aumentó ligeramente hasta el tercer mes en las galletas de arroz y maíz, pero después del cuarto, se observó un ligero endurecimiento de los productos. Maldonado y Pacheco (2000), observaron una firmeza de 1.48 a 2.06 kg/cm² en galletas. Esto no pudo ser afectado por las condiciones de almacenamiento debido a que durante toda la prueba se observaron fluctuaciones en la temperatura de almacenamiento. Aunque pudo haber afectado el contenido de humedad presente en la muestra durante el muestreo como se observa en la Figura 40.

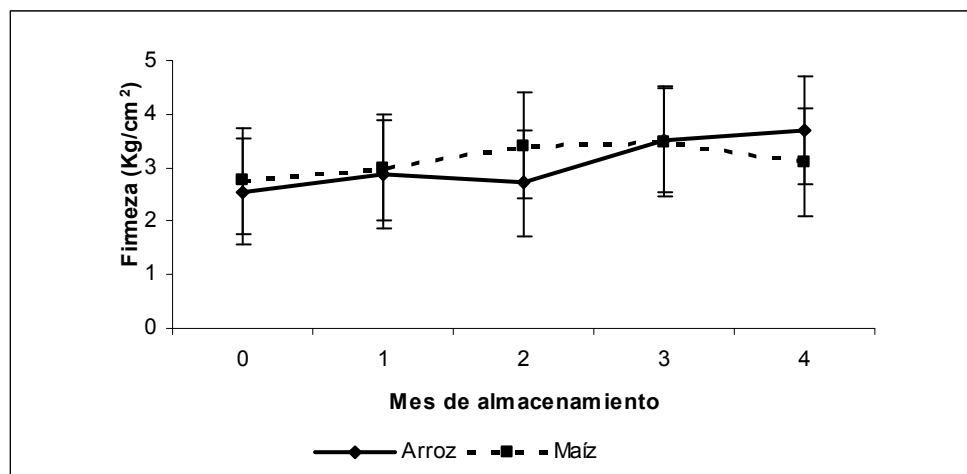


Figura 40. Evaluación de firmeza en galletas de arroz y maíz.

4.8.5 Análisis microbiológico de las galletas.

El límite máximo de Mesófilos aerobios para galletas es de 3 000 ufc/g según la NOM-147-SSA1-1996, las galletas de arroz no mostraron carga microbiana durante el período de 4 meses de almacenamiento (Tabla 36). Por otro lado, la determinación de hongos y levaduras, presentó carga microbiana hasta el cuarto mes, sin embargo esto no fue muy alto, ya que el límite máximo de acuerdo a dicha Norma es de 300 ufc/g. Los coliformes se mantuvieron negativos durante todo el muestreo.

Tabla 36. Prueba microbiológica de galletas tipo María sabor canela.

Galletas de arroz	Coliformes (UFC/g)	Hongos y levaduras (UFC/g)	Mesófilos aerobios (UFC/g)
Mes 0	Negativo	Negativo	Negativo
Mes 4	Negativo	102	Negativo

Mientras que las galletas de maíz mostraron carga negativa a bacterias coliformes durante el almacenamiento, No presentaron hongos y levaduras, mientras que mesófilos aerobios se mantuvo por debajo del límite establecido como se muestra en la Tabla 37.

Tabla 37. Prueba microbiológica de galletas tipo María sabor vainilla.

Galletas de maíz	Coliformes (ufc/g)	Hongos y levaduras (ufc/g)	Mesófilos aerobios (ufc/g)
Mes 0	Negativo	Negativo	505
mes 4	Negativo	Negativo	Negativo



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados mencionados anteriormente, se estableció que la vida de anaquel de las galletas de arroz y maíz fue de cuatro meses manteniendo sus características y calidad adecuadamente.

4.9. Análisis fisicoquímico de pan blanco y galletas tipo María.

Las galletas de arroz presentaron una acidez total de 6.33 ml de NaOH gastados, mientras que las de maíz presentaron una acidez total de 0.9 ml de NaOH gastados considerado como una acidez muy baja, ambas presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al control.

En cuanto al pH las galletas de arroz y maíz presentaron un valor de 6.5 y 6.3 respectivamente, mientras que el pan de amaranto presentó un pH de 5.9 estas mostraron diferencia significativa con respecto a si mismos y con respecto a los demás. El pH de los panes debe estar alrededor de 5.7. Cuando estos valores son superiores o inferiores de lo establecido, indican que la fermentación se llevó a cabo a una temperatura demasiado alta o demasiado tiempo, dando lugar a un envejecimiento de la masa. Mientras que una acidez excesiva debida a una fermentación demasiado larga repercute en las características del producto que tendrá un sabor y aroma acidulante, porosidad demasiado grande y una corteza demasiado coloreada (Quaglia, 1991).

4.10 Análisis químico de productos libres de gluten.

El análisis químico de los productos seleccionados para 100 g de producto. Se muestra en la Tabla 38.

Tabla 38. Análisis químico de productos elaborados LDG.

Parámetros	Pan de amaranto	Galletas de arroz	Galletas de maíz
Humedad	33.7±2.3 ^a	2.5±10.2 ^b	1.5 ± 12.1 ^b
Cenizas	2.8 ± 6.3 ^a	1.8 ± 0.4 ^b	2.2 ± 4.1 ^a
Grasa	13.5±7.1 ^a	28.3 ± 3.1 ^b	24.5 ± 3.3 ^c
Proteína*	5.7 ± 5.8 ^a	5.2 ± 0.8 ^b	5.4 ± 0.0 ^b
Fibra cruda	1.2 ± 1.1 ^a	4.3 ± 0.1 ^b	3.5 ± 5.1 ^c
Carbohidratos totales	43.0±0.0 ^a	58.2±0.0 ^b	62.9±0.0 ^c

*(valor de $F_c = 5.94$). Los valores representan la media de tres determinaciones ± desviación estándar. Los valores seguidos de diferente letra en cada fila difieren significativamente ($p \leq 0.05$).

Aunque la composición de la harina de amaranto tiene una proporción adecuada de proteína, en el pan es muy bajo por la mezcla con otros componentes como el almidón de maíz. El valor de proteína en el pan de amaranto presentó diferencia significativa



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

con respecto a las galletas de arroz y maíz. Las galletas presentaron un porcentaje de proteína similar al reportado por Tosi *et al.*, (1996). El porcentaje de grasa fue muy alto comparado con el reportado por este autor, debido a la adición de margarina y mantequilla. Tanto fibra, carbohidratos y grasa presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en las tres muestras y el valor de cenizas las galletas de maíz y el pan de amaranto no presentaron diferencia significativa ($p \geq 0.05$).

4.11 Comparación física de productos

4.11.1 Evaluación sensorial y física de pan elaborado de harina de amaranto con el pan de harina comercial libre de gluten.

Dentro de la gama de productos comerciales libres de gluten, se pueden encontrar alimentos que van desde galletas, sopas, harina para empanizar ó para elaborar pan (Figura 41). En algunas ocasiones los Dietistas (expertos de la salud) recomiendan este tipo de productos, aunque su precio este por mucho elevado comparado con los homólogos de trigo y su calidad organoléptica no es apreciable por los Celiacos (Acelmex, 2007)

Se elaboró pan con harina panificable libre de gluten marca 'Santiveri'. Esta harina es la más común en México para elaborar pan libre de gluten y se comparó con pan hecho con harina de amaranto.

La harina panificable comercial tenía como ingredientes: almidón de maíz, caseinato, harina de arroz, azúcar, sal, aroma e hidroxipropilmetilcelulosa; este producto comercial solo se encuentra en centros comerciales de renombre y su precio oscila en los \$ 95 pesos por cada 500 gramos.



Figura 41. Productos comerciales libres de gluten.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El preparado panificable se utilizó para elaborar el producto conforme a instrucciones del fabricante impresas en la etiqueta y así comparar con la mezcla de harina de amaranto elaborado en el laboratorio. Al pan se le determinó firmeza, volumen e impronta y análisis sensorial.

El pan elaborado con harina panificable libre de gluten presentó una costra muy pálida, comparada con la costra muy dorada de amaranto, como se muestra en la Figura 42 a y b). Cabe mencionar que la impronta del pan comercial presentó un color blanco y algunas celdas grandes al igual que el pan de amaranto aunque su color predominante fue café característico de un pan integral.

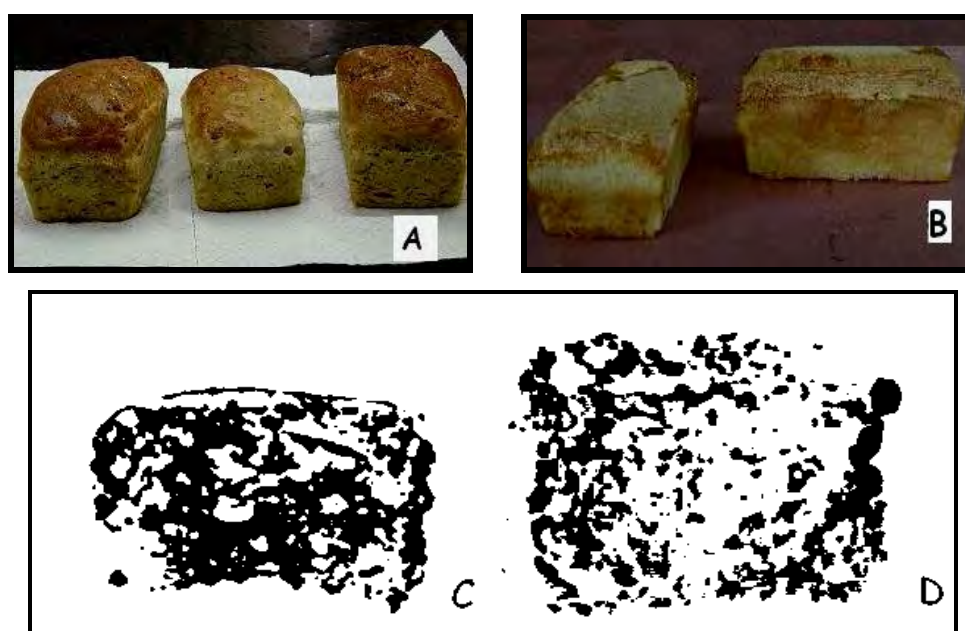


Figura 42. Panes libres de gluten: A) pan de amaranto, b) pan de harina comercial LDG ,C) Impronta de pan de amaranto, D) Impronta de harina comercial LDG.

4.11.2 Volumen de pan de amaranto y comercial libre de gluten.

Velázquez *et al.* (2007) refieren que un pan de trigo de buena calidad debe tener un volumen de 450 cm³ para ser considerado como bueno, a mayor volumen mejor calidad del trigo. Sin embargo, el pan de amaranto y el comercial presentaron un volumen de 395 y 400 cm³ respectivamente, este valor representa una calidad regular para pan de trigo, los resultados se presentan en la Tabla 39.

4.8.1.2 Firmeza de panes comercial y desarrollado de amaranto.

Se evaluó la textura del pan comercial presentando una firmeza casi del doble con respecto al pan de amaranto, lo que indicó que la corteza y la miga del pan comercial fueron muy rígidas, esto se puede deber a la composición de la harina que incluye



caseinato e hidroxipropilmetilcelulosa que dan rigidez al pan como se muestra en la Tabla 39.

Tabla 39. Parámetros evaluados en panes de amaranto y comercial libres de gluten.

Parámetros	Peso del pan (g)	Volumen (cm ³)	Firmeza (Kg/cm ²)
Pan de amaranto	155.90	395	4.70
Pan de harina comercial	154.17	400	8.00

4.11.3 Comparación física de galletas tipo María de arroz y maíz con los comerciales libres de gluten.

Las galletas desarrolladas de harina de arroz sabor canela y las galletas de maíz sabor vainilla fueron comparadas con las galletas tipo María Comercial marca 'Santiveri' a las cuales se evaluó: firmeza y factor de expansión. En la Figura 43 se muestran las galletas desarrolladas comparadas con las de marca comercial.



Figura 43. Comparación física de galletas comercial, arroz y maíz.

Como se mencionó anteriormente el factor de expansión de las galletas debe estar alrededor de 100, las galletas con mayor factor de expansión fueron las elaboradas con harina de maíz de 81.8, seguida de la comercial 74.4 y finalmente las de arroz con 66.9. Mientras que las galletas comerciales presentaron un valor más alto de firmeza, comparado con las galletas de arroz y las galletas de maíz, que presentaron un valor mucho más bajo como se muestra en la Tabla 40.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 40. Comparación física de galletas de arroz y maíz con la comercial.

TIPO	PESO (g)		DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	Factor de expansión	FIRMEZA (Kg/cm ²)
	Masa	Galletas				
COMERCIAL	-	-	5.58	4.50	74.40	6.10
ARROZ	308.32	250.14	4.46	4.00	66.90	4.50
MAÍZ	293.92	245.76	4.50	3.30	81.81	3.00

Esta prueba solo se realizó una vez por falta de muestra, La firmeza es una prueba destructiva.

4.11.4 Contenido de gluten.

El pan de amaranto y las galletas de arroz sabor canela presentaron un porcentaje de gluten aceptado por el Codex Alimentario, (2005) para pacientes con Enfermedad Celiaca menor de 20 mg/ Kg.

Las posibles causas de contaminación cruzada de alimentos no tóxicos como el arroz y el maíz se debe principalmente por el crecimiento conjunto de los cultivos, al momento de la cosecha, durante la molienda, el transporte y en la elaboración de producto final considerando la incorporación de ingredientes nuevos (Mena, 2007).

Las galletas de maíz presentaron un mayor contenido de gluten, considerando que lo único que cambio en el proceso fue la incorporación del saborizante vainilla en las galletas de maíz. Por lo que la presencia de gluten pudo haber aumentado debido a la incorporación de este ingrediente, sin embargo es apto para consumo de los enfermos Celiacos (Tabla 41) Anexo 4.

Tabla 41. Presencia de gluten en productos desarrollados.

Producto	Gluten (ppm)
Pan de Amaranto	5.0
Galletas de Arroz	5.0
Galletas de maíz	12.5

4.11.5 Pruebas organolépticas de los productos comerciales (pan blanco y galletas tipo María comercial) y los desarrollados, pan blanco de amaranto y galletas de arroz y maíz.

Se han hecho varios intentos por encontrar la participación activa de las personas que padecen la enfermedad Celiaca en México, sin obtener mayor éxito. El departamento de Gastroenterología del INNSZ, no cuenta con una base de datos del total de los pacientes celiacos, ya que algunos, no acuden con regularidad a las citas médicas o



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

desisten de ellas, por otro lado, se piensa que al ser una enfermedad rara este tipo de pacientes no se integran a la sociedad, ya que cualquier actividad relacionada con el avance científico sobre la enfermedad que involucre su participación es difícil convencerlos de participar aún cuando se retribuya económicamente (INNSZ, 1999, Acelmex, 2007).

Por lo antes mencionado, el análisis de preferencia y la prueba triangular fue llevado a cabo en panelistas adultos, con la finalidad de que lograran distinguir productos comerciales como pan y galletas libres de gluten, de los realizados artesanalmente como pan de amaranto, galletas de arroz sabor canela y galletas de maíz sabor vainilla interpretando los resultados en la tabla estadística de Roessler y otros tomado de Carpenter *et al.*, 2002).

Al realizar la prueba triangular en el pan blanco, correspondiendo un nivel de significancia del (1%), se obtuvo que el 84 % de los panelistas acertó en la identificación del pan comercial del desarrollado artesanalmente, solo el 16 % de los panelistas no aceptó el pan de amaranto como preferido, según estos panelistas el pan resultó seco, con textura arenosa, disgustó la apariencia y el olor, siendo propio de un pan integral. Por otro lado, el pan comercial según los panelistas carecía de sabor y textura (Tabla 42).

En cuanto a las galletas de arroz, de 18 panelistas ($\alpha=0.1$ %), 88% encontraron diferencia entre una galleta comercial y la desarrollada en el laboratorio. Además, el 22 % de los panelistas no eligieron las galletas de arroz como favoritas, ya que dejan un sabor que disgusta al final, presentando un sabor salado. Sin embargo, las galletas comerciales, según los panelistas, se sienten un tanto arenosas y secas.

Finalmente para las galletas de maíz, (nivel de significancia de 0.1%), 94 % acertaron en la respuesta, además el 50 % de los panelistas aceptó las galletas, el otro porcentaje mencionó que las galletas estaban saladas.

Tabla 42. Prueba triangular de productos comercial y desarrollado LDG

Producto	Aciertos (%)	Aceptación (%)	Nivel de significancia (%)
Pan de amaranto	84	84	1
Galletas de arroz	88	78	0.1
Galletas de maíz	94	50	0.1

Fuente: Carpenter *et al.* (2002)



VI. CONCLUSIONES.

Con base en los resultados obtenidos en el presente trabajo se concluye lo siguiente:

1. La Enfermedad Celiaca se presenta como una problemática a nivel nacional, ya que no se tienen los recursos necesarios para llevar a cabo un adecuado diagnóstico y tratamiento. El problema se deriva principalmente por que los síntomas de esta enfermedad se confunden con un sinnúmero de padecimientos, esto debido a que muchas personas no responden del mismo modo frente a la toxicidad del gluten.
2. Los granos de amaranto, arroz y maíz permitieron obtener harinas con fracción de partícula de malla No. 80 (180 μ m) y 60 (250 μ m) que presentaron características físicas y fisicoquímicas que permitieron compararse con la harina de trigo y se encuentran dentro de la norma para harinas panificables y de galletaría.
3. Estas harinas presentaron buenas condiciones de almacenamiento durante la etapa de molienda, ya que su aspecto sanitario no presentó ningún tipo de contaminación física, larvas ó insectos.
4. Las pruebas tecnológicas realizadas permitieron concluir que las harinas de amaranto, arroz y maíz son similares a la harina de trigo de gluten débil. Mientras que, los ensayos alveográficos permitieron observar que la harina de amaranto presentó una adecuada tenacidad apta para realizar pan, adicionando algunos aditivos que le permitieron tener la extensibilidad necesaria para dicho fin.
5. Dentro de las pruebas químicas, el amaranto presentó un buen porcentaje de proteína, mientras que el arroz y maíz presentaron un adecuado contenido de almidón necesario para la panificación.
6. La formulación que mejor características obtuvo fue la de amaranto (13.6%) con almidón de maíz (30%) en una proporción de (70-30 partes) goma xantana 0.81% (2.0 partes), lecitina de soya 0.9% (2.0 partes), leche 0.9 % (4 partes) y huevo 0.45% (1 parte) permitiendo obtener un pan con buenas características tecnológicas y sensoriales similares a las de pan de trigo, superior en características a la alternativa disponible comercialmente.
7. Por otra parte, se obtuvieron dos formulaciones para galletas de arroz sabor canela y galletas de maíz sabor vainilla libres de gluten con un porcentaje de



almidón de maíz de 17.8 %, lecitina de soya 0.17%, leche 3.5 %, huevo 2.08% los cuales permitieron obtener galletas con buenas características químicas, sensoriales y tecnológicas similares a las homólogas de trigo.

8. El pan de amaranto se almacenó a temperatura promedio 25°C y humedad relativa promedio de 50 %, los cuales fueron envasados en polietileno de baja densidad sellados herméticamente, y presentó una vida útil de 14 días; mientras que las galletas de arroz y maíz fue de cuatro meses.
9. El ingeniero en alimentos, tiene el reto de crear y diseñar alimentos libres de gluten, desafiando en calidad y costo a los productos existentes para enfermos celíacos. Al comparar los productos desarrollados, pan de amaranto y galletas de arroz y galletas de maíz libres de gluten con productos similares comercializados en México, los panelistas prefirieron los productos elaborados con amaranto, arroz y maíz, siendo una buena alternativa para el desarrollo de productos libres de gluten en México.



V. RECOMENDACIONES.

- ♣ La enfermedad Celiaca debe tratarse con la mayor seriedad por parte del sector médico y las autoridades gubernamentales, ya que el 90% de los enfermos ni siquiera sabe que tiene la EC.
- ♣ Los alimentos libres de gluten cuestan 300% más que los alimentos tradicionales. Por lo que se requiere desarrollar nuevos productos a base de cereales sin gluten y que estén disponibles en México.
- ♣ Realizar un estudio con las diferentes presentaciones de amaranto (expandido, laminado, semilla) y/o mezclas de otras harinas para personas intolerantes al gluten para determinar si existe diferencia en el producto final obtenido.
- ♣ Los alimentos que se elaboran deben de estar etiquetados con la leyenda LIBRE DE GLUTEN ó CONTIENE GLUTEN para que puedan ser identificados por los enfermos celíacos.
- ♣ Las harinas deben procesarse en molinos especializados para obtener un diámetro de partícula menor al obtenido, ya que un sobrecalentamiento provoca un deterioro de los componentes químicos de la harina.
- ♣ La formulación de pan blanco libre de gluten, debe sustituirse por un porcentaje mayor de proteína como caseína o suero de leche, así como vitaminas A y C y ácido fólico para que aumente el valor nutritivo, y se cubra la ingesta necesaria diaria recomendada para enfermos celíacos.
- ♣ Evaluar diferentes envases activos que permitan alargar la vida de anaquel de productos libres de gluten.
- ♣ Realizar un análisis de costos y factibilidad de proyecto para poder realizar una transferencia tecnológica a la industria de panificación.



IV ANEXOS

ANEXO 1

PRUEBAS FUNCIONALES ALVEOGRÁFICAS.

ALVEOGRAFO.

FUNDAMENTO: Es un instrumento diseñado para medir la resistencia a la expansión y la extensibilidad de una fina película de masa. Esta masa se elabora formando pequeños discos redondos, planos, que se ponen sobre una plancha donde se le inyecta aire a presión, y se forma una burbuja hasta llegar al punto de rotura (Quaglia, 1991).

El instrumento consta de: a) amasadora de una pala, b) el alveógrafo y c) un manómetro con registro una bureta con escala de 10.6 a 18.3 % de humedad (Alvarado, 2001).

Para el ensayo se requiere preparar una solución salina (NaCl y agua destilada) al 2.5 %. (25g en 1 litro) La cantidad a adicionar esta en función del porcentaje de humedad de la harina en cuestión.

Las muestras de harina en su composición química, deben estar dentro de un límite porcentaje de agua (11–17 %). (A un porcentaje de humedad mayor en la muestra requiere una adición menor de agua)

1.1.1. Método de hacer la masa y su extrusión en forma de cinta.

1. Se pesan 250 g de harina, de acuerdo al porcentaje de humedad, se llena la bureta para vaciarla en la cuba de amasado.
2. Se pone en marcha la amasadora, una vez colocada la bureta en la cuba de amasado no debe rebasar de 20 a 35 segundos de vaciado.
3. Posteriormente se hace un amasado manual que no rebase los 60 segundos. Se coloca la tapadera y se deja funcionar.
4. El proceso de amasado en total debe ser de 480 segundos (6-8 min.) incluyendo las etapas anteriores.
5. La masa es extruida lentamente en forma de cinta fina. Se cortan y se desechan los primeros 25 mm. con aceite (mineral) por la parte de arriba y abajo para que pueda manipularse las muestras de aproximadamente 5 cm.
6. Este cuadro de masa se coloca en una placa de acero inoxidable, previo engrasado, y se transfiere a un laminador con rodillo el cual se lamina 12 veces cada muestra; Las piezas de masa se cortan en círculos por medio de un troquel circular que forma las galletas.
7. Estas galletas se colocan en las placas engrasadas en una pequeña cámara provista de las condiciones idóneas para una fermentación.



8. El tiempo requerido para la fermentación de las galletas es de 20 minutos y son 5 galletas por muestra.
9. La clavija de control de la parte inferior del aparato debe estar en una determinada posición y la prensa debe de aflojarse dos vueltas completas por medio de la manilla. Se saca el disco central y se coloca en la prensa la placa de masa (bien engrasada). Se vuelve a colocar la parte superior de la prensa, se cierra suave pero firmemente. Se quita el centro de la prensa, dejando al descubierto el centro de la masa. Se desliza suavemente la ampolla para levantar el disco de masa lo justo para despegarlo de la base de la prensa.

La altura máxima de la curva da una medida de la estabilidad de la masa, y el área una medida de la fuerza (Benni3n, 1970; Quaglia, 1991).

ANEXO 2

PRUEBAS FUNCIONALES FARINOGRÁFICAS.

PRINCIPIO. Basado en determinar por medio de prueba y error la cantidad 3ptima de agua para lograr la consistencia ideal de la masa, 500 Unidades Brabender (UB) 3 Farin3grafas. El aparato mide la resistencia que opone a una acci3n mecánica constante en condiciones de prueba invariables (Quaglia, 1991).

Consta de un recipiente de amasado con camisa atemperada, equipado con dos palas dise3adas en Z que giran en sentidos opuestos a 60 y 90 rpm. La amasadora esta conectada a un dinam3metro que oscila libremente cuyos movimientos son trasferidos por un sistema de palanca, que esta equipado con un lubricador de aceite, a una b3scula y a un sistema de registro que da el farinograma. El aparato registrador graba en un papel la resistencia que opone la masa al trabajo mecánico a que se le somete en la amasadora.

El recipiente de la amasadora y el lubricador de aceite se mantienen a temperatura constante circulando el agua del termostato que esta controlado por un termorregulador. Cuando la harina y /o mezclas de harina se introducen en el recipiente de la amasadora, la maquina se pone en marcha y se a3ade agua r3pidamente desde una bureta especial que mide con exactitud la cantidad de agua, utilizada para preparar la masa con una determinada consistencia (Alvarado, 2001).

Por medio de este instrumento se puede determinar el rendimiento probable de pan que puede dar una harina, midiendo la absorci3n de agua, as3 como el acondicionamiento de la masa y la resistencia que presentara a la fermentaci3n (Bennion, 1970).



1.- Se colocan 300 g de harina en la cuba de amasado y con la bureta se va añadiendo agua fría hasta conseguir la absorción correcta, lo cual ocurre cuando la curva alcanza la línea 600 UB. De no suceder esto, se comienza con otra muestra de harina disminuyendo o aumentando la proporción de agua, lo cual nos expresa, el tiempo que se registra en el farinógrafo, la evolución de la masa y la resistencia que opone al amasado. Esta operación se prolonga hasta que la curva muestra síntomas de debilitamiento. Cuanto más tiempo resiste una harina al proceso del amasado, tanto más fuerte es.

Los parámetros a medir son:

CONSISTENCIA DE LA MASA: Esta y la capacidad de absorción de agua se deducen de la cantidad de agua necesaria para producir una masa de consistencia correcta que llegue a la línea 600.

Para las harinas de uso general, se suele seguir la línea 500, pues tienen menos proteína de gluten.

EVOLUCIÓN DE LA MASA: Es útil para determinar el tiempo de amasado. La situación del punto más alto de la curva indica el tiempo que puede ser necesario para la confección de la masa en condiciones industriales.

ESTABILIDAD DE LA MASA: Indica el tiempo que transcurre hasta que se debilita la masa y es una medida de la cantidad de fermentación que resistirá una harina, es una indicación de la tolerancia de la misma al tiempo de fermentación; mide el exceso de amasado que resiste una harina, antes de que empiece a debilitarse.

ELASTICIDAD Y EXTENSIBILIDAD: La anchura de la banda es una medida de la dureza de la harina y de su estabilidad. Aunque no es tan preciso.

DEBILITAMIENTO DE LA MASA: Queda representado por la caída de la curva por debajo de la línea 600, durante el período determinado del amasado.

COMPORTAMIENTO DE LAS HARINAS

Harina de trigo (HT)

⇒ Se realizó la muestra de trigo con un porcentaje de absorción de 64.2 (192 ml) y la gráfica indicó que a la masa se le debía adicionar agua.



⇒ En la siguiente muestra de trigo se le adicionaron 195.5 ml de agua (65.16%) como se observa en la Figura 44.

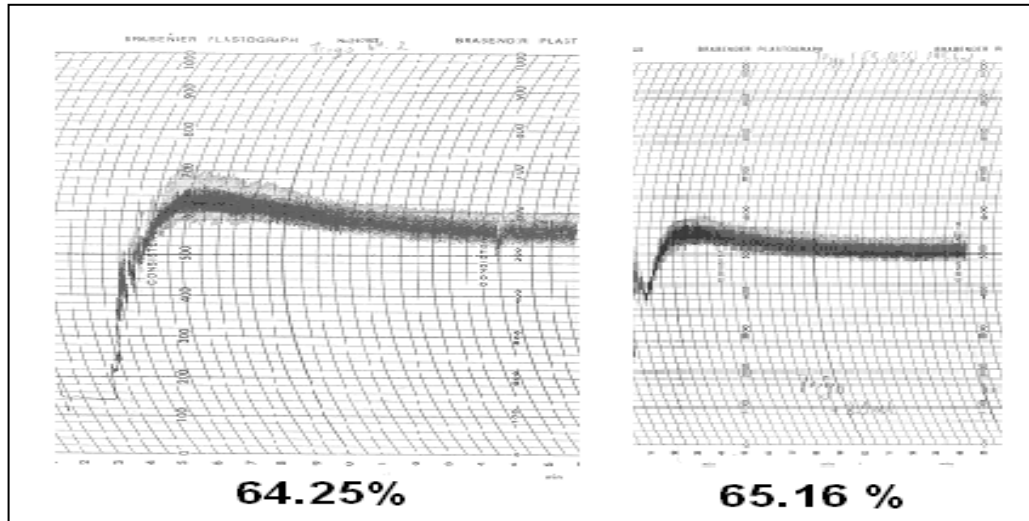


Figura 44. Farinograma de la harina de trigo.

Harina de Arroz (HA1)

- ✓ La primera mostró un comportamiento de exceso de hidratación. Por lo que no llegó a las 500 UB. (Según la gráfica se pasó con 100 ml de agua).
- ✓ La siguiente muestra se agregó 80 ml de agua (26.73 % de absorción). Aunque la curva mejoró no se llegaron a las 500 UB.
- ✓ Se optó por seguir a los 40 ml agua (13.33% agua) pero la muestra no mostró un comportamiento así que se le adicionó 73 ml más de agua.
- ✓ Se le agregaron 110 ml de agua (37.6%). Aunque aumento un poco la misma muestra no funcionó.
- ✓ Se agregaron en total 53 % de absorción (159 ml de agua en total), aunque seguía el mismo comportamiento de la anterior. Se mantuvo por debajo de las 500 UB.

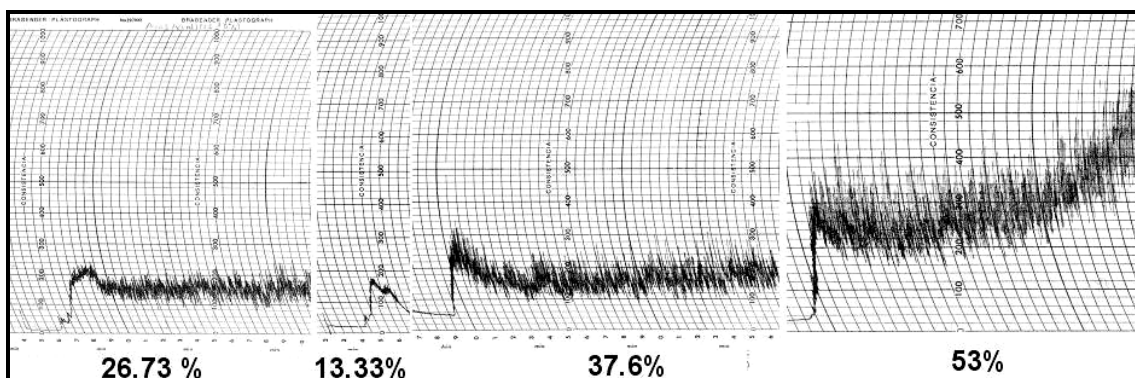


Figura 45. Evaluación farinográfica de harina de arroz.



Harina de maíz (HM1)

- ⇒ La muestra de maíz se inició con una adición de agua de 56 % (168 ml).
- ⇒ La siguiente muestra se corrigió con un 64% de agua, sin embargo se mantuvo por debajo de los 500 UB (lo que significó que estaba excedida de agua).
- ⇒ Se buscaba que la masa se hidratará adecuadamente, gráficamente se expresaba como una masa demasiado húmeda, físicamente se mostraba seca.

En la hidratación influyen, el diámetro de partícula, variedad de grano, tipo de grano, humedad del grano y de la harina.

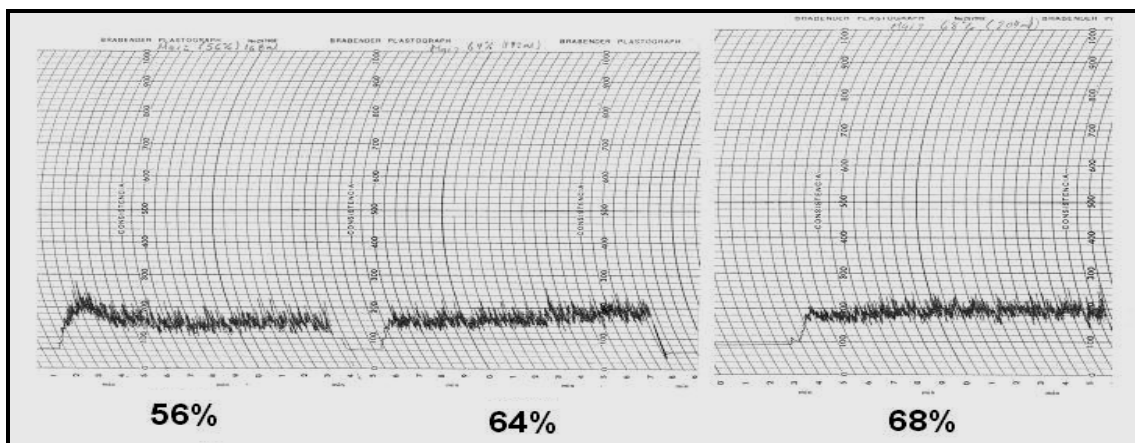


Figura 46. Evaluación farinográfica de harina de Maíz.

Harina panificable libre de gluten (HPP)

- Se comenzó con una muestra de 56% de absorción, pero la gráfica mostró un déficit de agua.
- Posteriormente se adicionó un 72% de agua (216 ml) esta muestra presentó una estabilidad adecuada.
- A esta muestra se le adicionaron 3 ml de agua (73%) 219 ml de agua.

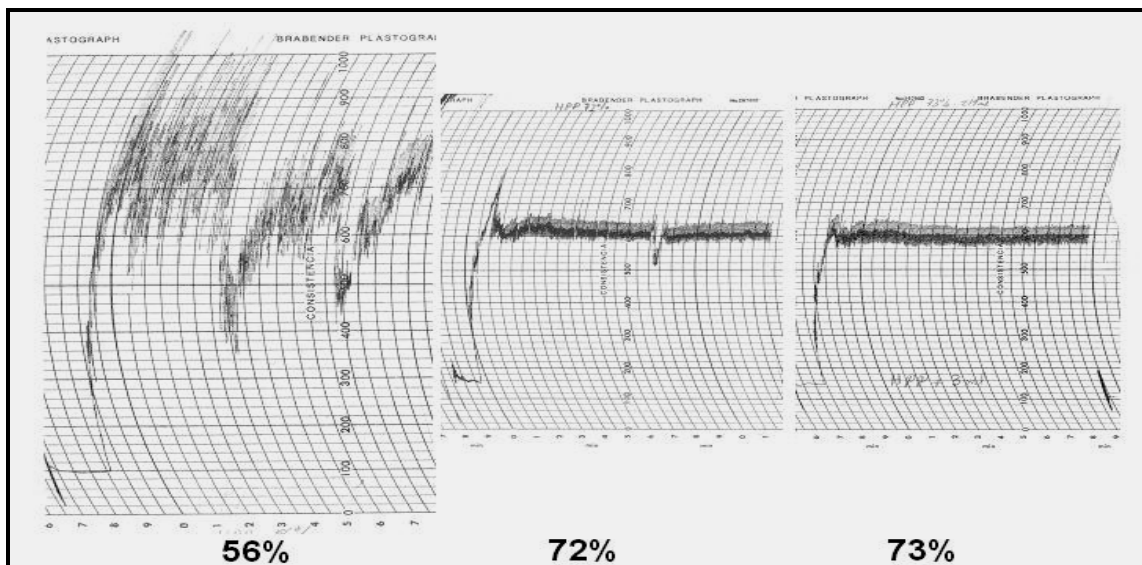


Figura 47. Evaluación farinográfica de la Harina Panificable libre de gluten comercial HPP.

Harina de amaranto (HAM)

- ⇒ La muestra de amaranto se inició con un porcentaje de 56 % de absorción. Se continuó agregando hasta el 100%, falto adicionar agua.
- ⇒ Se adicionó el 70 % de agua pero no funciono. Le faltaba agua.

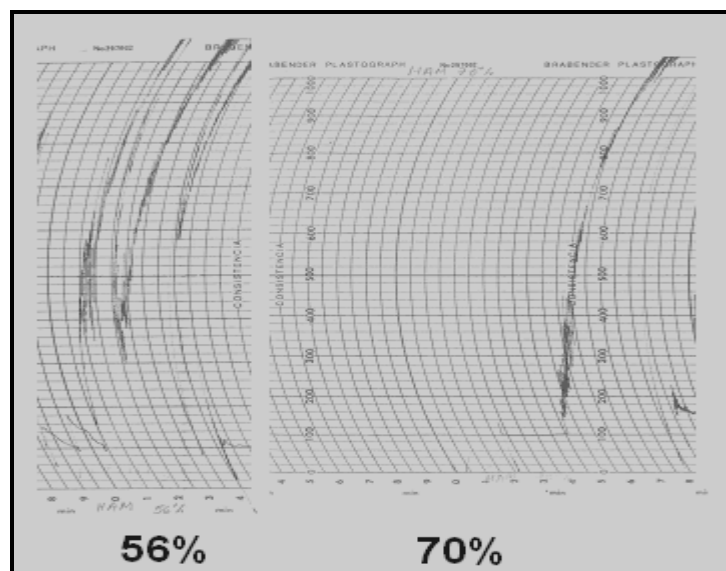


Figura 48. Farinograma de la harina de amaranto.

La mezcla de amaranto presentó el mismo problema con la adición de 56% de absorción aunque después se le adicionó el 64 % nunca bajo la gráfica.

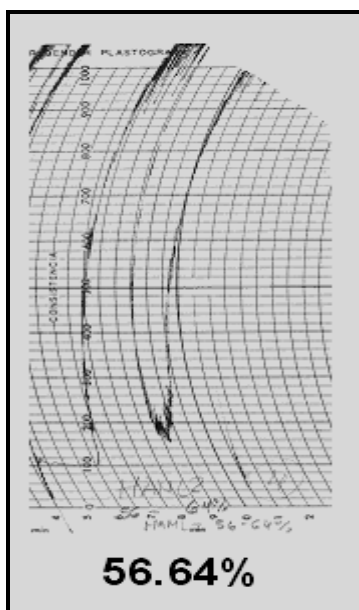


Figura 49. Farinograma de la Mezcla de harina de amaranto.

Anexo 3

Determinaciones tecnológicas y funcionales a mezclas de harinas.

A) Tecnológicas.

La prueba de absorción de agua en las mezclas de amaranto tiene un porcentaje de absorción de agua similar a la harina de trigo. Aunque la mezcla de arroz presentó menor absorción de agua, esta presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto a la mezcla de amaranto, maíz y panificable libre de gluten (Tabla 43).

La prueba de sedimentación de la mezcla de amaranto se vio favorecida con la mezcla de ingredientes, cabe recordar que no sedimentó la mezcla de amaranto sola. Este valor de sedimento en amaranto no presentó diferencia significativa con respecto a la harina panificable libre de gluten, pero si hubo diferencias significativas ($p \leq 0.05$) con respecto a las demás harinas (Tabla 43).

Tabla 43. Determinaciones tecnológicas a mezclas de harinas.

Propiedades	Mezcla de amaranto	Mezcla de arroz	Mezcla de maíz	HPP
Absorción de Agua (%)	79.32 ± 1.26a	44 ± 0.00b	72 ± 0.00a	79 ± 0.35a
Pigmentos Abs/ 1.663	0.03 ± 0.00a	0.02 ± 0.00a	0.02 ± 0.00a	0.11 ± 0.00b
Sedimentación*	21.00 ± 0.0a	11.00 ± 0.0b	13.00 ± 0.0c	5.00 ± 0.00d

Los valores representan la media de tres determinaciones ± desviación estándar. Los valores seguidos de diferente letra en cada fila difieren significativamente ($p \leq 0.05$).



Dado que, la evaluación de la cifra de Pelshenke en la mezcla de amaranto presentó una desintegración inminente antes de la etapa de flotación, las mezclas de arroz y maíz al momento de presentarse la flotación, observaron desintegración avanzada debido que la estructura de la masa no tuvo la fuerza necesaria para mantenerse estable, sin embargo, la harina panificable comercial LDG presentó una desintegración ligeramente mayor de 30 minutos esto indicó que la masa presentó estabilidad y fuerza propia de una harina tradicional con trigo (Tabla 44).

Tabla 44. Determinaciones tecnológicas a mezclas de harinas.

Determinación	Amaranto	Arroz	Maíz	Comercial
Gluten	ND	ND	ND	ND
Cifra Pelshenke				
flotación (min)	6.48 ± 0.03 a	8.20 ± 0.32b	55.42 ± 1.62c	7.41 ± 0.36a
Desintegración (min)	2.13 ± 0.03 a	0.0 ± 0.00b	0.0 ± 0.00b	30.50 ± 0.63 c

Los valores representan la media de tres determinaciones ± desviación estándar. Los valores seguidos de diferente letra en cada fila difieren significativamente ($p \leq 0.05$).

B) Propiedades funcionales de las mezclas de harinas.

El efecto de las mezclas de amaranto, arroz y maíz en las propiedades funcionales fueron evaluadas a través de las pruebas alveográficas y farinográficas. Por ello se determinó analizar estas mezclas que fueron ocupadas en las formulaciones de pan blanco y galletas con su respectivo porcentaje de almidón de maíz, goma xantana y leche en polvo, los demás ingredientes no se incluyeron ya que las pruebas solo se efectuaron en base seca.

La harina de trigo para galletas requiere una mayor extensibilidad, característica importante de un trigo débil por su alta proporción de gliadina que confiere mayor resistencia al estiramiento de la masa. Por lo que, el contenido de proteína total es menor, aunque no requiere mayor absorción de agua ni retención de CO₂, pero si una mayor extensibilidad ya que le dan propiedades de amasado y moldeado adecuados para obtener una galleta de buena calidad (Velázquez *et al.*, 2007).

En esta prueba se realizó una prueba alveográfica a la harina comercial panificable libre de gluten (HPP), la cual presentó deficiencias en cuanto a hidratación, tomando en cuenta el porcentaje de humedad; también presentó problemas de fisuras al momento del moldeado por lo que fue necesario realizarlo de forma manual hasta que mostró una consistencia homogénea, en esta prueba se realizaron varios intentos sin obtener resultados favorables (Figura 20)

La adición de goma xantana, leche en polvo y almidón de maíz en la mezcla de amaranto (HAML2) lograron reducir la tenacidad de la harina de amaranto sola, sin embargo la



extensibilidad no se vio favorecida en esta mezcla ya que la sustitución de gliadinas no se presentó, esta harina observó buenas características para realizar pruebas de panificación debido a la tenacidad que presentó. Sin embargo, faltó el sustituto de las gliadinas generadoras de extensibilidad que pudiera mantener la estructura de la red durante el inflado del globo (Díaz *et al.*, 2006).

En la mezcla de maíz (HGMAIZ) con sus respectivos aditivos, presentó un comportamiento similar a la harina de maíz sola, no tiene tenacidad ni extensibilidad. La mezcla con arroz presentó el mismo comportamiento de su homóloga la harina de arroz simple (no mostrada). En la Figura 50, se muestran el comportamiento alveográfico de las diferentes mezclas de harinas.

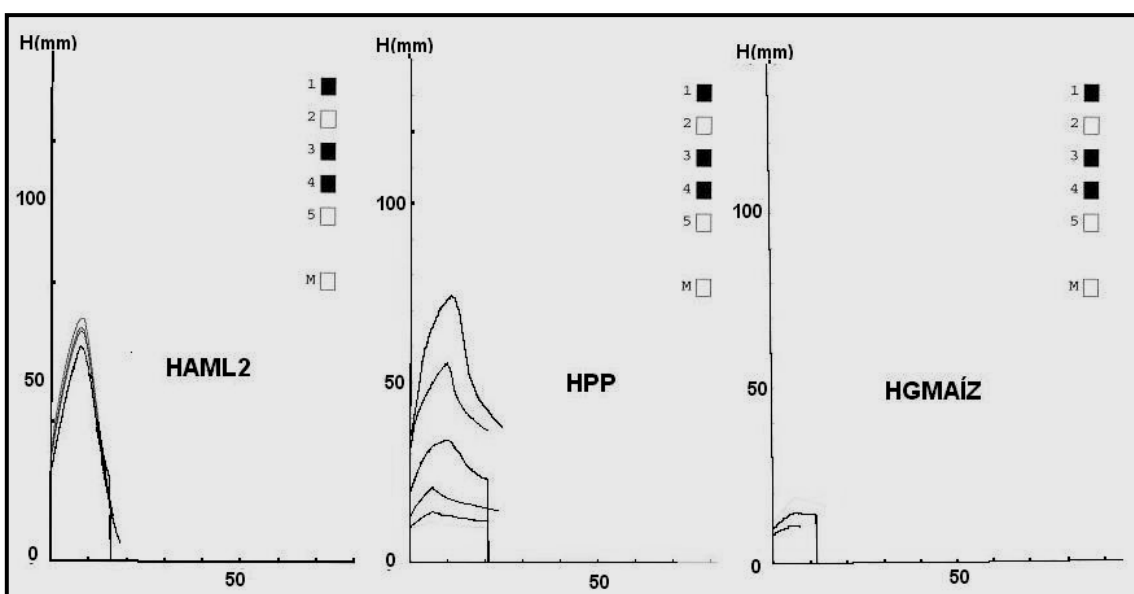


Figura 50. Alveogramas de las mezclas de harinas.
HAML2 Mezcla de amaranto; HPP Mezcla de harina panificable; HGMAÍZ Mezcla de maíz

C) Pruebas farinográficas a mezclas de harinas.

Se determinó realizar las pruebas farinográficas de cada mezcla de harina para ver la relación con los ensayos anteriores. Sin embargo no mostraron un cambio significativo con sus homologas simples. Marco y Rosell, (2008), mencionaron que al adicionar goma xantana en las pruebas farinográficas estas absorben una mayor cantidad de agua. Sin embargo, las harinas de arroz y maíz presentaron una masa con exceso de humedad, debiendo afectar el diámetro de partícula. Lazariduo *et al.*, (2006) obtuvieron buenos resultados con adición de almidón de maíz, caseinato de sodio y goma xantana al 2 % mostrando una absorción de agua de 67% por lo que se sugiere adicionar una proteína para mejorar estos parámetros.



Anexo 4

PRUEBA DE PRESENCIA DE GLUTEN (Ridascreen Fast Gliadin, 2008)

El fundamento de esta prueba es la reacción de anticuerpo- antígeno. Los pozos de las tiras microtiter están recubiertas con anticuerpos específicos para gliadinas. Al añadir la solución de muestra estándar a los pozos, la gliadina específica es atrapada en los anticuerpos específicos. El resultado es un complejo anticuerpo – antígeno. Los componentes que no están ligados por los anticuerpos son eliminados en el lavado. Luego se añade al anticuerpo conjugado peroxidasa. Este anticuerpo conjugado está ligado al complejo Ab-Ag. Una vez incubadas se les añade a los pozos el cromógeno, el cual reacciona con la enzima conjugada convirtiendo de azul a amarillo. Las mediciones se realizan en el espectrofotómetro a 450 nm. La absorbancia es proporcional a la concentración de gliadina en la muestra (Ridascreen Fast Gliadin, 2008).

Limite de detección 2 ppm gliadina correspondiente a 4 ppm de gluten
Límite de cuantificación..... 5 ppm gliadina correspondiente a 10 ppm de gluten
Tasa de recuperación..... De 91-103% para las distintas matrices de alimentos
Especificidad..... el anticuerpo monoclonal R5 reacciona con la fracción de gliadina del trigo y las correspondientes prolaminas del centeno y la cebada.

Equipos

1. Placa espectrofotométrica microtiter (450 nm)
2. centrífuga + centrifugadora viales de vidrio
3. agitador
4. Molinex, mortero, homogenizador y baño de agua
5. Pipetas graduadas
6. Micropipetas variable 20 µl- 200µl y 200 y 1000 µl

Reactivos

- Agua destilada y deodorizada.
- Leche en polvo descremada (calidad alimenticia).
- Solución de etanol al 60% requerido para la extracción de la muestra. La preparación de la solución de etanol (60%) es 150 ml de etanol p.a por 100 ml de agua destilada (agitar bien).



- Solución de etanol al 80% es requerido para la extracción de la muestra con solución de coctel. La preparación de esta solución de etanol al 80 % se prepara con 120 ml de etanol y 30 ml de agua destilada agitar bien.
- Solución de gelatina de pescado es requerido por taninos y polifenoles que contienen muestra.

Dependiendo de la muestra se recomiendan diferentes extracciones

*Con 60% de etanol para muestras de alimentos no calentados > 90° C

*Con solución de gelatina de pescado para muestras que contengan taninos o polifenoles.

*con una solución de coctel por calor para alimentos procesados >90° C

Líquidos y alimentos blandos: crema, harina, salsa, polvo).

Muestra blanda:

1. Pesar 1 gramo de muestra representativa y adicionar 10 ml de solución de etanol al 60%.
2. Agitar bien a durante al menos 30 segundos.
3. Al revés agitar 10 minutos nuevamente.
4. Centrifugar durante 20 minutos a 2500 rpm en un cuarto de temperatura de 20.25°C.
5. Diluir aun más el sobrenadante (1+49) muestra diluida con diluyente (véase 10.1.), por ejemplo: 20µl sobrenadante + 980 µl muestra diluida diluyente.
6. Usar 100 µL por cada muestra

El sobrenadante obtenido después de la centrifugación puede ser almacenado herméticamente cerrado en un cuarto oscuro a temperatura de 20 25 ° C por cuatro semanas.

El anticuerpo conjugado enzimático se presenta como un concentrado, una vez diluido su estabilidad es limitada. Antes de pipetear la enzima conjugada debe agitarse cuidadosamente.

El concentrado conjugado debe ser diluido (1:10) con agua destilada.

El buffer de lavado debe ser siempre 10 veces concentrado. Antes de ser usado debe ser diluido (1:10) con agua destilada. Esta dilución es estable a (2-8°C) por cuatro semanas.

Antes de la dilución, disolver eventualmente ya que forma cristales, incubando el buffer en un baño de agua a 37°C.



REFERENCIAS

- AACC (1962). American Association of Cereal Chemists. Cereal Laboratory Methods. 7º .Ed. AACC.
- Acevedo, E y Velásquez, C. L. (1991). *El amaranto y su potencial. Evaluación* Nutricional de Pan de Trigo substituido por harina de amaranto reventado. División de Ciencias agrícolas y de alimentos del INCAP, Boletín 2, 3, 4. pp 273.
- Alvarado, J.D y Aguilera, J. M. (2001) *Métodos para medir propiedades físicas en Industria de Alimentos*. Ed. Acribia, España. pp. 410.
- Anderson, L; Dibble, M.V; Turkki, P.R; Mitchel, H.S; Rynbergentt. (1988) *Nutrición y dieta del cuerpo* . Ed. Interamericana. pp 730.
- AOAC. (1980). *Officia Methods of Analysis*. Ed. Association of Analytical Chemist, EUA . pp 1141.
- ASCE, (2001) Asociación de Celiacos de España, La enfermedad Celiaca; Manual del Celiaco de España. Madrid. Disponible en: <www.celiacoonline.com>
- Asociación de Celiacos de Madrid. (2007). ACM. Primer Simposio Internacional sobre Productos y Bebidas sin gluten. Disponible en: <www.celiacosmadrid.org>
- Asociación de Celiacos de México. Acelmex. (2007), Disponible en: <www.directoalpaladar.com>
- Astiasáran, A.I y Martínez, H.A (2000) *Alimentos Composición y propiedades* Ed. Mc Graw Hill Interamericana. España. pp 364.
- Badui, S. (1999) *Química de los Alimentos*. Longman de México, editores, S.A. pp.648.
- Belén, C; Álvarez, F.J; Alemán R. (2001). Physical- chemical characteristics of coroba palm (*Jessenia polycarpa Karst*) fruit pulp flour. *Rev. Fac Agronomía*, 18:290-297.
- Bender, A.D (1995). *Introducción a la Nutrición y el Metabolismo*. Department of Biochemistry and Molecular Biology; University College London. Editorial Acribia, Zaragoza, España. pp 347.
- Bennión, E. B. (1970) *Fabricación de Pan, Aditivos sobre pan, todo sobre pan*. 4ta edición Editorial Acribia. pp. 403.
- Búcaro, M. E y Bressani, R (2002) Distribución de la proteína en fracciones físicas de la molienda y tamizado del grano de amaranto. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, Guatemala 52(2): 5.
- Calaveras, J. (2004), *Nuevo Tratado de Panificación y bollería*. 2da. Edición AMV Ediciones Multiprensa, Madrid. pp 622.



REFERENCIAS

- Calderón, G; Jiménez, E; Trejo, M.G; Farrera, R. (1995). Efecto de la adición de diferentes niveles de ingredientes sobre calidad en pan dulce (Bizcocho). Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. IPN. México. 6(1): 57-63.
- Callejo, González J. (2002) "*Industria de Cereales y Derivados*" 1era Edición, AMV Ediciones ED. Mundi Prensa. pp 15-36.
- Carpenter R.P; Lyon D; Hasdell T.A (2002). *Análisis sensorial en el desarrollo y control de la calidad de los alimentos*. Ed. Acribia, S.A. España 191.
- Catássi, C; Fasano A. (2008). Manifestaciones clínicas y funcionales de la enfermedad celiaca. Disponible en: <<http://www.celiac.org/spanish-brochure.php>>
- Cheftel, J.C; CUQ, J.L; Lorient, D. (1989) *Proteínas Alimentarias, Bioquímica-propiedades funcionales- valor nutricional- modificaciones químicas*. Ed. Acribia,, España. pp 346.
- Chillo, S; Laverse, J; Falcone, P.M; Del Nobile M.A. (2007) Effect of carboxymethylcellulose and pregelatinized corn starch on the quality of amaranthus spaguetti. *Journal of food Engineering*. 83: 492-500.
- Cornell, H.J. y Maxwell, R.J. (1982) Amino acid composition of gliadin fractions which may be toxic to individuals with Coeliac Disease. Department of Applied Chemistry, Royal Melbourne Institute of Technology, Melbourne, Australia, *Clinica Chemical Acta*, 123 (3); 311-319.
- Codex Alimentario (1983). Proyecto de norma revisada para alimentos exentos de gluten (CÓDEX STAN 118-1983).
- Codex Alimentario (1985). CÓDEX STAN 146-1985 Norma General para el Etiquetado- Declaración de Propiedades de Alimentos preenvasados para régimen Especial.
- Codex Alimentario (1996). Códex alimentario sobre nutrición y alimentos para regimenes especiales.
- Codex Alimentario (2005) Códex- STAN.- 152 Alimento para Humanos. Normas
- Codex Alimentario (1981). Norma del Códex para Alimentos <<Exentos de Gluten >> Códex Stan 118-1981. (Enmendada en 1983)
- Cuomo, A; Romano, M; Rocco, A; Budillon, G; Del Vecchio, B.C; Nardone. (2003) Reflux oesophagitis in adults coeliac disease: beneficial effects of gluten free diet. *BMJ Publishing Group & British Society of Gastroenterology* (MedLine), pp 514 – 517.
- Dendy; A.V. D y Dobraszczuk, J.B. (2001) *Cereales y productos derivados, Química y Tecnología*. Ed. Acribia, España pp. 537.
- Díaz, P. D; Dalla, R.M; Vazquez, D; Casto, M. (2006). Qualitative and quantitative elements analices of the wheat gluten protein. *Agricultura Técnica*, 68(4): 360-369.



REFERENCIAS

- Escarcega, P.J. (2001). Comportamiento reológico y panificación en mezclas de harina de trigo y avena sometida a un tratamiento hidrotérmico. Facultad de Química. UNAM. Tesis de Licenciatura. México pp. 99.
- Enciclopedia Médica A.D.A.M. (2008). Disponible en: <www.nlm.nih.gov> National Library of Medicine, National Institutes of Health Department of Health & Human Services.
- Fox, B.A y Cameron, G.A. (2000). *Ciencia de los Alimentos, Nutrición y Salud*. México, Ed. Limusa; Grupo Noriega Editores, pp 457.
- Gerrard, J.A y Sutton, K.H. (2005) Addition of transglutaminase to cereal products may generate the epitope responsible of Coeliac Disease. *Trends in food Science and Technology*; 16 (111): 510-512.
- Gímenez, S; Isola, M; Boerr, A L; Luna, P; Moahidle, A. (2002). Enfermedad Celiaca en el adulto. Prevalencia en una población de riesgo. Estudio descriptivo y retrospectivo de pacientes del Hospital Alemán de Buenos Aires. Curso de Investigación AMA, Servicio de Gastroenterología del Hospital Alemán de Buenos Aires, Argentina. Disponible en: <http://www.ama-med.org.ar/curso_articulos.asp>
- Gómez, M y Bonastre, O. (2005) Elaboración de productos para enfermos celíacos. *Revista Tecnológica e Higiene de los Alimentos*, 365: 40-45.
- González, R; Tosi, E; Ré, E; Añon M. C; Pilosof, M.R.A; Martínez K. (2006). Amaranth starch-rich fraction properties modified by high-temperature heating. *Food Chemistry*. 103: 927-934.
- Gutiérrez, D. y Villanueva, O. (2003). *La información al consumidor en los productos dietéticos. Una aportación a la Seguridad Alimentaria*. España, Díaz de Santos, pp. 175, 217.
- Guzmán, J. (2008). Etiquetado de alimentos libres de gluten. Disponible en: <www.tuvidasana.cl> <www.lab-ferrer.com>
- Hamer, R.J. (2005), Coeliac Disease: Background and biochemical aspect *Biotechnology Advances*; 23(6): 401-408.
- Herrera, M. (2006). Imagen del Intestino Delgado. Disponible en <www.eluniversal.com>
- Hosney, R. C. (1991). *Principios de Ciencia y Tecnología de los Cereales*. Ed. Acribia. S.A. España. pp 330.
- Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zuribán (INNSZ) (1999). Dieta Designada para Enfermedad Celiaca del Departamento de Dietología del INCMNSZ. Material elaborado para Enfermos Celíacos.
- Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zuribán (INNSZ) (2007). Datos de incidencia de la enfermedad celiaca y tratamientos. (Datos no publicados del departamento de Gastroenterología).



REFERENCIAS

- ISPCH, (2006). Instituto de Salud Pública de Chile. *Especial de Enfermedad Celiaca*. Disponible en: <www.ispch.cl/documentos/tenga/celiaca.pdf>
- Lazariduo, A; Duta, D; Papageorgiou, M; Belc, N; Biliaderis, C.G. (2006) Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of food Engineering*. 79:1033-1047.
- López, B.A; Díaz, O.A; Rodríguez, J.L; Fernández, C; Borroto, M. (1996). Reventado de Granos de Amaranto. (Cv *A.hipocondriacus*) *Revista Tecnológica e Higiene de los Alimentos* No.277:39-42.
- Maldonado, R y Pacheco, D, E. (2000). Elaboración de galletas con una mezcla de de harina de trigo y plátano verde. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición ALAN* 50(4): 1-11.
- Manley, D.J.R. (1989) *Tecnología de la Industria Galletera. Galletas Crackers y otros horneados*. Ed. Acribia, España pp 483.
- Marco, C y Rossell, C.M. (2008). Functional and rheological properties of protein enriched gluten free composite flours. *Journal of food Engineering*. 88: 94-103.
- Mazza, G. (2000) *Alimentos Funcionales Aspectos Bioquímicos y de Procesado* Ed. ACRIBIA. España. pp. 457.
- Mena, M.C. (2007). *Últimos avances en la detección del gluten en los alimentos*. Centro Nacional de Biotecnología CSIC. España. pp 63.
- Ministerio de Económica, Industria y comercio. (1993). NCR 151:1991 Norma para pan blanco NCR-151:1993. Oficina Nacional de Normas y Unidades de Medida, 1991. Costa Rica.
- Molinos Vascos (2008). *Manual de Farinógrafo y Alveógrafo*. TLALNEPANTLA, México.
- Murray, J.A; Watson, T; Clearman, B; Mitros, F. (2004) Effect of a gluten –free diet on gastrointestinal symptoms in Coeliac Disease. *American Journal of Clinical Nutrition* . 79 (4):669-673.
- Mustalahti, K. (2002). Gluten- free diet and quality of life in patients with screen-detected Celiac Disease. *Effective Clinical Practice, American College of Physicians- American Society of International Medicine* . pp 105-113.
- Necochea, M. H; Camacho, C.J.L y Pérez G. (1981) Elaboración de una pasta de para sopa a base de alegría (*Amaranthus Leucocarpus S. Wats*). *Revista tecnológica alimentaría. México*. 17(4): 12-22.
- Olmedo, V.G. (1958) *Investigaciones Tecnológicas sobre la calidad en semillas de Maíz*; compendio sobre resultados experimentales de la comisión Nacional del Maíz S. A. G. Laboratorio de semillas. México pp. 79.
- Ortiz S.A. (2006), Estudio de Factibilidad técnico- económico para una agroindustria de productos enriquecidos con Amaranto (*A. Hypocondriacus L.*)



REFERENCIAS

- galletería y panadería en D.F. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo. pp. 450.
- Ostertag, C. (1996). El almidón Producción y Mercados Mundiales. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Conferencia Internacional de Almidón. Ecuador. pp. 229-243.
 - Panreac Química S.A. (2008). Analíticos en Alimentaria, Métodos Oficiales de Análisis. Cereales derivados de Cereales y cervezas. (13) 05:56 disponible en: <<http://www.scribd.com/>>
 - Paredez, L.O (1994) Amaranth Chemistry and Technology Department of Biotechnology and Biochemistry; Center of Research and advances studies; National Politechnic Institute, Mexico. pp 223.
 - Paredez, L.O; Barba, D.P; Hernández, L.D, y Carabez, T. A, (1990) Amaranth Características alimentarias y aprovechamiento agroindustrial *Laboratorio de Biotecnología de alimentos, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional México* pp 97.
 - Pearson, D. (1989). *Técnicas de Laboratorio para el análisis de los alimentos* Acribia, España. pp. 320.
 - Primo, E.Y (1987) *Química Agrícola III, Alimentos*. Ed Alhambra Madrid pp 683.
 - Proceli (2007). Revista española de elaboración de productos libres de gluten. España. Pp 25.
 - Quaglia, G. (1991) *Ciencia y Tecnología de la panificación*. Ed. Acribia, S.A, España. pp 485.
 - Reyes, A. M.J; Palomo, P; Bressani, R. (2004). Desarrollo de un producto de panificación apto para el adulto mayor a base de harina de trigo y harina de arroz. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición; Publicación oficial de la Sociedad Latinoamericana de nutrición*. 54(3): 12.
 - Ridascreen Fast Gliadin, (2008). Técnica de cuantificación de prolaminas.
 - Rosado, J. L; Camacho, S. R; Bourgues, H. C. (1999). Adición de Vitaminas y minerales a harinas de maíz y de trigo en México. *Salud pública de México*. 41(2): 130-137.
 - Rossato, M.M; Severo, R.C; De Miranda M.Z (2004). Elaboración de pan sin Gluten para portadores de Enfermedad Celíaca. *Revista Tecnológica e Higiene de los Alimentos*. 354: 91-94.
 - Sánchez, O.A (2006) *Estudio de Factibilidad Técnico- económico para una agroindustria de productos enriquecidos con amaranto (A. Hypochondriacus) galletería y panadería en D.F.* Tesis de Licenciatura de Universidad Autónoma de Chapingo. México. pp 217.



REFERENCIAS

- Secretaría de Economía (1980). NMX-F-376-S-1980 Galletas tipo María Normas Mexicanas Dirección General de Normas.
- Secretaría de Economía (1982). NMX-F-160-1982. Alimentos para humanos. Harina de arroz. Normas Mexicanas. Dirección general de normas.
- Secretaría de Economía (1982). NMX-F-007-1982. Alimentos para humanos. Harina de trigo. Normas Mexicanas. Dirección general de normas.
- Secretaría de Economía (1982). NMX-F-406-1982 Pan Blanco, Bolillo y Telera Normas mexicanas, Dirección general de normas.
- Serna, S. (2001). *Química, almacenamiento e industrialización de cereales*. Ed AGT EDITOR, México. pp 521.
- Senado de la República (2005). Incidencia de la Enfermedad Celíaca en México. Disponible en: <[www.senado.gob.mx / sen60/sgsp/gaceta/ gaceta parlamentaria](http://www.senado.gob.mx/sen60/sgsp/gaceta/gaceta%20parlamentaria)> No. 131. LX Legislatura.
- Solórzano, V. E. (1998). Apuntes para el curso de producción de cereales. Departamento de Fitotecnia, Academia de Cultivos Universidad Autónoma de Chapingo. México pp 166.
- Specher, S.A. (2005). Desarrollo de un Producto de Panificación apto para ser consumido por personas con Esprue Celíaco, Tesis. Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala. pp 73.
- SSA (1996) NOM-147-SSA1-1996 Norma oficial Mexicana, bienes y servicios. Cereales y sus productos derivados. Harinas de cereales, sémolas, semolinas, Alimentos a base de cereales de semillas comestibles, harinas, sémolas y semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales.
- SSA (2005) NOM-247- SSA1-2005 Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas, alimentos a base de cereales, semillas comestibles, de harinas sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación, disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Métodos de prueba.
- Stepniak, D. y Koning, F. (2006), Enzymatic gluten detoxification: the proof of the pudding is in the eating *Trends in Biotechnology*, 24 (10):433-434.
- Torres, E y Pacheco, E. (2007). Nutritional, phisical and sensorial evaluation of wheat, cassava and white chesse. *Revista Chilena de Nutrición*. 34(2): 133-141.
- Torri, C.L; Ribbota P.D; Morcillo, M. H; Rubiolo,O.J; Pérez, G.T y León A.E. (2003). Influencia del contenido de almidón dañado sobre la calidad galletera en harinas de tríticale. *Agricienta*. 20:3-8.
- Tosi E.A, Ciappini C, Masciarelli R, (1996) “Utilización de la harina integral de amaranto (*amaranthus cruentus*) en la fabricación de galletas para celíacos”. *Revista Tecnológica e Higiene de los Alimentos*. 269:49-51.



REFERENCIAS

- Tristán, C.M.E. (1994) Producción y comercialización del amaranto (*A.Hypochondriacus*) en Tulyehualco, D.F. Tesis. Universidad Autónoma de Chapingo. pp: 235.
- Velázquez, M. O; Camacho, R. N; Díaz, K. M; Santillana, H. R. (2007). *Productos de cereales y leguminosas, manual de prácticas*. Laboratorio de Productos de cereales y leguminosas. Facultad de Química. UNAM. 4ta Edición. pp 209.
- Vergara, H.J. (2004). Guías Clínicas para la Enfermedad Celiaca; Centro de Salud de Polígono; SAS, Sevilla España.
- Vaclavik, V.A, (2002) *Fundamentos de Ciencia de los Alimentos*. Ed Acribia. España. pp 485.

Glosario

Espanja: Proceso utilizado de manera extensa en la industria de panificación en donde parte de la harina se mezcla con la levadura y la mayoría del agua requerida por la formulación con el propósito de fermentarla por un tiempo prolongado. La esponja se amasa luego con el refresco para formar la masa del proceso.

Refresco: Proceso en el cual se añade harina, azúcar, manteca y otros ingredientes secos a la esponja para después de mezclar formar una masa. Se le denomina refresco, ya que la levadura se reactiva dado a que se le proporciona sustrato nuevo (azúcar) y se incrementa el pH de la esponja. La masa de refresco se divide, moldea, fermenta y hornea para manufacturar diversos productos de panificación y galletas saladas.

Tamiz: Marco de madera o metal el cual sujeta a una malla que deja intersticios cuadrados de un tamaño determinado y que se utiliza para clasificar partículas de molienda por tamaños.

Retrogradación: Fenómeno en el cual moléculas de almidón gelatinizadas, sobre todo amilosa, se reasocian causando rigidez o pérdida de textura en productos de panificación o gelificación. Después de la retrogradación hay una liberación de agua (sinéresis). La tasa de retrogradación o reasociación es dependiente del tiempo y la temperatura.

Lecitina: Emulsificante que es una mezcla de fosfátidos, los cuales son típicamente agentes surfactantes. Ayuda a que la grasa se mezcle con otros ingredientes de la masa, favoreciendo su manejabilidad. Ya que estabiliza las a las células o espacios de aire de la miga del pan y para prolongar las propiedades texturales de productos de la panificación.

Gluten de trigo: Nombre de la red viscoelástica proteica que se forma cuando la harina de trigo se amasa en presencia de agua. El complejo se forma cuando la harina de trigo se amasa con agua, éste de la red viscoelástica de la masa, que atrapa al gas producido por la fermentación o por los agentes químicos leudantes, lo que resulta en un levantamiento de la masa hasta llegar a la estructura y volumen deseado.

Gliadina: Nombre de una de las proteínas funcionales del trigo. Las gliadinas son prolaminas que se localizan en el endospermo del trigo y es uno de los dos componentes del gluten. Son solubles en alcohol, proporcionan la cohesividad y extensibilidad a las masas de trigoy son poco o nada elásticas.

Gluteninas: Se encuentran en el endospermo de los cereales y es uno de los dos componentes del gluten. Son las proteínas del grano más difícil de extraer debido a su elevado peso molecular y alta cantidad de puentes disulfuro. Proporcionan elasticidad y resistencia a la extensibilidad al gluten de trigo.

Impronta ó miga. Se le denomina así a la textura interna del pan, tiene una función fundamental en la aceptación de los productos de panificación. Esta se evalúa por lo general en función a la distribución y forma de los espacios de aire, suavidad y color.

Abreviaturas

- ♣ ASCE Asociación de celíacos
- ♣ EC Enfermedad Celíaca
- ♣ LDG Libre de gluten
- ♣ μm Micrómetros
- ♣ UB Unidades Brabender
- ♣ ANOVA Análisis de Varianza