



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**DESARROLLO DE UN PANQUE CON HARINA INTEGRAL DE AMARANTO
(*Amaranthus hypochondriacus*) CON ALTO VALOR NUTRIMENTAL
APTO PARA CELÍACOS.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO EN ALIMENTOS.

P R E S E N T A:

ROGELIO D' JESÚS HERNÁNDEZ SANDOVAL.

ASESOR:

DR. ENRIQUE MARTÍNEZ MANRIQUE.

COASESORA:

I.A. VERÓNICA JIMÉNEZ VERA.

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO.

2014



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

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

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUELLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: M. EN A. ISMAEL HERNÁNDEZ MAURICIO
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos a comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

Desarrollo de un panque con harina integral de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) con alto valor nutrimental apto para celíacos

Que presenta el pasante: Rogelio D' Jesús Hernández Sandoval
Con número de cuenta: 304049271 para obtener el Título de: Ingeniero en Alimentos

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

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 23 de abril de 2014.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	I.B.Q. Saturnino Maya Ramírez	
VOCAL	M. en C. Tais Nopal Guerrero	
SECRETARIO	Dr. Enrique Martínez Manrique	
1er. SUPLENTE	I.A. Sandra Margarita Rueda Enríquez	
2do. SUPLENTE	I.A. Verónica Romero Arreola	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

HMI/iac

Nuestra recompensa se encuentra en el esfuerzo y no en el resultado. Un esfuerzo total es una victoria completa.

Mahatma Gandhi

AGRADECIMIENTOS

Estas primeras líneas te las dedico a ti Dios, para darte gracias por la oportunidad que me diste de traerme a este mundo que creaste y de vivir este momento tan especial, además de darme una hermosa y maravillosa familia a la cual quiero y amo profundamente, de la cual estoy orgulloso de pertenecer a ella.

A mis padres (Rogelio Hernández Ramos y Clementina Sandoval Zacarías) porque gracias a todo su esfuerzo, amor, consejos y sabiduría han sabido formarme como una persona de bien para la sociedad.

A mis hermanas (Caro y Vianey) a las cuales quiero y amo profundamente, por su apoyo incondicional y por compartir bellos momentos enseñándome que el valor de una familia es la unión.

A todos los profesores con los cuales inicié este proyecto llamado FES-Cuautitlán, que me permitieron formarme no solo como ingeniero, si no como persona y de los cuales aprendí.

Al Dr. Enrique Martínez Manrique, por el apoyo total e incondicional para la realización de este trabajo, así como por darme la oportunidad de estar aprendiendo constantemente durante el tiempo que orgullosamente pertenezco al Laboratorio de Bioquímica y Fisiología de Granos y Semillas.

A la I.A. Verónica Jiménez Vera, por todo el apoyo brindado para realizar este trabajo, además de permitirme aprender día con día en mi estancia en el laboratorio.

A mis sinodales por el tiempo dedicado en la revisión de este trabajo (I.B.Q. Saturnino Maya, M. en C. Tais Nopal Guerrero, I.A. Sandra M. Rueda y I.A. Verónica Romero)

A Janeli Solís Garfias, por su total apoyo, amistad, comprensión y cariño. Te quiero mucho y lo sabes, gracias por haberte aparecido en mi vida.

A mis amigos de la facultad Isai, Angel, Jerry, Ary, Marck, así como a Marcos, que lo conocí los primeros años de Universidad, pero que logramos entablar una gran amistad que hasta hoy perdura, así como a todas esas personas que nos fuimos cruzando en el camino y que me llevo un poco de cada uno de ellos .

A mis amigos y compañeros del Laboratorio de Bioquímica y Fisiología de Granos y Semillas de la FES-C (Elba, Julia, Karen, Karina, Aleida, Toño y Héctor), con los cuales compartí muy buenos momentos.

Y por supuesto, a ti amigo lector, gracias por consultar y tomar en cuenta mi trabajo, espero que te sirva y apoye en lo que desees hacer o buscar, si es así, el esfuerzo de muchas personas que hay atrás de estas líneas habrá valido la pena.

RECONOCIMIENTOS

Trabajo realizado con el apoyo del programa UNAM-DGAP-PAPIME clave PE200113.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
1.- ANTECEDENTES.....	4
1.1.- TRIGO.....	4
1.1.1.- DEFINICIÓN.....	4
1.1.2.- ESTRUCTURA Y MORFOLOGÍA.....	4
1.1.3.- USOS Y APLICACIONES.....	6
1.1.4.- CLASIFICACIÓN.....	6
1.1.5.- COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	8
1.1.6.- GLUTEN.....	10
1.1.7.- PRODUCCIÓN NACIONAL.....	11
1.1.8.- INDUSTRIA DE LA PANIFICACIÓN.....	14
1.2.- PANQUES.....	17
1.2.1.- ORIGEN E HISTORIA.....	17
1.2.2.- DEFINICIÓN.....	18
1.2.3.- CONSUMO Y VENTAS.....	18
1.2.4.- CARACTERÍSTICAS.....	20
1.2.5.- INGREDIENTES PARA LA ELABORACIÓN DE PANQUES.....	20
1.3.- LA ENFERMEDAD CELÍACA.....	25
1.3.1.- DEFINICIÓN.....	25
1.3.2.- ANTECEDENTES.....	26
1.3.3.- PANORAMA MUNDIAL Y NACIONAL DE LA ENFERMEDAD CELÍACA (EPIDEMIOLOGÍA).....	27
1.3.4.- PATOGÉNESIS.....	28
1.3.5.- MANIFESTACIONES CLÍNICAS.....	31
1.3.6.- DIAGNÓSTICO.....	32
1.3.7.- TRATAMIENTO.....	34
1.3.8.- LA DIETA SIN GLUTEN.....	34
1.4.- AMARANTO.....	37
1.4.1.- DEFINICIÓN.....	37
1.4.2.- ORIGEN E HISTORIA.....	38

1.4.3.- PRODUCCIÓN NACIONAL.	43
1.4.4.- ESTRUCTURA Y MORFOLOGÍA DE LA SEMILLA.	45
1.4.5.- CLASIFICACIÓN BOTÁNICA.	46
1.4.6.- COMPOSICIÓN QUÍMICA Y VALOR NUTRITIVO.	46
2.- METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL.	56
2.1.- OBJETIVOS.	56
2.2.- CUADRO METODOLÓGICO.	57
2.3.- PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.	58
2.3.1.- MATERIAL BIOLÓGICO.	58
2.4.- ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL.	58
2.4.1.- DETERMINACIÓN DE HUMEDAD.	58
2.4.2.- DETERMINACIÓN DE EXTRACTO ETÉREO.	59
2.4.3.- DETERMINACIÓN DE PROTEÍNAS.	59
2.4.4.- DETERMINACIÓN DE CENIZAS.	60
2.4.5.- DETERMINACIÓN DE FIBRA.	60
2.4.6.- DETERMINACIÓN DE CARBOHIDRATOS.	60
2.5.- ELABORACIÓN DEL PANQUE CON HARINA INTEGRAL DE AMARANTO.	61
2.5.1.- MÉTODO PARA LA ELABORACIÓN DE PANES RÁPIDOS.	61
2.6.- EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS PANQUES OBTENIDOS.	63
2.6.1.- PESO DEL PAN.	63
2.6.2.- VOLUMEN DEL PAN.	64
2.6.3.- ALTURA Y DIÁMETRO DEL PAN.	65
2.7.- ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL A LOS PANQUES OBTENIDOS.	65
2.8.- EVALUACIÓN DE LA CALIDAD NUTRIMENTAL.	65
2.8.1.- DETERMINACIÓN DE TRIPTÓFANO.	65
2.8.2.- PERFIL DE AMINOÁCIDOS.	66
2.8.3.- DIGESTIBILIDAD <i>in vitro</i>	66
2.9.- EVALUACIÓN SENSORIAL DEL PANQUE.	66
2.10.- MÉTODO ESTADÍSTICO.	66
3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	67
3.1.- ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DE LAS MATERIAS PRIMAS.	67
3.2.- ELABORACIÓN DEL PANQUE DE AMARANTO.	68
3.2.1.- ELABORACIÓN DEL PANQUE CONTROL.	68



3.2.2.- DESARROLLO DE FORMULACIONES PARA LA ELABORACIÓN DEL PANQUE CON HARINA INTEGRAL DE AMARANTO.	70
3.3.- EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS.....	98
3.4.- ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DE LOS PANQUES ELABORADOS.	100
3.5.- CALIDAD NUTRIMENTAL.....	102
3.5.1.- CUANTIFICACIÓN DE TRIPTÓFANO.....	102
3.5.2.- PERFIL DE AMINOÁCIDOS.....	103
3.5.3.- DIGESTIBILIDAD <i>in vitro</i>	107
3.6.- EVALUACIÓN SENSORIAL DEL PRODUCTO.....	108
CONCLUSIONES.....	110
RECOMENDACIONES.....	111
REFERENCIAS	112
ANEXOS	118

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1.- Plantas de trigo	4
Figura 2.- Estructura del grano de trigo.	5
Figura 3.- Cadena de producción-consumo de trigo.....	6
Figura 4.- Superficie sembrada y cosechada de trigo en México en el periodo 2000-2012	11
Figura 5.- Producción y rendimiento de trigo en México en el periodo 2000-2012.	12
Figura 6.- Principales estados productores de trigo en México durante el año 2012.	13
Figura 7.- Panadería-taller del siglo XVIII.	15
Figura 8.- Tipos de panadería al 2010.....	16
Figura 9.- Volumen y valor de las ventas de pasteles y pastelillos del periodo 2005 a 2010	19
Figura 10.- Estructura del migajón de los panques	20
Figura 11.- Mucosas y vellosidades intestinales normales y con atrofia por presencia de gluten	33
Figura 12.- Planta de amaranto.	37
Figura 13.- Algunos lugares donde se registró el cultivo del amaranto.	40
Figura 14.- Huitzilopochtli y Tláloc.....	42
Figura 15.- Superficie sembrada y cosechada de amaranto durante el periodo 2000-2012.	43
Figura 16.- Producción y rendimiento de amaranto en México durante el periodo 2000-2012.	44
Figura 17.- Principales estados productores de amaranto en México durante el año 2012.	45
Figura 18.- Diagrama de secciones transversal y longitudinal de la semilla de amaranto	46
Figura 19.- Micrografía electrónica de barrido para el almidón de <i>A. hypochondriacus</i>	52
Figura 20.- Diagrama de proceso para la elaboración del panque.	62
Figura 21.- Medidor de volumen para pan.....	64
Figura 22.- Diagrama de proceso para la elaboración del panque control y el panque con harina integral de amaranto P.A.1 y P.A.2.....	69
Figura 23.- Panque elaborado con harina de trigo marca Selecta® (control).....	69

Figura 24.- Panque con harina integral de amaranto elaborado con la formulación 1(P.A.1).	71
Figura 25.- Panque con harina integral de amaranto elaborado con la formulación 2 (P.A.2).	72
Figura 26.- Diagrama de proceso para la elaboración del panque con harina integral de amaranto P.A.3.	74
Figura 27.- Panque con harina integral de amaranto P.A.3.	75
Figura 28.- Diagrama de proceso para la elaboración del panque con harina integral de amaranto P.A.4.	76
Figura 29.- Panque con harina integral de amaranto P.A.4.	77
Figura 30.- Diagrama de proceso para la elaboración del panque con harina integral de amaranto P.A.5.	79
Figura 31.- Panque con harina integral de amaranto P.A.5.	80
Figura 32.- Diagrama de proceso para la elaboración del panque con harina integral de amaranto P.A.6.	82
Figura 33.- Panque con harina integral de amaranto P.A.6.	82
Figura 34.- Diagrama de proceso para la elaboración del panque con harina integral de amaranto 7A, 7B y 7C.	84
Figura 35.- Panque con harina integral de amaranto 7C (P.A.7C.).	85
Figura 36.- Diagrama de proceso para la elaboración del panque con harina integral de amaranto P.A.8.	86
Figura 37.- Panque con harina integral de amaranto P.A.8.	87
Figura 38.- Nuevo diagrama de proceso para la elaboración del panque con harina integral de amaranto P.A.8.	88
Figura 39.- Nuevo panque con harina integral de amaranto P.A.8 y barnizado con huevo entero.	89
Figura 40.- Diagrama de proceso para la elaboración del panque con harina integral de amaranto P.A.9.	92
Figura 41.- Panque elaborado con harina integral de amaranto P.A.9.	93
Figura 42.- Diagrama de proceso para la elaboración del panque con harina integral de amaranto P.A.10, P.A.11 y P.A.12.	95
Figura 43.- Panque con harina integral de amaranto P.A.12.	97

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1.- Composición química para el trigo mexicano.	8
Tabla 2.- Superficie sembrada de trigo en riego y temporal 2012.....	13
Tabla 3.- Antecedentes de la enfermedad celíaca.....	26
Tabla 4.- Prevalencia celíaca en algunos países de Europa.	27
Tabla 5.- Manifestaciones clínicas típicas de la enfermedad celíaca.....	31
Tabla 6.- Manifestaciones clínicas atípicas de la enfermedad celíaca.....	32
Tabla 7.- Clasificación de alimentos en función a su contenido de gluten.	36
Tabla 8.- Composición química del amaranto <i>A. hypochondriacus</i>	47
Tabla 9.- Composición química del amaranto y otros cereales.....	47
Tabla 10.- Tabla comparativa de aminoácidos patrón respecto al del <i>A. hypochondriacus</i>	50
Tabla 11.- Contenido de vitaminas para el <i>A. hypochondriacus</i>	54
Tabla 12.- Formulación para la elaboración del panque control.	61
Tabla 13.- Análisis químico proximal de materias primas.	67
Tabla 14.- Formulación base o control para la elaboración de panes rápidos.....	68
Tabla 15.- Formulación 1 del panque con harina integral de amaranto (P.A.1)....	70
Tabla 16.- Formulación 2 del panque con harina integral de amaranto (P.A.2)....	72
Tabla 17.- Formulación 3 del panque con harina integral de amaranto (P.A.3)....	73
Tabla 18.- Formulación 4 del panque con harina integral de amaranto (P.A.4)....	76
Tabla 19.- Formulación 5 del panque con harina integral de amaranto (P.A.5)....	78
Tabla 20.- Formulación 6 del panque con harina integral de amaranto (P.A.6)....	81
Tabla 21.- Formulación 7 del panque con harina integral de amaranto (P.A.7)....	83
Tabla 22.- Formulación 8 del panque con harina integral de amaranto (P.A.8)....	86
Tabla 23.- Formulación 9 del panque con harina integral de amaranto (P.A.9)....	90
Tabla 24.- Formulación 10 del panque con harina integral de amaranto (P.A.10)....	94
Tabla 25.- Formulación 11 del panque con harina integral de amaranto (P.A.11)....	96
Tabla 26.- Formulación 12 del panque con harina integral de amaranto (P.A.12)....	97
Tabla 27.- Resultados obtenidos por los panques con mejor apariencia en las pruebas físicas realizadas.....	99
Tabla 28.- Resultados del análisis químico proximal del mejor panque y el panque control	100
Tabla 29.- Cuantificación de triptófano en harina de panques de trigo y amaranto elaborado con la formulación P.A.12.....	102



Tabla 30.- Resultados obtenidos del análisis aminoacídico.....	104
Tabla 31.- Aminoácidos esenciales de cada panque comparados con el patrón de referencia de la FAO de 1985.	105
Tabla 32.- Resultados de la cuantificación de la digestibilidad <i>in vitro</i> de los panques control y de amaranto P.A.12.	107
Tabla 33.- Resultados obtenidos a la evaluación sensorial del panque con harina integral de amaranto 12.	109

RESUMEN

El amaranto es considerado un tesoro alimenticio por su valor nutritivo, ya que posee un alto contenido de proteína y un adecuado balance de aminoácidos esenciales, en particular lisina, la cual es deficiente en los cereales; es por ello que el uso del amaranto podría ser fundamental en el futuro alimentario de la población. Por otra parte, los panques son un producto que gusta a la población mexicana, que a pesar de ajustes en su precio, su volumen de ventas no se ve afectado. Al ser elaborados con harina de trigo, su calidad nutrimental es deficiente, y las personas intolerantes al gluten no pueden consumirlos. Es por ello que en el presente trabajo se planteó como objetivo general desarrollar un panque con harina integral de amaranto con mayor calidad nutrimental que un panque de harina de trigo comercial para que pueda ser consumido por personas celíacas. Para lograrlo se utilizó amaranto *A. hypochondriacus* variedad Tulyehualco cosecha 2010 y harina de trigo comercial de la marca Selecta® para un panque control. El material biológico se molió y tamizó por malla 40 serie Tyler. Se realizó el AQP a las dos harinas, posteriormente se planteó la elaboración del panque con harina integral de amaranto, teniendo como control un panque de harina de trigo comercial. Una vez elaborado el panque control, se midieron sus propiedades físicas (peso, altura, volumen y diámetro). Después se elaboró el panque con harina integral de amaranto, sustituyendo la harina de trigo de la formulación control y modificando las proporciones de los ingredientes en la formulación base e introduciendo otros ingredientes y aditivos alimentarios utilizados en panificación (emulsionantes, gomas, etcétera), cuidando que fueran libres de gluten. Los panques se evaluaron químicamente, obteniendo que el panque de amaranto posee una mayor cantidad de proteínas, lípidos, fibra y bajo contenido de carbohidratos en comparación con el panque control. El perfil de aminoácidos mostró que el panque con harina integral de amaranto contenía todos los aminoácidos esenciales y que cinco de los nueve estaban en mayores cantidades que en el panque control. Además, éste producto tiene una buena digestibilidad de 85.67% y está por encima de otros productos a base de cereal. También se evaluó sensorialmente al panque de amaranto y tuvo una aceptación del 86% de los consumidores, obteniendo una calificación de 7.86 en una escala del 0 al 10.

INTRODUCCIÓN

En México entre los años 2005 y 2010 han enfermado a causa de la desnutrición en conjunto 1,020,839 de personas y han fallecido, entre los años 2001 y 2010, más de 85 mil personas (México Social, 2012). Entre otras causas, esto se debe a que México solo produce el 55% de los alimentos que consume e importa el otro 45% (La Jornada, 2013). Los cereales, que junto con el frijol, son la base de la alimentación en México, son los que más se importan (Excelsior, 2013), ya que en México en el periodo de 2011-2012 las importaciones netas de cereales ascendieron a 17.3 millones de toneladas equivalente al 36.7% del consumo nacional de cereales (El Economista, 2012). La realidad es que México compra a otros países el 80% del arroz que consume, 30 a 50% del frijol, la tercera parte del maíz y la mitad del trigo (Excelsior, 2013).

Además, los cereales son de baja calidad nutrimental y el trigo, con el que se hacen una gran variedad de productos no es la excepción, pues su proteína carece de algunos aminoácidos esenciales como la lisina (Serna, 2001), pero debido a la gran cantidad de productos que con este cereal se pueden elaborar, es el que más se consume. También tiene otro inconveniente, ya que posee un grupo de proteínas denominadas gluten, que provoca la enfermedad celíaca o intolerancia al gluten (Calderón, 2009).

Por lo tanto, sería conveniente mejorar la calidad nutrimental de los productos elaborados con trigo y eliminar el gluten de ellos. Para ello, una opción sería usar harina integral de amaranto, ya que éste grano es un pseudocereal que posee una alta proporción de proteína con un excelente balance de aminoácidos, además de fibra, minerales y grasas saturadas que lo hacen un grano con alta calidad nutrimental (Morales *et al.*, 2009); y al no contener gluten como el trigo (Borneo y Aguirre, 2008) es apto para personas celíacas.

A partir de las consideraciones anteriores, en el presente trabajo se planteó desarrollar un panque con harina integral de amaranto con mayor calidad nutrimental que un panque de harina de trigo comercial, que pueda ser consumido por personas celíacas. Se utilizarán como materia prima la harina de trigo comercial de la marca Selecta® (para la elaboración del panque control) y amaranto variedad Tulyehualco cosecha 2010 de la especie *Amaranthus*

hypochondriacus. El amaranto se someterá a un proceso de molienda y posteriormente a un tamizado por malla 40 serie Tyler. La harina que se obtenga se evaluará mediante un análisis químico proximal al igual que la harina de trigo comercial para conocer su composición química. Posteriormente se elaborará un panque control de harina de trigo comercial, y se le determinarán sus propiedades físicas (peso, altura, volumen y diámetro); en base a éstas referencias se plantearán diferentes formulaciones para la elaboración del panque con harina integral de amaranto. Primero se sustituirá la harina de trigo comercial de la formulación control por la harina integral de amaranto, y a partir de esta formulación se considerará modificar las proporciones de los ingredientes en la formulación base, así como la adición de otros ingredientes y aditivos alimentarios para panificación (goma guar, mejorador, emulsificante, ácido ascórbico, saborizante, lecitina de soya y sustituto de azúcar) hasta obtener un panque de amaranto con propiedades físicas y características similares a las del panque control.

Cabe aclarar que todos los ingredientes a usar deberán ser libres de gluten para no afectar la salud de las personas intolerantes a dichas proteínas. Una vez que se logre la mejor formulación (realizando el ajuste de los ingredientes y aditivos), se procederá a evaluar químicamente, mediante un análisis químico proximal así como también evaluar su calidad nutrimental cuantificando triptófano, su perfil de aminoácidos y la digestibilidad *in vitro* del producto.

Por último se evaluará sensorialmente el panque con harina integral de amaranto elaborado con la mejor formulación mediante una prueba de nivel de agrado a consumidores.

1.- ANTECEDENTES.

1.1.- TRIGO.

1.1.1.- DEFINICIÓN.

El trigo (*Triticum*, del latín “quebrado, triturado o trillado”) es una planta gramínea anual con espigas de cuyos granos molidos se obtiene la harina. La altura de la planta varía entre 30 y 150 cm (**Figura 1**); el tallo es recto y cilíndrico, la hoja es lanceolada y cada planta tiene de 4 a 6 hojas (Financiera Rural, 2011).



Figura 1.- Plantas de trigo.

1.1.2.- ESTRUCTURA Y MORFOLOGÍA.

La estructura del grano de trigo es ilustrada en la **Figura 2**. El grano o cariósipide de trigo puede ser dividido en tres partes morfológicamente diferentes: el endospermo, que representa la mayor parte del grano, la capa de salvado, que envuelve el grano; y el germen, que incluye el embrión y el escutelo. El endospermo contiene los gránulos de almidón en una matriz de proteína que son separados del salvado durante la molienda para obtener así harina blanca junto con la capa de aleurona, la cual constituye la parte más externa del endospermo (Dendy y Dobraszcyk, 2001).

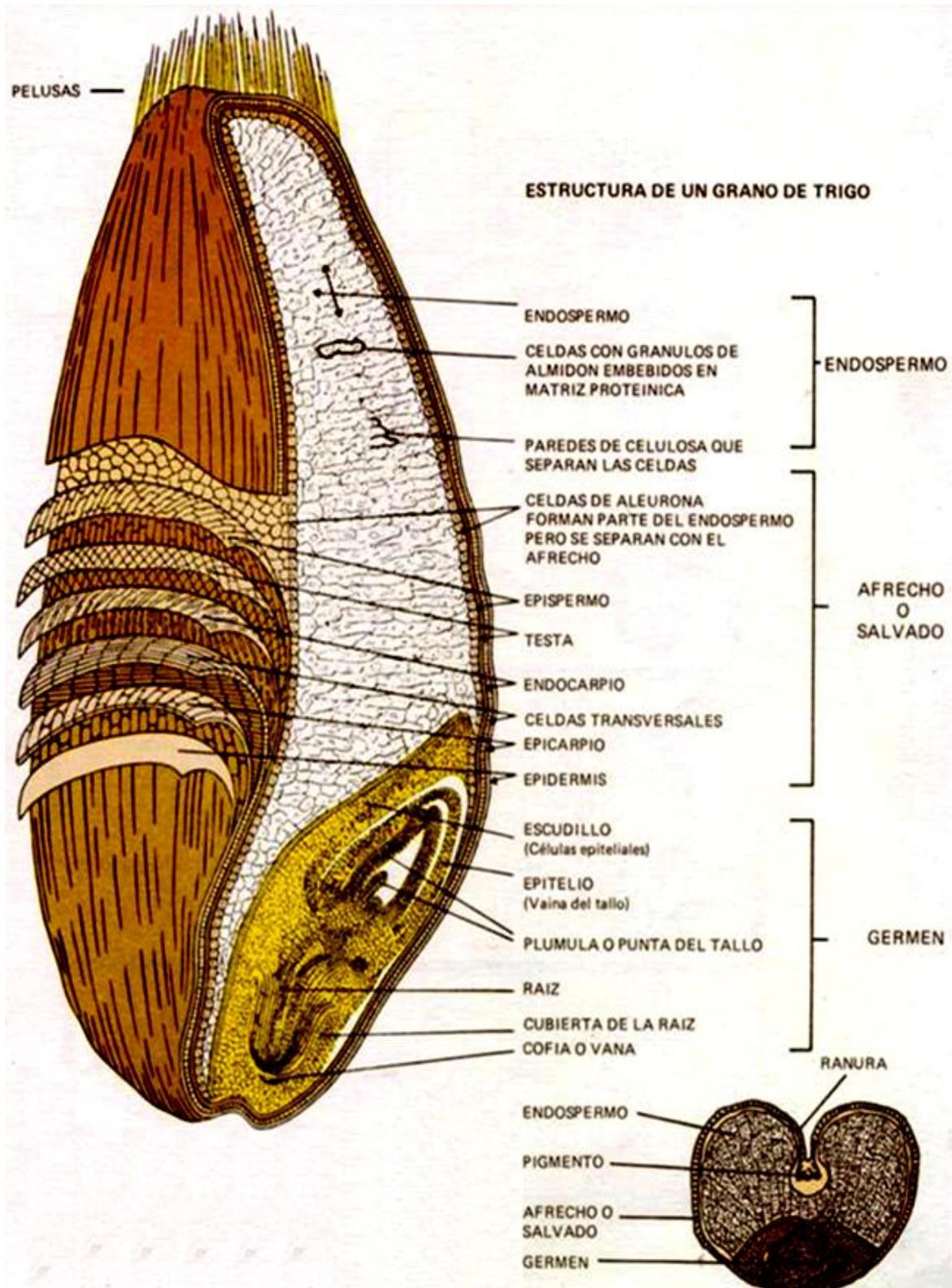


Figura 2.- Estructura del grano de trigo.
Fuente: CANIMOLT.

1.1.3.- USOS Y APLICACIONES.

El trigo es el cereal que más se utiliza en la alimentación humana, su importancia reside principalmente en su alto valor energético, además de que contiene más proteínas que el maíz y el arroz. El consumo del trigo requiere un proceso de transformación que inicia regularmente con la molienda para producir harina, que es la materia prima para los fabricantes de productos finales como el pan, pastas, pasteles, galletas, etc. La industria harinera se convierte así en el eslabón estratégico de la cadena de producción-consumo de trigo (**Figura 3**), en la cual se genera la mayor demanda (Financiera Rural, 2011).

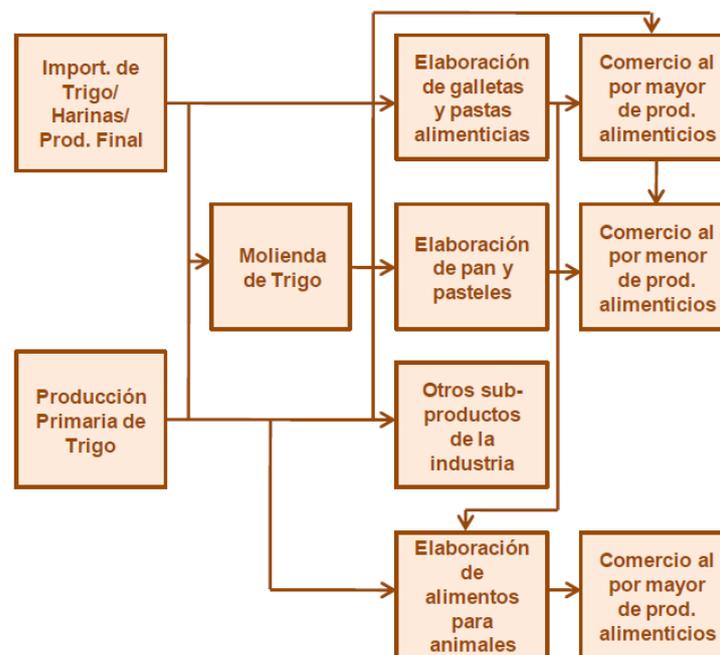


Figura 3.- Cadena de producción-consumo de trigo.

Fuente: SAGARPA, 2005.

1.1.4.- CLASIFICACIÓN.

Existen diferentes formas de clasificar al trigo, en este apartado se resaltan las de mayor interés.

Clasificación botánica (Calaveras, 2004):

Reino: Eucariontes (vegetales): Célula con membrana nuclear.

Subreino: Cosmofitas: Vegetales con tejidos conductores diferenciados.

División: Espermafitas o Fanerógamas: Plantas con semillas y flor.

Subdivisión: Angiospermas: Los óvulos están al interior del pistilo.

Clase: Monocotiledóneas: Su principal característica es la presencia en su semilla de un solo cotiledón.

Orden: Glumíferas.

Familia: Gramíneas. (Poaceales).

Género: *Triticum*.

Especie: *Triticum durum*, *Triticum vulgare*. (Solo pueden reproducirse individuos de la misma especie).

De un modo general, los trigos se clasifican según dos aspectos:

1) La textura del endospermo.

Ésta característica del grano está relacionada con la forma de fraccionarse el grano en la molienda. Por lo tanto existen trigos vítreos y harinosos.

Trigos vítreos y harinosos.

La textura del endospermo puede ser vítrea (acerada, pétreo, cristalina, cornea) o harinosa (feculenta, yesosa).

Los granos vítreos son traslucidos y parecen brillantes contra la luz intensa, mientras que los farináceos son opacos y resultan oscuros en las mismas circunstancias.

2) La riqueza proteica,

Ésta característica proporciona ciertos atributos a la harina y su conveniencia para diversos objetivos.

Contenido proteico.

El contenido proteico no es un factor que determine la calidad para obtener harina, pero el contenido proteico tiende a ser mayor en los trigos vítreos que en los harinosos, y la cualidad vítrea se asocia frecuentemente con la dureza y buenas cualidades para su molienda. El contenido proteico del endospermo, su calidad y estructura química es, sin embargo, la característica más importante para determinar la calidad en panificación.

Los trigos se pueden clasificar también como duros y blandos y como fuertes o débiles. Los granos vítreos tienden a ser duros y fuertes, y los farináceos, blandos y débiles, pero la relación no es invariable.

Trigos duros y blandos.

La dureza y blandura son características de molinería, relacionadas con la manera de fragmentar el endospermo. En los trigos duros, la fractura tiende a producirse siguiendo las líneas que limitan las células produciendo harina gruesa, arenosa, fluida y fácil de cernir, mientras que el endospermo de los trigos blandos se fragmenta de forma imprevista al azar.

Trigos fuertes y flojos.

La harina de trigo flojo es ideal para galletas y pastelería, aunque es inadecuada para panificación a menos que se mezcle con harina más fuerte. La harina de trigo fuerte admite una proporción de harina de trigo floja, así la pieza mantiene su gran volumen y buena estructura de la miga, aunque lleve cierta proporción de harina floja, también es capaz de retener y absorber una gran cantidad de agua (Kent, 1971).

1.1.5.- COMPOSICIÓN QUÍMICA.

Las tablas de composición de alimentos de la oficina regional de la FAO para América Latina y el Caribe reportan para el trigo mexicano la siguiente composición química (**Tabla 1**):

Tabla 1.- Composición química para el trigo mexicano.

COMPONENTE	%
Humedad	9.10
Proteínas	10.60
Grasa	2.60
Cenizas	2.10
CHOS	75.60

Fuente: FAO, 2013.

Humedad:

El contenido de humedad es considerado como una de las características más importantes de calidad del trigo, principalmente porque afecta directamente el peso específico así como la estabilidad microbiológica del mismo durante el

almacenamiento. El proceso para obtener grano seco se realiza por el mismo agricultor después de la cosecha y la humedad óptima para su almacenamiento debe ser menor al 12.5%, mientras que la humedad óptima para la molienda va de 14 a 17%, debido a esto las industrias molineras necesitan agregar agua para acondicionar el grano (Dendy y Dobraszczyk, 2001).

Lípidos:

Los lípidos entran solo en pequeños porcentajes en la composición química del trigo (1.5-2% aproximadamente) y están localizados principalmente en el germen. Los componentes lipídicos más importantes son los glicéridos, los fosfolípidos y los esteroides; el germen es particularmente rico en tocoferol que toma comúnmente el nombre de vitamina E. En la composición de los ácidos grasos sobresalen los ácidos grasos insaturados tales como el oleico y linoleico (Quaglia, 1991).

Carbohidratos:

El 72% de la cariópside del trigo está constituida por carbohidratos o glúcidos, a su vez formados por el 60-68% de almidón, el 6.5% de pentosas, el 2% al 2.5% de celulosa y el 1.5% de azúcares reductores. El componente glucídico más importante desde el punto de vista tecnológico y en el cual el grano es mayoritariamente rico, es el almidón; su importancia tecnológica se debe a la capacidad de absorber agua.

El almidón del grano en plena maduración permite obtener un pan de mayor volumen que el obtenido con granos no maduros.

Las características tecnológicas del almidón dependen también de sus dimensiones: los gránulos pequeños tienen una cantidad menor de amilosa a los gránulos de almidones normales y producen un pan de menor volumen. El almidón contiene del 19 al 26% de amilosa y del 74 al 81% de amilopectina (Quaglia, 1991).

Cenizas:

La mayor parte de las sustancias inorgánicas del trigo se encuentran en el salvado y en la capa de la aleurona y su cantidad oscila entre el 1.5% y el 2.0%.

Como consecuencia de su distribución en la cariósida, una harina tendrá un contenido mayor en cenizas tanto más elevado sean las partículas de salvado. Entre los elementos inorgánicos sobresalen el fósforo, potasio, magnesio, calcio, azufre, hierro y el galio (Kent, 1971).

Proteínas:

El contenido proteico del grano oscila entre 7% y el 18%, con valores medios entre el 10 y el 13%.

Mediante un simple fraccionamiento basado en la solubilidad de agua se han determinado la presencia de cuatro tipos de sustancias proteicas; de estas dos son solubles en una solución salina diluida: una albumina, la leucosina, con un contenido porcentual respecto al total proteico del 12% y una globulina con el 4%; dos son insolubles en agua y solubles en solvente polares (alcohol y acetona), una prolamina, la gliadina con el 44% y una glutelina, con el 40%.

De entre los componentes proteicos del trigo, las dos fracciones insolubles en agua tienen una gran importancia tecnológica, porque en contacto con agua se unen con enlaces intermoleculares, formando el gluten, que representa la sustancia que confiere resistencia y elasticidad a la masa obtenida a partir de la harina y del agua (Kent, 1971).

1.1.6.- GLUTEN.

A) DEFINICIÓN.

Nombre de la red viscoelástica proteica que se forma cuando la harina de trigo se amasa en presencia de agua (Serna, 2003).

B) CLASIFICACIÓN.

El gluten se clasifica de la siguiente manera:

- ✓ Claro u oscuro.
- ✓ Corto o largo.
- ✓ Consistente o no.
- ✓ Pegajoso o no.
- ✓ Elástico o no.



- ✓ Extensible o no.
- ✓ Tenaz o no (Calaveras, 2004).

C) COMPONENTES Y FORMACIÓN DEL GLUTEN.

El gluten está conformado por prolaminas (gliadina) y gluteninas (glutelinas). La gliadina es un grupo de proteínas funcionales del trigo que se localizan en el endospermo, son solubles en alcohol y proporcionan la cohesividad y extensibilidad a las masas de trigo y son poco o nada elásticas. Por otra parte las glutelinas también se encuentran en el endospermo del trigo; debido a su alto peso molecular y puentes disulfuro son difíciles de extraer y brindan la elasticidad y la resistencia a la extensibilidad al gluten de trigo. El complejo del gluten se forma cuando la harina de trigo se amasa con agua, éste da la red viscoelástica de la masa, que atrapa al gas producido por la fermentación o agentes químicos leudantes, lo que resulta en un levantamiento de la masa hasta llegar a la estructura y volumen deseado, lo cual da una propiedad funcional al gluten (Serna, 2003).

1.1.7.- PRODUCCIÓN NACIONAL.

En México, el trigo ocupa el segundo lugar en la producción de cereales, con alrededor del 14% de la producción nacional (Financiera Rural, 2011).

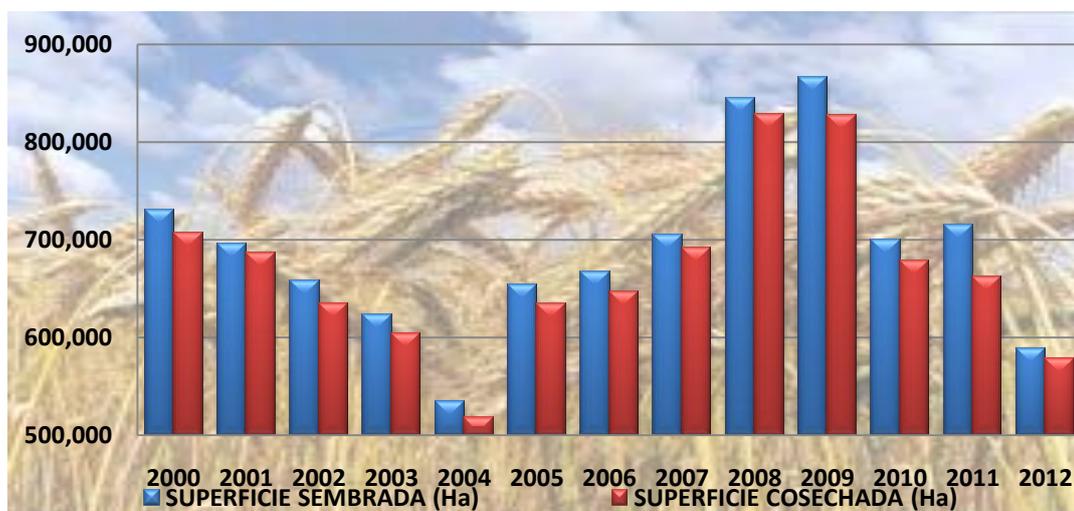


Figura 4.- Superficie sembrada y cosechada de trigo en México en el periodo 2000-2012 en hectáreas.

Fuente: SIAP-SAGARPA, 2012.



Como se puede observar en la **Figura 4**, entre el año 2000 y 2004 se registró una disminución en la superficie sembrada y cosechada de trigo en México, lo cual repercutió en un menor volumen de producción. Sin embargo desde el año 2005 y hasta el año 2009, se registró un incremento en los niveles de superficie sembrada y cosechada, obteniendo un mayor volumen de producción incentivado por el alza a nivel mundial en el precio de los principales granos incluido el trigo y repercutió en el margen de ganancias obtenido por la cosecha de dicho grano.

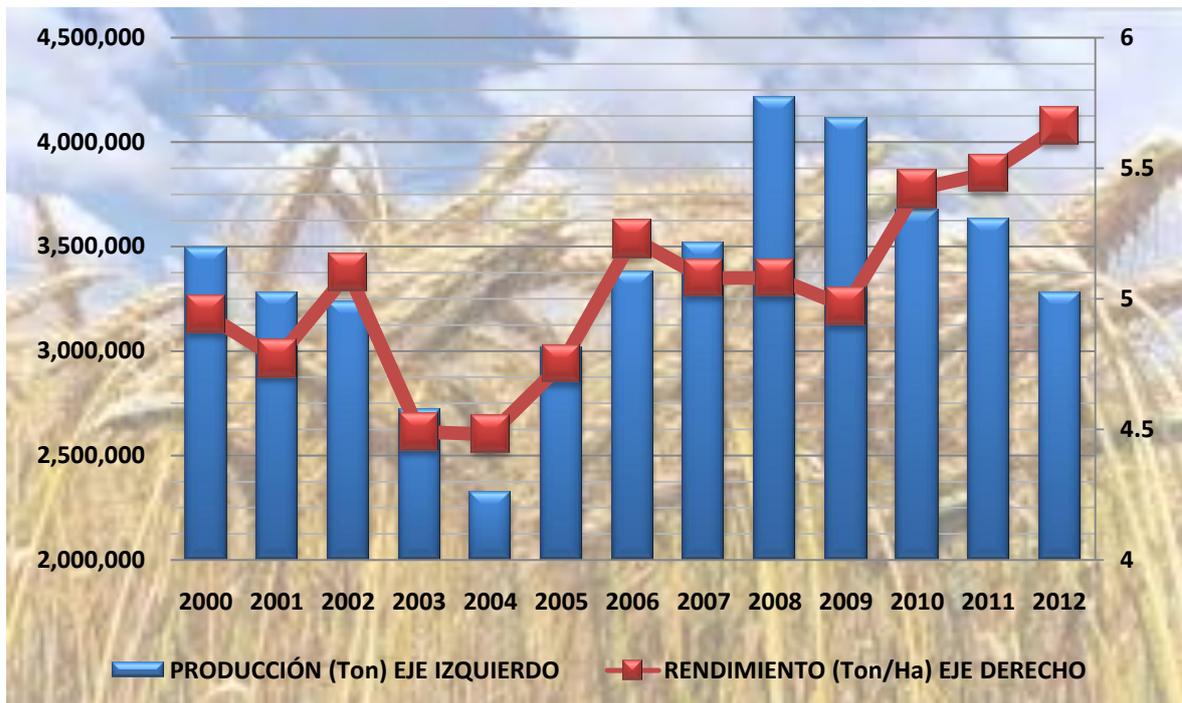


Figura 5.- Producción y rendimiento de trigo en México en el periodo 2000-2012.

Fuente: SIAP-SAGARPA, 2012.

En la **Figura 5** se aprecia que para los años 2010 y 2011 se registró de nueva cuenta una tendencia descendente en la producción de trigo en México, pero con mejores rendimientos que en épocas pasadas, es decir que se obtuvo más trigo en menor cantidad de espacio sembrado, pero a pesar de ello la producción no fue suficiente para volver a alcanzar como mínimo los valores obtenidos en el año 2008.

Tabla 2.- Superficie sembrada de trigo en riego y temporal 2012.

SUPERFICIE SEMBRADA DE RIEGO Y TEMPORAL 2012			
CICLO	RIEGO	TEMPORAL	TOTAL
PRIMAVERA-VERANO	837.10	84711.20	85548.3
	0.14%	14.38%	14.52%
OTOÑO-INVIERNO	481628.24	21838.34	503466.58
	81.77%	3.71%	85.48%
TOTAL	482465.34	106549.54	589014.88
	81.91%	18.09%	100%

Fuente: Elaborada con datos del SIAP-SAGARPA, 2012.

La superficie sembrada de trigo en México no tiene una fuerte dependencia de los factores climáticos como lo indica la **Tabla 2**, ya que cifras reportadas en el año 2012, indican que un 81.77% cuenta con tecnificación de riego y es sembrada en el ciclo Otoño-Invierno y que en este tipo de superficie se cosecha la mayor parte de la producción de este cereal en México. Esto se debe a los requerimientos de mayor humedad y temperatura más templada, condiciones que se dan preferentemente en los estados del noroeste y norte del país en los últimos meses del año.

Principales estados productores:

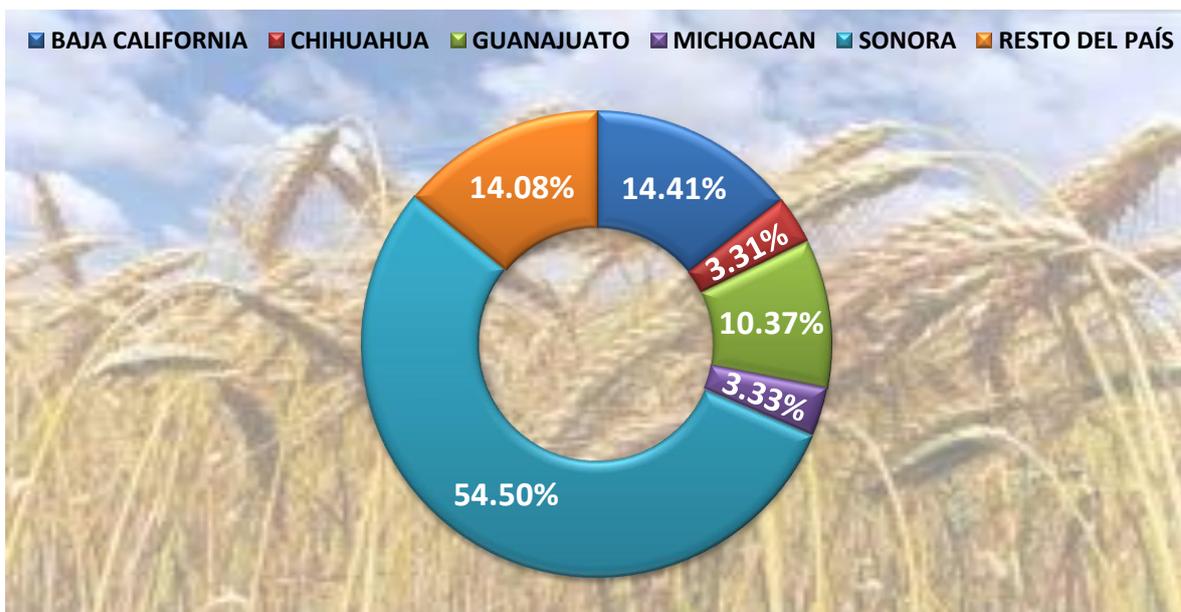


Figura 6.- Principales estados productores de trigo en México durante el año 2012.

Fuente: SIAP-SAGARPA, 2012.

La **Figura 6** indica que el principal estado productor de trigo en el año 2012 fue Sonora. Cabe resaltar que éste estado mantiene la totalidad de su producción en zonas de riego, permitiéndole alcanzar una productividad de 7.0 Ton/Ha anual.

Otros estados como Guanajuato y Baja California también son importantes productores de trigo en México y junto con Sonora generaron el 79.28 % de la producción nacional en el año 2012 (SIAP-SAGARPA, 2012).

El trigo es sin duda uno de los cereales más consumidos en el país, además de que las proteínas de almacenamiento como las proteínas del gluten, han sido clave para la preparación de alimentos básicos en diferentes pueblos y culturas, como el caso del pan.

La demanda de este producto ha provocado su industrialización y ha convertido a la industria de la panificación en México en una de las más importantes a nivel nacional. En el presente trabajo se presenta un esbozo general sobre la situación que guarda esta industria en el país.

1.1.8.- INDUSTRIA DE LA PANIFICACIÓN.

A) HISTORIA DEL PAN EN MÉXICO.

En México, la historia del pan está ligada a la conquista española. Los españoles, fueron los que introdujeron el trigo y sus procesos para transformarlo en alimento. En 1524 se inició la producción y transformación del trigo criollo en pan, al principio los hornos y amasijos eran familiares, pero poco a poco se fueron convirtiendo en empresas productoras para el consumo de la población en general. Las mujeres indígenas eran las encargadas de vender los panes en las plazas y mercados. A fines del siglo XVIII, llegan a México los primeros maestros europeos de panadería y pastelería (franceses e italianos), que establecen, talleres donde el jefe de la familia es el maestro y sus hijos los pupilos (**Figura 7**).



Figura 7.- Panadería-taller del siglo XVIII.
Fuente: CANAIMPA, 2009.

El pan en México forma parte de una gran cultura y tradición, por ello, es muy probable que sea el país con mayor variedad de panes, debido al resultado de una fusión cultural indígena, (nahuatl, tolteca, zapoteca, mixteca, otomi, tzetzal, maya, tarahumara, huichol, etc.), y lo que las culturas europeas, principalmente española y francesa lograron heredar al pueblo de México (CANAIMPA, 1999).

B) LA INDUSTRIA DEL PAN EN MÉXICO.

De acuerdo a estimaciones de la Cámara Nacional de la Industria Panificadora y Similares de México CANAINPA, para el año 2009 en el país se tenían identificados 37,844 establecimientos dedicados a la fabricación de productos de panadería, de los cuales el 71% correspondió a las de tipo artesanal o tradicional, el 20% al sector informal, el 9% a las de centros comerciales y el 0.3% a las de tipo industrial (**Figura 8**).

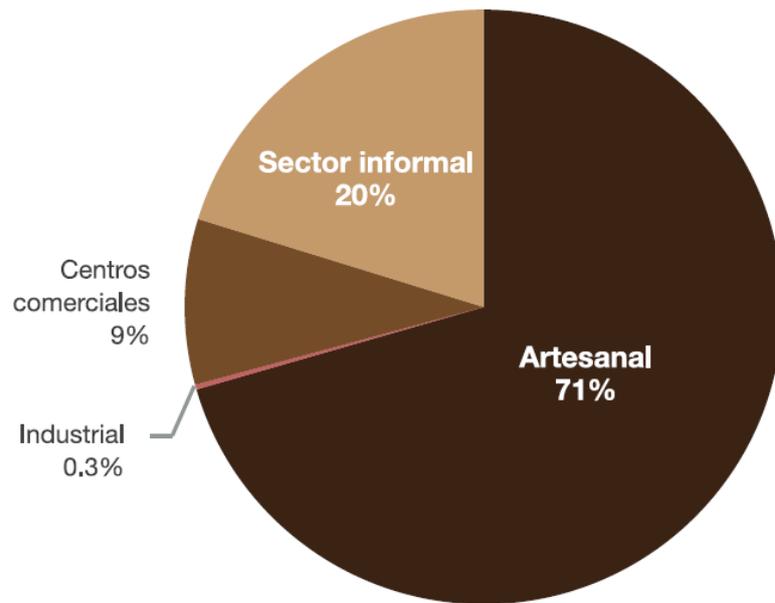


Figura 8.- Tipos de panadería al 2010.
Fuente: CANIMOLT, 2010.

En cuanto al valor de las ventas, CANAINPA estima que el 75% es concentrado por la panadería tradicional, el 14% por la industrial, 8% por los centros comerciales y el 3% restante por el sector informal (CANIMOLT, 2010).

Para Abril de 2012, en México la industria de la panificación contó con 45,528 establecimientos dedicados a elaborar productos de panificación, 44,966 efectuaron el proceso tradicionalmente, mientras que 562 laboraron industrialmente. (SIAP, 2012). Estas cifras indican que la industria de la panificación y sus productos son cada vez más demandados y por lo tanto van en aumento.

La pujante industria de la panificación cuenta con 562 centros de transformación, de los cuales 132 generan pan de caja, tortillas y pastelillos; el resto produce sólo galletas y pastas. A diferencia de las unidades tradicionales, su localización se vincula con la proximidad de los puntos de producción de la materia prima básica, la harina de trigo. Así, la zona Centro del país posee la mayor concentración de industrias: una de cada cuatro se ubica en el Estado de México y el Distrito Federal (SIAP, 2012).

C) TENDENCIAS DE LA INDUSTRIA PANIFICADORA EN MÉXICO.

La industria panificadora va dando pasos, consolidándose más cada día, e introduciendo al mercado productos que estén de acuerdo con el cambio de hábitos alimenticios de la población, sin perder la esencia artesanal y creando productos de panadería funcional.

Actualmente, las personas cuidan más su salud y ponen más interés en su comida, por lo que el pan de fibra tiene demanda, así como otras variedades. Aspectos como la promoción y la innovación de productos han impulsado las ventas del sector, pero también han influido las condiciones climáticas, ya que las lluvias y el frío hacen que el público consumidor demande más productos.

D) CONSUMO.

Entre los alimentos básicos en la dieta de los mexicanos, los elaborados a partir de trigo ocupan un lugar privilegiado, semanalmente se consume prácticamente un kilo de pan dulce, pan blanco y de tortillas de harina de trigo por cada hogar mexicano. Son también usuales en el consumo semanal los pasteles, pan de caja, galletas y pastas (SIAP, 2012).

Dentro de la gama de productos de panificación, los panques se clasifican como pasteles o pastelillos y en este rubro son los más consumidos. Dado su consumo y el tipo de producto desarrollado, en el presente trabajo es necesario describir más a fondo a los panques.

1.2.- PANQUES.

1.2.1.- ORIGEN E HISTORIA.

Los panques o panquecitos, también conocidos como magdalenas o muffins, tienen origen en Inglaterra, y hay referencias a ellos en recetarios desde 1703. Su nombre deriva de la palabra original *moofin*, cuyo origen puede deberse a una adaptación de la palabra francesa "*moufflet*" (pan suave). El pequeño pastel se consumía preferiblemente en desayunos o como colación, y en el transcurso del

tiempo se fueron incluyendo varios sabores como los de fruta seca o fresca, especias y chocolate.

Las magdalenas o *madeleines* son de origen francés, particularmente originarias de la ciudad de Lorena, súbdita del rey polaco Stanislas Leszczyński, cerca del año 1750. Fue éste monarca quién descubrió la preparación de manos de una campesina, y le gustó tanto que le puso el nombre de la muchacha: Madeleine. Pronto este pastelito llegó a la corte de Versalles y cautivo París. En México para el siglo XIX, la repostería francesa llegó al país, mucho antes de la segunda intervención francesa a México (1862 a 1867), para este periodo la repostería francesa estaba consolidada, entre ellas las magdalenas, donde los panaderos mexicanos aportaron un estilo a las magdalenas europeas creando así los populares panques (Sabores del jardín, 2010).

1.2.2.- DEFINICIÓN.

La **NOM-247-SSA1-2008** define a los panques de la siguiente manera:

Pastel o Panque: Producto que se somete a batido y horneado, preparado con harinas de cereales o leguminosas, azúcares, grasas o aceites, leudante y sal; adicionada o no de huevo y leche, crema batida, frutas y otros ingredientes opcionales y aditivos para alimentos.

Cabe mencionar que este tipo de productos entran en la clasificación de productos de panadería industrial o productos de panadería tradicional.

1.2.3.- CONSUMO Y VENTAS.

Como se mencionó antes, los panques se clasifican como pasteles o pastelillos y en este rubro son los más consumidos, estos son ingeridos en el desayuno o merienda (Énfasis alimentación, 2009), con un promedio de 722 gramos por persona a la semana (SIAP, 2012), y también son los más populares entre los envasados de elaboración industrial. Sus ventas superan el 20% del total en ventas por pasteles y pastelillos (Énfasis alimentación, 2009).

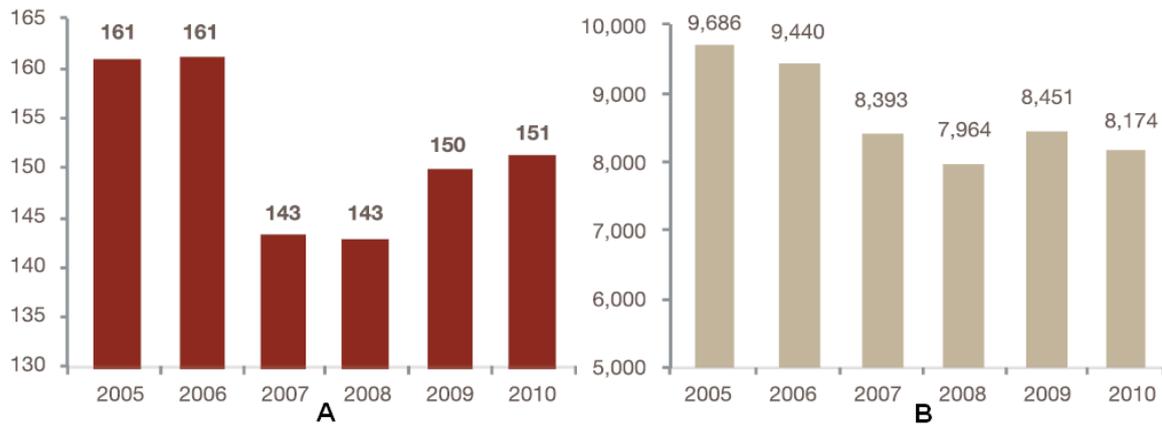


Figura 9.- (A) Volumen de las ventas de pasteles y pastelillos (miles de toneladas del periodo 2005 a 2010) y (B) Valor de las ventas de pasteles y pastelillos (millones de pesos del periodo 2005 a 2010).

Fuente: Énfasis alimentación, 2009.

El volumen de las ventas de pasteles y pastelillos presentó una importante caída en el año 2007 (**Figura 9A**), aspecto que fue influenciado por el alza en los precios del trigo que en 2007 comenzaron su trayectoria ascendente y alcanzaron el punto más alto en 2008.

Durante 2010 el volumen de ventas representó un muy pobre incremento de apenas el 1% con respecto al 2009 (**Figura 9B**). Sin embargo, este nivel no permitió recuperar las ventas que se tuvieron en 2005 y 2006.

Por otra parte, el valor de las ventas en 2010 fue de 8,174 millones de pesos, lo que representó una disminución real del -3.3% con relación al año 2009. Es importante señalar que en esta información no se incluyen las panaderías tradicionales o artesanales (CANIMOLT, 2010).

En materia de precios, los panes y pasteles muestran un comportamiento atípico, pues su incremento en el precio casi nunca se refleja en una reducción del volumen de ventas. Esto se debe a que la población mexicana tiene la costumbre de consumir pan y pasteles para todo tipo de celebración (Énfasis alimentación, 2009). A futuro, se prevé que la oferta de panes y pasteles siga en aumento, en especial por parte de las grandes firmas que buscan captar más clientes mediante nuevos productos y modernos empaques (Énfasis alimentación, 2009).

1.2.4.- CARACTERÍSTICAS.

Los panques presentan una base cilíndrica y por lo regular una copa más ancha en la parte superior, con forma de hongo y aunque su tamaño puede variar, presentan un diámetro inferior al de la palma de la mano de una persona adulta. Estos tienen una corteza delgada, de color café-oro uniforme. Los agujeros en el migajón deben ser redondos y de tamaño mediano y las paredes de las células muy delgadas (**Figura 10A**). Entre más óptimo sea el batido, más pequeñas son las células del gas y más delgadas las paredes. El panque debe ser ligero y el migajón suave. Las características de un panque batido en exceso son bajo volumen, el migajón grueso, la parte alta plana y manchas color café sin disolverse (**Figura 10B**) (Charley, 2009).

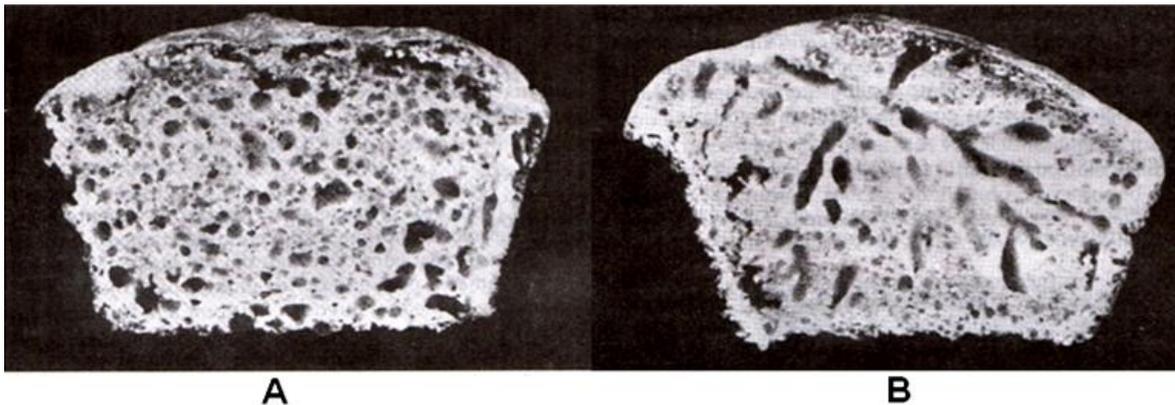


Figura 10.- Estructura del migajón de los panques, batido óptimo en la imagen A y batido excesivo en la imagen B.

Fuente: Charley, 2009

1.2.5.- INGREDIENTES PARA LA ELABORACIÓN DE PANQUES.

INGREDIENTES PRINCIPALES:

✓ **Harina:**

La harina le da a los batidos y masas su estirabilidad o elasticidad, una característica que las hace retener el gas o los gases esponjantes. La harina también contribuye con la estructura y rigidez a los productos horneados. Esta

rigidez se debe, en el caso de la harina de trigo, al gluten, que se coagula por el calor y al almidón que se gelatiniza. Las harinas difieren en la cantidad y calidad del gluten que producen y esto a su vez, afecta la capacidad para fijar o mantener la humedad.

✓ **Agua:**

Un ingrediente líquido es esencial para disolver el azúcar, la sal así como el bicarbonato y el ácido del polvo de hornear. En el agua, el bicarbonato y el ácido se ionizan, luego de lo cual, pueden reaccionar para liberar bióxido de carbono. El agua hidrata la proteína de la harina, un paso preliminar para la formación del gluten. También hidrata al almidón para hacer posible la gelatinización del mismo durante el horneado. El agua convertida en vapor también sirve como agente leudante.

✓ **Sal:**

La sal se utiliza en los pasteles rápidos para mejorar su sabor pero también influye en la velocidad y el grado de hidratación de la harina (Charley, 2009).

✓ **Leudante:**

La cantidad de agente leudante empleada en la elaboración de pasteles o pastelillos tales como el panque, tiene un efecto significativo en el volumen y la calidad del producto. Los productos derivados de pasteles que no contienen leudante tienden a ser bajos de volumen y a presentar una estructura cerrada y densa. Inicialmente cuando se aumenta la cantidad de impulsor gasificante, el pan aumenta y se incrementa la estructura de la miga. Llegado el momento se consigue alcanzar el máximo volumen posible, por lo cual se aumenta la cantidad de agente leudante, hasta llegar a un punto en donde el producto colapsa o se derrumba, cayendo el volumen y la estructura de la miga empieza a presentar un aspecto tosco y abierto. El factor decisivo en el uso del agente leudante es la proporción a la cual es liberado el dióxido de carbono. La concentración a la cual el dióxido de carbono es liberado depende de varios factores, entre ellos la temperatura de la masa batida. Un factor significativo en el control de esta proporción es el tamaño de partícula de los componentes, tanto el ácido como el bicarbonato y la elección del acidulante. Es importante asegurarse de que los

componentes del agente leudante son capaces de reaccionar por completo. Si el tamaño de partícula es demasiado grosero, entonces no sólo se producirá una pérdida de dióxido de carbono por una reacción incompleta, sino que podemos encontrar también restos de material que no han reaccionado. Por lo tanto, la naturaleza del acidulante es uno de los factores más importantes para controlar la proporción en la evolución del dióxido de carbono.

✓ **Grasa:**

La grasa se incluye en los batidos y masas para ablandar el producto. Realiza esto en parte, repeliendo el agua de las partículas de la harina. Ello limita la capacidad con la que se desarrolla el gluten. La grasa también lubrica el gluten en bandas ya formadas y les permite deslizarse unas sobre otras más fácilmente.

✓ **Azúcar:**

Además de la función de contribuir con la dulzura, el azúcar se incluye en los batidos y masas porque también contribuyen a la suavidad de los productos horneados. El azúcar disminuye la captación del agua de la harina e interfiere en esa forma con el desarrollo del gluten, aunque en menor grado, en comparación con la grasa. El azúcar también sirve como un medio para incorporar aire en la grasa y en el batido. Una razón más del porque incluir azúcar a este tipo de productos, es que ayuda en el tostado. El color es atribuido a una serie de reacciones entre los azúcares reducidos y las proteínas. En ausencia de azúcares, el color se da por la dextrinización del almidón.

✓ **Huevo:**

El huevo batido sirve como medio de incorporación de aire en los batidos y masas. El huevo contiene proteína, la cual contribuye a la elasticidad del batido y a la estructura del producto horneado como los panques o muffins. La yema de huevo contiene un material graso que puede unir o emulsificar dos líquidos incompatibles, el agua y la grasa derretida (Charley, 2009).

PRINCIPALES ADITIVOS ALIMENTARIOS USADOS:

En el rubro de aditivos para panificación, se encuentran diversos y muy variados ingredientes funcionales, en este apartado se hace mención a los más importantes.

✓ Saborizantes:

Son sustancias aromáticas de origen natural o artificial, con o sin diluyentes inocuos que se adicionan para proporcionar o intensificar olor y sabor a los productos a los que se incorporan.

✓ Edulcorantes:

Son aquellos utilizados para dar sabor dulce a los alimentos y se pueden clasificar en naturales y artificiales. Los naturales se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza como componentes propios de algunos vegetales y frutos, de donde pueden ser extraíbles por procesos de solución y cristalización y están constituidos por mono, di y oligosacáridos como la glucosa, sacarosa, lactosa, etc. Los artificiales o sintéticos se utilizan para reforzar el sabor dulce en los alimentos como complemento de los naturales o por si solos, ya que poseen un fuerte sabor dulce a concentraciones muy bajas. Como ejemplo de edulcorantes artificiales se puede mencionar al acesulfame K, aspartame y la sucralosa, todos ellos aplicados a productos bajos en calorías.

✓ Emulsificantes:

Son sustancias que permiten la formación y estabilización de la dispersión de dos o más sustancias que no son miscibles y se les hace referencia con varios nombres como surfactantes, suavizantes de corteza, agentes antiendurecimiento y acondicionadores de masa. Los emulsificantes producen suavidad a las masa facilitando su trabajo en las máquinas amasadoras, suavizan la miga dando textura más uniforme y mayor volumen al producto final, ayudan a retener mejor el gas obtenido de la fermentación por leudantes o gasificantes (CO₂), y finalmente ayudan a incorporarse de manera uniforme a las grasas y a los líquidos de la formulación evitando la separación de los mismos aun y cuando las masas o batidos permanezcan por algún tiempo en reposo (Buitrón, 2006).

Acondicionadores o mejoradores de masa:

La acción principal de estos emulsionantes es la de reforzar la masa haciéndola más tolerante a todos los esfuerzos a que se somete durante su paso por las máquinas, transportación, transferencias, etc.; hasta su llegada al proceso de horneado. Al mejorar el comportamiento de la masa se favorece una mejor retención de gas, que se hace patente sobre todo en la entrada al horno. Como consecuencia se obtienen productos de mayor volumen, con miga más fina y uniforme. Los efectos que tienen los emulsionantes es que mejoran las propiedades físicas de los productos cocidos. Para todos ellos se observa siempre una mejora del volumen del producto que se explica por una mejora en la captación de aire durante el amasado, un retardo en la gelificación, provocando el tiempo en que la masa se mantiene deformable y favoreciendo su expansión.

Lecitina:

Sus propiedades como emulsionante, humectante y antioxidante tienen aplicación en panadería, mejorando la tolerancia del amasado favoreciendo la retención de gas, mejorando la dispersión de otros emulsionantes y de las grasas en formulas ricas, evitando la oxidación excesiva de la masa. Su empleo está indicado en procesos no intensivos, procesos artesanos de fabricación lenta y los industriales de fermentación prolongada. No deteriora el aroma y el sabor del producto terminado y mantiene una coloración crema de la miga muy natural (Tejero, 1996).

✓ *Espesantes y gelificantes:*

Se tienen principalmente a las gomas naturales o hidrocoloides, los cuales son polisacáridos y proteínas que se usan mucho actualmente, en soluciones acuosas, estabilizando espumas, emulsiones, dispersiones (Buitrón, 2006). Existen una gran variedad de gomas aplicadas a panificación, pero una de las más aplicables a los panques o pastelillos es la goma guar.

La goma guar es un polímero comestible encontrado en las semillas de la planta leguminosa bianual *Cyamopsistetragonalobus* y psolaroides. En mezclas para panificación, esta goma ofrece las ventajas de que el mezclado se haga en un solo paso, reducir el tiempo de batido, menor tendencia a desprender miga en el producto terminado, ayuda a la retención de agua en vida de anaquel prolongada

(Industria Alimentaria, 1987), esto provoca que también sea desmoldable el producto y proporciona una textura más suave (Buitrón, 2006).

✓ **Otros aditivos:**

Ácido ascórbico:

Este ácido también conocido como vitamina C, constituye una ayuda versátil para la elaboración del pan actuando como:

Agente oxidante, cuando la etapa de amasado se realiza en presencia de oxígeno.

Agente reductor, cuando la etapa de amasado se realiza sustancialmente en ausencia de oxígeno. Esto ocurre cuando los procesos de amasado son continuos (Schuler, 1985). El uso de ácido ascórbico produce los siguientes efectos sobre la masa y el pan: aumenta la tenacidad y la elasticidad de la masa, aumenta la capacidad de absorción de agua de la masa, mejora el volumen de pan y sus características (color de corteza más claro y brillante, miga más blanca y de alveolado más uniforme). La cantidad a agregar depende del tipo de harina, tipo de masa y el tipo de amasadora (Specher, 2005).

Por otra parte, un problema importante del consumo de trigo y sus derivados, entre ellos los panques elaborados a partir de este cereal, es que las personas intolerantes al gluten o celíacas no los pueden consumir. Este padecimiento en nuestro país es mayoritariamente desconocido, pero las personas que lo padecen, tienen problemas con su dieta porque existen en el mercado pocos productos para ellas y los que existen no son cien por ciento confiables. Es por ello que en el presente trabajo se pretende elaborar un producto para celíacos y a continuación se explica con mayor detalle que es esta enfermedad.

1.3.- LA ENFERMEDAD CELÍACA.

1.3.1.- DEFINICIÓN.

La enfermedad celíaca (EC), conocida también como esteatorrea idiopática, esprue no tropical y enteropatía por sensibilidad al gluten (Coello *et al.*, 1988), es un proceso autoinmune que consiste en una intolerancia permanente a las

proteínas del gluten. Se presenta en individuos genéticamente predispuestos y se manifiesta con una lesión grave de la mucosa del intestino delgado superior, lo que favorece una mala absorción de nutrientes (Polanco, 2008).

1.3.2.- ANTECEDENTES

La primera descripción de la enfermedad, tanto en la infancia como en los adultos, aparece en la segunda mitad del siglo II a.C. por el médico Aretaeus de Capadocia. Sus trabajos fueron editados y traducidos por Francis Adams en 1856. Cuando describían a este tipo de personas, aplicaban la palabra griega *koliakos*, de la cual se deriva la palabra celíacos que significa: *Aquellos que sufren del intestino* (Asociación de celíacos de Madrid, 2007).

En la **Tabla 3** se pueden observar las diversas aportaciones que se fueron dando a través del tiempo.

Tabla 3.- Antecedentes de la enfermedad celíaca.

FECHA	INVESTIGADOR	APORTACIONES
Siglo II a.C.	Aretaeus de Capadocia	Primera descripción clásica de la enfermedad celíaca.
1856	Francis Adams	Traducción de los trabajos de Aretaeus de Capadocia.
1888	Samuel Gee	Segunda descripción clásica de la enfermedad celíaca.
1908	Herter	Mejor tolerancia de las grasas por los enfermos celíacos.
1921	Sir Frederick Still	Describe los efectos dañinos del pan en la enfermedad celíaca.
1938	Hass	La ingesta de algunos carbohidratos producía efectos adversos a los celíacos.
1950	Dicke	La sustitución de trigo, centeno y avena por harinas de arroz y maíz, así como almidones de maíz provoca la reaparición del apetito y mejora en la absorción de grasas en niños celíacos.
1950	Charlotte Anderson	Confirmación de la teoría de Dicke por medio de la extracción del almidón y otros componentes de la harina de trigo, encontrando que el gluten era la parte dañina, se establece la base del tratamiento, una dieta sin gluten.
1950	Paulley	Al operar un paciente celíaco, descubre alteraciones a la mucosa del intestino delgado, al analizarla, descubre la pérdida de vellosidades del mismo, hecho que provoca la mala absorción de nutrientes. Este hecho permitió el diagnóstico de la enfermedad celíaca.

Fuente: Asociación de celíacos de Madrid, 2007.

1.3.3.- PANORAMA MUNDIAL Y NACIONAL DE LA ENFERMEDAD CELÍACA (EPIDEMIOLOGÍA).

A) PANORAMA MUNDIAL.

La frecuencia de la enfermedad celíaca es difícil de precisar, pues varía de unos países a otros, pero en contra de lo que se pensaba hace unos años, hoy se sabe que es un trastorno bastante común. Entre los estudios realizados en Europa destaca el número total de casos el cual es de 5.4 por 1000 personas (0.54% de prevalencia), dato muy probablemente aplicable a un amplio sector de la población mundial, con una minoría de casos diagnosticados clínicamente y una gran mayoría que permanece sin diagnóstico, lo cual determina un “iceberg celíaco” (Chávez, 2010).

En la **Tabla 4** se informa acerca de la prevalencia de la enfermedad celíaca en algunos países de Europa.

Tabla 4.- Prevalencia celíaca en algunos países de Europa.

PAIS	POBLACIÓN	PREVALENCIA (%)
Finlandia	6,554 estudiantes, (7 a 16 años)	1
Alemania	3,004 niños, (5 a 12 años)	0.2
Italia	17,201 estudiantes, (6 a 15 años)	0.5
Holanda	6,127 niños, (2 a 4 años)	0.5
España	3,378 estudiantes	0.3 a 0.45
Suiza	1,450 estudiantes, (12 a 18 años)	0.7

Fuente: Chávez, 2010.

La mayor prevalencia de la enfermedad celíaca se sitúa en África, en el Sahara, con una prevalencia de 5.6%, casi diez veces mayor que la reportada en poblaciones europeas. En Egipto, existe una prevalencia del 0.78%. En Oceanía la prevalencia es similar a la de países europeos; estudios en Nueva Zelanda informan que ésta alcanza 1.2%. En el pasado se consideraba que la enfermedad celíaca era menos frecuente en Norteamérica que en Europa; sin embargo en base a estudios se halló que 1 de cada 105 adultos y 1 de cada 320 niños

presentaba enfermedad celíaca, siendo la frecuencia total que 1 de cada 133 norteamericanos la padece. En Sudamérica la enfermedad celíaca se encuentra en países como Argentina y Brasil y se estima que la prevalencia de la enfermedad es de 0.54% en niños de Brasilia y una frecuencia de 1:167 en población adulta de Argentina (Chávez, 2010).

B) PANORAMA NACIONAL.

Hasta el momento ha sido limitada la información con la que se cuenta en México para determinar la frecuencia de la EC, tradicionalmente considerada una entidad poco común en el país. Los resultados de los estudios latinoamericanos difícilmente pueden ser extrapolados a la población mexicana en razón de la gran diversidad étnica y alimentaria. La población mexicana está constituida principalmente por mestizos, es decir, individuos que tienen 56% de genes nativos indio-americanos, 40% de genes de raza blanca y 4% de genes africanos. 1009 adultos que acudieron como donadores de sangre al Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán en la Ciudad de México; 65% eran originarios de la capital y el resto de alguna ciudad o población del interior de la república. Se determinó que 1 de cada 37 donantes presento valores positivos de enfermedad celíaca, determinando la prevalencia en el 2.7% de la población mexicana, hallazgo que traduce que la prevalencia de la EC en México puede considerarse equiparable a la de países como Finlandia y regiones como el Sahara. Los autores consideran que a pesar de que los donadores de sangre no constituyen una muestra totalmente representativa de la población general (se trata de individuos seleccionados), la prevalencia de la EC en México puede ser mucho más elevada de lo que se considera (Chávez, 2010).

1.3.4.- PATOGÉNESIS

Existen varios factores que participan en la patogenia de la enfermedad celíaca, los cuales se describen a continuación.

A) FACTORES GENÉTICOS.

La existencia de factores genéticos en la enfermedad celíaca, se apoyan en la evidencia de que los padres y hermanos de un paciente tienen mayor riesgo que la población general, heredándose la enfermedad de manera poligénica (Asociación de celíacos de Madrid, 2007).

B) FACTORES AMBIENTALES.

El gluten, presente en el trigo, es utilizado como genérico para referirse a las proteínas desencadenantes de la enfermedad. Sin embargo, otras proteínas, como las hordeínas y las secalinas presentes en la cebada y el centeno, respectivamente, también son ricas en glutamina y prolina, lo cual determina una difícil digestión en el tracto digestivo superior, debido a la ausencia de enzimas con actividad prolil-endopeptidasa. La digestión incompleta de estas proteínas, conduce a la acumulación de péptidos grandes, de hasta cincuenta aminoácidos en el intestino delgado. Entre éstos, destaca la gliadina, integrante del gluten, y sus isoformas gamma y alfa se consideran causantes de la patogenia de esta enfermedad (Herrera *et al.*, 2009). Entre los factores ambientales, aparte del gluten, que pueden desempeñar un cierto papel en el desencadenamiento y/o aparición de la enfermedad celíaca hay que señalar la lactancia materna, que en general retrasa (aunque no previene) la aparición de la enfermedad, la edad en que se introducen en la alimentación los alimentos con gluten, ciertas infecciones intestinales o los viajes a países tropicales o subdesarrollados (Rodrigo *et al.*, 2008).

C) MECANISMO PATOLÓGICO DE LA ENFERMEDAD CELÍACA.

La enfermedad celíaca es el resultado de la interacción entre factores genéticos y ambientales, expresándose en individuos genéticamente susceptibles mediante una respuesta inmune inadecuada frente a péptidos derivados de prolaminas de trigo, cebada, centeno y, probablemente, también de avena (Chirido *et al.*, 2005).

Cuando se induce la ingesta de gluten, la gliadina es la fracción soluble en alcohol del gluten que contiene la mayor parte de los productos tóxicos. Las moléculas de

gliadina no digeridas, tales como la fracción alfa, que contiene 33 aminoácidos, son resistentes a la degradación por el jugo gástrico, pancreático e intestinal (Rodrigo *et al.*, 2008).

Las gliadinas atraviesan la barrera epitelial del intestino al aumentar la permeabilidad de la mucosa, el motivo porqué cruzan la barrera intestinal se da como una respuesta inmune innata, es decir, se ejerce un papel de defensa contra patógenos (gliadinas) en los predispuestos o ya enfermos celíacos; por lo tanto, los péptidos de las gliadinas interaccionan con estructuras en el epitelio intestinal e incrementan la permeabilidad por una inducción de genes de moléculas pro-inflamatorias en individuos predispuestos genéticamente.

Una vez que las gliadinas atravesaron la barrera epitelial, se sitúan en la *lámina propia*, la transglutaminasa tisular, el autoantígeno en la enfermedad celíaca, desamina las glutaminas de las gliadinas, produciendo secuencias detectables por el sistema inmune, llamadas epítopes. Estos se unen mejor que las gliadinas nativas a los antígenos leucocitarios de histocompatibilidad (HLA) del tipo DQ2 o DQ8, presentes en la superficie de las células presentadoras de antígenos de las personas predispuestas a la enfermedad. Estas células tienen dichos epítopes a las células T que proliferan, produciendo citocinas, que inducen el proceso inflamatorio, con la consiguiente falla en la permeabilidad de la mucosa, que permitirá el ingreso de las gliadinas a la *lámina propia* e induciendo en las células B la producción de anticuerpos, tanto contra las gliadinas como contra la propia transglutaminasa tisular del enfermo celiaco (Calderón, 2009).

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; provocando 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 (Garduño, 2009).

1.3.5.- MANIFESTACIONES CLÍNICAS.

La enfermedad celíaca se clasifica en clásica y no clásica, de acuerdo a su presentación clínica, incluyendo dentro de la no clásica la forma silenciosa o silente y latente. La forma clásica se caracteriza por la presencia de manifestaciones clínicas e histológicas; la silente por la presencia de lesiones histológicas en ausencia de manifestaciones clínicas, y la forma latente por la presencia de anticuerpos positivos, en ausencia de lesiones intestinales y manifestaciones clínicas. La mayoría de los pacientes presenta la forma silente, siendo esta la causa principal del subdiagnóstico de la enfermedad (Herrera *et al.*, 2009).

A) FORMA TÍPICA O CLÁSICA DE LA ENFERMEDAD CELÍACA.

El espectro clínico de la enfermedad celíaca en los niños es amplio, en los niños la forma típica de la enfermedad celíaca es caracterizada por manifestaciones gastrointestinales (**Tabla 5**) que comienzan desde los 6 a los 24 meses de edad, después de la ingesta de gluten en la dieta. Los infantes y los niños jóvenes presentan discapacidad para crecer, diarrea crónica acuosa, una marcada distensión abdominal, desgaste muscular e hipotonía así como deshidratación electrolítica, hipotensión, letargo, bajo apetito y su comportamiento de estos es triste. Dentro de semanas o meses de comenzar a ingerir gluten, hay un decremento en la velocidad de ganancia de peso (Arendt y Dal Bello, 2008).

Tabla 5.- Manifestaciones clínicas típicas de la enfermedad celíaca.

SÍNTOMAS TÍPICOS DE LA ENFERMEDAD CELÍACA
<ul style="list-style-type: none"> ● Diarrea crónica ● Distensión abdominal ● Desnutrición ● Anorexia

Fuente: Santolaria y Fernández, 2012.

B) FORMA ATÍPICA O NO CLÁSICA DE LA ENFERMEDAD CELÍACA.

La forma atípica de la enfermedad celíaca es usualmente vista en niños más grandes, los síntomas pueden ser intestinales e incluso extraintestinales (**Tabla 6**), en los síntomas intestinales, puede existir dolor recurrente abdominal, defectos en el esmalte dental, estomatitis aftosa recurrente y constipación así como fatiga crónica (Arendt y Dal Bello, 2008).

Tabla 6.- Manifestaciones clínicas atípicas de la enfermedad celíaca.

SÍNTOMAS ATÍPICOS DE LA ENFERMEDAD CELÍACA	
<i>Digestivos (intestinales)</i>	<i>Extradigestivos (extraintestinales)</i>
<ul style="list-style-type: none"> ● Dispepsia ● Dolor abdominal ● Vómitos ● Pirosis y regurgitación ● Diarrea crónica ● Síndrome de intestino irritable con predominio de diarrea 	<ul style="list-style-type: none"> ● Anemia ferropénica ● Osteopenia u osteoporosis ● Dermatitis herpetiforme ● Hiperqueratosis folicular ● Erupciones cutáneas <ul style="list-style-type: none"> ● Aftas bucales ● Hipertransaminasemia ● Insuficiencia pancreática exocrina <ul style="list-style-type: none"> ● Astenia ● Irritabilidad ● Ansiedad ● Depresión ● Miopatía proximal <ul style="list-style-type: none"> ● Parestesias <ul style="list-style-type: none"> ● Tetania ● Cefaleas ● Epilepsia ● Ataxia cerebelosa ● Neuropatía periférica ● Alteraciones en el esmalte dental <ul style="list-style-type: none"> ● Infertilidad ● Abortos recurrentes <ul style="list-style-type: none"> ● Amenorrea ● Hipoesplenismo

Fuente: Santolaria y Fernández, 2012.

1.3.6.- DIAGNÓSTICO.

La biopsia del intestino delgado sigue siendo el estándar de oro para el diagnóstico de la enfermedad celíaca, actualmente las pruebas serológicas de

anticuerpos IgA anti-gliadinas y antitransglutaminasa pueden ser muy útiles. Se recomienda además cuando los títulos para estos anticuerpos sean altos, el análisis de haplotipos y la verificación de que los síntomas desaparezcan con una dieta libre de gluten. Sin embargo no es raro que los enfermos celíacos sean deficientes en anticuerpos IgA, por lo que no se puede evitar el análisis histológico.

En la biopsia intestinal, la morfología típica de la enfermedad celíaca se da con aplanamiento de las vellosidades (**Figura 11**). Se considera una mucosa normal cuando la relación de la altura de las vellosidades y la profundidad de las criptas está entre 5:1 y 3:1. La mucosa se puede observar engrosada por hiperplasia de las criptas y se observa infiltración de linfocitos y células plasmáticas de la lámina propia (**Figura 11**). Estas anomalías, así como los síntomas antes descritos desaparecen al abstenerse de ingerir gluten en la dieta (Calderón, 2009).

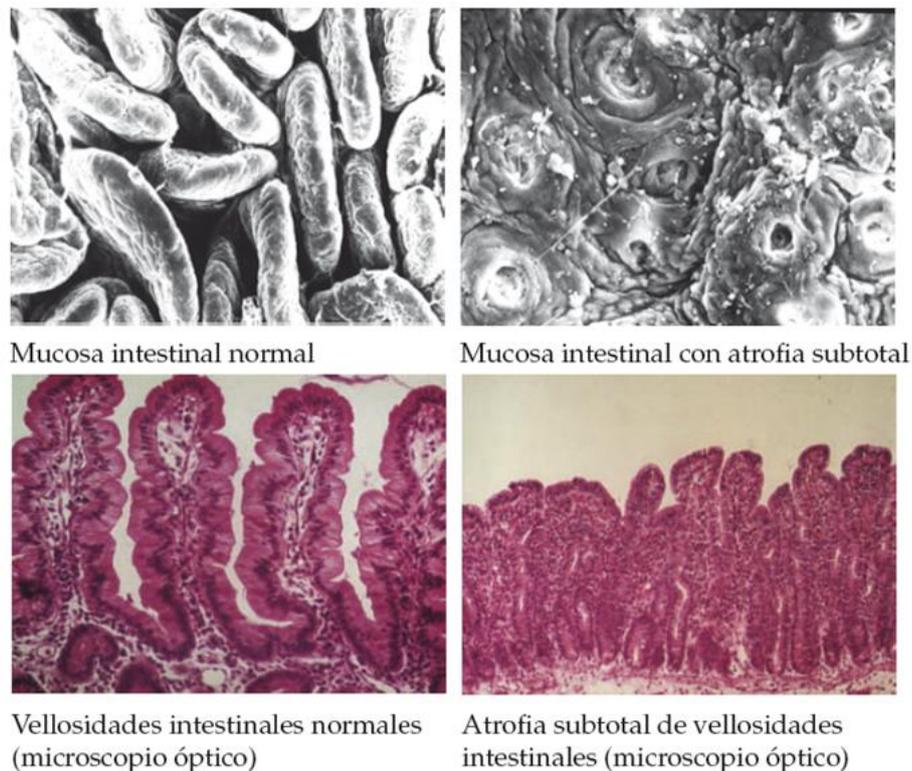


Figura 11.- Mucosas y vellosidades intestinales normales y con atrofia por presencia de gluten.

Fuente: Asociación de celíacos de Madrid, 2007.

1.3.7.- TRATAMIENTO.

En la actualidad, el único tratamiento efectivo para la EC es la exclusión total del gluten de la dieta. El cumplimiento estricto de la dieta conduce, en la mayoría de los casos, a una rápida y completa recuperación de la mucosa intestinal, remisión de los síntomas y negativización de los marcadores serológicos en pocos meses (Chirido *et al.*, 2005).

Dentro de los avances en cuanto a nuevos tratamientos, está el uso de una endopeptidasa bacteriana, una enzima capaz de digerir completamente los péptidos de las proteínas del gluten responsables de la respuesta inmunológica adversa en los celíacos, así como proponer modificaciones tecnológicas a las harinas o masas de trigo modificando sus proteínas para no tener dificultad con los enfermos celíacos (Calderón, 2009).

1.3.8.- LA DIETA SIN GLUTEN.

La dieta exenta de gluten supone supresión en el consumo de todos aquellos productos que contienen **harinas de trigo, cebada, centeno y avena**. En el caso específico de la avena, no existe unanimidad en cuanto a considerar a la avena una proteína segura para el sujeto celíaco, por eso, la recomendación más generalizada es el evitar su consumo, ya que, su contenido en prolaminas es muy inferior al de los otros tres cereales citados.

Se consideran alimentos que de forma natural están exentos de gluten a aquellos que no contienen ninguna de las prolaminas tóxicas en su composición, sin que haya mediado ninguna manipulación técnica. Este tipo de productos son los más aptos para la dieta del sujeto celíaco, ya que en principio son los más seguros. En cuanto a los alimentos prohibidos, son todos aquellos elaborados a partir de las harinas tóxicas, excepto los elaborados especialmente para dietas sin gluten y todos aquellos productos de la industria alimentaria a los que se ha incorporado algunas de las harinas o directamente alguna de las prolaminas tóxicas en el proceso de elaboración (Polanco, 2008).

✓ **Normatividad.**

El **Codex Alimentarius** establece, como límite máximo de contenido en gluten para que un producto sea considerado sin gluten, 20 ppm (mg/kg) para los alimentos naturalmente exentos de gluten y 200 ppm (mg/kg) para los alimentos elaborados con almidón de trigo. Esta normativa está actualmente en revisión, por el hecho de que se desconoce qué cantidad máxima de gluten puede consumir un paciente celíaco sin perjuicio para su salud, así como por la evidencia de que determinados sujetos presentan manifestaciones clínicas graves tras la ingesta de mínimas cantidades de esta proteína. Por ello, el objetivo ideal es la elaboración de productos completamente exentos de gluten (Polanco, 2008).

✓ **Dificultad para el cumplimiento de una dieta exenta de gluten.**

Aunque, en teoría, la dieta sin gluten parece sencilla, en la práctica representa un reto para los enfermos celíacos debido a posibles situaciones que van a dificultar su seguimiento (Asociación de celíacos de Madrid, 2007). El cumplimiento de una dieta sin gluten es muchas veces no satisfactorio, debido a la ingesta inadvertida de dicho compuesto por falta de información precisa de los pacientes sobre los productos aptos y errores en la identificación de los productos comerciales y a un espectro limitado de productos libres de gluten apetecibles que hacen poco atractiva la dieta a largo plazo y al costo elevado de los productos, esto hace que muchos pacientes encuentren difícil sobrellevar la dieta libre de gluten en forma estricta (Chirido *et al.*, 2005) aunado el elevado precio de los productos especiales “sin gluten” que es desorbitado frente a sus análogos con gluten (Asociación de celíacos de Madrid, 2007). En la **Tabla 7** se da un listado de alimentos en base a su contenido en gluten.

Tabla 7.- Clasificación de alimentos en función a su contenido de gluten.

SIN GLUTEN	CON GLUTEN	PUEDA CONTENER GLUTEN
<ul style="list-style-type: none"> ● Leche y derivados: quesos, requesón, nata, yogures naturales y cuajada. ● Todo tipo de carnes y vísceras frescas, congeladas y en conserva al natural, cecina, jamón serrano y jamón cocido calidad extra. ● Pescados frescos y congelados sin rebozar, mariscos frescos, y pescados y mariscos en conserva al natural o en aceite. ● Huevos. ● Verduras, hortalizas y tubérculos. ● Frutas. ● Arroz, maíz y tapioca así como sus derivados. ● Todo tipo de legumbres. ● Azúcar y miel. ● Aceites y mantequillas. ● Café en grano o molido, infusiones y refrescos. ● Toda clase de vinos y bebidas espumosas. ● Frutos secos naturales. ● Sal, vinagre de vino, especias en rama y grano y todas las naturales. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Pan y harinas de trigo, cebada, centeno y avena. ● Productos manufacturados en los que en su composición figure cualquiera de las harinas ya citadas y en cualquiera de sus formas: almidones, almidones modificados, féculas, harinas y proteínas. ● Bollos, pasteles, tartas y demás productos de pastelería. ● Galletas, bizcochos y productos de pastelería. ● Pastas italianas (fideos, macarrones, tallarines, etc.) y sémola de trigo. ● Bebidas malteadas. ● Bebidas destiladas o fermentadas a partir de cereales: cerveza, agua de cebada, algunos licores, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Yogures de sabores y con frutas o mermeladas. ● Embutidos: chorizo, morcilla, etc. ● Productos de charcutería. ● Quesos de untar, en porciones, en lonchas, rallados o de sabores. ● Patés diversos. ● Conservas de carnes. ● Conservas de pescado con distintas salsas. ● Caramelos y gomitas. ● Sucedáneos de café y otras bebidas de máquina. ● Frutos secos fritos y tostados con sal. ● Helados. ● Sucedáneos de chocolate. ● Colorantes alimentarios. ● Mermeladas.

Fuente: Asociación de celíacos de Madrid, 2007.

✓ **Los pseudocereales como alternativa para una dieta exenta de gluten.**

Para llevar una dieta libre de gluten existen varias alternativas, una de ellas es llevar una alimentación variada y equilibrada con alimentos naturales o procesados que no contengan gluten, y una opción son los pseudocereales. Estos granos son también ricos en nutrientes y, por tanto, la incorporación de estos granos sin gluten en la dieta no sólo puede añadir variedad, sino también mejorar su calidad nutricional (Álvarez *et al.*, 2010).

El amaranto es un pseudocereal representativo del país, el cual ya cuenta con la investigación básica y es necesario desarrollar la investigación tecnológica que

conlleve a aumentar su demanda y por lo tanto su producción para poder rescatarlo de manera más rápida. Este falso cereal es libre de gluten y más nutritivo que los cereales verdaderos, por lo tanto puede mitigar parte de la problemática que tienen las personas intolerantes a dicha proteína, además de resolver parte de la problemática nutricional que padece el país. Es por ello que en el apartado siguiente se da una explicación más amplia sobre las bondades y beneficios que brinda el amaranto, en especial su semilla.

1.4.- AMARANTO.

1.4.1.- DEFINICIÓN.

El amaranto es una planta herbácea de la familia Amaranthaceae (**Figura 12**), la cual es de cultivo anual perteneciente al grupo de los pseudocereales (Alejandre y Gómez, 1986). Al amaranto se le atribuye ser un pseudocereal debido a que presenta características tecnológicas similares a las de los granos de cereales (Becerra, 2000), pero botánicamente los cereales son monocotiledones y el amaranto es una dicotiledónea (Alvarez *et al.*, 2010). La palabra amaranto significa inmarcesible, que no se marchita; y viene del griego *Amarantón*, de *a* (sin) y *marainein*; (marchitar, palidecer) (Hernández y Herrerías, 1998).



Figura 12.- Planta de amaranto.

1.4.2.- ORIGEN E HISTORIA.

A) Origen.

El origen de este vegetal es muy discutido, diversos investigadores consideran que por lo menos dos especies de las actualmente más cultivadas como lo son el *A. hypochondriacus* y el *A. cruentus* tuvieron su centro de origen en lo que ahora es México, o por lo menos son originarias de las actuales América del Norte y de la Central, otros declaran que es una planta sudamericana, particularmente importante en el gran reino incaico, este probablemente es el caso de la otra especie, *A. caudatus*, también muy cultivada sobre todo en Perú, Bolivia y norte de Argentina (Reyna, 1993).

Estudios arqueobotánicos realizados en cuevas del valle de Tehuacán en Puebla, cuya falta de humedad hizo posible la conservación de restos vegetales permiten saber que nuestros antepasados cultivaron, desde los cinco a nueve mil años antes de Cristo, una variedad de plantas comestibles, entre ellas el amaranto, que en náhuatl se conocerá como *huauhtli*. Las muestras arqueobotánicas encontradas del *A. hypochondriacus*, son de 500 años antes del descubrimiento de América (Barros y Buenrostro, 1997).

B) Historia.

Probablemente los primeros en utilizar al amaranto como cultivo fueron los mayas, de quienes otros pueblos como los aztecas aprendieron su consumo, para posteriormente legárselos a los incas (Becerra, 2000).

Cuando los españoles llegaron a América, el amaranto o *huauhtli* era uno de los granos más apreciados por los aztecas. Se estima que ellos producían de 15000 a 20000 toneladas por año, además de que formaba parte de los tributos que cobraban a los pueblos sometidos (Becerra, 2000), con lo que se puede deducir, que este grano llegó a representar un verdadero elemento de comercio, con gran valor de cambio. El amaranto era, por lo tanto, un alimento de gran consumo y altamente apreciado. A la vez, los indígenas le atribuían propiedades vigorizantes, afrodisíacas y hasta esotéricas, considerándolo una semilla sagrada, la cual

utilizaban en los rituales de sus ceremonias religiosas politeístas (San Miguel, 2006).

Cultivo, producción y almacenamiento del amaranto.

Hace más de 500 años, antes de que se llevara a cabo la conquista, el grano de amaranto constituía uno de los elementos básicos de la oferta nutricional de los habitantes de Mesoamérica, compitiendo en importancia con el maíz y el frijol. A partir de la información recogida en diversos códices y por lo que se desprende de los vestigios antropológicos estudiados, se sabe ahora que existieron miles de hectáreas dedicadas al cultivo del amaranto (San Miguel, 2006).

La producción y cultivo de amaranto se puede apreciar en el mapa de la **Figura 13**, la cual debió ser importante debido a que en la época de sequía, el amaranto podía desarrollarse cuando el maíz no prosperaba, ya que resiste la falta de humedad.

Lo cultivaron los mayas, los huicholes en Jalisco y los mixtecos y zapotecos en Oaxaca, así como los jovas y los tarahumaras en la Sierra Madre Occidental (Barros y Buenrostro, 1997).

Un método muy original de los antiguos mexicanos para la producción de amaranto y de otras semillas, y que se conserva hasta la fecha como práctica cotidiana en la zona de Xochimilco, es el cultivo por medio de chinampas sobre el lago. Este fue el sistema más productivo de Mesoamérica por su elevada capacidad para soportar una producción agrícola intensiva debido a las condiciones de humedad del suelo blando y a la abundante fertilización orgánica de la chinampa.

El amaranto se almacenaba en unas trojes especiales, con capacidad para dos mil fanegas cada una (aproximadamente 30 a 40 kilogramos cada fanega), que se encontraban en una parte del palacio llamada *petlacalco*. Una de las funciones principales de los gobernantes era almacenar los granos cuando había buena cosecha y administrarla durante los frecuentes años de sequía, para lo cual tenían un mayordomo dedicado especialmente a llevar la contabilidad y a cuidar la reserva de grano en las bodegas (Hernández y Herrerías, 1998).

El amaranto en la alimentación de los antiguos mexicanos.

Entre los platillos que preparaban los antiguos mexicanos comían tamales a base de bledos (amaranto) llamados *oauquiltamalli*. También consumían ciertos potajes hechos a su modo; uno de ellos se llamaba *oauhquilmolli*; elaborado con bledos cocidos, chile amarillo, tomates y pepitas de calabaza o con *chiltecptil* solamente (Alejandro y Gómez, 1986).

Durante el período de sequía interestival, llamado canícula, en los meses de junio y julio, había gran escasez de alimentos, el maíz en grano era muy costoso, era precisamente cuando el cultivo del amaranto resultaba especialmente valioso para los sembradores, ya que podían cosechar y consumir las hojas cocidas o asadas para mitigar el hambre y cubrir sus necesidades alimenticias (Hernández y Herrerías, 1998).

El amaranto como tributo de los pueblos sometidos.

El principal tributo que rendían las 17 provincias pertenecientes al imperio de Moctezuma II eran los amarantos en grano (Mapes, 2010). En la sección de tributos agrícolas, el Códice Mendocino consigna que recibía 28 trojes de maíz, 21 de frijol, 20 de chía y 17 de amaranto. En unidades actuales, estas cifras redondeadas equivalen a ocho mil toneladas de maíz, cinco mil de frijol y de chía, y cuatro mil de amaranto (Hernández y Herrerías, 1998; Barros y Buenrostro, 1997).

El amaranto como semilla ceremonial de los antiguos mexicanos.

El tzoalli.

El consumo de *huautli* estaba muy arraigado entre los aztecas. Era considerado un alimento ritual. Diversas fuentes históricas relatan el uso de esta planta en las ceremonias religiosas.

Con los granos del amaranto se preparaba una harina que se mezclaba con miel de maguey para formar una masa llamada *tzoalli*, con la que se elaboraban figuras e imágenes de deidades utilizadas en diferentes cultos (Becerra, 2000). En aquellos tiempos era común que se hicieran con el *huautli* figuras de dioses así como la figura de Huitzilopochtli (**Figura 14A**); las de Xocotl, Huetzi y Tláloc (**Figura 14B**), dioses acuáticos de las montañas, con los dientes de pepitas de calabaza y los ojos con frijoles llamados *ayocotli* (Hernández y Herrerías, 1998).

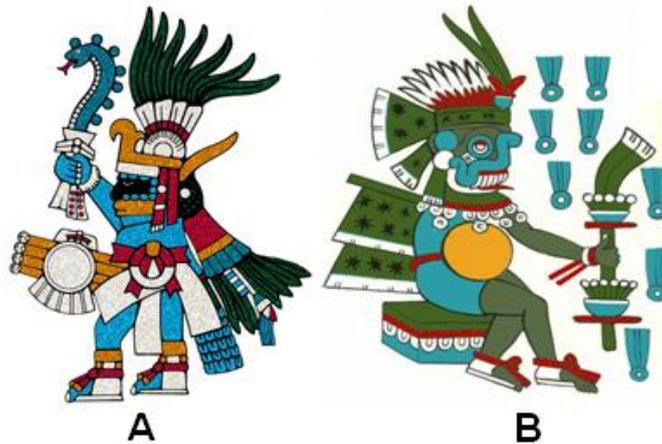


Figura 14.- Huitzilopochtli (A) y Tláloc (B).

El amaranto en la actualidad.

Desde el punto de vista agronómico, el amaranto es un cultivo que prospera en regiones temporales de baja precipitación donde los cultivos básicos tienen poco éxito.

Es muy resistente a la sequía y al calor y requiere menos cantidad de agua. Es un cultivo fácil de establecer y crece vigorosamente, adaptándose a nuevos medios. Lo anterior hace del amaranto una excelente alternativa para la agricultura. Sin embargo, el amaranto como un cultivo marginado presenta ciertas limitaciones, ya que no ha recibido los beneficios del trabajo del fitomejorador.

Los problemas principales que presenta el cultivo son: obtención de una baja producción, las plantas presentan acame, los frutos son dehiscentes y la cosecha de la semilla presenta mucha dificultad debido al tamaño tan pequeño que tienen. En este sentido, es necesario desarrollar más investigación en el futuro, con el objeto de poder resolver estas limitaciones, de tal manera que el amaranto llegue a expresar su enorme potencial como un cultivo alternativo (Mapes, 2010).

El crecimiento acelerado de la población y la escasez de alimentos han impulsado al hombre a buscar alternativas viables y con potencial nutricional suficiente para solucionar el problema alimentario. En ese contexto, en el Congreso Mundial convocado en 1979 por la Academia de Ciencias de los Estados Unidos y la Organización de Alimentación y Agricultura (FAO) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), el amaranto fue señalado como uno de los cultivos con mayor potencial para la explotación económica y nutricional a gran escala.



La Academia de Ciencias de los Estados Unidos incluyó al amaranto en la lista de las 23 plantas que pueden ser usadas para mejorar la nutrición y la calidad de vida de las personas en zonas tropicales (San Miguel, 2006).

La nueva valoración que ha tenido el amaranto en el mundo también despertó el interés de agrónomos e investigadores mexicanos. Diversas instituciones nacionales como el Colegio de Posgraduados de Chapingo, el Instituto Nacional de la Nutrición, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, la Universidad Nacional Autónoma de México, el Instituto Politécnico Nacional, la Universidad Autónoma Metropolitana, la Universidad Autónoma Chapingo y el Instituto Nacional de Antropología e Historia, entre otras, han apoyado trabajos de investigación de muy diversa índole que han contribuido a aumentar nuestro conocimiento y las potencialidades de tan importante recurso. Con la aplicación de procesos modernos de tecnología de alimentos se ha dado un nuevo enfoque a la explotación del amaranto. Con estas técnicas se pretende utilizar la planta como fuente de materias primas tales como proteínas, carbohidratos y fibras que sirvan como base para la fabricación de nuevos alimentos (Becerra, 2000).

1.4.3.- PRODUCCIÓN NACIONAL.

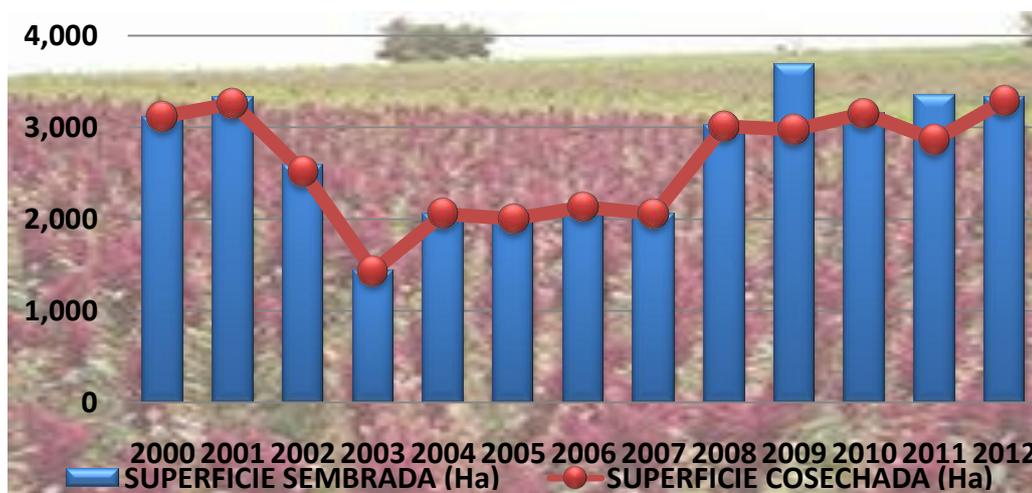


Figura 15.- Superficie sembrada y cosechada de amaranto durante el periodo 2000-2012.

Fuente: SIAP-SAGARPA, 2012.



Como se puede apreciar en la **Figura 15**, la superficie sembrada de amaranto en el 2001 fue mayor a las 3000 hectáreas, en los años siguientes, la superficie sembrada disminuyó al igual que su superficie cosechada. Para el año 2009, se logró un repunte de la producción del amaranto, esto se debe a que el amaranto comenzó a resurgir a raíz de la demanda de grandes empresas como Nestlé y Bimbo las cuales, están ofreciendo a sus consumidores nuevos productos variados a base de semillas (Morales *et al.*, 2009).

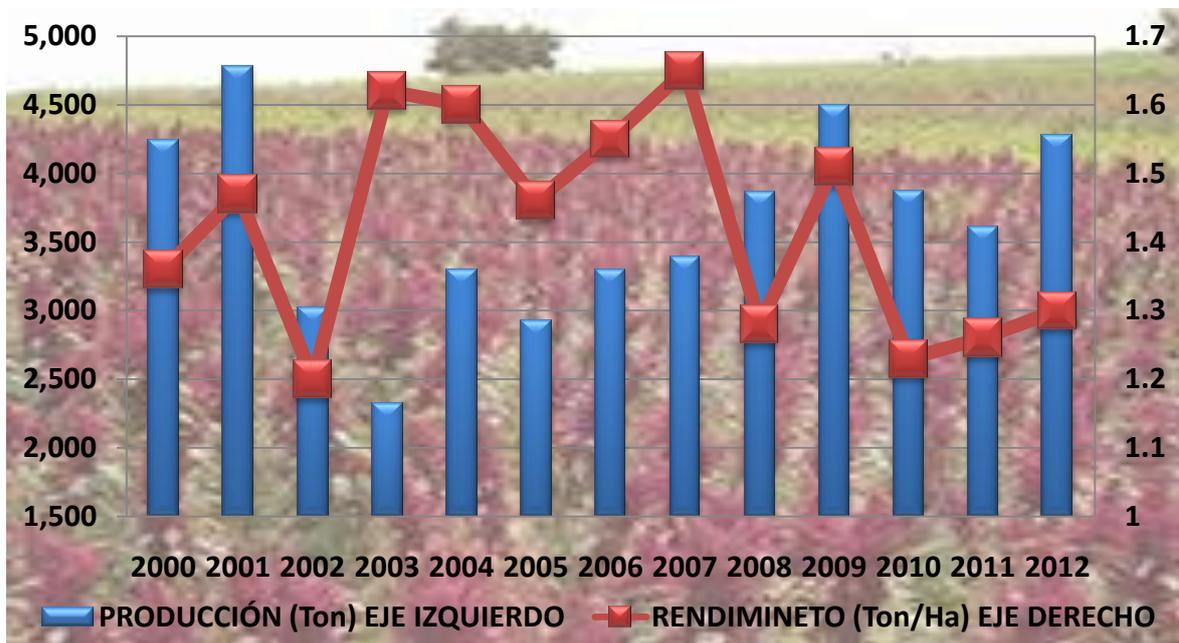


Figura 16.- Producción y rendimiento de amaranto en México durante el periodo 2000-2012.

Fuente: SIAP-SAGARPA, 2012.

La producción y rendimiento del cultivo de amaranto es apreciada en su periodo 2000-2012 como se representa en la **Figura 16**. En el año 2001 se logró una buena producción, pero con un bajo rendimiento de amaranto, a raíz de que productores y científicos, así como el gobierno federal y el sistema nacional para el desarrollo integral de la familia (DIF), ha puesto sus ojos en el cultivo, en el año 2007, se logra el mejor rendimiento en el grano, lo cual indica que se produjeron 1.65 toneladas por cada hectárea de terreno (SIAP-SAGARPA, 2012).

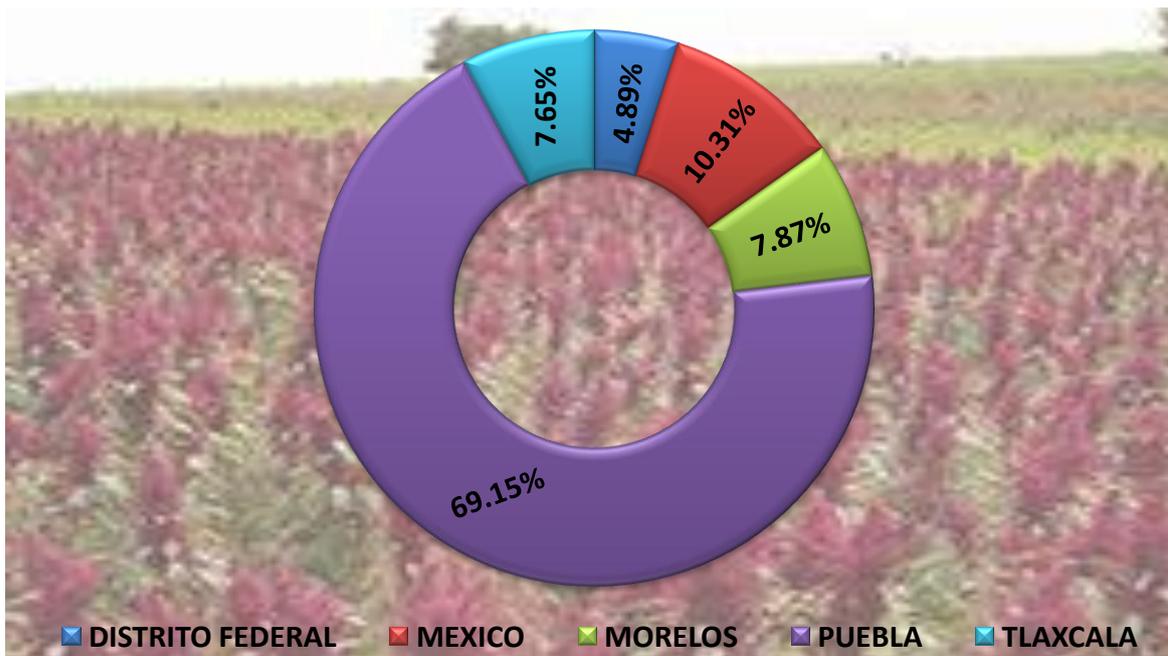


Figura 17.- Principales estados productores de amaranto en México durante el año 2012.

Fuente: SIAP-SAGARPA, 2012.

En la **Figura 17**, se logra apreciar los principales estados productores de amaranto en México durante el 2012, Puebla es el principal estado productor de este pseudocereal, seguido por el Estado de México, Morelos, Tlaxcala, y el Distrito Federal (SIAP-SAGARPA, 2012).

1.4.4.- ESTRUCTURA Y MORFOLOGÍA DE LA SEMILLA.

La semilla es pequeña, lisa y brillante, de 1 a 1.5 milímetros de diámetro; ligeramente aplanada de forma lenticular.

Los tipos de amaranto que se cultivan para semilla, proporcionan colores de la misma en tonalidades claras, mientras que los amarantos que se cultivan para verdura proporcionan semillas oscuras o negras.

En el caso específico de las semillas del *A. hypochondriacus*, estas miden un milímetro de diámetro.

En el grano se distinguen cuatro partes importantes (**Figura 18**): el epispermo o cubierta seminal, constituido por una capa de células muy finas; el endospermo, que es la segunda capa; el embrión, formado por dos cotiledones, es la parte más

rica en proteínas y el perispermo, que es la capa interna, la más rica en almidones (Morales *et al.*, 2009).

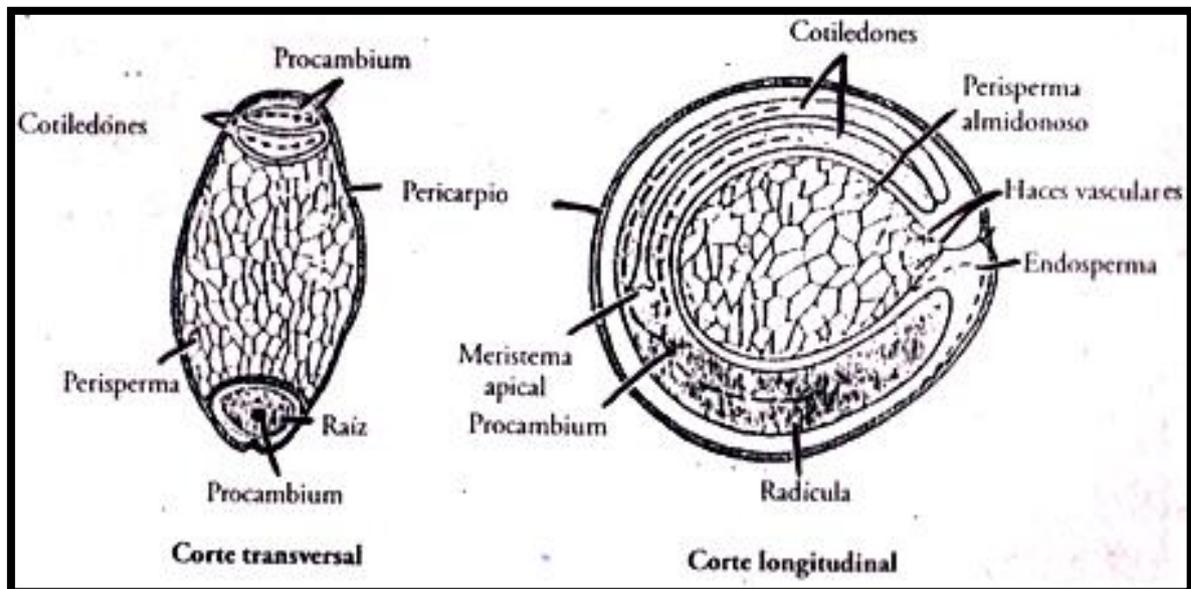


Figura 18.- Diagrama de secciones transversal y longitudinal de la semilla de amaranto.

Fuente: Morales *et al.*, 2009

1.4.5.- CLASIFICACIÓN BOTÁNICA.

Reino: Vegetal.

División: Embriophytasiphonograma.

Subdivisión: Archiclodmie.

Clase: Dicotiledóneas.

Subclase: Archiclodmie.

Familia: Amaranthaceae.

Género: Amaranthus.

Especie: *A. hypochondriacus*, *A. cruentus* y *A. caudatus* (Morales *et al.*, 2009).

1.4.6.- COMPOSICIÓN QUÍMICA Y VALOR NUTRITIVO.

El amaranto es una de las pocas especies vegetales de las cuales se pueden consumir tanto las hojas como el grano, lo que da lugar a que se aproveche en

una extensa variedad de formas (Morales *et al.*, 2009). Pero este trabajo se enfoca en específico a la semilla.

La investigación biomédica mundial asigna al amaranto excelentes cualidades nutricias en términos calórico–proteicos y de contenido de micro-nutrientes (vitaminas y minerales) (Tabla 8).

Tabla 8.- Composición química del amaranto *A. hypochondriacus*.

COMPONENTE	g/100 g EN BASE SECA
HUMEDAD	8.0
PROTEÍNA CRUDA	15.6
EXTRACTO ETÉREO (LÍPIDOS)	6.1
FIBRA CRUDA	5.0
CENIZAS	3.3
HIDRATOS DE CARBONO ^A	62
ENERGÍA (Kcal)	370

^A Por diferencia

Fuente: Modificado de Morales *et al.*, 2009

Diversas instituciones de investigación y dependencias del Sector Público en México, han avalado la eficacia del amaranto cuando se le utiliza como recurso de apoyo alimentario para la recuperación nutricional de niños desnutridos (San Miguel, 2006).

La semilla del amaranto, aunque apenas más grande que un grano de mostaza posee un contenido de proteína cercano al 16 por ciento. La semilla de amaranto se compara favorablemente en contenido proteico con los cereales convencionales como el trigo (12 - 14 %), arroz (7 - 10 %) o el maíz (9 - 10 %). En la **Tabla 9** se muestran los resultados del análisis proximal entre el grano de amaranto (*A. hypochondriacus*) y los cereales más comunes.

Tabla 9.- Composición química del amaranto y otros cereales.

COMPOSICIÓN ^a	AMARANTO	TRIGO	MAÍZ	SORGO	ARROZ
HUMEDAD	8.0	12.5	13.8	11.0	11.7
PROTEÍNA CRUDA	15.8 ^c	14.0 ^d	10.3 ^e	12.3 ^f	8.5 ^e
LÍPIDOS	6.2	2.1	4.5	3.7	2.1
FIBRA	4.9	2.6	2.3	1.9	0.9
CENIZAS	3.4	1.9	1.4	1.9	1.4
HIDRATOS DE CARBONO ^b	61.7	66.9	67.7	69.2	75.4
CALORIAS / 100 g	366	343	352	359	353

a=g/100 g, base seca, b=por diferencia, c= N x 5.85, d= N x 5.7, e= N x 6.25 y f= N x 5.8.

Fuente: Modificado de Becerra, 2000.

PROTEÍNAS.

Este pseudocereal ha sido reconocido debido a la calidad nutricional de las proteínas que poseen sus semillas. La Amarantina es una de las proteínas más importantes, contiene el balance de los aminoácidos que se consideran esenciales para el ser humano, en relación con las necesidades de proteínas, según la FAO (Nimbalkaret *al.*, 2012).

El amaranto posee un alto contenido de proteína en comparación al trigo. El 65% de las proteínas es localizado en el germen y en la cubierta de la semilla y el 35% restante es localizado en el endospermo que es rico en almidón. El contenido de proteína y de aminoácidos esenciales depende del genotipo y de las condiciones de crecimiento (Arendt y Dal Bello, 2008).

La proteína del amaranto no solo es mayor sino de mejor calidad, ya que contiene casi el doble de lisina (aminoácido indispensable para el ser humano) que la proteína de algunos cereales como el trigo y el maíz (Saldivar, 1995).

Fracciones proteicas del amaranto.

Las prolaminas son solubles en alcohol, estas representan las principales proteínas de almacenamiento en cereales tales como el trigo o el maíz, las proteínas de almacenamiento de las dicotiledóneas como el amaranto, son principalmente globulinas y albuminas. Acorde con la clasificación de Osborne, las proteínas del amaranto consisten en un 40% de albuminas, 25 a 30% de glutelinas, 20% de globulinas y solo de un 2 a 3% de prolaminas (Arendt y Dal Bello, 2008). Otros estudios también se enfocan en el estudio de la cuantificación de las proteínas de almacenamiento del amaranto y concluyen con que la fracción de albumina es la principal proteína de almacenamiento del amaranto (Morales *et al.*, 2009).

Albuminas.

Las albuminas se caracterizan por su solubilidad en agua o en soluciones con baja fuerza iónica, estas poseen un contenido alto de lisina, leucina, treonina, fenilalanina, valina y aminoácidos azufrados que va de un 16 a 18% de metionina.

Las propiedades funcionales de las albuminas del amaranto son, absorción de agua y aceite, capacidad para formar espumas, estabilidad de las espumas que forman y la capacidad de emulsificar (Morales *et al.*, 2009).

Globulinas.

Son proteínas oligoméricas que se pueden disociar a pH alcalino y se identifican dos fracciones de globulinas mayoritarias: las globulinas 11S y 7S. La globulina 11S, es la encargada de las buenas características nutritivas del amaranto, ya que es rica en lisina. En cuanto a las propiedades funcionales de ambas globulinas, se encuentra la capacidad de formar espumas, estabilizar las mismas, absorción de aceite, actividad emulsificante y estabilizar emulsiones (Morales *et al.*, 2009).

Prolaminas.

La lisina se encuentra en un 7% del total de la prolamina-3 del amaranto, mientras que las prolamina alfa y beta del maíz no la contienen (Morales *et al.*, 2009).

Aminoácidos.

La ventaja de los granos de amaranto en comparación con los cereales convencionales es un contenido relativamente alto de proteínas y una composición más equilibrada de aminoácidos esenciales. Los aminoácidos azufrados están en concentraciones adecuadas en el amaranto, y también es el caso de la lisina y el triptófano. El contenido de lisina en el amaranto oscila entre el 4.6 y 5.4 gramos en 100 de proteína, siendo de 3 a 3.5 veces mayor que el del maíz y de 2 a 2.5 más alto que el del trigo (Morales *et al.*, 2009).

La composición de las proteínas constituyentes del grano de amaranto es la siguiente: albumina rica en lisina (7.5 a 8.4%), siendo esta fracción la que tiene el contenido más alto de este aminoácido esencial (Villanueva y Arnao, 2007), además de poseer triptófano, treonina y valina; globulina rica en leucina (7 a 7.1%) y treonina (4.7 a 5.5%) y, por último, glutelinas ricas en leucina, triptófano, treonina e histidina, en particular las glutelinas exhiben la mayor proporción de aminoácidos indispensables y presentan el menor contenido de metionina (0.6 a 1.0%) (Morales *et al.*, 2009).

A partir de todas las consideraciones anteriores, se puede concluir que el amaranto, en especial el *A. hypochondriacus* cuenta con una proteína de excelente calidad, ya que contiene todos los aminoácidos esenciales (**Tabla 10**). Estos aminoácidos son básicos para la buena salud del organismo y se encuentran en excelentes proporciones en la proteína del amaranto.

La FAO y la Organización Mundial de la Salud (OMS) han establecido estándares cuantitativos para evaluar el puntaje químico de un alimento en base a la cantidad y calidad de los aminoácidos presentes, este estándar se observa en la **Tabla 10** y permite comparar el estándar de aminoácidos de la FAO y la OMS con el *A. hypochondriacus* (San Miguel, 2006).

Tabla 10.- Tabla comparativa de aminoácidos patrón respecto al del *A. hypochondriacus*.

AMINOÁCIDOS mg / g de proteína	PATRÓN DE AMINOÁCIDOS	<i>A.hypochondriacus</i>
Isoleucina	28	39
Leucina	66	57
Lisina	58	55
Metionina + Cisteína	25	47
Fenilalanina + Tirosina	63	73
Treonina	34	36
Triptófano	11	---
Valina	35	45
Histidina	19	25
Cómputo aminoacídico		86

Fuente: Mujica y Berti, 1997.

La calificación química que obtiene el amaranto se basa en el análisis de aminoácidos que contiene la proteína y su comparación con el patrón que establecieron la FAO, la OMS y la ONU en el año de 1985 para adultos, el cual es el patrón de aminoácidos ideal de una proteína. La calificación química en el *A. hypochondriacus* es de 86% (Morales *et al.*, 2009), este valor es alto en comparación con el del trigo que obtiene el 73% y la soya con el 74% (Mujica y Berti, 1997).

Calidad nutrimental.

La calidad de la proteína no solo depende de la composición de los aminoácidos, también depende de la biodisponibilidad o digestibilidad. La digestibilidad de la proteína, la lisina disponible, la utilización neta de proteína (UNP) o la relación de eficiencia proteica (PER), son extensamente utilizados como indicadores para determinar la calidad nutricional de las proteínas. Con respecto a los valores que presentan las proteínas de los pseudocereales, entre ellos el amaranto, son definitivamente altos cuando se comparan con los cereales y están cerca a los valores de la caseína (Arendt y Dal Bello, 2008).

La digestibilidad de las semillas de amaranto integral crudo va de 77.6 a 88.5%. La relación de eficiencia proteica es la prueba más empleada para la evaluación biológica de la calidad proteínica. Este método evalúa la proteína del alimento que es capaz de producir crecimiento e involucra animales de laboratorio. Algunos investigadores han encontrado valores de REP de 1.6 a 2.2 en semillas de amaranto enteras sin tratamiento térmico. La REP se mejora si el grano de amaranto se somete a un tratamiento térmico.

El valor de la utilización neta de proteína (UNP) de semillas de amaranto es de 77.6 y es superior a la del maíz (62.4), trigo (57) y soya (54.5), también la proteína utilizable es mayor en el amaranto (Morales *et al.*, 2009).

CARBOHIDRATOS.

El análisis del almidón de amaranto revela dos principales diferencias en comparación con los cereales, la primera, constituye el componente principal de los carbohidratos en el amaranto, pero es encontrado usualmente en cantidades más bajas que en los cereales y la segunda, es que el almidón de amaranto no está localizado en el endospermo como en los cereales, pero si en el perispermo (Arendt y Dal Bello, 2008).

Las partículas del almidón de amaranto, miden aproximadamente de 1.05 a 1.32 micrómetros de diámetro. En el caso del *A. hypochondriacus*, cultivado en México, su tamaño de diámetro de los gránulos de almidón se encuentra en 1.05 micrómetros como lo ilustra la **Figura 19**, la cual es una micrografía electrónica de barrido.

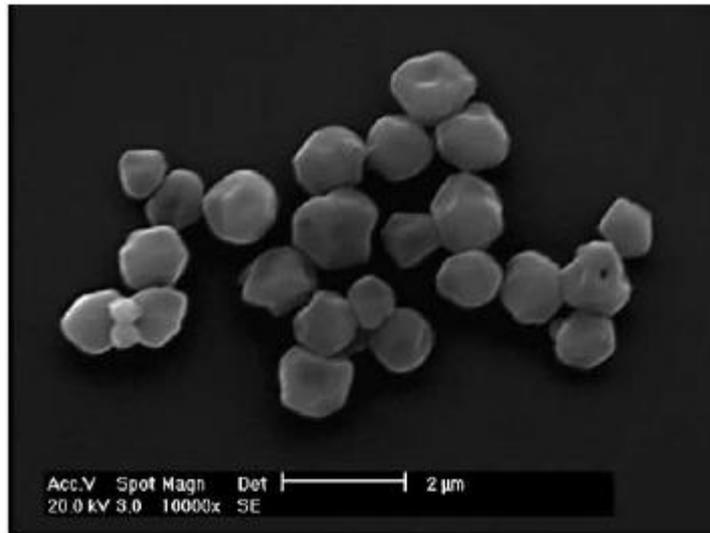


Figura 19.- Micrografía electrónica de barrido para el almidón de *A. hypochondriacus*.
Fuente: Kong *et al.*, 2009.

Este compuesto juega un papel importante en sus aplicaciones en la industria de alimentos, tales como espesantes de alimentos para sopas, salsas de carne, sustitutos de grasa y salsas, y en cereales para el desayuno, panecillos, galletas, aperitivos, pastas y alimentos saludables (Kong *et al.*, 2009).

El almidón del amaranto es de tipo glutinoso o ceroso y está compuesto por una fracción de amilosa (2-5%), formada por 500 a 2000 unidades de alfa-D glucosa unidas por enlaces alfa-1,4 y por una fracción ramificada, amilopectina (95-98%), constituida por una cadena lineal de 25 a 30 unidades de alfa-D glucosa, distancia donde se presentan ramificaciones unidas por enlaces alfa-1,6 (Morales *et al.*, 2009).

De acuerdo con el contenido de amilasa/amilopectina, el almidón puede ser clasificado en dos tipos:

Glutinoso, opaco o ceroso. Está formado principalmente por amilopectina, con menos de 1% de amilasa, los gránulos se tiñen de color púrpura o ámbar en presencia de yodo.

No ceroso, traslucido o normal. El contenido de amilosa es mayor a 5%; los gránulos tiñen color azul en presencia de yodo.

El *A. hypochondriacus*, tiene los dos tipos de almidón (Morales *et al.*, 2009), los cuales tiene el 5.4% de amilosa (Kong *et al.*, 2009). Al conocer la cantidad de amilosa que posee el *A. hypochondriacus*, se compara con el trigo y resulta que este tiene tres veces más que el amaranto, por ello, las propiedades físicas del

almidón de amaranto son diferentes. De esta manera, se considera que su capacidad de hincharse cuando se mezcla con agua es mucho más baja que la del trigo (Morales *et al.*, 2009).

Fibra.

Las fibras solubles e insolubles, son conocidas debido a efectos benéficos en la salud de los humanos. El contenido de fibra en el amaranto se encuentra dentro del rango de otros cereales y muestra gran variación dentro de diferentes especies. La fracción de la fibra soluble varía entre 33.1 y 49.3% del total de fibra presente en el *A. hypochondriacus* (Arendt y Dal Bello, 2008).

LÍPIDOS.

El contenido en lípidos del amaranto, está alrededor de 2 a 3 veces más que en los otros cereales y muestra una gran variación entre especies. Los aceites del amaranto contienen más de un 75% de ácidos grasos insaturados y en particular es rico en ácido linoleico (33-55%) u omega-6, ácido palmítico (20-23%), ácido palmitoleico alrededor de un 16%, ácido esteárico (3-4%) y ácido oleico (18-33%). La fracción de escualeno es única, con un contenido de 5 a 8% de la fracción total de aceite en el *A. hypochondriacus*. El escualeno es un hidrocarburo insaturado del tipo de los triterpenos (Arendt y Dal Bello, 2008). Este es nombrado así debido a su ocurrencia en el aceite de hígado de tiburón (*Squalus*) y su estructura es similar al betacaroteno, este se encuentra en bajas cantidades en el aceite de oliva (0.1 a 0.7% de la fracción total de aceite). Este compuesto es un producto intermedio en la vía biosintética del colesterol. Con la suplementación del escualeno en la dieta pueden ser reducidos los niveles de colesterol y triglicéridos, y puede ser útil para reforzar los efectos de algunos fármacos reductores del colesterol (Acosta, 2005).

VITAMINAS Y MINERALES.

Los nutrimentos inorgánicos del grano de amaranto se hallan en el epispermo, el endospermo y el embrión.

Entre las vitaminas que contiene el grano de amaranto (**Tabla 11**), la riboflavina se encuentra en mayor proporción que en otros alimentos, como los cereales e incluso que la leche, y solo es menor que el huevo. Otras vitaminas que posee el grano de amaranto son tiamina, niacina y ácido ascórbico (Morales *et al.*, 2009).

Tabla 11.- Contenido de vitaminas para el *A. hypochondriacus*.

Vitamina	Contenido (mg/100g)
Tiamina	0.14
Riboflavina	0.34
Niacina	0.5
Ácido ascórbico	4.5

Fuente: Morales *et al.*, 2009.

También el amaranto es una buena fuente de ácido fólico y vitamina E. el ácido fólico ha sido encontrado en cantidades de 102 microgramos/100 gramos 2.5 veces más que en el trigo. En el caso de la vitamina E, esta tiene el efecto de antioxidante e incrementar la estabilidad de los lípidos, esta vitamina ha sido encontrada en valores de 45 mg/kg de semilla. Además de que los tocotrienoles presentan actividad hipocolesterolémica.

En lo que respecta al rubro de minerales, las cantidades que posee el amaranto de estos, es dos veces mayor que en otros cereales. Particularmente es alto en calcio, magnesio, hierro, potasio y zinc, ya que ocupa alrededor del 3.25% de la composición química del amaranto (Arendt y Dal Bello, 2008).

A partir de las consideraciones anteriores se puede concluir que el elaborar un panque con harina integral de amaranto apto para celíacos, representa un producto innovador para la industria de la panificación y para el mercado de personas que poseen ésta enfermedad en México, ya que el panque no perjudicaría la salud de los mismos, dado que el amaranto no posee gluten. Este producto contribuiría a aumentar la variedad de productos para celíacos, ya que existen en el mercado pocos productos de panificación dirigidos a este tipo de personas. Al elaborar el panque, se aprovecharía que estos no se ven afectados en su volumen de ventas por ajustes o alzas en su costo, dado que es muy consumido y que gusta. El emplear amaranto para elaborar el producto permitirá aprovechar que la semilla aporta proteínas y grasas de mejor calidad y una buena



cantidad de micronutrientes y tendrá algo más valioso que un panque de trigo, aportaría una excelente calidad nutrimental que además podría ser consumido y aprovechado por todos tipo de personas, ayudando a solucionar parte de otras problemáticas existentes en el país, como la desnutrición.

2.- METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL.

2.1.- OBJETIVOS.

▶ OBJETIVO GENERAL.

Desarrollar un panque con harina integral de amaranto con mayor calidad nutrimental que un panque de harina de trigo comercial para que pueda ser consumido por personas celíacas.

▶ OBJETIVO PARTICULAR 1.

Evaluar y comparar la composición química de la harina integral de amaranto y de trigo comercial mediante un análisis químico proximal para establecer sus diferencias e identificar cual tiene mayor aporte nutritivo.

▶ OBJETIVO PARTICULAR 2.

Evaluar los panques de harina integral de amaranto obtenidos de las diferentes formulaciones, mediante pruebas físicas (peso, altura, volumen, diámetro) para determinar cuál presenta características similares al panque con harina de trigo comercial (panque control).

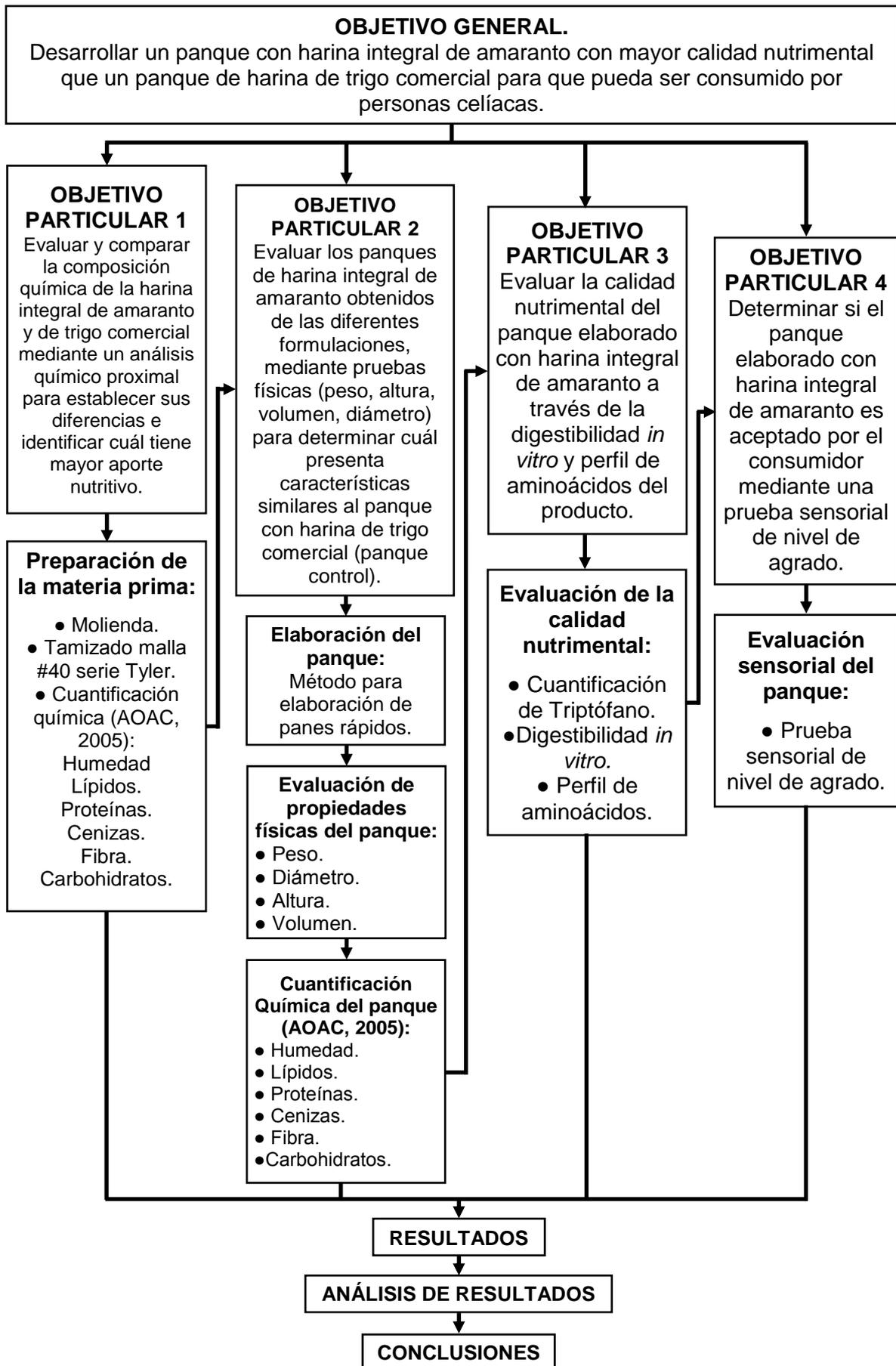
▶ OBJETIVO PARTICULAR 3.

Evaluar la calidad nutrimental del panque elaborado con harina integral de amaranto a través de la digestibilidad *in vitro* y perfil de aminoácidos del producto.

▶ OBJETIVO PARTICULAR 4.

Determinar si el panque elaborado con harina integral de amaranto es aceptado por el consumidor mediante una prueba sensorial de nivel de agrado.

2.2.- CUADRO METODOLÓGICO.



2.3.- PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.

2.3.1.- MATERIAL BIOLÓGICO.

Se utilizó grano de amaranto de la especie *Amaranthus hypochondriacus* cosecha 2010 variedad Tulyehualco y harina de trigo de la marca *Selecta*[®].

Los granos de amaranto empleados, fueron sometidos primero a un proceso de limpieza. Posteriormente dichos granos limpios se molieron con ayuda de una licuadora de laboratorio y el producto obtenido se tamizó garantizándose que absolutamente todo pasara por la malla #40 serie Tyler para así obtener harina integral de amaranto.

2.4.- ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL.

Se realizó un AQP a las materias primas (harinas de trigo comercial marca *Selecta*[®] y harina integral de amaranto). Las pruebas realizadas fueron: humedad, cenizas, lípidos, proteína, fibra y carbohidratos por diferencia, de acuerdo a los métodos propuestos por el AOAC (2005).

2.4.1.- DETERMINACIÓN DE HUMEDAD.

Se determinó el contenido de humedad por el método de secado por estufa; el cual se basa en la eliminación del agua por efecto del calor aplicado a la muestra. Se calculó el contenido de humedad, por la pérdida de peso en la muestra debida a la evaporación del agua por calentamiento a 130 °C, hasta peso constante. El resultado se expresó como porcentaje de humedad.

$$\% \text{ de humedad} = [(W2 - W3) / W1] \times 100$$

Donde:

W1 = Peso de la muestra (g)

W2 = Peso de la muestra húmeda (g)

W3 = Peso de la muestra seca (g).

2.4.2.- DETERMINACIÓN DE EXTRACTO ETÉREO.

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

$$\% \text{ de grasa extraíble} = [(W3 - W2) / W1] \times 100$$

Donde:

W1 = Peso de la muestra (g) antes de la desecación

W2 = Peso del matraz sin grasa (g)

W3 = Peso del matraz con grasa (g)

2.4.3.- DETERMINACIÓN DE PROTEÍNAS.

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

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

$$\text{Nitrógeno total} = [(V2 - V1) (N) (0.014)] / W;$$

Donde:

V1= Volumen de HCl gastado en la muestra (ml)

V2= Volumen de HCl gastado en el blanco (ml)

N = Normalidad del HCl

W = Peso de la muestra (g)

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

2.4.4.- DETERMINACIÓN DE CENIZAS.

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

$$\% \text{ de cenizas totales} = [(W3 - W2) / W1] \times 100$$

Donde:

W1 = Peso de la muestra (g)

W2 = Peso del crisol sin muestra (g)

W3 = Peso del crisol con las cenizas (g).

2.4.5.- DETERMINACIÓN DE FIBRA.

Se determinó mediante el método de fibra cruda, este se basa en la digestión ácida y alcalina de la muestra obteniéndose un residuo de fibra cruda y sales, las cuales posteriormente se calcinan. El resultado se expresó como porcentaje de fibra cruda.

$$\% \text{ de fibra cruda} = [(W2 - W1) - (W4 - W3) / W5] \times 100$$

Donde:

W1 = Peso del papel filtro a 110° (g)

W2 = Peso del papel filtro con residuos secos a 110° (g)

W3 = Peso del crisol vacío (g)

W4 = Peso del crisol después de la incineración (g)

W5= Peso de la muestra previamente desengrasada (g).

2.4.6.- DETERMINACIÓN DE CARBOHIDRATOS.

El contenido de carbohidratos se determinó por diferencia.

2.5.- ELABORACIÓN DEL PANQUE CON HARINA INTEGRAL DE AMARANTO.

2.5.1.- MÉTODO PARA LA ELABORACIÓN DE PANES RÁPIDOS.

Para la elaboración del panque con harina integral de amaranto se propuso primero elaborar un panque con harina de trigo comercial (control) en base a la siguiente formulación (**Tabla 12**) y al proceso indicado en la **Figura 20**.

Tabla 12.- Formulación para la elaboración del panque control.

INGREDIENTES	%
AGUA	46.90
HARINA DE TRIGO	43.97
MANTEQUILLA	4.54
LEUDANTE	3.66
AZÚCAR	0.92

Para la elaboración del panque se siguió el diagrama de proceso mostrado en la **Figura 20**.

Primero se pesaron todos los ingredientes por separado. En una bolsa de plástico, se introdujeron la harina, azúcar y el leudante, éste último tiene un efecto significativo en el volumen del producto final, ya que funciona como un agente impulsor gasificante durante el proceso de horneado, aumentando el volumen del pan mediante un incremento de la estructura de la miga. De forma consecutiva, se cerró la bolsa y se agitó vigorosamente. Posteriormente, en un recipiente, se acondicionó la mantequilla (se derritió en un horno de microondas) para facilitar su incorporación con los ingredientes del mezclado 1.

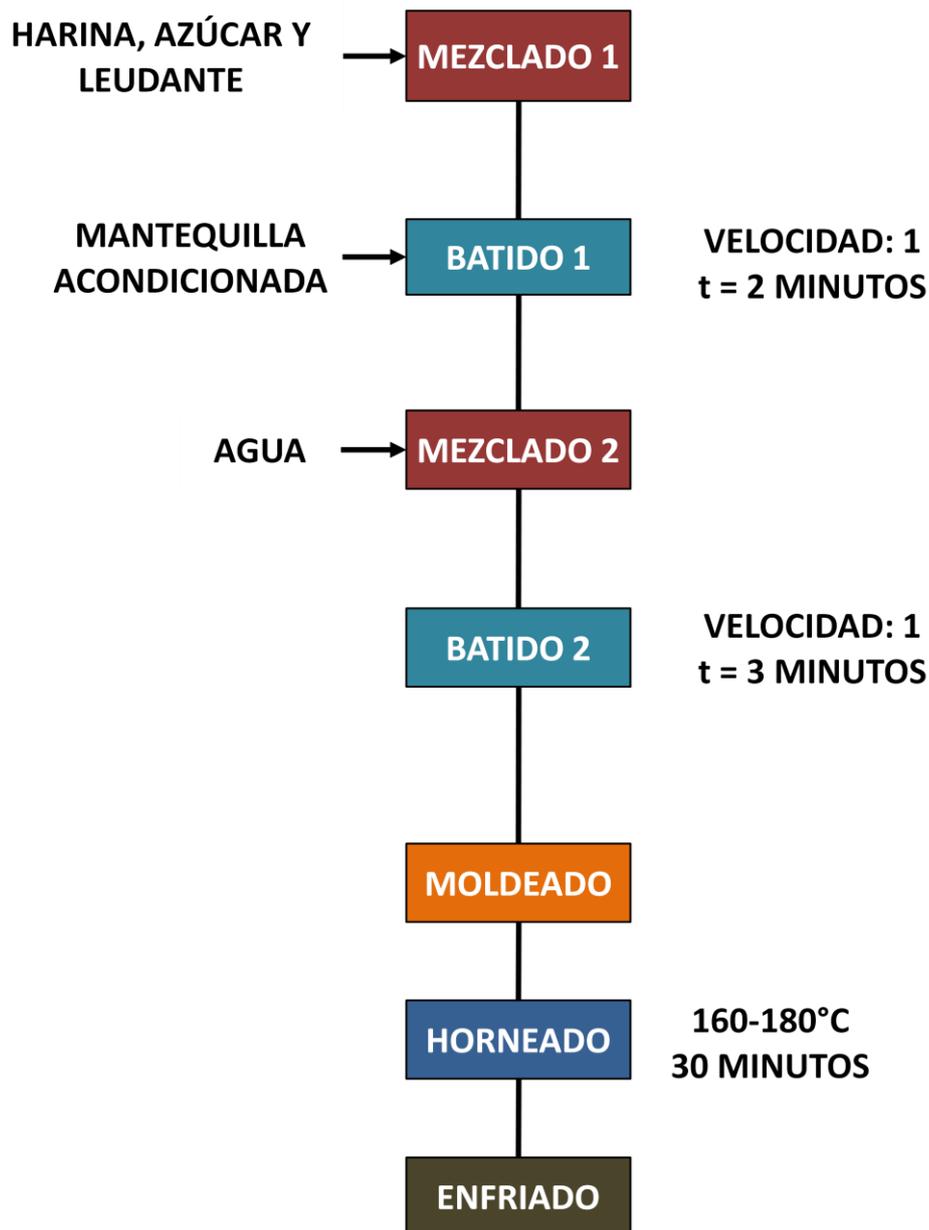


Figura 20.- Diagrama de proceso para la elaboración del panque.

Una vez mezclados se procedió a batir de acuerdo a las condiciones descritas en el diagrama de proceso (**Figura 20**). Al finalizar el batido 1, se agregó agua y se continuó con un nuevo batido para obtener la masa (**batido 2, Figura 20**).

El moldeado consistió en llevar una proporción de masa a un molde para panques previamente engrasado, colocándola dentro de las cavidades y distribuyéndola a lo largo y ancho de las mismas. Posteriormente se horneó el producto a 180°C, durante 30 minutos. Finalmente se retiró del horno y se desmoldó girando 180° el recipiente, golpeándolo un poco en los bordes para extraer el producto.

A partir del panque obtenido con la formulación base (control), se plantearon formulaciones para la elaboración del panque con harina integral de amaranto, para que éste obtuviera características similares al panque control sin descuidar su valor nutrimental y que fuera apto para personas intolerantes al gluten.

El primer planteamiento fue repetir la formulación del panque control, sustituyendo la proporción de la harina de trigo comercial por la harina integral de amaranto.

El segundo planteamiento fue auxiliarse de diversos aditivos alimentarios, tal fue el caso de mejoradores de masa, emulsionantes, gomas, edulcorantes y saborizantes, así como diversas modificaciones a la formulación y al proceso de elaboración del panque control. Dichas acciones permitieron mejorar las cualidades organolépticas y en particular las propiedades físicas del producto, las cuales se describen en el **apartado 3.5** de este trabajo (peso, volumen, altura y diámetro) y en conjunto ambas permitieron elegir la mejor formulación.

La descripción detallada a todas las modificaciones realizadas para el desarrollo del panque con harina integral de amaranto se describen en el apartado de resultados.

2.6.- EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS PANQUES OBTENIDOS.

Para determinar la calidad panadera, tanto del panque control como del panque con harina integral de amaranto, se realizaron las siguientes pruebas: peso del pan, volumen específico, altura y diámetro.

2.6.1.- PESO DEL PAN.

La prueba de peso consiste en evaluar el valor en masa que posee el producto horneado en una balanza analítica o digital. El peso del producto es el punto de partida de cualquier evaluación panadera, ya que este influye en el resto de las características, donde un peso mayor al especificado contribuirá a tener mayores volúmenes, celdas de migas más cerradas y uniformes, además de simetrías uniformes (Yépez, 2003).

2.6.2.- VOLUMEN DEL PAN.

La prueba de volumen se realizó con un medidor de pan (**Figura 21**), que mide el desplazamiento que tienen las semillas de colza dentro del medidor de pan provocado por el producto que se desea medir.



Figura 21.- Medidor de volumen para pan.

La muestra se introduce en un recipiente con tapa que se encuentra en la parte superior, y posteriormente se cierra. En la parte inferior se encuentran las semillas de colza, una vez cerrado, se gira 180° y por efecto de gravedad, las semillas empiezan a caer en el recipiente del extremo contrario, el cual contiene el producto muestra, siendo desplazadas las semillas por el espacio que ocupa este. El volumen de las semillas desplazadas, es igual al volumen del producto muestra, dicho desplazamiento puede ser leído en la probeta graduada que posee el medidor de pan obteniendo un volumen (Cauvain y Young, 2008).

El volumen específico es referido como la medición del volumen final alcanzado por el producto después del horneado en relación con el peso del producto (Yépez, 2003).

2.6.3.- ALTURA Y DIÁMETRO DEL PAN.

La altura y el diámetro se midieron con ayuda de un vernier, cuantificando el leudado que tuvo el panque de amaranto (Serna, 2001).

La medición de la altura del panque depende de la medición del diámetro del panque, ya que este segundo parámetro al dividirlo entre dos permite obtener el radio y por tanto, hacer céntrica la medición de la altura del panque.

La altura evalúa rápidamente las variaciones en la retención de gas de la masa y expansión del batido de la misma, ambos directamente relacionados con el volumen del producto (Cauvain y Young, 2008).

2.7.- ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL A LOS PANQUES OBTENIDOS.

El análisis químico proximal se realizó tanto al panque control como al elaborado con harina integral de amaranto, las pruebas se realizaron conforme a los métodos anteriormente descritos en el **apartado 3.3** del presente trabajo.

2.8.- EVALUACIÓN DE LA CALIDAD NUTRIMENTAL.

La calidad nutrimental del producto fue evaluada por medio de la determinación de Triptófano presente en el producto, así como del perfil de aminoácidos y la digestibilidad *in vitro*.

2.8.1.- DETERMINACIÓN DE TRIPTÓFANO.

Se cuantificó el contenido de triptófano por una técnica enzimática que se basa en la condensación del aminoácido con el p-dimetilamino benzaldehído. Ese producto es tratado con nitrito sódico, produciendo una coloración azul proporcional a la cantidad de triptófano (Rao *et al.*, 1974). El contenido de triptófano se expresó como g/100g de proteína.

2.8.2.- PERFIL DE AMINOÁCIDOS.

Se realizó el perfil de aminoácidos por la técnica de Cromatografía de Líquidos de Alta Resolución (HPLC), basándose en lo propuesto por Vázquez-Ortiz *et al.*, (1995).

2.8.3.- DIGESTIBILIDAD *in vitro*.

Se evaluó la digestibilidad *in vitro* de los productos, mediante un sistema multienzimático, compuesto por tripsina, quimotripsina, pepsina y peptidasa para la estimación de la digestibilidad de las proteínas (Helrich, 1990).

2.9.- EVALUACIÓN SENSORIAL DEL PANQUE CON HARINA INTEGRAL DE AMARANTO.

El panque de amaranto elaborado con la mejor formulación, se sometió a una prueba de nivel de agrado para evaluar cuanto agradó o desagradó el producto, esto se llevó a cabo con 100 jueces no entrenados, utilizando una escala no estructurada o hedónica (**Anexo 1**) (Rodríguez, 2003).

2.10.- MÉTODO ESTADÍSTICO.

Las pruebas se realizaron por triplicado y se calculó el promedio, desviación estándar y coeficiente de variación. Para la comparación de medias se usó la prueba de rango múltiple t-student con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$.

3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

3.1.- ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DE LAS MATERIAS PRIMAS.

Para conocer la composición química de las materias primas y compararlas entre ellas se realizó el AQP a la harina de trigo comercial de la marca Selecta y a la harina integral de amaranto de la especie *A. hypochondriacus*. Los resultados se presentan en la **Tabla 13**.

**Tabla 13.- Análisis químico proximal de materias primas.
(Resultados expresados en %).**

HARINA	HUMEDAD	PROTEÍNA	GRASA	CENIZAS	FIBRA	CHOS
TRIGO	12.20, ±0.23 ^{a*}	8.4, ±0.47 ^a	2.39, ±0.23 ^a	0.75, ±0.05 ^a	2.01, ±0.07 ^a	74.25 ^a
AMARANTO	8.63, ±0.1 ^b	16.39, ±0.04 ^b	7.24, ±0.685 ^b	2.67, ±0.11 ^b	6.56, ±0.62 ^b	58.51 ^b

a, b: diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$).

La harina integral de amaranto presentó valores más altos y estadísticamente significativos ($P \leq 0.05$) en todos sus componentes químicos con respecto al trigo. El contenido de proteína del amaranto es de casi el doble que en el trigo, pero no solo es mayor, sino de mejor calidad nutrimental (Saldivar, 1995) debido a un balance muy bueno de aminoácidos esenciales (Pola *et al.*, 2007) y dicho balance de aminoácidos esenciales se acerca al de la proteína de la leche (Saldivar, 1995). Con respecto a los lípidos, estos también son más del doble en la harina de amaranto respecto al trigo, además los lípidos que posee la harina integral de amaranto son de mejor calidad por su alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados (Reyna, 1993). Uno de los lípidos de mayor importancia en la harina integral de amaranto es el escualeno, el cual permite reducir los niveles de colesterol y triglicéridos al ser consumido en la dieta (Acosta, 2005). Por otra parte, la cantidad de cenizas obtenida en la harina integral de amaranto es también mayor con respecto a la harina de trigo comercial, existiendo una diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$), esto indica que los minerales que posee el amaranto son dos veces mayor que en el trigo (Morales *et al.*, 2009).

La cantidad de carbohidratos obtenida en la harina integral de amaranto es menor con respecto a la que posee la harina de trigo comercial, existiendo una diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$), pero la cantidad de fibra es mayor en la harina integral de amaranto que en la harina de trigo comercial con una diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$). Estos resultados indican una mejor calidad química de la harina de amaranto sobre la del trigo. Por último, cabe mencionar que la harina integral de amaranto está exenta de gluten, lo que permite que sea usada para elaborar productos que puedan ser consumidos por personas intolerantes a esta proteína y tengan una mejor calidad de vida.

3.2.- ELABORACIÓN DEL PANQUE CON HARINA INTEGRAL DE AMARANTO.

3.2.1.- ELABORACIÓN DEL PANQUE CONTROL.

La elaboración del panque control fue de utilidad para plantear las formulaciones posteriores para el panque de harina integral de amaranto y poder compararlos, el proceso se basó en el procedimiento para la elaboración de panes rápidos. Este panque se elaboró en base a la formulación presentada en la **Tabla 14**.

Tabla 14.- Formulación base o control para la elaboración de panes rápidos.

INGREDIENTES	%
AGUA	46.90
HARINA DE TRIGO	43.97
MANTEQUILLA	4.54
LEUDANTE	3.66
AZÚCAR	0.92

Fuente: Weber, 2003.

Para elaborar el panque de trigo o control, se estableció la metodología planteada en el diagrama de proceso de la **Figura 22**.

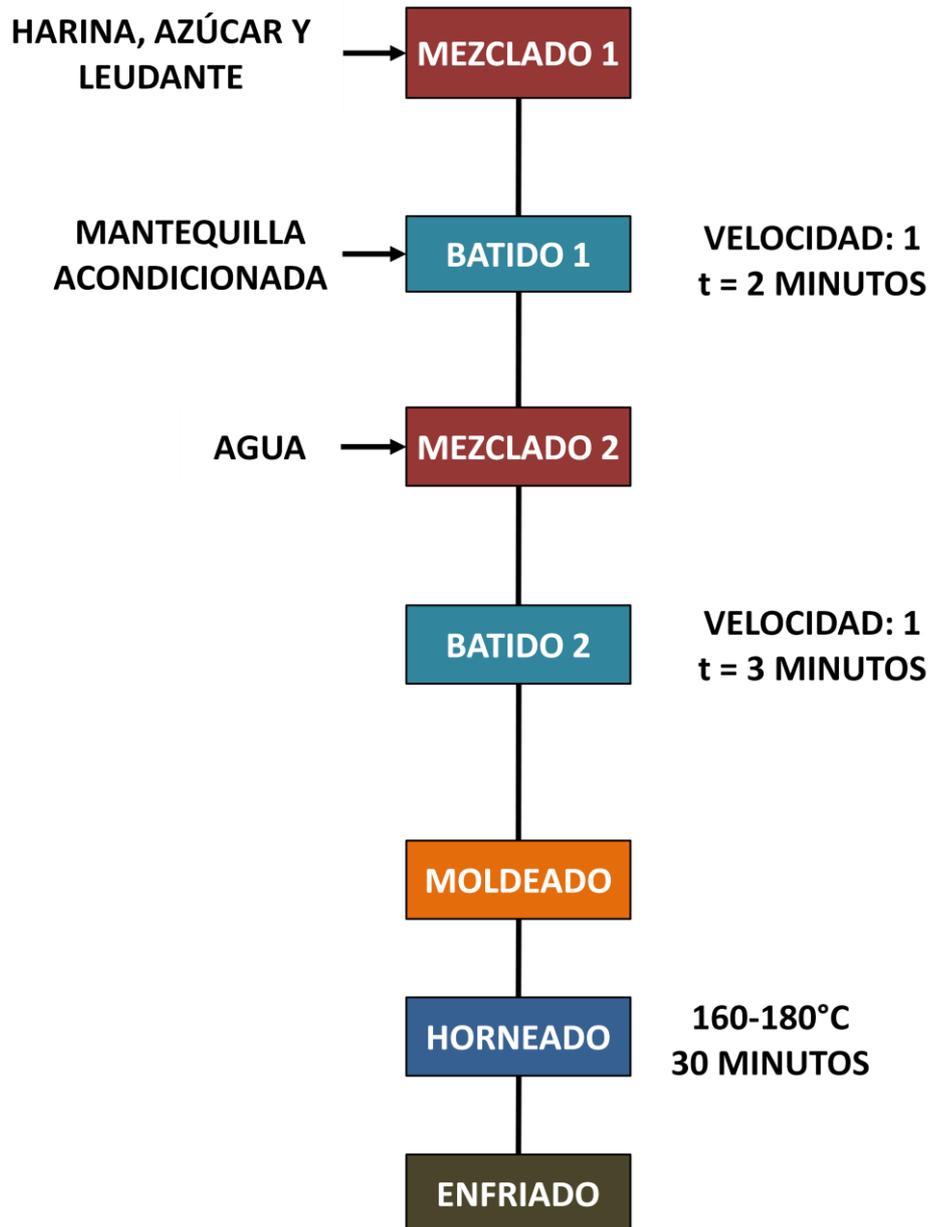


Figura 22.- Diagrama de proceso para la elaboración del panque control y el panque con harina integral de amaranto P.A.1 y P.A.2.

En la **Figura 23** se muestra el panque de harina de trigo (control).



Figura 23.- Panque elaborado con harina de trigo marca Selecta[®] (control).

Este panque cumplió con las características establecidas de presentar una base cilíndrica, un diámetro inferior al de la palma de una mano de una persona adulta, presentar abombamiento en su parte más alta, tener corteza delgada y estrías pero sin ser quebradiza (Charley, 2009). Este panque es ligero y la estructura de la miga es desordenada con agujeros de diversos tamaños y formas.

La elaboración del panque control permitió establecer que la metodología para obtener el panque con harina integral de amaranto era la correcta, y por tanto, si no se tenían las características deseadas sería por la harina integral de amaranto y no por la forma de elaborarlo, además de establecer características específicas a las cuales se tenía que parecer el panque con harina integral de amaranto.

3.2.2.- DESARROLLO DE FORMULACIONES PARA LA ELABORACIÓN DEL PANQUE CON HARINA INTEGRAL DE AMARANTO.

Se elaboró un panque con harina integral de amaranto basada en la formulación de la **Tabla 15**, al cual se le denominó **P.A.1** y se muestra en la **Figura 24**. Posteriormente conforme a las modificaciones realizadas en la formulación, se siguió una numeración consecutiva para poder identificarlas (P.A.1, P.A.2,..., P.A.12).

Tabla 15.- Formulación 1 del panque con harina integral de amaranto (P.A.1).

INGREDIENTES P.A.1	%
AGUA	46.90
HARINA INTEGRAL DE AMARANTO	43.97
MANTEQUILLA	4.54
LEUDANTE	3.66
AZÚCAR	0.92



Figura 24.- Panque con harina integral de amaranto elaborado con la formulación 1(P.A.1).

El panque de amaranto **P.A.1** se elaboró con la misma formulación de ingredientes que el panque control (**Tabla 14**), pero con la diferencia que la harina de trigo comercial fue sustituida al 100% por la harina integral de amaranto y se elaboró bajo el mismo proceso que el panque control (**Figura 22**).

En base a las características propias de un panque, este cumplió con algunos parámetros básicos como los siguientes: cupo en la palma de una mano de un adulto, su base era cilíndrica, presentó un ligero abombamiento al centro (Charley, 2009), sin embargo, su apariencia era la de una galleta gruesa y no la de un panque, esto se debió a un leudado deficiente, por la falta de gluten en la harina integral de amaranto lo que provocó que no alcanzara los parámetros físicos del panque control. La corteza era quebradiza, muy gruesa, dura y reseca, su color era el característico al de los panes elaborados con harinas integrales y no era tan ligero, dado que la harina de amaranto es una harina pesada. Su estructura interna ya no fue evaluada debido a que el producto no presentaba una buena apariencia y por lo tanto se decidió realizar modificaciones tanto en la formulación como en el proceso de elaboración, cuidando un aspecto muy importante, que los nuevos ingredientes a utilizar fueran libres de gluten y que tuvieran un efecto favorable en la apariencia física del panque.

La nueva formulación se muestra en la **Tabla 16**.

Tabla 16.- Formulación 2 del panque con harina integral de amaranto (P.A.2).

INGREDIENTES P.A.2	%
HARINA INTEGRAL DE AMARANTO	41.04
AGUA	37.94
<u>MANTEQUILLA</u>	<u>12.26</u>
AZÚCAR	5.69
LEUDANTE	3.06

El panque de amaranto **P.A. 2**, se elaboró bajo la misma metodología del panque **P.A.1** (Figura 22). La modificación a la formulación consistió en aumentar la proporción de mantequilla (Tabla 16), porque las grasas como la mantequilla, actúan como lubricante en la expansión de las celdillas de la masa, favorecen la retención de aire, mejoran la textura, y proporcionan volumen favoreciendo el leudado debido a su capacidad emulsionante (Yepez, 2003).



Figura 25.- Panque con harina integral de amaranto elaborado con la formulación 2 (P.A.2).

Este panque careció de estructura interna (Figura 25), debido a la falta de un agente estabilizante de los lípidos contenidos en el sistema con la parte acuosa, ya que las propiedades de la mantequilla en pastelería o panquelería son relativamente pobres a nivel funcional (Cauvain y Young, 2008). Esto también provocó una falta de leudado, lo cual se atribuyó al perfil de la forma cristalina beta de las grasas de la mantequilla que adquiere al momento de acondicionarse

y batirse, dichos cristales son los más grandes al momento de solidificarse las grasas y se colocan en los extremos de los triglicéridos en formas paralelas, aumentando la densidad de la masa batida y afectando la retención de aire y por tanto el leudado del producto (Cauvain y Young, 2008).

Además, este panque fue mucho más graso, ya que la proporción de mantequilla fue de casi el triple con respecto al panque de amaranto **P.A.1**.

Como el panque de amaranto **P.A.2** carecía de una estructura interna adecuada, se planteó emplear huevo entero como una solución al problema, ya que el huevo aporta proteínas adicionales a la estructura y actúa como estabilizador de la emulsión de agua y grasas, además las proteínas del huevo forman una película que atrapa al aire, al calentarse estas se coagulan y proporcionan una mayor firmeza a la miga (Yepez, 2003).

A partir de las consideraciones anteriores, se decidió realizar cambios a la formulación. La nueva formulación para el panque de amaranto **P.A.3** se presenta en la **Tabla 17**.

Tabla 17.- Formulación del panque con harina integral de amaranto P.A.3.

INGREDIENTES P.A.3	%
HARINA INTEGRAL DE AMARANTO	35.37
<u>HUEVO ENTERO</u>	31.43
AGUA	25.15
AZÚCAR	4.90
LEUDANTE	3.14

La formulación **P.A.3**, consistió en retirar la mantequilla por completo de la formulación, pues no proporcionó las características deseadas al producto y solo aumentó la cantidad de grasa del panque, lo cual no es adecuado para las personas celíacas, ya que sus dietas no son tan equilibradas y tienen un alto consumo en grasas y proteínas, faltando la ingesta de otros nutrientes (Álvarez *et al.*, 2010).



Estas modificaciones provocaron un cambio en la forma de elaborar el panque con harina integral de amaranto **P.A.3**, la metodología realizada se muestra en la **Figura 26**.

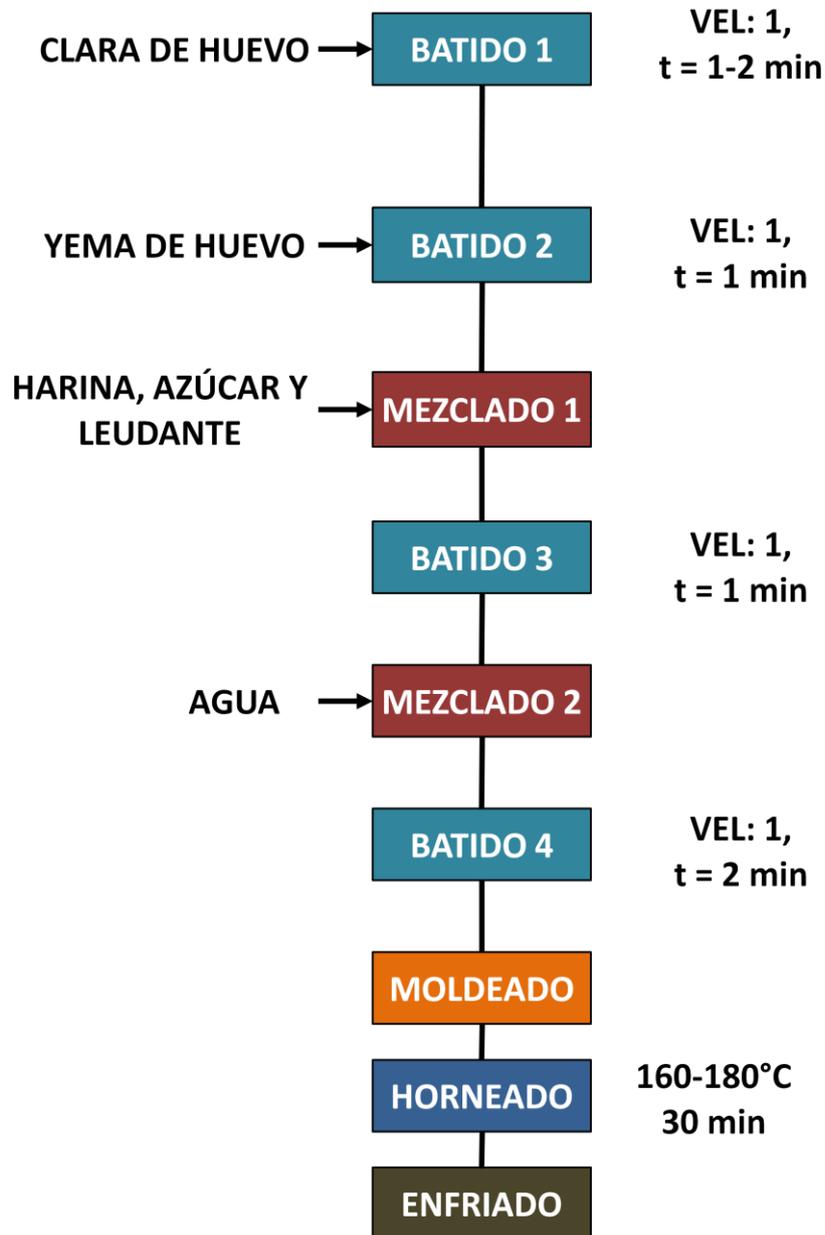


Figura 26.- Diagrama de proceso para la elaboración del panque con harina integral de amaranto P.A.3.

Como se aprecia en la **Figura 26**, el proceso tuvo diversos cambios, se agregaron dos batidos más, primero la clara del huevo y segundo la yema. También se eliminó la mantequilla en el mezclado 1.



Figura 27.- Panque con harina integral de amaranto P.A.3.

En la **Figura 27**, se muestra el panque de amaranto **P.A.3**, el cual presenta una estructura bien definida, se observan que los alveolos se forman en su interior, a pesar de no estar perfectamente acomodados y de no ser de un espesor estándar entre ellos. Se reflejó la interacción del huevo con los demás ingredientes de una manera favorable, la corteza de este panque fue delgada y suave, y presentó una textura esponjosa. Por otra parte, el leudado no fue uniforme y con respecto a la forma que adquirió el panque, se debió al número de batidos durante el proceso (Charley, 2009), al ser el doble de los propuestos inicialmente, incrementando también el tiempo de operación, por lo cual se realizaron modificaciones en la formulación y en el proceso.

Como mejora de las características no deseadas que presentó el panque de amaranto **P.A.3**, se planteó utilizar un mejorador (Suavipan, marca Estrali®), el cual está compuesto por una mezcla de emulsificantes (no especificados por la empresa). Éste tiene la función de reforzar la masa haciéndola más tolerante a todos los esfuerzos que se ve sometida durante el proceso hasta llegar al horneado, repercutiendo en una mejor retención de gas que ayuda al producto a obtener mayor volumen con una miga más fina y uniforme (Tejero, 1996). La modificación a la formulación del panque con harina integral de amaranto **P.A.3** se muestra en la **Tabla 18**.

Tabla 18.- Formulación del panque con harina integral de amaranto P.A.4.

INGREDIENTES P.A. 4	%
HARINA DE AMARANTO	36.79
HUEVO ENTERO	32.71
AGUA	19.62
AZÚCAR	6.87
LEUDANTE	3.27
MEJORADOR	0.73

Este panque se elaboró siguiendo el diagrama de proceso mostrado en la **Figura 33**.

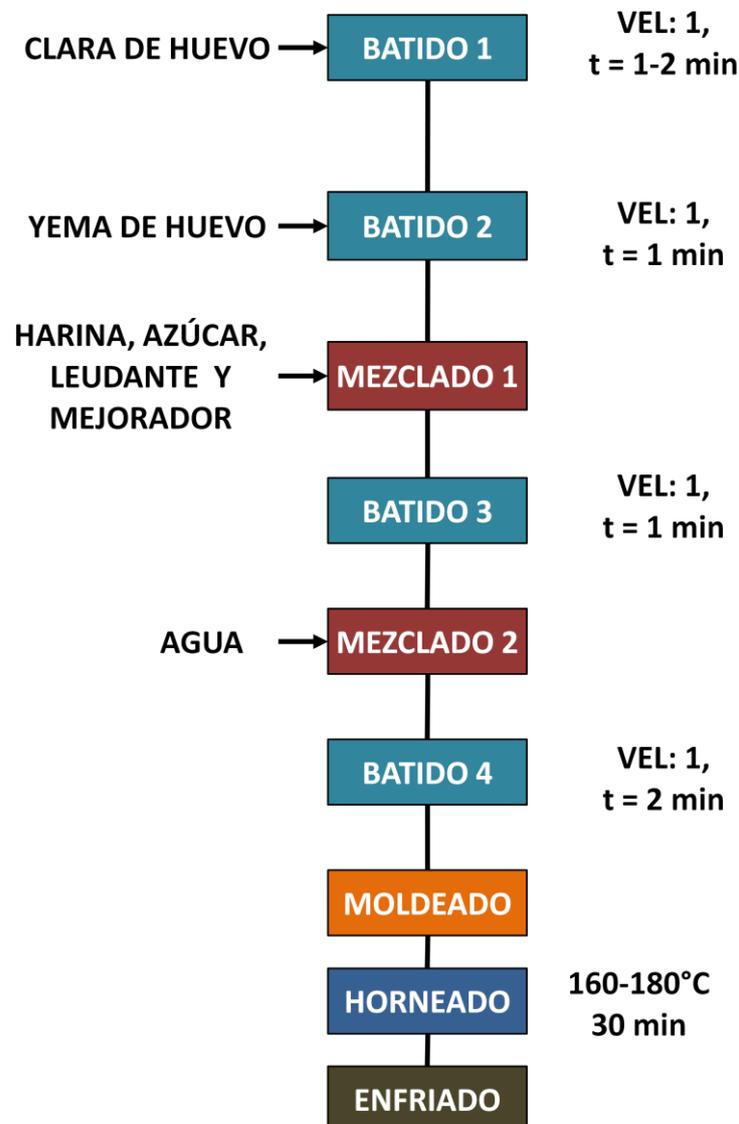


Figura 28.- Diagrama de proceso para la elaboración del panque con harina integral de amaranto P.A.4.

El empleo de este aditivo no modificó los tiempos de batido ya establecidos anteriormente. Se utilizó la concentración máxima recomendada por el fabricante (2% en base a la harina) para tener el mayor efecto deseado. Para poder utilizar el mejorador, se verificó que fuera libre de gluten, los compuestos con los cuales se elabora éste aditivo, es una mezcla de emulsificantes, y los emulsionantes están clasificados ante la legislación europea con la letra “E” y tres números posteriores a esta letra, por lo cual este compuesto es libre de gluten (Asociación de Celíacos de Madrid, 2007) y se pudo emplear de manera segura para elaborar el producto.



Figura 29.- Panque con harina integral de amaranto P.A.4.

Como se observa en la **Figura 29**, el mejorador tuvo un efecto positivo en el panque, las características físicas que presentó fueron: una base cilíndrica y en su parte alta se ensanchó, su diámetro era inferior al de una mano de un adulto. Su corteza fue delgada, los alveolos en el migajón fueron redondos y algunos de estos de tamaño mediano, todas las características físicas fueron buenas y similares a las de un panque de trigo (Charley, 2009). La adición del mejorador permitió obtener las características anteriores y proporcionó un acomodo en la

uniformidad de la miga, brindando a la estructura tener un leudado con mayor uniformidad (Tejero, 1996), por lo tanto, a éste panque si se le midieron sus propiedades físicas.

El leudado fue bajo con respecto al panque control, pero se obtuvo un avance ya que el panque con harina integral de amaranto tuvo las características de un panque de trigo. Su aspecto visual era bueno y presentaba parámetros físicos favorables que hacían que su formulación fuera una buena opción.

Los parámetros físicos del panque con harina integral de amaranto **P.A.4** que eran similares al panque control eran peso y diámetro, sin embargo, la altura y el volumen no, obteniendo valores más bajos.

Un aspecto no aceptable que presentó éste panque, fue el elevado contenido de grasa, con un valor de 11.37%, un porcentaje alto comparado con el panque elaborado con harina de trigo, además le faltó altura, por lo cual se continuó con su mejora.

La nueva formulación se planteó con la finalidad de reducir la cantidad de grasa en el producto para beneficiarlo nutricionalmente.

En la **Tabla 19**, se presenta la formulación del panque con harina integral de amaranto **P.A.5**.

Tabla 19.- Formulación del panque con harina integral de amaranto P.A.5.

INGREDIENTES P.A. 5	%
HARINA DE AMARANTO	42.32
AGUA	22.60
<u>CLARA DE HUEVO</u>	22.6
AZÚCAR	7.9
LEUDANTE	3.8
MEJORADOR	0.85

En la formulación de la **Tabla 19** se destaca la eliminación de la yema de huevo, ya que el huevo entero aproximadamente contiene un 11.5% de lípidos (Badui, 2006), que sumados a las grasas que posee la harina integral de amaranto, provocaban un alto contenido de grasa en el producto. La eliminación de la yema

del huevo fue sustentada en base a que ésta fracción del huevo posee la mayor cantidad de lípidos totales, su composición es de 30.6% aproximadamente (Badui, 2006), por lo cual fue mejor mantener los lípidos de la harina integral de amaranto porque están compuestos de un alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados, que son sanos para el consumidor (Reyna, 1993). A partir de estas consideraciones, se decidió no adicionar más lípidos al producto.

Para la elaboración del panque con harina integral de amaranto **P.A.5**, se siguió la metodología mostrada en la **Figura 30**, cabe resaltar que al eliminar la yema de huevo, se eliminó también un batido para elaborar dicho panque.

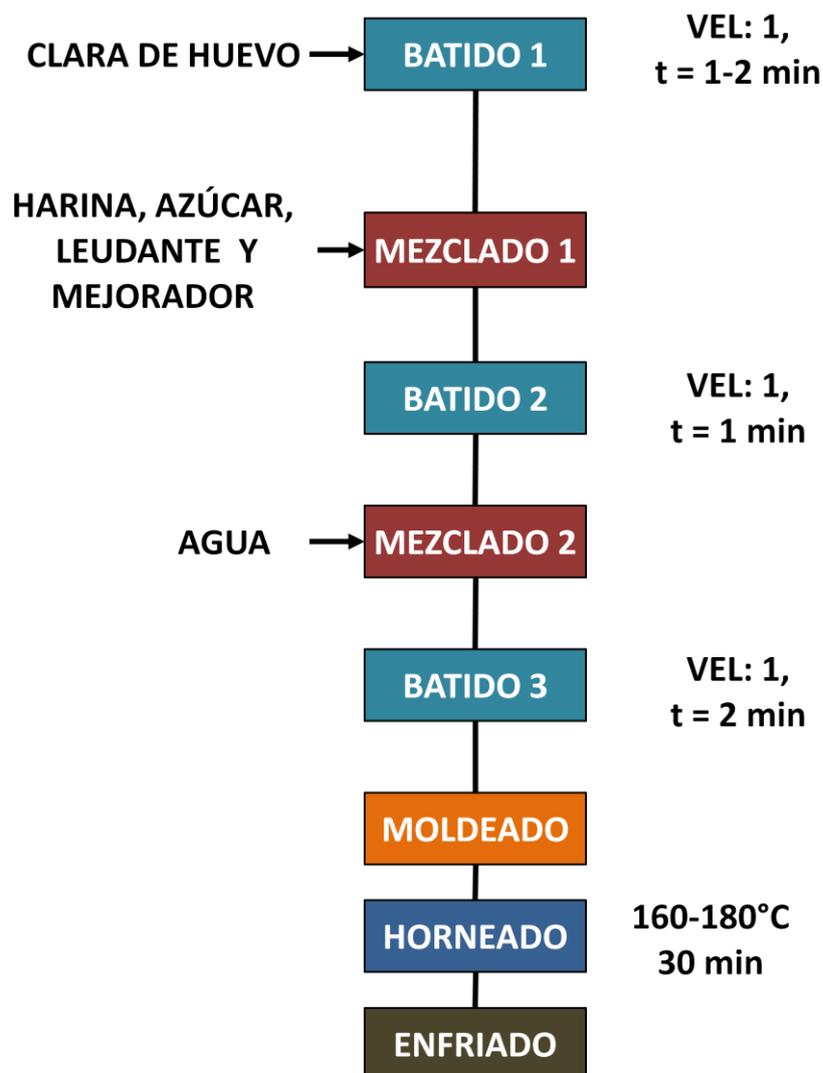


Figura 30.- Diagrama de proceso para la elaboración del panque con harina integral de amaranto P.A.5.

El panque obtenido se muestra en la **Figura 31**.



Figura 31.- Panque con harina integral de amaranto P.A.5.

En este panque se redujo de manera importante la cantidad de lípidos con respecto al anterior (**P.A.4**), ya que al evaluar su porcentaje de grasa, este fue de 7.48%, logrando reducirlo en un 34.9%.

Sin embargo, una característica no favorable que presentó el panque con harina integral de amaranto **P.A.5** es que se vio afectado en su corteza, estaba muy fracturada y quebradiza porque era más rígida (**Figura 31**), esto ocurrió por la eliminación de la yema de huevo, porque en panificación al usar solo la clara de huevo, se obtiene un efecto endurecedor del producto, mientras que la yema propicia una acción suavizante y por eso el huevo entero tiene un efecto más suavizante que endurecedor (Yepez, 2003).

Internamente éste panque se formó de manera adecuada, y se logró reducir su contenido de lípidos. Posteriormente se modificó la formulación, para poder obtener un mayor leudado del producto.

En la **Tabla 20**, se presenta la nueva formulación para poder aumentar el leudado del producto.

Tabla 20.- Formulación del panque con harina integral de amaranto P.A.6.

INGREDIENTES P.A. 6	%
HARINA DE AMARANTO	41.90
CLARA DE HUEVO	22.35
AGUA	22.35
AZÚCAR	7.82
LEUDANTE	3.72
<u>LECITINA DE SOYA</u>	0.99
MEJORADOR	0.84

Para la elaboración del panque con la formulación **P.A.6**, se decidió emplear un emulsionante muy utilizado por la industria alimenticia, la lecitina de soya. Esta se utilizó en polvo y teniendo en cuenta que los lípidos de la yema de huevo poseen el 28% de fosfolípidos y de este porcentaje, el 73% es fosfatidilcolina o lecitina (Badui, 2006) lo cual provee de propiedades emulgentes al huevo (Fennema, 2010). En base a ésta consideración, el adicionar lecitina de soya al producto fue para aumentar el leudado del mismo, porque este compuesto retiene gas y facilita la mezcla de los demás ingredientes (Tejero, 1996) y como agente emulsionante, que es la característica más importante de ésta, debido a que su estructura química está compuesta de fosfolípidos, los cuales poseen una parte hidrofílica y otra lipofílica, el grupo fosfato y la base nitrogenada interaccionan con la fase acuosa, mientras que las cadenas hidrocarbonadas lo hacen con la fase lipídica, con lo que se logra un contacto físico más estrecho entre las dos fases inmiscibles, que sirve como punto de enlace entre los grupos no polares y los polares mejorando el comportamiento de la masa (Serna, 2001), proporcionando al sistema la unión de manera uniforme de las grasas y el agua de la formulación para brindar suavidad, textura uniforme, mayor altura e incrementar el volumen, mejorando de esta forma la calidad final del producto (Buitrón, 2006).

Este panque de amaranto **P.A.6**, se realizó bajo la metodología presentada en la **Figura 32**.

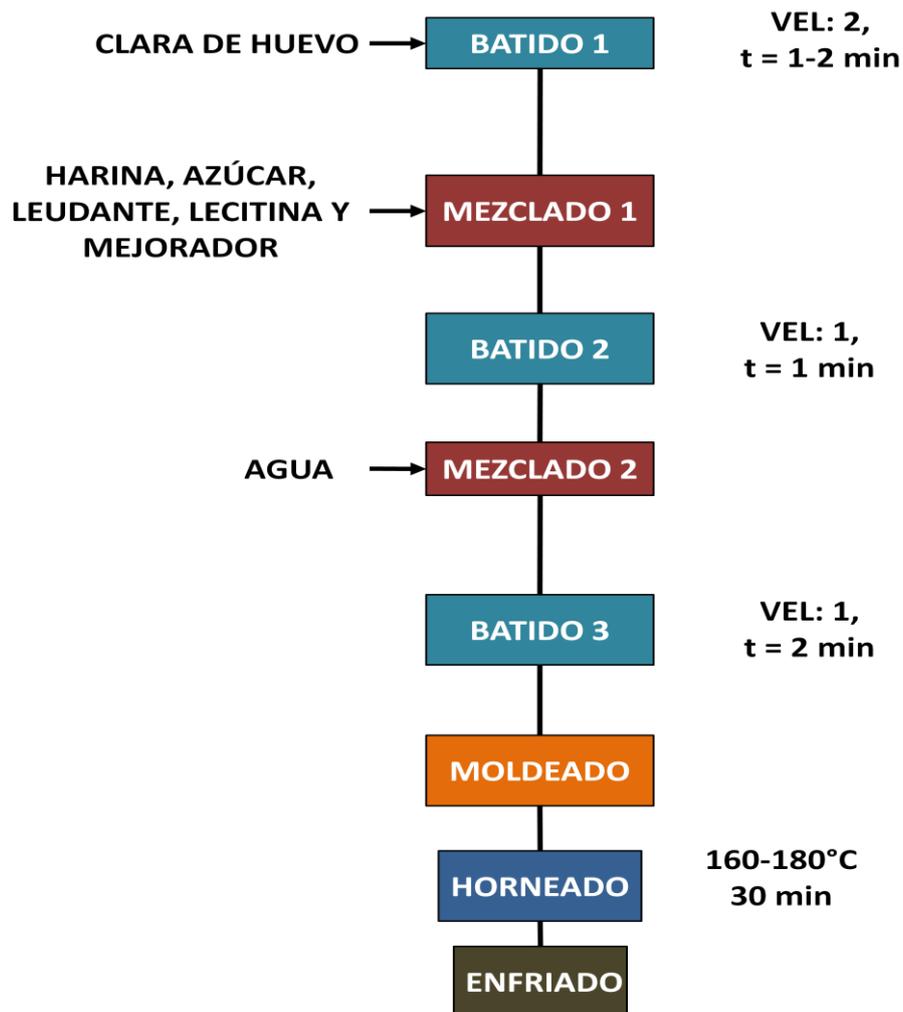


Figura 32.- Diagrama de proceso para la elaboración del panque con harina integral de amaranto P.A.6.

El diagrama de proceso de la **Figura 32** muestra la adición de la lecitina de soya en el mezclado 1, ésta al ser una presentación en polvo, no modificó las condiciones para la elaboración del panque con harina integral de amaranto **P.A.6**. El panque obtenido se muestra en la **Figura 33**.



Figura 33.- Panque con harina integral de amaranto P.A.6.

El panque con harina integral de amaranto **P.A.6**, fue un panque muy quebradizo en su corteza, dada la falta de los demás compuestos que la yema de huevo aporta, pero tenía la característica de ser suave y esponjoso, este panque aún tenía que ser sometido a una mejora, ya que su altura y volumen eran aún muy bajos con respecto al control.

Para poder mejorar la característica antes mencionada se propuso el uso del ácido ascórbico, el cual se ve involucrado en procesos de óxido reducción, favoreciendo los procesos de panadería, pero el uso de este producto es estrictamente un agente reductor, ya que este en presencia de oxígeno se transforma en ácido deshidroascórbico y actúa como agente oxidante (Cauvain y Young, 2008). Este compuesto es relativamente inestable y por acción enzimática puede ser reducido a ácido ascórbico original (procesos de óxido reducción), como agente oxidante mejora las características panaderas, como son el volumen y como agente reductor ablanda la masa y reduce el tiempo de amasado cuando son harinas fuertes (Roche, 1990), esto ayuda para que se obtengan panes con mejores propiedades físicas.

La mejora para el panque de amaranto **P.A.6** se muestra en la **Tabla 21**.

Tabla 21.- Formulación del panque con harina integral de amaranto P.A.7.

INGREDIENTES P.A. 7 EN %	P.A.7 A	P.A.7 B	P.A.7 C
HARINA DE AMARANTO	42.315	42.321	42.328
CLARA DE HUEVO	22.568	22.571	22.575
AGUA	22.568	22.571	22.575
AZÚCAR	7.899	7.900	7.901
LEUDANTE	3.761	3.762	3.762
MEJORADOR	0.846	0.846	0.847
<u>ÁCIDO ASCÓRBICO</u>	<u>0.042</u>	<u>0.028</u>	<u>0.013</u>

El uso del ácido ascórbico está recomendado para la elaboración de panes aptos para celíacos. La concentración máxima recomendada de vitamina C o ácido ascórbico es de 10 gramos por cada 10 kilogramos de harina a usar (Calaveras, 2004). La concentración mínima recomendada oscila entre 2 a 4 gramos por cada

10 kilos de harina a emplear (Schuler, 1985). Como se muestra en la **Tabla 21**, las concentraciones aparecen con tres cifras significativas, esto con el fin de pesar adecuadamente la cantidad de ácido ascórbico para obtener el efecto deseado. Como también se logra apreciar en dicha tabla fue necesario emplear 3 concentraciones de ácido ascórbico, ya que la dosis óptima varía con el tipo de harina (Schuler, 1985). Se propuso una concentración alta que será la **P.A.7.A**, una media denominada **P.A.7.B** y una baja la cual será la **P.A.7.C**. Estas concentraciones se plantearon en base a las dosis recomendadas anteriormente. Para la elaboración de dichos panques, se siguió la metodología que se muestra en la **Figura 34**.

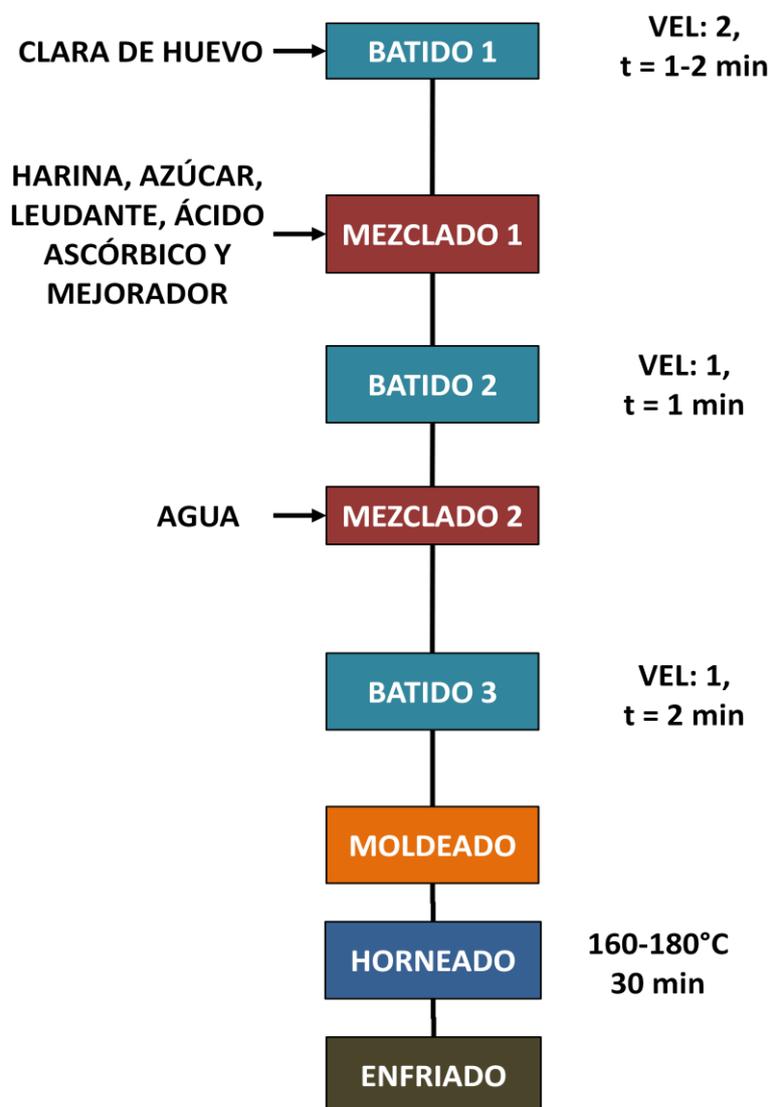


Figura 34.- Diagrama de proceso para la elaboración del panque con harina integral de amaranto 7A, 7B y 7C.

Como se puede ver en la **Figura 34**, la adición del ácido ascórbico se da en el mezclado 1 junto con los ingredientes que son en polvo.



Figura 35.- Panque con harina integral de amaranto 7C (P.A.7C.).

El panque con mejores resultados en altura y un mejor volumen fue el panque con harina integral de amaranto **P.A.7C** (**Figura 35**), indicando que esta concentración fue la más adecuada, ya que las demás concentraciones estuvieron excedidas y cuando se excede la cantidad de ácido ascórbico no produce un aumento en el volumen del pan (Cauvain y Young, 2008). Con respecto a su miga, la estructura de los alveolos se volvió fina y se distribuyó de mejor manera y con buena uniformidad, su corteza fue delgada, pero en comparación con el panque de amaranto **P.A.6** la corteza fue mucho menos quebradiza, logrando dar un buen avance en este aspecto. Estas características que presentó dicho panque fueron alentadoras y se decidió probar la interacción de este compuesto con la lecitina de soya.

El panque con harina integral de amaranto **P.A.8** se realizó con el fin de probar los efectos que tendría el combinar la lecitina de soya y el ácido ascórbico con los demás ingredientes. Estos aditivos al ser mejoradores cumplen con la función de reforzar las características de la harina, para que la masa resultante pueda ser manipulada en el proceso, así, la masa tendrá una buena capacidad de producción y retención de gas, provocando finalmente sobre el producto, un mayor desarrollo de la pieza, mayor suavidad de la miga, buen color y brillo de la corteza, sin fracturarse (Tejero, 2013).

Para lograrlo, en la **Tabla 22** se presenta la formulación con la interacción lecitina-ácido ascórbico.

Tabla 22.- Formulación del panque con harina integral de amaranto P.A.8.

INGREDIENTES P.A.8	%
HARINA DE AMARANTO	41.909
CLARA DE HUEVO	22.351
AGUA	22.351
AZÚCAR	7.823
LEUDANTE	3.725
LECITINA DE SOYA	0.990
MEJORADOR	0.838
ÁCIDO ASCÓRBICO	0.013

El panque con harina integral de amaranto **P.A.8**, se realizó bajo la metodología presentada en la **Figura 36**.

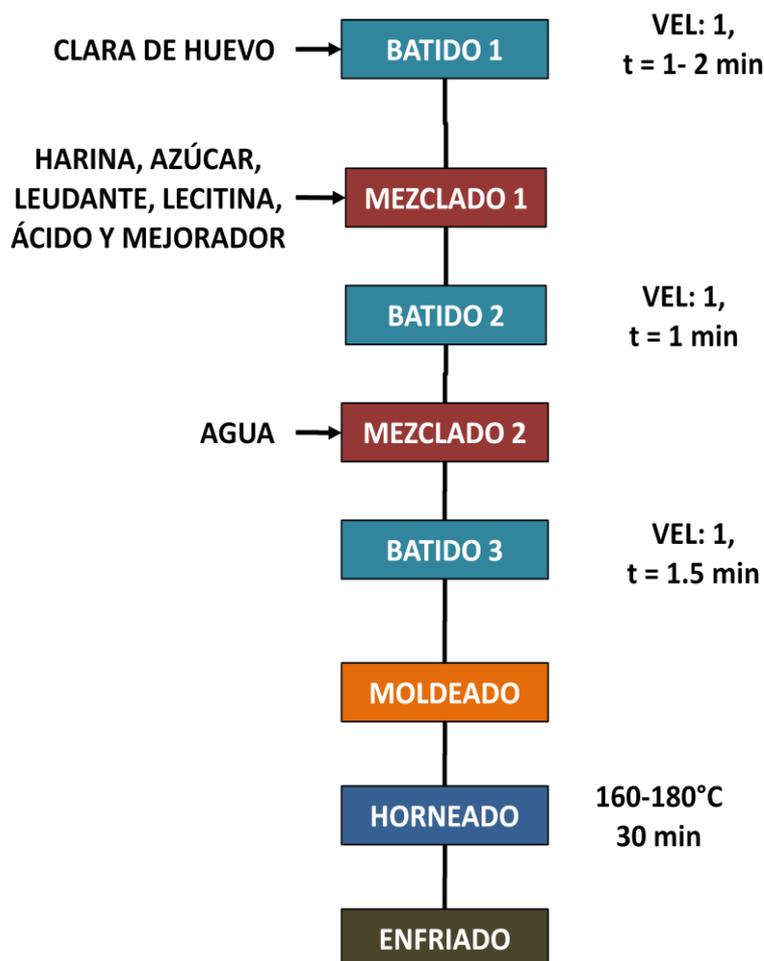


Figura 36.- Diagrama de proceso para la elaboración del panque con harina integral de amaranto P.A.8.

Como se observa en la **Figura 36**, la adición de lecitina de soya y el ácido ascórbico se realizó en el mezclado 1. Las condiciones de proceso no se vieron afectadas.

El panque obtenido se muestra en la **Figura 37**.



Figura 37.- Panque con harina integral de amaranto P.A.8.

Este panque tuvo una miga adecuada, pero su corteza no dejaba de ser quebradiza aunque en menor medida que el panque con harina integral de amaranto **P.A. 7**, pero también era suave y delgada. El efecto de agregar los dos aditivos a la formulación fue benéfico, ya que se logró aumentar un poco la altura y el volumen del producto (éstos solo fueron observados, porque no se midieron, ya que el pan no cumplió con todas las características específicas de los panques, ver **apartado 3.3**); sin embargo, se vieron limitados por la fracturabilidad de la corteza del producto que no permitía llevar a cabo un buen leudado, ya que durante el horneado de este tipo de productos se propician diferentes reacciones que conllevan a obtener modificaciones en el producto final; esto debido a que al momento de ser introducida la masa al horno, ocurren cambios dinámicos en diferentes momentos y puntos de la masa que propiciarán formar una corteza delgada en la parte superior a los pocos minutos de ingresar la masa al horno. Conforme pasa el tiempo de horneado, la corteza superior permanece relativamente delgada, mientras que en el centro del producto se mantiene un flujo dinámico del calor ejerciendo una presión de los fluidos internos (vapor de agua y gas expandidos por el calor) hacia el exterior (ejercen una presión hacia arriba) que puede atravesar la corteza (Cauvain y Young, 2008), la harina integral de amaranto al no tener la consistencia y estabilidad que posee la

harina de trigo (Cortés, 2011), se ve fácilmente afectada por los fenómenos durante el horneado, provocando la fracturabilidad en la corteza y permitiendo el escape de los gases y vapores de agua originados durante el horneado al no retener agua de manera adecuada provocando un deficiente leudado (Cauvain y Young, 2008). Al finalizar el tiempo de cocción la expansión de la masa cesa y existe una ligera contracción del producto, lo que provoca el quebrado de la corteza del panque al equilibrarse la presión interna del gas con la de la atmósfera, formando ligeros picos sobre la corteza superior. Este tipo de picos son relativamente aceptados en productos pequeños de pastelería como los panques, pero indeseables cuando las piezas son más grandes como por ejemplo en barra (Cauvain y Young, 2008).

Para evitar que la corteza fuera quebradiza y que no tuviera un deficiente leudado que aun presentaba por las fisuras en la corteza. Se decidió realizar la misma formulación (**P.A.8**) pero con una modificación al proceso de elaboración del panque con harina integral de amaranto **P.A.8** mostrada en la **Figura 38**.

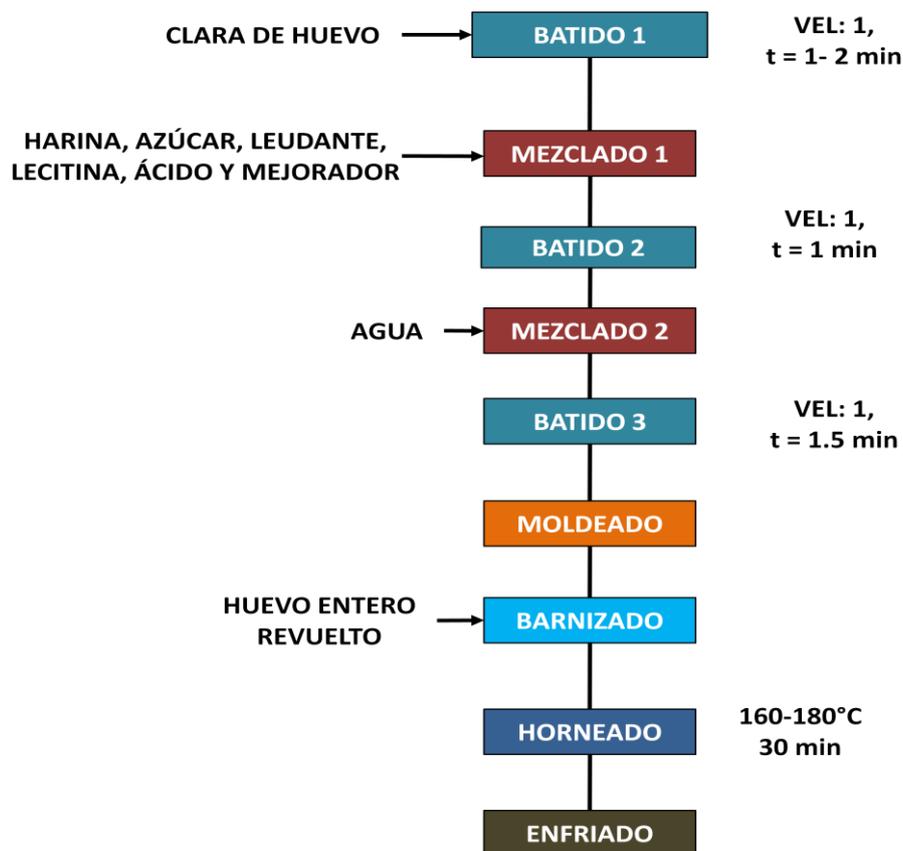


Figura 38.- Nuevo diagrama de proceso para la elaboración del panque con harina integral de amaranto P.A.8.

Los cambios para la elaboración del panque con harina integral de amaranto **P.A.8** solo fueron en el proceso, y fue durante la etapa de moldeado, ya que solo se realizó un ligero barnizado con huevo entero sobre la masa colocada en el molde, esto para evitar que la corteza fuera quebradiza.

Los resultados de dicha acción se pueden apreciar en la **Figura 39**.



Figura 39.- Nuevo panque con harina integral de amaranto P.A.8 y barnizado con huevo entero.

Esta acción trajo consigo beneficios durante los primeros minutos de horneado, ya que es cuando la corteza se forma (Cauvain y Young, 2008). Al estar presente una ligera capa de huevo entero sobre la masa y sobre la corteza al momento de su formación, se favoreció con humedad y elasticidad a la misma, porque el huevo entero tiene una humedad de aproximadamente 74% (Badui, 2006), esto favoreció que al momento de hornear el panque tuviera una fuente de humedad para hidratar su corteza al momento de su formación y que las proteínas que posee el huevo al calentarse se coagularan (Yepez, 2003) formando una película sobre la corteza del panque y así evitar que se fracturara. Una vez terminado el horneado, la corteza dejó de ser quebradiza y dejó de tener ligeros picos en la parte superior por la acción del barnizado.

Otro efecto benéfico por la acción del barnizado, es que se logró mejorar la interacción de la lecitina de soya y el ácido ascórbico, ya que estos proporcionaron más altura aunque no la suficiente como el panque control y también que no se escapara vapor de agua y gas por las fisuras del panque al momento de hornear. A partir de esta corrección y de los fenómenos observados, se buscó lograr mayor altura y volumen. Para esto se decidió plantear una

formulación para elaborar el panque con harina integral de amaranto que se muestra en la **Tabla 23**.

Tabla 23.- Formulación del panque con harina integral de amaranto P.A.9.

INGREDIENTES P.A.9	%
HARINA DE AMARANTO	44.709
CLARA DE HUEVO	23.845
AGUA	21.460
LEUDANTE	3.974
<u>EMULSIFICANTE</u>	2.235
LECITINA DE SOYA	1.056
<u>SUSTITUTO DE AZÚCAR</u>	1.590
MEJORADOR	0.894
<u>GOMA GUAR</u>	0.224
ÁCIDO ASCÓRBICO	0.013

El panque con harina integral de amaranto **P.A.9**, se planteó para lograr un mayor leudado al producto. Como se observa en la **Tabla 23**, se decidió hacer uso de otro emulsificante, el cual fue también sirvió para enlazar los compuestos polares y los no polares mejorando el comportamiento de la masa durante el proceso (Serna, 2001).

También se utilizó goma guar, ésta goma es adecuada para elaborar productos sin gluten por su capacidad espesante (Calaveras, 2004), es de origen vegetal y no contiene gluten (Asociación de Celíacos de Madrid, 2007). Cuando es adicionada a la masa ayuda a reducir el tiempo de batido, a tener un menor desprendimiento en la miga del producto terminado y a retener mayor cantidad de agua y proporciona una vida de anaquel prolongada (Alimentarios y Técnica, 1987).

Por otra parte, inicialmente se había planteado la elaboración del panque de harina integral de amaranto, con azúcar; sin embargo, una de las características sensoriales detectadas en esta etapa fue el resabio amargo del panque, esto debido a que la harina de amaranto es amarga, y el azúcar adicionado no era suficiente para enmascarar ese resabio, por lo cual sería necesario aumentar la cantidad de azúcar adicionada, y debido a que la alimentación de las personas celíacas es muy deficiente en vitaminas, fibra, minerales y otros nutrientes, y excesiva en carbohidratos y grasas (Álvarez *et al.*, 2010) lo más adecuado fue no adicionar más azúcar, sino que se optó por sustituir el azúcar por un edulcorante de tipo artificial, ya que este tipo de edulcorantes poseen un fuerte sabor dulce a concentraciones bajas y se pueden aplicar para la elaboración de productos diseñados para ser bajos en calorías, y éste aditivo (edulcorante) es libre de gluten (Asociación de celíacos de Madrid, 2007), por lo que así las personas celíacas podrán consumir el panque sin obtener un gran aporte calórico, pero sí un beneficio a su salud por la riqueza proteica del mismo.

Cabe resaltar que previo a ésta formulación, el panque de amaranto sólo había estado enfocado a obtener principalmente las características y propiedades físicas a las de un panque de trigo comercial y no a su aspecto sensorial, lo cual a partir de ésta etapa también fue considerado para obtener un producto final aceptable en todos sus aspectos (físicos, químicos y sensoriales).

También fue necesario realizar el producto bajo la metodología de la **Figura 40**.

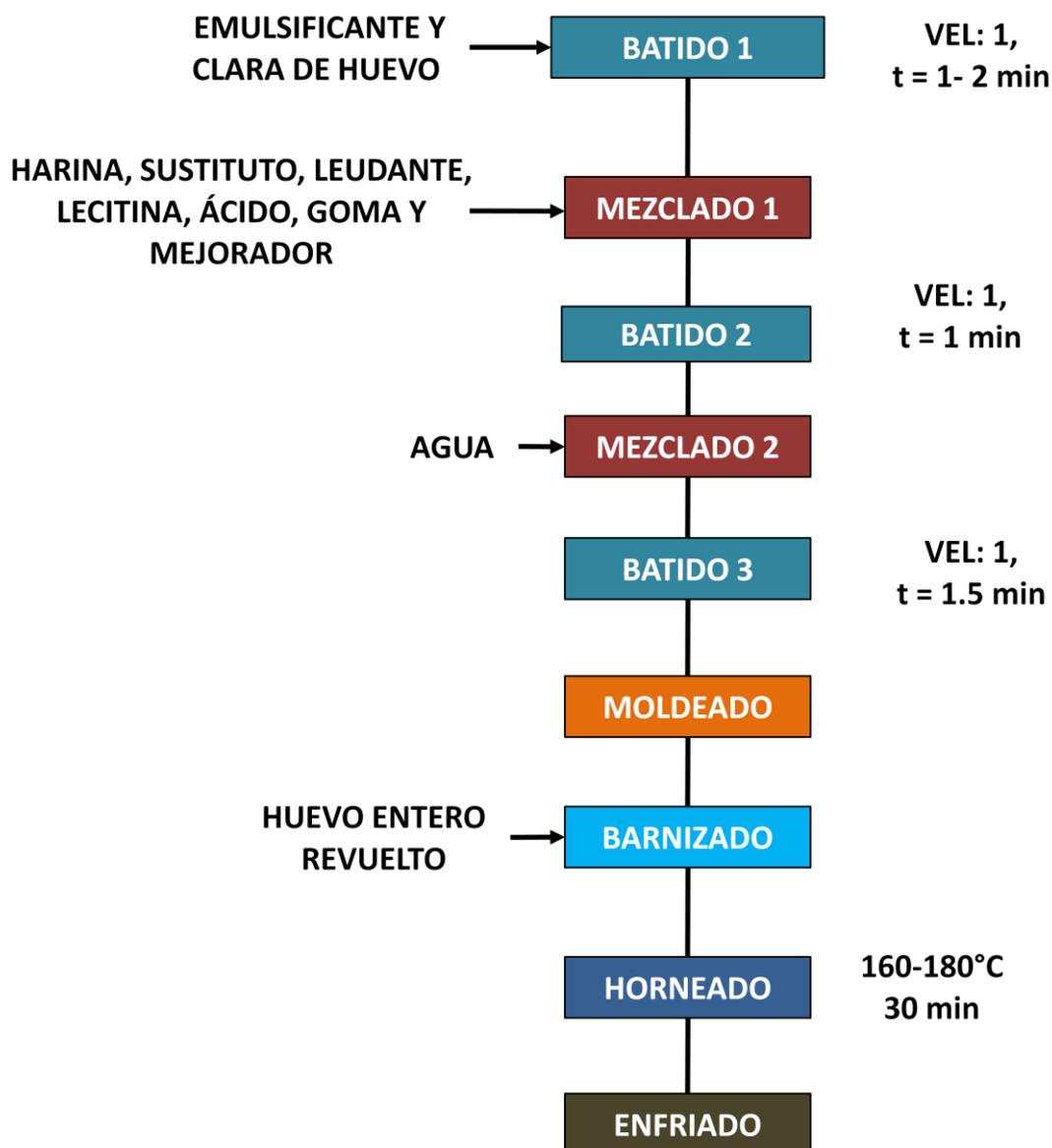


Figura 40.- Diagrama de proceso para la elaboración del panque con harina integral de amaranto P.A.9.

Como se observa en la **Figura 40**, el diagrama de proceso fue modificado, incorporando el emulsificante junto con la yema de huevo en el batido 1, así como la sustitución del azúcar por el edulcorante y la adición de la goma guar en el mezclado 1. Los resultados obtenidos pueden apreciarse en la **Figura 41**.



Figura 41.- Panque elaborado con harina integral de amaranto P.A.9.

Éste panque presentó una mejora significativa en muchos de sus aspectos físicos. La altura y el volumen se vieron beneficiados de una manera significativa, su miga se vio más uniforme con alveolos finos, cumpliendo con los efectos propios de los emulsificantes (Tejero, 1996), la corteza era delgada, suave y además este producto era suave y esponjoso. Por efecto de la goma guar, el producto ganó en peso al retener una mayor cantidad de agua, debido a que ésta por su naturaleza, es un polisacárido lineal compuesto de una gran cadena de monosacáridos que en su estructura posee grupos hidroxilo, los cuales al estar en contacto con las moléculas de agua forman puentes de hidrogeno (interacción entre los grupos hidroxilo que posee la goma guar en su estructura y los hidrógenos de las moléculas de agua), que colisionan entre sí ocupando el polisacárido (goma guar) un mayor volumen que un polisacárido ramificado; por lo que al hidratarse la goma retiene una mayor cantidad de agua, cumpliendo la goma con la función de dar volumen al producto y estabilidad (Buitrón, 2006), porque además ayuda a reforzar la miga y su formación desde el inicio del horneado, evitando también que la corteza sea quebradiza. También su vida de anaquel se vio beneficiada en un día más en condiciones normales de almacenamiento. Con respecto al sabor, este era insípido y ligeramente amargo, características propias del amaranto. Para conseguir mejores resultados en el sabor del panque de amaranto se planteó la formulación de la **Tabla 24**.

Tabla 24.- Formulación del panque con harina integral de amaranto P.A.10.

INGREDIENTES P.A.10	%
HARINA DE AMARANTO	41.114
CLARA DE HUEVO	21.928
AGUA	19.735
<u>SABORIZANTE</u>	7.309
LEUDANTE	3.655
SUSTITUTO DE AZÚCAR	<u>2.193</u>
EMULSIFICANTE	2.056
LECITINA DE SOYA	0.971
MEJORADOR	0.822
GOMA GUAR	0.206
ÁCIDO ASCÓRBICO	0.012

Como se aprecia en la formulación de la **Tabla 24**, se aumentó la cantidad de sustituto de azúcar para hacerlo un poco más dulce sin aportar calorías, acción propia de los edulcorantes (Buitrón, 2006) y para enmascarar el resabio amargo que aun ligeramente se percibía en el panque de amaranto. También se planteó el uso de un saborizante, para mejorar el sabor del producto (Buitrón, 2006).

Para la elaboración de este panque, se siguió la metodología planteada en la **Figura 42**.

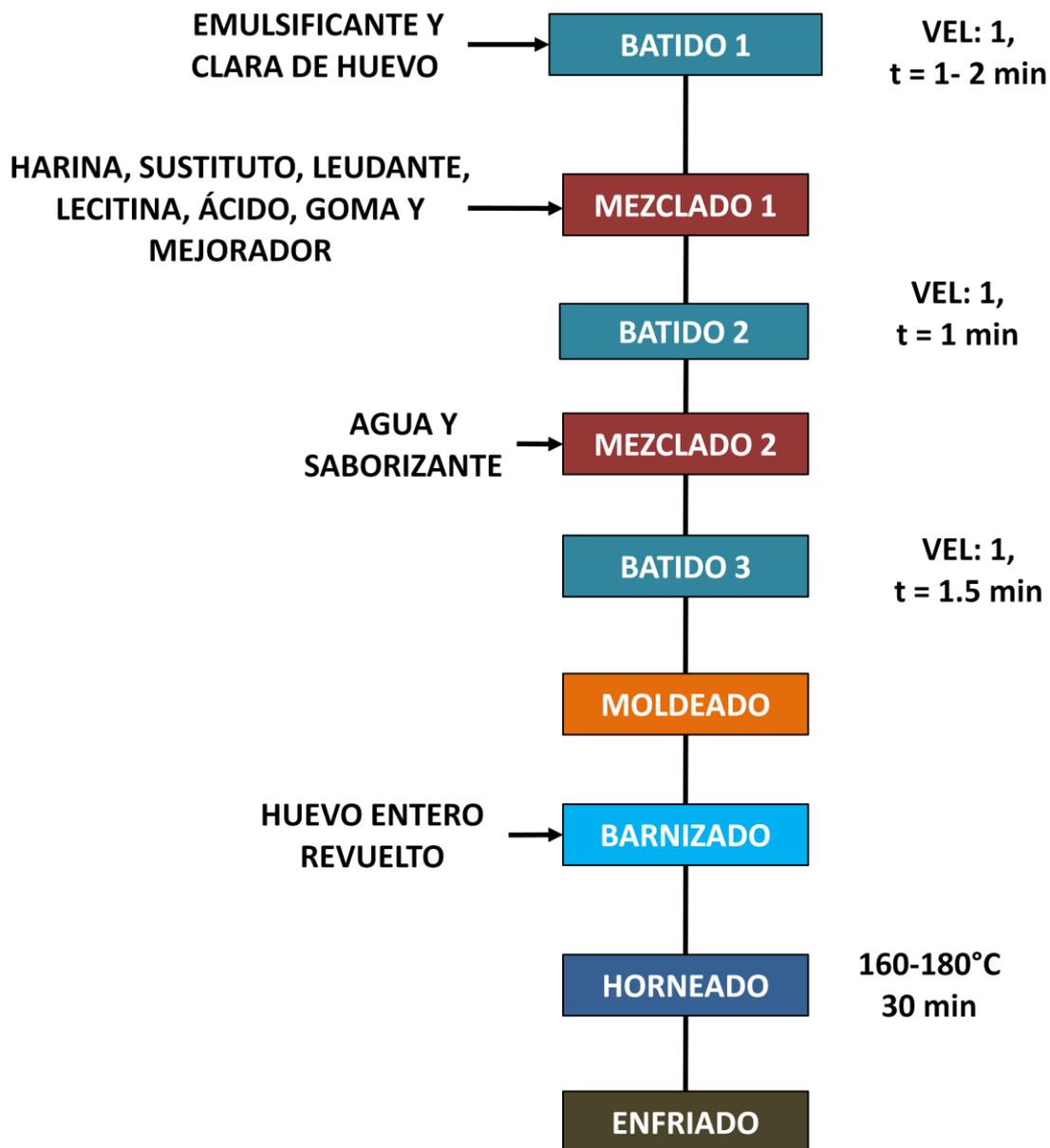


Figura 42.- Diagrama de proceso para la elaboración del panque con harina integral de amaranto P.A.10, P.A.11 y P.A.12.

Como se aprecia en el diagrama de la **Figura 42**, en el mezclado 2 se agregó el saborizante como nuevo ingrediente en la formulación, este saborizante al ser líquido, la forma más adecuada para adicionarlo fue a través de mezclarlo con el agua, pero resultó que el panque con harina integral de amaranto **P.A.10** aún no tenía un dulzor adecuado que pudiera gustar al consumidor y no lograba enmascarar por completo el resabio amargo que el amaranto proporcionaba. El sabor a vainilla en el panque con harina integral de amaranto **P.A.10** era demasiado débil y casi imperceptible. A partir de las consideraciones anteriores

se decidió aumentar las cantidades de ambos ingredientes en la formulación. La nueva formulación se presenta en la **Tabla 25**.

Tabla 25.- Formulación del panque con harina integral de amaranto P.A.11.

INGREDIENTES P.A.11	%
HARINA DE AMARANTO	44.009
CLARA DE HUEVO	23.472
AGUA	13.301
SABORIZANTE	<u>7.824</u>
LEUDANTE	3.912
SUSTITUTO DE AZÚCAR	<u>3.130</u>
EMULSIFICANTE	2.200
LECITINA DE SOYA	1.039
MEJORADOR	0.880
GOMA GUAR	0.220
ÁCIDO ASCÓRBICO	0.013

Para el panque con harina integral de amaranto **P.A.11**, solo se aumentaron las cantidades de saborizante y sustituto de azúcar (**Tabla 25**), también este panque se realizó bajo la metodología descrita en la **Figura 42**.

Este panque, al haber incrementado su cantidad de sustituto de azúcar logró obtener un dulzor adecuado, siendo la cantidad agregada de sustituto de azúcar más que suficiente para percibir que su sabor era dulce y no dejar un resabio amargo al consumidor.

Con respecto al saborizante de vainilla, aún no lograba proporcionar por completo un sabor a vainilla, siendo el panque con harina integral de amaranto **P.A.11** ligeramente insípido, por lo tanto se decidió aumentar su cantidad (**Tabla 26**).



Tabla 26.- Formulación del panque con harina integral de amaranto P.A.12.

INGREDIENTES P.A.12	%
HARINA DE AMARANTO	43.668
CLARA DE HUEVO	23.289
AGUA	10.868
SABORIZANTE	10.092
SUSTITUTO DE AZÚCAR	3.882
LEUDANTE	3.882
EMULSIFICANTE	2.183
LECITINA DE SOYA	1.031
MEJORADOR	0.873
GOMA GUAR	0.218
ÁCIDO ASCÓRBICO	0.013

Este panque fue elaborado con la misma metodología de la **Figura 42**, al elaborar este panque, el resabio que dejaba el amaranto fue enmascarado por completo por el sustituto de azúcar, siendo la cantidad agregada a la formulación la necesaria para lograr dicho fin, además este panque presentaba un sabor a vainilla, resultando ésta la mejor formulación porque reunió las mejores características físicas y sensoriales (**Figura 43**).



Figura 43.- Panque con harina integral de amaranto P.A.12.

En base a las características del **apartado 1.2.4** del presente trabajo, este panque cabía en la palma de la mano de un adulto, tenía una tendencia a formar en su estructura un “hongo o champiñón” y su color era dorado (Charley, 2009). Estructuralmente era un panque con una miga mediana o promedio, ordenada, su

corteza era suave y delgada, este panque era esponjoso y presentó valores más cercanos al panque control. Con respecto a su sabor, éste era dulce sin ser empalagoso y tenía sabor a vainilla. Por lo tanto, el panque con harina integral de amaranto **P.A.12** fue el elegido como el mejor. Además este panque por la naturaleza de sus ingredientes es libre de gluten.

El costo por la elaboración del panque de amaranto con la formulación final (P.A.12) fue de \$7.50 (presentación de 36.93 gramos) por cada panque, la adición de los aditivos como el saborizante, sustituto de azúcar, emulsificante, lecitina de soya, goma guar y ácido ascórbico incrementan su valor como se esperaba; sin embargo, mejoran considerablemente sus características físicas y sensoriales, lo que permitió obtener un mejor producto.

Comparado con un panque comercial de harina de trigo, cuyo precio de elaboración es de \$3.00 en una presentación de 30 gramos, el panque de harina integral de amaranto tiene un costo 60% mayor, sin embargo, esto es compensado por los beneficios que éste puede brindar por su alto valor nutricional, especialmente por su alto contenido proteico de mejor calidad que en los panes convencionales elaborados con harina de trigo comercial (ver tabla 31) y también considerando que es un producto dirigido a un sector especial de la población, personas con enfermedad celíaca, los consumidores pagarían un poco más por el producto, por la tendencia que existe en el mercado, de que los productos dirigidos a sectores especiales son más caros (por el proceso y las mejoras que éste implica) que los dirigidos a consumidores en general, sin padecimientos específicos; por lo que se considera que éste producto sería una buena propuesta, ya que en el mercado nacional no se encuentra hasta ahora un producto comercial similar al planteado en este proyecto. Por otra parte, se debe considerar que sería más rentable el proyecto, al tener una mayor producción, pues el costo de las materias primas por mayoreo sería menor.

3.3.- EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS.

En la **Tabla 27** se presentan los resultados de la evaluación de las propiedades físicas de los panques que tuvieron la mejor apariencia.

Los panques seleccionados para medir sus propiedades físicas fueron las formulaciones de **amaranto P.A.1, P.A.4 y P.A.12**, porque presentaron una base cilíndrica, una copa más ancha en la parte superior, y fueron en su diámetro inferiores al de la palma de una mano de un adulto, principales características para que un pan pueda ser considerado como panque. También se eligieron porque tuvieron su corteza delgada, su estructura del migajón con agujeros redondos y de tamaño mediano, así como que el panque fuera ligero (Charley, 2009). Los panes obtenidos con las demás formulaciones fueron descartados y no se les midieron sus propiedades físicas, debido a que no cumplían con las características para ser denominados panques (mismas que se mencionaron anteriormente); y de esta forma si se pudo llevar a cabo una comparación entre los panques de amaranto con el panque control.

Tabla 27.- Resultados obtenidos por los panques con mejor apariencia en las pruebas físicas realizadas.

PANQUE	PESO (g)	ALTURA (mm)	VOLUMEN (cm ³)	DIÁMETRO (mm)
TRIGO (CONTROL)	31.30, ±0.6245 ^{a*}	40.67, ±1.1547 ^a	216.67, ±5.7735 ^a	57.00, ±0.0 ^a
AMARANTO P.A.1	27.13, ±1.6773 ^b	25.33, ±0.5773 ^b	163.33, ±5.7735 ^b	57.00, ±0.0 ^a
AMARANTO P.A.4	31.33, ±1.0017 ^a	29.33, ±0.5773 ^c	185.67, ±5.7735 ^c	57.00, ±0.0 ^a
AMARANTO P.A.12	36.93, ±0.4726 ^c	35.67, ±0.5773 ^d	223.23, ±5.7735 ^d	57.00, ±0.0 ^a

*a, b, c, d: diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$).

El panque con harina integral de amaranto 1 es evaluado porque es la misma formulación con la que se elaboró el panque control.

Como se puede apreciar en la **Tabla 27**, comparando el panque de amaranto 1 con el control, ambos tienen diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) en su peso, volumen y altura. En todos los casos, el panque de amaranto tuvo valores menores, esto se atribuye a que la harina de amaranto no tiene las mismas características de la harina de trigo y principalmente el gluten quien brinda consistencia a la masa (Calaveras, 2004).

Comparando el panque con harina integral de amaranto **P.A.4** con el panque de amaranto **P.A.1**, se observa también que hay diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) entre uno y otro, es posible apreciar que los cambios que sufrió la formulación base tuvieron un efecto positivo en el peso, la altura y el volumen del producto.

El panque con harina integral de amaranto **P.A.12** al ser la formulación final, se comparó con el de trigo. Respecto al peso, este fue mayor en el de amaranto, ya que retuvo una mayor cantidad de agua gracias a la goma guar (Buitrón, 2006). Su altura del panque con harina integral de amaranto **P.A.12** fue la máxima que logró alcanzar, ya que el trigo posee gluten y el amaranto no (Álvarez *et al.*, 2010). Con respecto al volumen existe una diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) del panque de amaranto con el de trigo, pues el primero tuvo mayor peso traducido en masa y por tanto ocupó un mayor volumen. Por tanto se confirma que la mejor formulación fue la **P.A.12**.

3.4.- ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DE LOS PANQUES ELABORADOS.

Para conocer la composición química de los panques elaborados (panque de trigo o control y panque con harina integral de amaranto **P.A.12**, se decidió emplear los métodos de la AOAC para llevar a cabo el análisis químico proximal. En la **Tabla 28**, se pueden ver los resultados obtenidos.

Tabla 28.- Resultados del análisis químico proximal del mejor panque de amaranto y del panque control (expresados en %).

PANQUE	HUMEDAD	PROTEÍNA	GRASA	CENIZAS	FIBRA	CHOS
DE TRIGO (CONTROL)	6.68, ±0.03 ^{a*}	6.50, ±0.01 ^a	5.19, ±0.52 ^a	4.75, ±0.04 ^a	1.92, ±0.06 ^a	74.96 ^a
CON HARINA INTEGRAL DE AMARANTO P.A.12	7.12, ±0.0173 ^b	13.09, ±0.0305 ^b	8.59, ±0.46 ^b	4.8, ±0.05 ^a	6.14, ±0.054 ^b	60.26 ^b

*a, b: diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$).

El análisis químico proximal de los productos indica valores superiores y estadísticamente significativos ($P \leq 0.05$) en humedad, proteína, grasa y fibra, así como valores inferiores y estadísticamente significativos ($P \leq 0.05$) en carbohidratos para el panque de amaranto **P.A.12** con respecto al de trigo. La cantidad de cenizas obtenida también fue superior en el panque con harina integral de amaranto 12, pero sin existir una diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$).

La humedad que presentó el panque con harina integral de amaranto **P.A.12** es superior, debido a las propiedades que confirió la goma guar al producto, es decir, al estar presente este compuesto en la formulación se favoreció la retención de humedad provocando una textura más suave (Buitrón, 2006) entre otros beneficios anteriormente explicados.

El valor de proteína del panque con harina integral **P.A.12** resalta por ser más del doble del que presentó el panque control, cabe mencionar que esta proteína no solo aumentó, sino que también es de muy buena calidad (Morales, 1994), esta proteína que posee el panque con harina integral **P.A.12** se ha reportado que tiene un buen balance de aminoácidos esenciales situándolo como un alimento de calidad (Pola *et al.*, 2007) y dicho balance de aminoácidos esenciales se acerca al de la proteína ideal (Mapes, 2010), por esto se decidió estudiar un poco más a fondo la proteína del producto para corroborar su calidad nutrimental.

Los lípidos que posee el panque con harina integral **P.A.12** fueron también superiores, cabe mencionar que al consumir estos lípidos el organismo se beneficiará por su alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados, los cuales son sanos para el ser humano (Reyna, 1993), así como al consumirlos, se propiciará involucrar a diversos agentes potencialmente importantes en la reducción del colesterol tales como el escualeno, los tocotrienoles y los isoprenoides (Morales *et al.*, 2009).

Las cenizas que obtuvo el panque con harina integral **P.A.12** fueron ligeramente superiores en comparación con el panque de trigo, esto se debió a la cantidad en sales minerales que proporcionó el agente leudante, pero es necesario resaltar que el amaranto posee un mayor contenido de micronutrientes que los cereales convencionales (Morales *et al.*, 2009), resaltando la cantidad de calcio en 490 mg y fierro en 455 mg, mientras que el trigo aporta 30 mg y 330 mg respectivamente (Morales, 1994), esto le da un valor agregado al producto, porque normalmente

los alimentos para intolerantes al gluten son deficientes en minerales (Alvarez *et al.*, 2010).

La cuantificación de fibra en el panque con harina integral **P.A.12** demuestra que este parámetro es tres veces mayor al valor obtenido por el panque control, al poseer esta cantidad de fibra el producto le confiere beneficios fisiológicos como mejorar la digestión y atenuar los niveles de colesterol y los de glucosa en la sangre (Gil, 2010).

La cantidad de carbohidratos es menor en el panque con harina integral **P.A.12**, esto es un parámetro muy importante, pues las dietas para las personas intolerantes al gluten están mal equilibradas y estas personas consumen altas cantidades de carbohidratos, perjudicando su salud (Alvarez *et al.*, 2010), el panque con harina integral **P.A.12** contribuye a disminuir la ingesta de carbohidratos y de calorías al ser endulzado con un edulcorante cero calorías.

3.5.- CALIDAD NUTRIMENTAL.

3.5.1.- CUANTIFICACIÓN DE TRIPTÓFANO.

Se midió el contenido de triptófano porque es el aminoácido que se encuentra en menor concentración en el amaranto así como en el trigo (Morales *et al.*, 2009) Los resultados de la determinación de triptófano se muestran en la **Tabla 29**.

Tabla 29.- Cuantificación de triptófano en harina de panques de trigo y amaranto elaborado con la formulación P.A.12.

g de Triptófano/100 g de proteína	
PANQUE CONTROL (TRIGO)	PANQUE DE AMARANTO (P.A.12)
1.16; ±0.007 ^{a*}	1.03; ±0.004 ^a

*a: no existe diferencia estadísticamente significativa.

Como se puede observar, el contenido de triptófano fue similar entre el panque control y el de amaranto, ya que no existe una diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) entre ellos.

Esto sugiere que en ambos casos el aminoácido no fue afectado por el proceso de horneado, ya que se sabe que este aminoácido es muy sensible a temperaturas altas (Cortés, 2011).

Cabe mencionar que ambos panques rebasan el valor de 0.5 gramos de triptófano por cada 100 gramos de proteínas que establece la FAO como consumo mínimo diario (Morales *et al.*, 2009).

El producto al contener una buena cantidad de triptófano permitirá la producción de dos derivados de gran importancia fisiológica, la serotonina y la melatonina. La primera es vital en la regulación del apetito y la segunda es la hormona de la glándula pineal, a la que se le ha atribuido la capacidad de retrasar el envejecimiento (Gil, 2010).

3.5.2.- PERFIL DE AMINOÁCIDOS.

Como se ha podido observar a lo largo del trabajo, el amaranto posee un mayor porcentaje de proteína que el grano de trigo, esto quedó demostrado en el análisis químico proximal de las harinas y de los productos (**panque control y panque con harina integral de amaranto P.A.12**), por otra parte, también se dice que la proteína que posee el amaranto es de mejor calidad biológica, es decir su cantidad de aminoácidos esenciales es más completa y con mayor cantidad. Para comprobar esto se realizó el perfil de aminoácidos y los resultados se presentan en la **Tabla 30**.

Tabla 30.- Resultados obtenidos del análisis de aminoácidos.

PERFIL DE AMINOÁCIDOS		
AMINOÁCIDOS g de a.a / 100 g de proteína.	PANQUE CONTROL (TRIGO)	PANQUE DE AMARANTO 12
Asparagina (Asp).	4.415 ^{a*}	8.645 ^b
Glutamina (Glu).	34.382 ^a	15.212 ^b
Serina (Ser).	2.585 ^a	3.867 ^b
<u>Histidina (His).</u>	1.978 ^a	2.451 ^b
Glicina (Gli).	1.813 ^a	2.852 ^b
<u>Treonina (Tre).</u>	4.523 ^a	8.962 ^b
Arginina (Arg).	3.393 ^a	4.757 ^b
Alanina (Ala).	3.466 ^a	5.850 ^b
Tirosina (Tir).	2.297 ^a	2.186 ^b
<u>Metionina (Met).</u>	2.928 ^a	1.831 ^b
<u>Valina(Val).</u>	4.577 ^a	5.410 ^b
<u>Fenilalanina (Fen).</u>	5.898 ^a	5.068 ^a
<u>Isoleucina (Isl).</u>	4.208 ^a	4.647 ^a
<u>Leucina (Leu).</u>	7.380 ^a	7.001 ^a
<u>Lisina (Lis).</u>	1.156 ^a	2.760 ^b

*a, b: diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$).

Al comparar el perfil de aminoácidos del panque control con el panque con harina integral de amaranto **P.A.12**, existe una diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) en la mayoría de los aminoácidos reportados en la **Tabla 30**. Como se aprecia en dicha tabla, los aminoácidos subrayados corresponden a los aminoácidos esenciales que están presentes en ambos panques, diez de estos quince aminoácidos reportados están en cantidades mayores en el panque con harina integral de amaranto **P.A.12** que en el panque con harina de trigo comercial. Cabe resaltar que de los diez aminoácidos que se encuentran en mayor cantidad en el panque con harina integral de amaranto **P.A.12**, cinco son aminoácidos esenciales.

Para que una proteína pueda ser considerada de alta calidad debe primero contener todos los aminoácidos esenciales y posteriormente estar en una proporción mayor que los del patrón de referencia de la FAO (Fennema, 2010).

Se puede concluir que ambos panques poseen todos los aminoácidos esenciales, pero como se mencionó anteriormente, el panque con harina integral de amaranto

posee en mayor cantidad cinco de los nueve aminoácidos esenciales en comparación con el panque control.

Por otra parte, al comparar los aminoácidos esenciales de los dos panques con el patrón de la FAO se encontró que existe una diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) en la mayoría de los aminoácidos reportados en la **Tabla 31**.

Tabla 31.- Aminoácidos esenciales de cada panque comparados con el patrón de referencia de la FAO de 1985.

AMINOÁCIDOS ESENCIALES g de a.a / 100 g de proteína.	PANQUE CONTROL (TRIGO)	PANQUE DE AMARANTO P.A.12	PATRÓN DE REFERENCIA FAO, 1985 ^{a*}
Histidina (His).	1.978 ^{a*}	2.451 ^b	1.6 ^c
Treonina (Tre).	4.523 ^a	8.962 ^b	0.9 ^c
Metionina (Met).	2.928 ^a	1.831 ^b	1.7 ^b
Valina(Val).	4.577 ^a	5.410 ^b	1.3 ^c
Fenilalanina (Fen).	5.898 ^a	5.068 ^a	1.9 ^b
Isoleucina (Isl).	4.208 ^a	4.647 ^a	1.3 ^b
Leucina (Leu).	7.380 ^a	7.001 ^a	1.9 ^b
Lisina (Lis).	1.156 ^a	2.760 ^b	1.6 ^c
Triptófano (Trp)	1.16 ^a	1.03 ^a	0.5 ^b

*a, b, c: diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$).

Los aminoácidos esenciales o indispensables constituyen un grupo cuyo esqueleto carbonado no puede ser sintetizado a partir de moléculas simples por los seres humanos y por lo tanto deben proveerse por la dieta. Desde un punto de vista práctico las proteínas de la dieta deben suministrar cantidades adecuadas de aminoácidos esenciales y no esenciales, de manera que satisfagan las necesidades de nitrógeno total (Gil, 2010).

Por otro lado, los beneficios que conlleva que el panque de amaranto **P.A.12** posea una gran cantidad de aminoácidos no esenciales así como esenciales, es que estos podrán regular vías metabólicas indispensables para el crecimiento, el desarrollo, la reproducción y la inmunidad, tal es el caso de la leucina y el triptófano (Gil, 2010).

Como ya se mencionó, el panque con harina integral de amaranto **P.A.12** posee todos los aminoácidos esenciales y cinco de los nueve reportados en la **Tabla 31** están presentes en mayor cantidad comparados con el panque control.

Al comparar los valores del panque con harina integral de amaranto **P.A.12** con el patrón de referencia de la FAO, se puede decir que el producto cumple y rebasa las especificaciones que marca dicho organismo. Esto lleva a considerar que la proteína que posee el panque con harina integral de amaranto **P.A.12**, no solo es mucha sino de alta calidad nutrimental, debido a que el contenido en aminoácidos esenciales es el principal indicador de la calidad de la proteína (Fennema, 2010).

Como se puede apreciar en la **Tabla 31**, la cantidad de lisina es más del doble en el panque de amaranto **P.A.12** que en el control, esto confirmó que es más rico el amaranto en este aminoácido comparado con los cereales (Mapes 2010). Esto es importante dado que la lisina en conjunto con otros aminoácidos interviene en diversas funciones como son el crecimiento, reparación de tejidos, anticuerpos del sistema inmunológico y síntesis de hormonas (Escobedo, 2013).

Los aminoácidos esenciales cumplen con diversas funciones en el organismo como ya se mencionó con la lisina, en el caso de la metionina, este aminoácido es azufrado, este puede originar cisteína en su metabolización y es también precursor de la taurina, un compuesto nitrogenado de gran importancia nutricional. La histidina, al desaminarse, se produce ácido urocánico, presente en la piel del ser humano como escudo natural contra rayos ultravioleta, la fenilalanina se llega a transformar en tirosina, la cual es precursora de hormonas tiroideas o degradarse con fines energéticos. En el caso de los aminoácidos esenciales valina, leucina e isoleucina, estos tienen fines energéticos de manera directa o indirecta. El triptófano puede derivar en dos compuestos de gran importancia fisiológica como son la serotonina y la melatonina, la primera está implicada en funciones del apetito y la segunda es la hormona de la glándula pineal, a la cual se le atribuye cierta capacidad de retrasar el envejecimiento (Gil, 2010).

A partir de todas las consideraciones anteriores, es importante enfocarse en la digestibilidad del producto, ya que su balance de aminoácidos esenciales es excelente, pero su calidad depende también de que estos aminoácidos puedan ser digeridos y absorbidos por el organismo (Fennema, 2010).

3.5.3.- DIGESTIBILIDAD *in vitro*.

Como se ha visto en el **apartado 4.4** del presente trabajo, el panque con harina integral de amaranto **P.A.12** tiene valores nutrimentales superiores a los que posee el panque control, también en el **apartado 4.5.2** de este trabajo, se da información cuantitativa y cualitativa de la constitución de las proteínas de este panque. Como ya se ha mencionado en ambos apartados, la proteína que posee el panque con harina integral de amaranto **P.A.12**, no solo es mayor, sino de excelente calidad, es por ello que fue de vital importancia determinar la digestibilidad de ambos productos para conocer como pueden ser absorbidos por el organismo.

Los resultados de la evaluación de la digestibilidad *in vitro* se presentan en la **Tabla 32**.

Tabla 32.- Resultados de la cuantificación de la digestibilidad *in vitro* de los panques control y de amaranto P.A.12.

PANQUE CONTROL (TRIGO)	PANQUE DE AMARANTO
88.81%; ±1.2 ^a *	85.67%; ±0.49 ^b

*a, b: diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$).

Existe una diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) en la digestibilidad del panque de harina de trigo (control) con respecto a la del panque con harina integral de amaranto **P.A.12**.

El valor obtenido es más bajo en el panque con harina integral de amaranto **P.A.12**, esto se debe a que las harinas refinadas poseen digestibilidades superiores a las harinas de granos enteros, ya que para obtener harinas blancas o refinadas es necesario decorticar, desgerminar y posteriormente moler, la acción principal de estas operaciones es la de remover las glumas, el pericarpio y el germen del grano, provocando la pérdida de fibra, cenizas, grasa y proteína, resultando inferior el valor proteico nutricional de las harinas refinadas en comparación con las harinas integrales, ya que al decorticar, se pierden importantes cantidades de lisina y otros aminoácidos esenciales (Serna, 2001). Por ejemplo, la harina de trigo blanca tiene una digestibilidad del 96%, mientras

que la harina de trigo entero alcanza solo el 86%, porque el procesado (refinación) mejora su digestibilidad (Fennema, 2010), dado que la cantidad de fibra es menor en comparación con la de los integrales la cual interfiere en los procesos de digestión y absorción de nutrientes (Serna, 2001).

El valor bibliográfico de la digestibilidad del amaranto crudo en grano es de 77.6% a 88.5% (Morales *et al.*, 2009). El valor obtenido por el panque con harina integral de amaranto **P.A.12** a pesar de ser más bajo que el panque control, es muy bueno, ya que algunos cereales y productos a base de cereal alcanzan digestibilidades más bajas como el caso del maíz, con una digestibilidad del 85%, el mijo de 79% y para algunos productos a base de cereales como es el cereal de trigo, alcanza una digestibilidad de 77%, el cereal de maíz un 70% y el cereal de arroz un 75% (Fennema, 2010).

Con todas las consideraciones anteriores se determinó que el panque con harina integral de amaranto **P.A.12** tiene de una buena digestibilidad.

3.6.- EVALUACIÓN SENSORIAL DEL PRODUCTO.

La prueba de nivel de agrado tuvo como objetivo conocer de acuerdo a un criterio sensorial si la muestra elegida como la mejor (**panque con harina integral de amaranto P.A.12**), sería aceptada o no por los consumidores.

Esta prueba se realizó con 100 jueces no entrenados, a los cuales, se les dio a probar una muestra del panque y posteriormente contestaron un cuestionario (**Anexo 1**).

El resultado de esta prueba se puede observar en la **Tabla 33** y **Anexo 2**, los resultados indican, que el sabor del pan fue aceptado por un 86% de los jueces y la calificación promedio obtenida fue de 7.83.

Comparando la evaluación sensorial del producto con otros productos realizados anteriormente, como una galleta a base de amaranto que logró una aceptación del 74% y una calificación de 7.29 (Díaz, 2012), una botana complementada con amaranto logró una aceptación del 75% con una calificación de 7.07 (Escobedo, 2013), un pan complementado con amaranto logró una aceptación del 72% y una calificación de 7.2 (Cortés, 2011) y un bagel a base de trigo y amaranto logró una aceptación de 79% con una calificación de 7.2 (Cruz, 2014). Esto indica que la aceptación del **P.A.12** es buena porque logró superar a otros productos de

amaranto con un mayor porcentaje de aceptación, lo cual es de vital ya que los productos para celíacos no gozan de muy buena aceptabilidad sensorial (Alvarez *et al.*, 2010), por lo tanto, el resultado de esta evaluación coloca a éste producto como una buena opción para su consumo (**Anexo 2**).

Tabla 33.- Resultados obtenidos de la evaluación sensorial del panque con harina integral de amaranto 12.

	NÚMERO DE JUECES	CALIFICACIÓN	% DE ACEPTACIÓN
PANQUE CON HARINA INTEGRAL DE AMARANTO	100	7.83	86%

Como parte de la prueba, también se le pidió al juez que anotara un breve comentario del porqué de su decisión; y el resultado fue que el panque tenía un sabor agradable y se lograron opiniones positivas con respecto al olor, color y textura (**Anexo 3**).

Todo esto llevó a concluir que la formulación del **panque con harina integral de amaranto P.A.12**, además de tener buena calidad panadera y propiedades físicas casi aproximadas al panque control, es de mejor calidad nutrimental que un panque de trigo, y al no poseer gluten en todos sus ingredientes, las personas intolerantes al gluten podrán consumirlo además de que también puede ser aprovechado por personas que no tienen dicho padecimiento.

CONCLUSIONES

- Se determinó que la harina integral de amaranto fue la de mejor calidad química con respecto a la harina comercial de trigo, por lo cual se optó por utilizar la harina integral de amaranto para la elaboración del panque libre de gluten.
- Se logró establecer una formulación para elaborar un panque de amaranto libre de gluten con harina integral de amaranto, clara de huevo, agua, saborizante, sustituto de azúcar, leudante, emulsificante, lecitina de soya, mejorador, goma guar y ácido ascórbico, con propiedades físicas similares a las de un panque con harina de trigo.
- El panque de amaranto elaborado con la mejor formulación (P.A.12) fue evaluado en su composición nutrimental y comparado con el panque control (harina de trigo comercial), posee mejor calidad nutrimental, pues además de contener mayor porcentaje de proteína, grasa y fibra, posee todos los aminoácidos esenciales y la mayoría de estos se encuentran en mayor cantidad que en el panque control, con valores superiores a los recomendados por la FAO y su digestibilidad es buena.
- El producto elaborado fue aceptado por un 86% de consumidores con una calificación de 7.86 en una escala del 0 al 10.

Finalmente se concluye que se logró obtener un producto de panificación apto para celíacos, con propiedades físicas adecuadas, buena calidad nutrimental y aceptado sensorialmente. Además, el panque de amaranto puede ser consumido por todo tipo de personas debido a los beneficios nutrimentales que éste ofrece.

RECOMENDACIONES

- Para complementar este proyecto, sería importante realizar una prueba de detección de gluten, que permita dar certeza total de que el producto es libre de esta proteína y si el producto es procesado industrialmente pueda colocarse en su etiqueta que es un producto libre de gluten.
- También se recomienda realizar el análisis microbiológico del producto para determinar su inocuidad.
- Sería importante también realizar la determinación del índice de eficiencia proteica (PER) y la digestibilidad *in vivo*, así como la determinación de micronutrientes del producto para complementar la información nutrimental del producto.
- Por último, sería importante realizar la misma prueba sensorial pero con un público exclusivamente intolerante al gluten, así como un análisis técnico-financiero, que permita conocer si el producto podría ser producido a nivel industrial.

REFERENCIAS

- A.O.A.C. (2005). *Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists*. Cunnif, P., Published by AOAC International, Edition, USA.
- Acosta, R.J.P. (2005). *Evaluación de la disminución de colesterol sanguíneo por efecto de la ingesta de escualeno vegetal (Amaranthus hypochondriacus) en conejos hipocolesterolemicos*. Tesis Licenciatura Químico Farmacéutico Biólogo, FES-Zaragoza.
- Alejandre, I.G., y Gómez, L.F. (1986). *Cultivo del amaranto en México*. 1° edición, editorial Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Alimentarios y técnica. (1987). *La goma guar y su uso en alimentos*. Industria Alimentaria. 9(3):4-14.
- Alvarez, J.L., Arendt, E.K. and Gallagher E. (2010). *Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten free ingredients*. Trends in Food Science & Technology. 21:106-113.
- Arendt, E.K. and Dal Bello, F. (2008). *Gluten-free cereal products and beverages*. Amsterdam, Academic Press, 445 pp.
- Asociación de celíacos de Madrid. (2007). *Todo sobre la enfermedad celíaca*. España, 1° edición, ed. Consejería de Sanidad y Consumo, 159 pp.
- Badui, D.S. (2006). *Química de los alimentos*. México, 4° edición, ed. Pearson Educación, 716 pp.
- Barros, C. y Buenrsotro, M. (1997). *Amaranto: fuente maravillosa de sabor y salud*. 1° edición, editorial Grijalbo, México, 158 pp.
- Becerra, R. (2000). *El amaranto: nuevas tecnologías para un antiguo cultivo*. CONABIO. Biodiversitas (30):1-6.
- Borneo R. y Aguirre A. (2008). *Chemical composition, cooking quality, and consumer acceptance of pasta made with dried amaranth leaves flour*. Food Science and Technology (41):1748–1751.
- Buitrón, P.M.A. (2006). *Principales aditivos usados en panificación: Parte I*. Industria Alimentaria. 28(5): 26-29.
- Buitrón, P.M.A. (2006). *Principales aditivos usados en panificación: Parte II*. Industria Alimentaria. 28(26): 36-39.

- Calaveras, J. (2004). *Nuevo Tratado de Panificación y Bollería*. Segunda Edición. España. AMV Ediciones, 622 pp.
- Calderón, D.L.B.A.M. (2009). *Enfermedad celíaca o intolerancia al gluten*. Cuadernos de nutrición. 32(2):57-64.
- CANAIMPA. (1999). *Historia del pan en México*. Fecha de consulta: 2 de Agosto de 2013. Disponible en: <http://www.canainpa.com.mx/varios/historia.asp>
- CANIMOLT. (2010). *Estructura del grano de trigo*. Fecha de consulta: 2 de Junio de 2013. Disponible en: <http://www.canimolt.org/trigo/estructura-del-grano>.
- CANIMOLT. (2010). *Reporte Estadístico al 2010*. Fecha de consulta: 28 de Abril de 2013. Disponible en: www.canimolt.org/revista-canimolt.
- Cauvain, S.P. y Young L.S. (2008). *Productos de panadería. Ciencia, tecnología y práctica*. 1° edición, editorial Acribia, España.
- Charley, H. (2009). *Tecnología de Alimentos. Procesos químicos y físicos en la preparación de alimentos*. México, Limusa, 767 pp.
- Chávez, B.J.A. (2010). *Enfermedad celíaca en México*. Revista de Gastroenterología de México (75): 238-240.
- Chirido, F.G., Garrote, J.A. y Arranz, E. (2005). *Enfermedad celíaca. Nuevas perspectivas basadas en un mejor conocimiento de su patogenia molecular*. Acta Gastroenterológica Latinoamericana. 35(3):183-189.
- Coello, R.P., Camacho, C.N., Reynoso, G.M., Larrosa, H.A., Aguirre, L.E. y Trujillo, J. (1988). *Enteropatía por sensibilidad al gluten. Enfermedad celíaca*. Boletín Médico del Hospital infantil de México 45(11):757-764.
- Cortés, A.Y.D. (2011). *Desarrollo de un pan complementado con harina de amaranto (*amaranthus hypochondriacus*) con alta calidad nutrimental*. Tesis Licenciatura Ingeniero en Alimentos, FESC.
- Cruz, B.H. (2014). *Elaboración de un bagel a base de trigo y amaranto (*A. hypochondriacus* L.) con alta calidad nutrimental*. Tesis Licenciatura Ingeniería en Alimentos, FESC.
- Dendy, D. y Dobraszczyk, B.J. (2001). *Cereal and cereal products: Chemist and Technology*. USA, An Aspen Publication, 537pp.

- Díaz M.T. (2012). *Desarrollo de una formulación para galleta a base de amaranto (Amaranthus hypochondriacus L.) con alta calidad nutrimental*. Tesis Licenciatura Ingeniería en Alimentos, FESC.
- El Economista. (2012). Fecha de consulta: 3 de Febrero de 2014. Disponible en: <http://eleconomista.com.mx/columnas/agro-negocios/2012/10/30/consumo-cereales-mexico>.
- El Excelsior. (2013). Fecha de consulta: 3 de Febrero de 2014. Disponible en: <http://www.excelsior.com.mx/nacional/2013/05/05/897514>.
- Énfasis alimentación. (2009). *Tendencias de consumo e innovación en panificados*. Fecha de consulta 28 de Abril de 2013. Disponible en: <http://www.alimentacion.enfasis.com/articulos/14982-tendencias-consumo-e-innovacion-panificados>
- Escobedo, G.J.I. (2013). *Desarrollo de una botana complementada con amaranto (A. hypochondriacus) para aumentar su calidad nutrimental*. Tesis Licenciatura Ingeniería en Alimentos, FESC.
- FAO. (2013). *Composición química para el trigo mexicano*. Fecha de consulta: 24 de Julio de 2013). Disponible en: <http://www.rlc.fao.org/es/conozca-fao/que-hace-fao/estadisticas/composicion-alimentos/busqueda/?clave=A695>
- Fennema O.R. (2010). *Química de los alimentos*. Zaragoza, 3º edición, ed. Acribia, 1154 pp.
- Financiera Rural. (2011). *Monografía del trigo grano*. Fecha de consulta: 13 de Septiembre de 2013. Disponible en: [http://www.financiararural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/Monograf%C3%ADaTrigo\(abr11\)vf.pdf](http://www.financiararural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/Monograf%C3%ADaTrigo(abr11)vf.pdf)
- Garduño, B.J. (2009). *Desarrollo de productos libres de gluten a base de amaranto, arroz y maíz que sean aptos para enfermos celíacos*. Tesis Licenciatura Ingeniería en Alimentos, FESC.
- Gil, H.A. (2010). *Tratado de nutrición*. 2º edición, Madrid, editorial Médica Panamericana, tomo I y II.
- Helrich, K. (1990). *Official Methods of Analysis of the AOAC*. 15th edition, published by AOAC Inc. Vol II, pp 1095, Arlington.

- Hernández, G.R. y Herrerías, G.G. (1998). *Amaranto: historia y promesa*. Tehuacán: Horizonte del Tiempo (1):1-18.
- Herrera, M.J., Hermoso, M.A. y Quera, R. (2009). *Enfermedad celíaca y su patogenia*. Revista Médica de Chile (137): 1617-1626.
- Kent, N.L. (1971). *Tecnología de los cereales*. España. Acribia, 267pp.
- Kong, X., Bao, J. y Corke, H. (2009). *Physical properties of Amaranthus starch*. Food Chemistry. 113:371-376.
- La Jornada. (2013). Fecha de consulta: 3 de Febrero de 2014. Disponible en: <http://www.jornada.unam.mx/2013/01/14/politica/018n2pol>.
- Mapes, S.C. (2010). *El amaranto (Amaranthus spp.) planta originaria de México*. AAPAUNAM. 2(4):217-222.
- México Social. (2012). Fecha de consulta: 3 de Febrero de 2014. Disponible en: <http://www.mexicosocial.org/index.php/mexico-social-en-excelsior/item/90-hambre-y-pobreza.html>.
- Morales, DL.J. (1994). *El amaranto y su importancia alimenticia*. Cuadernos de Nutrición. 17(4):46-47.
- Morales, G.J., Vázquez, M.N., y Bressani, C.R. (2009). *El amaranto, características físicas, químicas, toxicológicas y funcionales y aporte nutritivo*. 1° edición, editorial INCMNSZ, México.
- Mujica, S.A. y Berti, D.M. (1997). *El cultivo del amaranto (Amaranthus spp.) producción, mejoramiento genético y utilización*. Fecha de consulta: 11 de Agosto de 2013. Disponible en: <http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro01/home1.htm>
- Nimbalkar, M.S., Pai, S.R., Pawar, N.V., Oulkar, D. y Dixit, G.B. (2012). *Free amino acid profiling in grain Amaranth using LC-MS/MS*. Food Chemistry. 134:2565-2569.
- Pola, L.R., Spetter, J. y Lorenz, K. (2007). *El resurgimiento de un cultivo ancestral: amaranto*. LEISA revista de agroecología. 23(3):19-21.
- Polanco, A.I. (2008). *Libro blanco de la enfermedad celíaca*. Madrid, editorial ICM, 157pp.
- Quaglia, G. (1991). *Ciencia y tecnología de la panificación*. España. Acribia, 85 pp.

- Rama Rao, M.V., Tara, M.R., Krishnan, C.K. (1974). *Colorimetric estimation of tryptophan content of pulses*. Journal of Food Science and Technology, (Mysore), 11:213-216.
- Reyna, T.T. (1993). *Amaranto y quinoa: Cultivos alternativos de importancia alimenticia*. Geo-UNAM. 2(4): 6-13.
- Roche. (1990), *El ácido ascórbico como mejorador de la harina y el pan*. Industria Alimentaria. 12(4):15-20.
- Rodrigo, L., Garrote, J.A. y Vivas, S. (2008). *Enfermedad celíaca*. Medicina clínica. 131(7):264-270.
- Rodríguez, M.Y., (2003). *Calidad en las organizaciones. Evaluación sensorial como herramienta para el control de calidad en una industria alimenticia*. Tesis Licenciatura Ingeniería Química, FESC.
- Sabores del Jardín. (2010). *Origen de los muffins*. Fecha de consulta: 13 de Octubre de 2013. Disponible en:
<http://saboresdeljardin.wordpress.com/2010/11/03/origen-de%C2%A0los%C2%A0muffins/>
- SAGARPA. (2005). *Cadena de producción-consumo de trigo*. Fecha de consulta: 17 de Septiembre de 2013. Disponible en:
<http://www.amsda.com.mx/PRNacionales/Nacionales/PRNtrigo2.pdf>
- Saldivar, C.E. (1995). *La alegría del amaranto*. UNAM hoy. 4(19):27-30
- San Miguel. (2006). *Características Nutricionales del Amaranto*. Fecha de consulta 17 de Junio de 2013. Disponible en:
http://www.sanmiguel.com.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=15&Itemid=31
- San Miguel. (2006). *Historia del amaranto*. Fecha de consulta 17 de Junio de 2013. Disponible en:
http://sanmiguel.com.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=12
- Santolaria, P.S. y Fernández, B.F. (2012). *Enteropatía sensible al gluten y dispepsia funcional*. Gastroenterología y Hepatología. 35(2):78-88.
- Schuler, P (1985). *El ácido ascórbico como mejorador de la harina*. Guía de aplicaciones. Industria Alimentaria. 7(5): 10-17.
- Serna, S.S.R.O. (2001), *Química e industrialización de los cereales*. México, A.G.T. Editor, 521 pp.

- Serna, S.S.R.O., (2003), *Manufactura y calidad de productos basados en cereales*. México, A.G.T. Editor, 340 pp.
- SIAP (2012). *Cada hogar mexicano consume un kilo de pan de dulce y de pan blanco respectivamente*. Fecha de consulta: 15 de Febrero de 2013. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/opt/123/75/74.html>
- SIAP-SAGARPA. (2012). *Producción agrícola nacional*. Fecha de consulta: 27 de Febrero de 2013. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>
- Specher, S.M.A. (2005). Desarrollo de un producto de panificación apto para ser consumido por personas con esprue celíaco. Tesis maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad del Valle de Guatemala.
- Tejero, F. (1996). *Los emulsionantes en la panificación*. Pan. 42(510):27-38.
- Tejero, F. (2013). *Los mejorantes en panificación*. Fecha de consulta: 10 de Noviembre de 2013. Disponible en: <http://www.franciscotejero.com/pdf/tecnicas/Los%20mejorantes%20en%20panificacion.pdf>
- Vázquez-Ortiz F.A.; Caire, G.; Huiguera-Ciapara, I. and Hernández, G. (1995) *High Performance Liquid Chromatographic. Determination of Free Amino Acids in Shrimp*. Journal of Liquid Chromatography. 18(19): 2059-2068.
- Villanueva, O y Arnao, S.A.I. (2007). Purificación de una proteína de 35 kDa rica en lisina, de la fracción albúmina de *Amaranthus caudatus* (kiwicha). Anales de la Facultad de Medicina. 68(4): 344-350.
- Weber, L. (2003). Colección de recetas con 4 ingredientes. 1° edición, editorial Publications International, Illinois.
- Yopez G.J.R., (2003). *Evaluación de propiedades físicas y texturales del pan grande de Acambaro tipo tallado de siete diferentes fabricantes*, Tesis Licenciatura Ingeniería en Alimentos, FESC.



ANEXOS



ANEXO 1

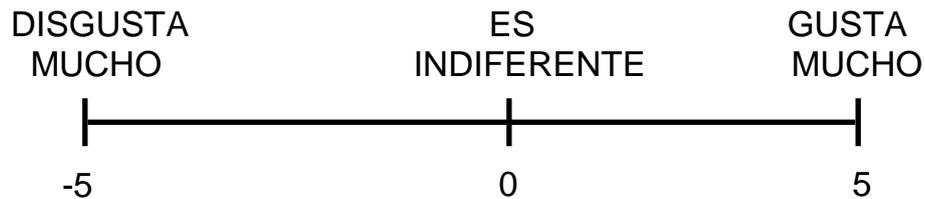
CUESTIONARIO PARA LA PRUEBA DE NIVEL DE AGRADO.

PRUEBA DE NIVEL DE AGRADO.

EDAD: _____ SEXO: M H

FECHA: _____

INSTRUCCIONES: Pruebe el pan y sobre la línea indique con una "X" su nivel de agrado, en el espacio de abajo explique brevemente porqué tomó esta decisión.



¿POR QUÉ? _____

¡GRACIAS!

ANEXO 2

HOJA DE VACIADO DE DATOS.

Prueba de nivel de agrado para el panque con harina integral de amaranto formulación 12.

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

JUEZ	CALIF.	JUEZ	CALIF.	JUEZ	CALIF.	JUEZ	CALIF.
1	10	26	9.3	51	7.5	76	6.9
2	10	27	9.1	52	7.5	77	6.9
3	10	28	9	53	7.5	78	6.8
4	10	29	9	54	7.5	79	6.8
5	10	30	8.9	55	7.5	80	6.7
6	10	31	8.8	56	7.5	81	6.6
7	10	32	8.5	57	7.5	82	6.5
8	10	33	8.5	58	7.5	83	6.4
9	10	34	8.4	59	7.4	84	6.4
10	10	35	8.3	60	7.4	85	6.1
11	10	36	8.3	61	7.4	86	6.1
12	10	37	8.3	62	7.4	87	5.9
13	10	38	8.2	63	7.4	88	5.8
14	10	39	8.2	64	7.4	89	5.7
15	10	40	8.2	65	7.3	90	5.2
16	10	41	8.2	66	7.3	91	5
17	10	42	8.1	67	7.3	92	5
18	10	43	8.1	68	7.3	93	5
19	10	44	8.1	69	7.3	94	5
20	10	45	8	70	7.2	95	5
21	10	46	8	71	7.2	96	5
22	10	47	7.7	72	7.1	97	5
23	10	48	7.6	73	7.1	98	5
24	9.7	49	7.6	74	7	99	5
25	9.6	50	7.5	75	7	100	2.2

SUMATORIA: 782.7
CALIFICACIÓN: 7.83
% DE ACEPTACIÓN: 86%



ANEXO 3

DESCRIPTORES OBTENIDOS EN LA EVALUACIÓN SENSORIAL.

DESCRIPTORES POSITIVOS				
SABOR	CONSISTENCIA	TEXTURA	OLOR	COLOR
Bueno Agradable Rico Dulce	Buena Esponjoso Agradable	Suave Agradable Buena	Bueno Agradable	Agradable

DESCRIPTORES NEGATIVOS				
SABOR	CONSISTENCIA	TEXTURA	OLOR	COLOR
Terroso Desagradable Amargo Húmedo Insípido Malo Seco Salado	Mala Regular Desagradable	Duro Pastoso Chicloso Gomoso		