



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILÁN

**Desarrollo y caracterización calorimétrica de una botana
extruida inflada y horneada de amaranto y maíz para
uso comercial**

TRABAJO PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

Químico Industrial

P R E S E N T A:

Ángel Eduardo García Velazco

ASESORES:

DRA. ELSA GUTIÉRREZ CORTEZ

I.Q. GUADALUPE FRANCO RODRIGUEZ

CUAUTILÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 2017



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.

Resumen

El consumo del amaranto no ha sido muy amplio debido a la gama de productos comerciales existentes en el mercado. Este alimento ancestral dentro del territorio mexicano era conocido por las grandes propiedades nutrimentales que contenía, pero a lo largo de los años y por cuestiones religiosas, se deslindó de la dieta de los mexicanos, actualmente el consumo de este denominado pseudocereal está volviendo a tener auge. Sin embargo, se ha visto mermada su explotación debido a las características funcionales indeseables en exceso que presenta como harina en la elaboración de productos alimenticios. La semilla de amaranto contribuye con una cantidad considerable de proteínas y aminoácidos de gran calidad nutrimental, es por eso que día a día se incluyen en galletas, panes, botanas, pero no como harinas y con porcentajes menores al 20%. Se persigue utilizar al amaranto como harina y con porcentajes mayores al 50%, se buscan métodos que ayuden a mejorar la manipulación de esta semilla cruda o en el mayor de los casos reventado. El reventado es una técnica utilizada en la época prehispánica con la finalidad de mejorar las propiedades texturales de la semilla, aunque estudios recientes informan que este tratamiento térmico ayuda a eliminar ciertas toxinas dejando así un producto adecuado para el consumo. Por esas razones el presente trabajo tiene como objetivo encontrar un tratamiento para la harina de la semilla reventada de amaranto, mediante la elaboración de una botana inflada y horneada con un alto contenido de este ingrediente. La semilla de amaranto reventado fue molida en un Pulvex 200 un equipo con elementos molientes de cizalla e impacto, utilizando como restricción a la salida una criba de 1mm. Las pruebas preliminares se trabajaron con dos temperaturas diferentes en el tratamiento hidrotérmico, finalmente fue seleccionada una temperatura de 70 °C con una hidratación por aspersión. Las harinas una vez hidratadas se cubrieron y se mantuvieron por 2 horas, al término fueron destapadas y secadas a 50 °C en un horno de alta temperatura Modelo TZ-2061 Didacta Italia. Las formulaciones amaranto-maíz, 80:20 y 70:30 fueron evaluadas y se elaboró una botana extrudida a diferentes condiciones en un extrusor en frío, a dichas botanas se les midió el índice de expansión y la dureza con un penetrómetro. Las harinas de la semilla reventada de *Amaranthus hypocondriacus* y harina con tratamiento hidrotérmico fueron analizadas mediante un Rehometro con celda de almidón, con la finalidad de conocer sus características del almidón en un perfil viscoamilográfico. En un calorímetro diferencial de barrido fueron También analizadas las propiedades térmicas de esas mismas harinas. Así como también de las. La formulación 80A:20M fue la que presentó mejores índices de expansión y dureza. La harina tratada hidrotermicamente presentó una viscosidad nula, lo que indica que las propiedades funcionales de las harinas corresponden a las proteínas y le dan propiedades de las botanas. Los resultados del análisis calorimétrico presentaron una señal endotérmica en los termogramas de las harinas de amaranto, dicha señal se le atribuye a un conglomerado formado por las fracciones proteicas 11S y 7S que forman parte de las globulinas. Cabe destacar que las botanas fueron elaboradas únicamente con harinas de amaranto y maíz.

Palabras clave: Amaranto, botana, calorímetro, harina, hidrotérmico, viscosidad.

Í N D I C E

RESUMEN.....	i
OBJETIVOS.....	8
INTRODUCCIÓN.....	10
CAPÍTULO I. GENERALIDADES.....	14
1. Generalidades del amaranto y sus características.....	14
1.2 Características nutricias del Amaranto (<i>Amaranthus</i>).....	15
1.3 Clasificación taxonómica.....	17
1.4 <i>Amaranthus hypocondriacus</i>	18
1.5 Principales países de cultivo en América Latina.....	20
1.6 Productores Nacionales.....	22
1.7 Pseudocereal (amaranto).....	25
1.8 Amaranto Reventado.....	26
1.9 Almidón.....	26
1.9.1 Pre gelatinización del almidón.....	30
1.9.2 Gelatinización del Almidón.....	31
1.9.3 Almidón de Amaranto.....	32
1.10 Textura.....	33
1.10.1 Prueba de punción.....	34
1.11 Industrialización de botanas de Amaranto.....	36

1.12 Productos artesanales.....	38
1.13 Extrusión en la industria alimentaria.....	39
1.13.1 Factores o variables que influyen en la extrusión.....	39
1.13.2 Partes del extrusor.....	41
1.13.3 Zonas de un extrusor.....	41
1.13.4 Clasificación de los extrusores.....	42
1.14 Comparación de la composición química del amaranto y maíz.....	44
1.15 Perfil de viscosidad aparente.....	46
1.16 Análisis térmico por calorimetría diferencial de barrido (DSC).....	49

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

2. Metodología.....	51
2.1 Acondicionamiento del Amaranto Reventado.....	53
2.2 Actividades correspondientes al objetivo 1	54
2.3 Actividades correspondientes al objetivo 2	59
2.4 Actividades correspondientes al objetivo 3	64
2.5 Actividades correspondientes al objetivo 4	68

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3. Resultados y Análisis.....	70
3.1 Resultados actividades preliminares.....	70

3.2 Resultados de las actividades correspondientes al objetivo 1.....	70
3.3 Resultados correspondientes al objetivo 2.....	72
3.4 Resultados correspondientes al objetivo 3	76
3.5 Actividades correspondientes al objetivo 4	81
CONCLUSIONES.....	90
RECOMENDACIONES.....	92
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93
ANEXO 1.....	100
ANEXO2.....	101

Lista de Figuras

Capítulo 1

Figura 1.1 Planta de <i>Amaranthus hypocondriacus</i>	18
Figura 1.2 Partes importantes en la semilla de <i>Amaranthus hypocondriacus</i>	19
Figura 1.3 Gráfica de productores nacionales de amaranto.....	22
Figura 1.4 Producción del cultivo de amaranto en el año 2014.....	23
Figura 1.5 Gráfica de los precios de amaranto 1982- 2010.....	24
Figura 1.6 Molécula de amilosa.....	27
Figura 1.7 Molécula de amilopectina.....	28
Figura 1.8 Micrografía de gránulos del almidón de amaranto almacenados en el perispermo.....	32
Figura 1.9 Relación correcta de áreas del material y dispositivo en una prueba de punción.....	34
Figura 1.10 Posición correcta del material utilizado en prueba de punción.....	34
Figura 1.11 Gráfica para un material crujiente.....	36
Figura 1.12 Extrusor en frío y sus partes.....	40
Figura 1.13 Perfil de viscosidad aparente para una harina.....	48

Capítulo 2

Figura 2.1 Cuadro metodológico del desarrollo experimental.....	52
Figura 2.2 Tamizado de la harina de amaranto.....	53

Figura 2.3 a) Harina de amaranto siendo hidratada mediante aspersión. b) Charola con abertura para termómetro siendo introducida al horno. c) Mezclado y desecho de grumos cada 30 minutos.....	55
Figura 2.4 Extrusión de la botana, a) extrusor en frío, b) formulación de harina mezclada e hidratada c) extrusión de la muestra d) Placas y tiras.....	57
Figura 2.5 Botanas expandidas después del horneado. a) Charola con botanas b) Diferentes Figuras de botanas expandidas horneadas.....	58
Figura 2.6 Determinación del índice de expansión. a) Botanas expandidas, b) Medición con vernier digital.....	59
Figura 2.7 a) Configuraciones de tornillo 9 y 11 alabes así como las áreas de alimentación de 22.08 cm ² y 44.1cm ² y en b) el montaje del tornillo y la abertura de alimentación al extrusor.....	62
Figura 2.8 Penetrometro de aguja y botanas expandidas para el análisis de dureza.....	63
Figura 2.9 Ejemplo de perfil viscoamilográfico de harinas.....	65
Figura 2.10 Reómetro Modular Compact Rheometer MCR 102.....	67
Figura 2.11 Equipo de DSC (Calorímetro Diferencial de Barrido).....	69

Capítulo 3

Figura 3.1 Harinas para botanas. a) Harinas de amaranto obtenidas de la molienda b) Ingredientes para la botana.....	70
Figura 3.2 *Promedio de tres corridas. Gráfico de los índices de expansión de las botanas extruidas y horneadas después de utilizar las harinas previamente tratadas a diferentes temperaturas.....	71
Figura 3.3 Gráfica de dureza de botanas expandidas.....	73

Figura 3.4 Gráfica de índice de expansión de botanas expandidas.....	74
Figura 3.5 Gráfico estadístico de la prueba de índice de expansión y sus interacciones con las variables independientes.....	75
Figura 3.6 Gráfico estadístico de la prueba de dureza y sus interacciones con las variables independientes.....	76
Figura 3.7 Perfiles Viscoamilográfico de las harinas de amaranto (Nativo, reventado y tratado) y maíz nixtamalizado.....	77
Figura 3.8 Geles formados dentro del cilindro del Rehómetro a) amaranto nativo y harina de maíz nixtamalizado b) amaranto reventado, c) amaranto con tratamiento hidrotérmico.....	80
Figura 3.9 Termogramas de la harina de semilla de <i>Amaranthus hypocondriacus</i> nativa, amaranto reventado y amaranto reventado y tratado.....	82
Figura 3.10 Termogramas de las formulaciones de harinas (70A:30M y 80A:20M respectivamente) que se utilizaron para la elaboración del producto final y de igual forma se muestra el termograma de harina de maíz.....	86
Figura 3.11 Termograma del producto terminado con formulación 70A:30M, Termograma del producto terminado con formulación 80A:20M y termograma de la harina de maíz.....	88

Lista de Tablas

Capítulo 1

Tabla 1.1 Análisis comparativo de Amaranto con cereales principales.....	16
Tabla 1.2 Clasificación taxonómica del Amaranto.....	17
Tabla 1.3 Cultivares de amaranto y su rendimiento en Latinoamérica.....	21
Tabla 1.4 Usos de la amilopectina y sus derivados en la industria alimenticia.....	29

Tabla 1.5 Información nutrimental de botanas de amaranto.....	37
Tabla 1.6 Tabla comparativa de composición química del amaranto y maíz.....	44
Tabla 1.7 Contenido de aminoácidos de amaranto y maíz.....	44
Tabla 1.8 Biológica de mezclas de harinas amaranto-maíz.....	45

Capítulo 2

Tabla 2.1 Condiciones experimentales con 3 variables independientes.....	61
--	----

Capítulo 3

Tabla 3.1 Datos obtenidos del análisis calorimétrico mediante DSC.....	84
Tabla 3.2 Resultados obtenidos del DSC para las dos formulaciones.....	87
Tabla 3.3 Datos obtenidos del análisis DSC de las dos muestras del producto terminado con diferentes formulaciones.....	89

Para la solución del problema: ¿La harina de Amaranto reventado se puede utilizar en porcentajes mayores del 50% para la elaboración de un producto extruido y horneado?

Objetivos

Objetivo General:

Evaluar la estabilidad térmica y el perfil de viscosidad aparente de harinas, para el desarrollo de un producto extruido en frío con diferentes formulaciones de mezclas de harinas de amaranto reventado y maíz, estableciendo las condiciones de proceso de una botana de la tercera generación similar a una comercial.

Objetivos Particulares:

Objetivo 1:

Determinar las condiciones de tratamiento hidrotérmico para una harina de amaranto reventado, mediante hidratación y calentamiento a temperaturas de 65 y 70 °C para establecer la temperatura adecuada que provoque un cambio en los componentes de la harina con la finalidad de disminuir la funcionalidad de la harina de amaranto y aumentar su manipulación en equipos industriales.

Objetivo 2:

Evaluar la influencia de la formulación de mezcla de harinas Amaranto-Maíz 70A-30A-M y 80A-20 A-M, en la elaboración de una botana horneada de amaranto por medio de la extrusión en frío y horneada, contrastando dichas formulaciones para elaborar un producto inflado y con propiedades texturales similar a una comercial.

Objetivo 3: Evaluar la viscosidad aparente de las harinas a utilizar en la elaboración de una botana, por medio de un análisis viscoamilográfico para determinar las características presentes en el almidón de maíz, amaranto y harina de amaranto tratada hidrotérmicamente.

Objetivo 4:

Evaluar la estabilidad térmica de la materia prima (harina de amaranto y maíz) y producto terminado (botana de amaranto extruida y horneada) utilizando pruebas calorimétricas como Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) en un rango de 35-200 °C con la finalidad de obtener termogramas que sirvan para conocer los cambios fisicoquímicos ocurridos durante el proceso.

INTRODUCCIÓN

El amaranto es clasificado como un pseudocereal que tiene un contenido promedio del 13 al 22% en proteínas crudas. Al hacer un análisis comparativo de composición con cereales se ha demostrado tener valores más altos de lípidos, cenizas, proteínas crudas y fibra, no así, con la proporción de carbohidratos en los que el amaranto presenta valores más bajos por tanto un menor índice glucémico (Garzón, 2006). Viviant (2013) analizó la composición del grano de amaranto y comprobó que su valor nutricional lo aventaja respecto a los cereales y que su calidad proteica es alta dado que contiene todos los aminoácidos esenciales, dentro de los que destacan la lisina y el triptófano. Además, como el grano se utiliza entero a causa de su diminuto tamaño, es particularmente interesante el aporte de fibra, vitaminas, minerales y fitoquímicos con fuerte efecto antioxidante. Por otro lado, como no contiene gliadinas resulta apto como alimento para celíacos y para todo tipo de personas (Becker, 1992). Su consumo no solo sería beneficioso para la población, sino muy particularmente, constituiría un aporte en los planes alimentarios destinados a poblaciones desfavorecidas (FAO, 1997).

Existen tres especies de la familia de las Amarantáceas, las cuales producen una considerable cantidad de granos comestibles una de estas especies es el *Amaranthus hypocondryacus*, siendo una especie que presenta en su semilla características muy atractivas como lo es el balance y alta calidad de sus aminoácidos. La cantidad de proteína en la semilla es alta en comparación con cereales, especialmente debido al alto contenido de lisina el cual es un aminoácido poco común en la mayoría de los cereales. Por lo tanto el amaranto tiene diversas características que lo convierten en un alimento atractivo el cual no ha sido explotado (Coimbra y Salema, 1994). Las principales fracciones proteicas en el amaranto (*Amaranthus hypocondriacus*) son las albúminas, 11S-globulina, 7S-globulina y glutelinas. Además de la proteína, los granos de amaranto son una buena fuente de fibra dietaria y minerales, tales como el magnesio, fosforo, cobre y especialmente manganeso. De igual manera puede ser una excelente opción para la elaboración de productos libres de gluten (Kaur *et al.*, 2010).

Arendt y Zannini, (2013) señalan que el reventado de la semilla de amaranto fue descubierto hace miles de años por la cultura mexicana y que de igual forma es uno de los procesos más antiguos para el tratamiento de la semilla de amaranto ya que destaca por su facilidad y el realce de sabor al final del proceso, este se lleva a cabo mediante la vaporización del agua la cual está contenida en la matriz del almidón, que por ende incrementa la temperatura y presión dentro de esta expandiendo los gránulos de almidón, el endospermo se transforma dentro de una matriz esférica la cual se solidifica por la evaporación del agua dándole esa propiedad esponjosa, textura crocante y sabor. Morales *et al.*, (2014) indicaron que la calidad de la proteína disminuye debido al aumento de la temperatura dado a que el proceso aminora la concentración de algunos aminoácidos como es el caso de la lisina el cual se ve minimizado en un 19% de este aminoácido disponible (4.57 gramos por 16 gramos de nitrógeno). Sin embargo, los estudios informan que el proceso de reventado mejora los valores de la Relación de Eficiencia Proteica (REP) y la Utilización Neta de las Proteínas (UNP) en 24 y 88% respectivamente, al comparar con el producto crudo.

Uno de los productos que más se consume a nivel mundial es el pan, siendo este uno de los productos de mayor aporte calórico debido a la cantidad de carbohidratos que tiene, se ha analizado el uso del amaranto con la finalidad de agregar valor nutricional a los panes. Sin embargo, las cantidades utilizadas no sobrepasan del 40% debido al efecto que tiene el amaranto sobre la masa para panes, la cual resulta ser muy pegajosa y poco maleable cuando se eleva la cantidad de la harina de amaranto, este es un ejemplo de las limitantes que tiene esta semilla dentro del sector alimenticio donde su uso se limita a pequeñas porciones debido a las propiedades funcionales del mismo. La problemática con el uso del amaranto es que su contenido de proteínas y su calidad proteica complica la funcionalidad de la masa que se produce al hidratar la harina, esto dificulta su manipulación manual y en equipos industriales, por lo que normalmente en las formulaciones de productos terminados su contenido es bajo o como agregado en forma entera (amaranto reventado) (Barba de la Rosa *et al.*, 2009). Esto significa que no se ha logrado explotar su uso potencial nutritivo y funcional. Cuando el amaranto es adicionado

en altos contenidos provoca una alta viscosidad y adhesividad, características poco deseable en el procesado de masas para hacer alimentos con cereales (Coimbra y Salema, 1994). Adicionalmente, un exagerado expandido que revienta el producto terminado y deja una mínima homogeneidad en la micela de un pan (Badui, 2006).

Existen en el mercado varios productos como palanquetas de amaranto, galletas pan, tostadas, cereales complementados con amaranto reventado sin moler. Sin embargo, son mínimos los productos existentes dado el potencial como alimento. Es deseable ampliar su uso en alimentos procesados con elaboración de harina de amaranto reventado, ya que se requiere aumentar su valor agregado, como por ejemplo alimentos con destino a los infantes, tales como suplementos alimenticios, dulces, botanas, tortillas, pasteles entre otros (FAO/OMS/ONU, (1985) y Ayala, G. V. A. *et al.*, 2013).

En este trabajo el propósito fue desarrollar botanas horneadas infladas de la tercera generación para uso comercial. Dichas botanas fueron elaboradas con un alto porcentaje de harina de amaranto reventado y harina de maíz. Para disminuir las propiedades funcionales del almidón de amaranto en las masas, este fue previamente sometido a un tratamiento hidrotérmico para que permitiera la manipulación de las masas utilizando una tecnología semi-industrial en un extrusor en frío. La formulación de maíz-amaranto es una excelente combinación dado que el maíz proporciona nulas propiedades. Es decir, desde el punto de vista nutricional es muy deficiente y con escasas características funcionales en las masas, lo que permitirá disminuir la excesiva viscosidad, adhesividad y expansión de los productos finales haciendo un sinergismo benéfico a las botanas.

Se utilizó un equipo de extrusión de monotornillo en frío con el uso de una boquilla para laminado delgado. Utilizando dos formulaciones 70-30 y 80-20 amaranto-maíz a las que posteriormente se seleccionó la mejor mezcla tomando en cuenta la manejabilidad de la masa, su dureza, viscosidad y expansión del producto final para determinar que formulación fue la más adecuada para obtener la botana horneada como producto final. Se recurrió a un análisis de viscosidad aparente para la materia prima con el objetivo de conocer las propiedades que tiene el almidón sobre la

viscosidad de las muestras y determinar si el tratamiento a la harina afectó directamente a los gránulos de almidón. Posteriormente, se utilizó la prueba de calorimetría diferencial de barrido (DSC) con la finalidad de obtener datos que proporcionen información de las transiciones térmicas, dentro de las que destacan la desnaturalización de las proteínas, acomplejamientos o entrecruzamientos así como las temperaturas de gelatinización del almidón que pudiera existir en la materia prima y el producto terminado.

Este tipo de botanas resultan ser una importante producto, dado que lo se utilizaron agentes leudantes para la expansión de la botana. Únicamente en la formulación se utilizaron harinas de amaranto-maíz y agua y el resultado fue un producto expandido y crujiente con sabor agradable, ligeramente dulce.

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

I. Generalidades del amaranto y sus características

Históricamente el origen de la planta de amaranto se ha ubicado en Centro y Norteamérica (México y Guatemala) y Sudamérica (Perú y Ecuador), Junto con el maíz, el frijol y la chíca, el amaranto fue uno de los principales productos para la alimentación de las culturas precolombinas de América (Espitia, 1990).

En el período Maya y Azteca el amaranto era un alimento muy usado por estas culturas ya que se ocupaba como alimento esencial en su dieta casi a la par que el maíz, sin embargo cuando Hernán Cortés conquistó en el año de 1519 se abandonó el cultivo de dicha planta, esto por motivos políticos y religiosos. El resurgimiento del cultivo de amaranto se dio gracias a los atributos y múltiples usos, su composición química y soportar climas tan extremos (que muy probablemente se deba a su ruta metabólica de carbono C-4) le ha valido para ser un tema interesante del cual las especies más estudiadas son *Amaranthus cruentus*, *Amaranthus caudatus* y *Amaranthus hypocondryacus* (Becker *et al.*, 1992).

La familia de las Amarantáceas es muy grande de ahí que se comprende por alrededor de 60 géneros y cerca de 800 especies de plantas herbáceas o perennes. Sin embargo, esta gama tan rica de especies está ampliamente distribuida en regiones de clima tropical, subtropical y templado, de ahí que sea común ver a este tipo de especies en lugares como montañas, desiertos, lagos, playas, etc., y esto es de esperarse ya que es una de las plantas con poca competencia si se habla del territorio, su secreto recae en la selección natural por la cual se adaptaron a climas tan adversos que lo serían para otro tipo de plantas o vegetales (Morales *et al.*, 2014)

Las proteínas que tiene el amaranto tienen la cantidad adecuada de aminoácidos, esto hace que sus proteínas sean una de las más consideradas para suplir parcialmente o completamente la proteína animal, dado que en algún momento se volverá insuficiente su producción para satisfacer la demanda mundial de carne, por tal motivo es que se ha empezado la búsqueda de nuevas fuentes ricas en

proteína de alta calidad y una fuente con esas características es el amaranto (Kaur *et al.*, 2010).

1.2 Características nutricias del Amaranto (*Amaranthus*)

Una peculiaridad de esta especie es la de poder utilizar tanto las hojas y su grano, los cuales aportan en buena manera juntos o por si solos una fuente rica en nutrientes, como se describía con anterioridad hay una existencia de alrededor de 50 a 60 especies de *Amaranthus* de las cuales aproximadamente del 50 a 80 % son comestibles como verdura, de estas a continuación se mencionan las especies con mayor importancia (Morales *et al.*, 2014):

- ❖ *A. cruentus*: Se ha usado como una planta ornamental y mayoritariamente se encuentra su cultivo y cosecha en regiones húmedas de África y el oeste africano.
- ❖ *A. dubius*: Es uno de los amarantos más variables morfológicamente hablando, esto debido a su hibridación con el *A. spinosus*, se cultiva en China, el sureste de Asia y en las islas del Pacífico.
- ❖ *A. hybridus*: Esta especie puede crecer a altitudes por arriba de 1300 m, se desarrolla de manera silvestre, es una planta que crece frondosamente y alcanza una altura de 1.4 m, es originaria de las zonas tropicales de América.
- ❖ *A. lividus*: Se desarrolla bajo climas templados y sus hojas tienen un color característico en verde o rojo.
- ❖ *A. muricatus*: Planta perenne y se caracteriza por sus hojas decumbrentes.
- ❖ *A. tricolor*: Se reproduce en épocas calurosas y es de las más consumidas como verdura y tiene un aspecto parecido al de una espinaca, es una planta nativa de la India (Morales *et al.*, 2014).

Cuando se compara al maíz, trigo y arroz con el amaranto no cabe duda del alto nivel nutricional que presenta, dado por su alto contenido de proteínas que se ha reportado, de igual forma es relativamente rico en aminoácidos como; lisina, metionina y triptófano (Ravindran *et al.*, 1996).

Existen tres especies de los cuales por las cantidad de granos comestibles que produce son las especies más atractivas por el balance y alta calidad de aminoácidos en su semilla o grano en comparación con cereales de mayor cultivo, estos son: *Amaranthus hypocondriacus*, *Amarantus cruentus* y *Amaranthus caudatus*, el amaranto tiene grandes cualidades por lo cual se considera un cultivo potencial que no ha sido del todo explotado (Coimbra y Salema, 1994).

Las semillas de amaranto tienen un contenido del 13 al 18% en proteínas crudas, algunos estudios han encontrado valores que oscilan entre los 15 a 22%, al hacer un análisis con los cereales se ha demostrado que tiene valores más altos de lípidos, cenizas, proteínas crudas y fibra, no así con la proporción de carbohidratos en los que el amaranto presenta valores más bajos (Morales *et al.*, 2014).

En la tabla 1.1 Se presentan valores de algunas propiedades del grano de amaranto con cereales tradicionales.

Tabla 1.1 Análisis comparativo de Amaranto con cereales principales

Propiedad	Amaranto	Trigo	Arroz Integral	Maíz
<i>Proteínas</i> **	15.5	14.0	8.5	10.3
<i>Almidón</i> *	65.0	60.0	66.0	71.0
<i>Lípidos</i> *	7.6	2.0	2.2	4.5
<i>Cenizas</i> *	3.2	1.9	1.4	1.4

*Porcentaje en peso seco,**Proteínas, N X 6.25

Becker *et al.*,(1992).

Como se observa en la tabla 1.1 la cantidad proteica del amaranto es mayor de igual forma con los lípidos y menor cantidad de almidón, lo que demuestra la ventaja que tiene el amaranto frente a otros cereales.

1.3 Clasificación taxonómica

La tabla 1.2 presenta la clasificación taxonómica para el amaranto, ya que este se encuentra dentro del reino *plantae*.

Tabla 1.2 Clasificación taxonómica del Amaranto

Reino	<i>Plantae</i>
Subreino	<i>Embriofitas</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Subclase	<i>Caryophilidae</i>
Orden	<i>Caryophyllales</i>
Familia	<i>Amaranthaceae</i>
Genero	<i>Amaranthus</i>
Subgénero	<i>Acnida</i>

Fuente: Arendt y Zannini, (2013)

Este reino indica que es un organismo vegetal fotosintético, de igual manera dentro del subreino está considerada como una *Embriofitas* dado que es una planta terrestre descendiente de las algas verdes y caracterizadas por adaptarse a la vida fuera del agua, su división *Magnoliophyta* muestra que la planta contiene semillas de algún modo envasadas en una hoja fértil portadora de óvulos o carpelo, su clase *Magnoliopsida* describe que en el desarrollo de la planta se forman dos cotiledones, estas son las hojas que se encuentra en el germen acompañada de la semilla, por su falta de pétalos y disposición de óvulos sobre una columna dentro del ovario se les da la subclase *Caryophilidae*, la orden *Caryophyllales* se le da por ser una planta angiosperma ósea que tiene semillas, su familia *Amaranthaceae* se puede ubicar por la forma peculiar de florescencia el cual esta agrupada en racimos, espiguillas o panículas, taxonómicamente hablando es lo que describe con más precisión la mayoría de las especies de amarantos.

En la Figura 1.1 se muestra al *Amaranthus hypocondriacus* una de las especies de amaranto más comunes.



Fuente: (SINAREFI, 2015)

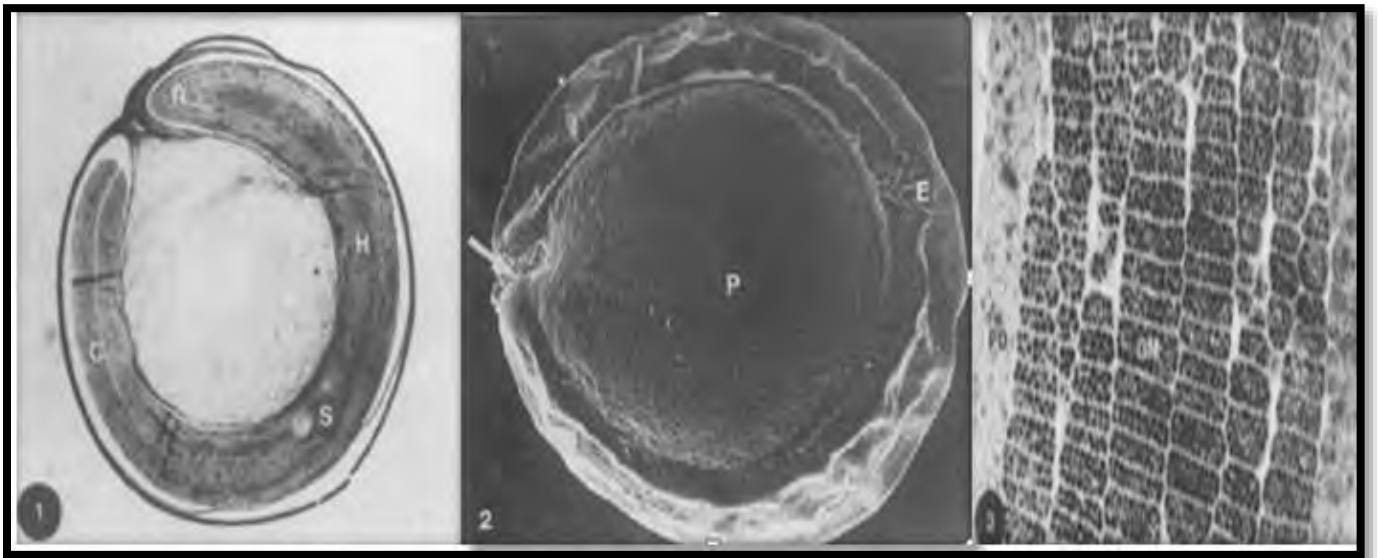
Figura 1.1 Planta de *Amaranthus hypocondriacus*

1.4 *Amaranthus hypocondriacus*.

Procedente de la parte central de México, se cultiva para obtener grano y como se ha mencionado anteriormente dentro de las tres especies con mayor florescencia de semilla, el *Amaranthus hypocondriacus* es una de las más utilizadas dentro del ámbito alimenticio, tanto por su valor nutrimental y facilidad de reproducción, esto la hace una especie llamativa por los usos potenciales que se le puede dar, sin dejar de lado el amplio estudio que se le ha dado a esta planta en el pasado hasta nuestro días.

La semilla de este tipo de amaranto son de un color dorado de forma lenticular y con un diámetro de aproximadamente 1mm. El embrión es periférico circundando al perispermo, el cual es el tejido de almacén del núcleo. Durante su desarrollo el embrión utiliza la mayor parte de tejido del endospermo con la mayor porción presente alrededor de la radícula. El embrión consiste en el eje del hipocotíleo radicular y dos cotiledones, el apical meristemo de la raíz y el brote son bien diferenciados (Coimbra y Salema, 1994).

En la semilla se concentra la mayor parte de los nutrientes, las reservas no están almacenadas uniformemente en todo el tejido de la semilla, por ejemplo las proteínas se encuentran ligadas a la membrana por cuerpos proteicos en el embrión y las células endospermicas. Los lípidos y carbohidratos también se encuentran en la semilla, especialmente los lípidos se localizan tanto en el embrión y en el endospermo celular, los carbohidratos están almacenados como almidón en el perispermo celular y los plástidos, de igual forma se encuentran en las paredes celulares de la semilla en forma de polisacáridos (Coimbra y Salema, 1994). En las Figuras 1.2, 1.3 y 1.4, se presentan imágenes de algunas partes importantes en la semilla de *Amaranthus hypocondriacus*,



Fuente: Coimbra y Salema, (1994)

Figura 1.2 Corte transversal, .Figura 1.3 Micrografía, Figura 1.4 Cuerpos proteicos

En la Figura 1.2 se muestra un corte transversal de la semilla de *Amaranthus hypocondriacus*, de donde se distingue el perispermo que es el centro del corte, la radícula (R), el hipocótilo (H), el ápex (S) y el cotiledón (C). En la Figura 1.3 tenemos una imagen micrográfica de la semilla, en esta notamos la periferia del embrión (E) envolviendo al perispermo (P). En la Figura 1.4 se aprecia un gran número de cuerpos proteicos presentes en la superficie del meristemo.

1.5 Principales países de cultivo en América Latina

Actualmente el amaranto se cultiva en países del continente Americano, Asiático, Africano, Europeo y Oceánico, sin embargo el Amaranto tiene un mayor uso en países de Latinoamérica (con excepción de algunos países del continente Asiático), por lo que estudios recientes han arrojado que el cultivo de la planta tiene un enorme potencial de cultivo en América dando hasta 7900 Kg/ha y adaptabilidad a condiciones climáticas muy diversas, tal es el caso como los cultivos a nivel del mar del Puerto príncipe de Haití u Oruro Bolivia que está a 3710 metros sobre el nivel del mar. La Oficina Regional de la FAO en coordinación con el Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA) de Perú y entidades de América Latina y el Caribe, realizaron pruebas en varios países de cultivares de amaranto lo que arrojó datos interesantes de la producción, donde se tomó en cuenta lugares de ensayo, latitudes, longitudes, precipitaciones, tipo de suelo y tipo de cultivo de amaranto así como su rendimiento máximo (Morales *et al.*, 2014). En la tabla 1.3 los resultados de la Prueba Regional Americana de cultivares de Amaranto, cultivares y su rendimiento en Latinoamérica.

Es importante destacar que este cultivo principalmente se encuentra en Latinoamérica. Dentro de los países que destacan con la mayor producción son: Perú, Ecuador, Bolivia, Argentina y México.

Existen otros países como Haití que lo cultivan en menor cantidad, y además presentan bajo rendimiento por hectáreas.

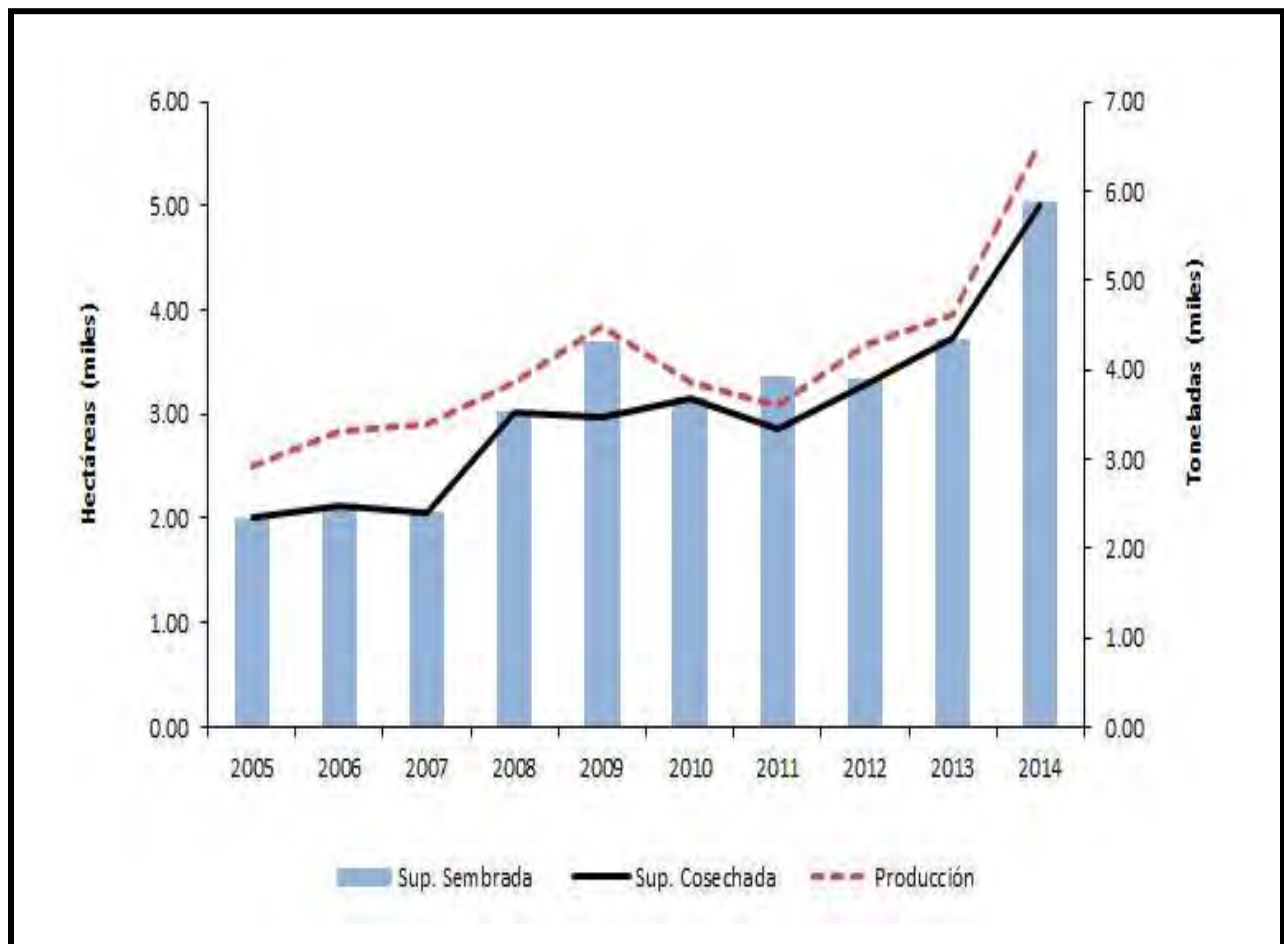
Tabla 1.3 Cultivares de amaranto y su rendimiento en Latinoamérica

País	Lugar del Ensayo	Altura (msnm)	Precipitación (mm)	Tipo de Suelo	Cultivar <i>Fuente: Morales et al., 2014</i>	Rendimiento
Argentina	Prumamarca	2250	176.5a	Arcillo-Arenoso	<i>A. mantegazianus</i>	1530
Bolivia	Carmen Pampas, Yungas	1648	1621b	Arcillo-Limoso	INIAP-Ataco	2258
Bolivia	Oruro	3710	352.5b	Arcillo-Arenoso	T-12	203
Chile	Pirque, Santiago	654	146.3c	Franco-Arcilloso	-	-
Chile	Chillan, Concepcion	144	344.9c	Franco	Chile	2933
Chile	Temuco	100	900.5d	Franco	<i>A. cruentus</i>	1049
Ecuador	Sta. Catalina, Quito	2720	1348.5b	Franco-Arenoso	<i>A. cruentus</i>	3167
México	Vicente Guerrero, Durango	1920	253.9e	Arenoso	Revancha	3875
Haití	Damien, Port-Au-Prince	18	765.4b	Limoso-Arenoso	<i>A. cruentus</i>	1191
México	Chapingo, Texcoco	2249	693.5b	Franco-Arcilloso	INIFAP-655	4583
Perú	Huancayo	3312	222.3f	Franco-Arcilloso	UTAB-cahuayuma	4518
Perú	Lima	251	-----	Franco	Durango-HI	935
Perú	Taray, Cuzco	2900	396.6b	Franco	41-F	7208
Uruguay	Colonia	81	1261.5b	Franco-Arcilloso	<i>A. cruentus</i>	1500
Perú	San Camilo, Arequipa	1253	-----	Arenoso	Oscar Blanco	3750

La tabla 1.3 indica que el mejor rendimiento de cultivo se ha dado en Perú en las zonas de Taray, Cuzco por lo que a nivel continente sería uno de los mayores productores de amaranto en esas zonas y en contraste la zona de Oruro, Bolivia con una menor producción pero con una mayor altura sobre nivel del mar lo que nos indicaría su baja producción, sin embargo se puede apreciar su producción en diferentes condiciones y zonas de cultivo.

1.6 Productores Nacionales

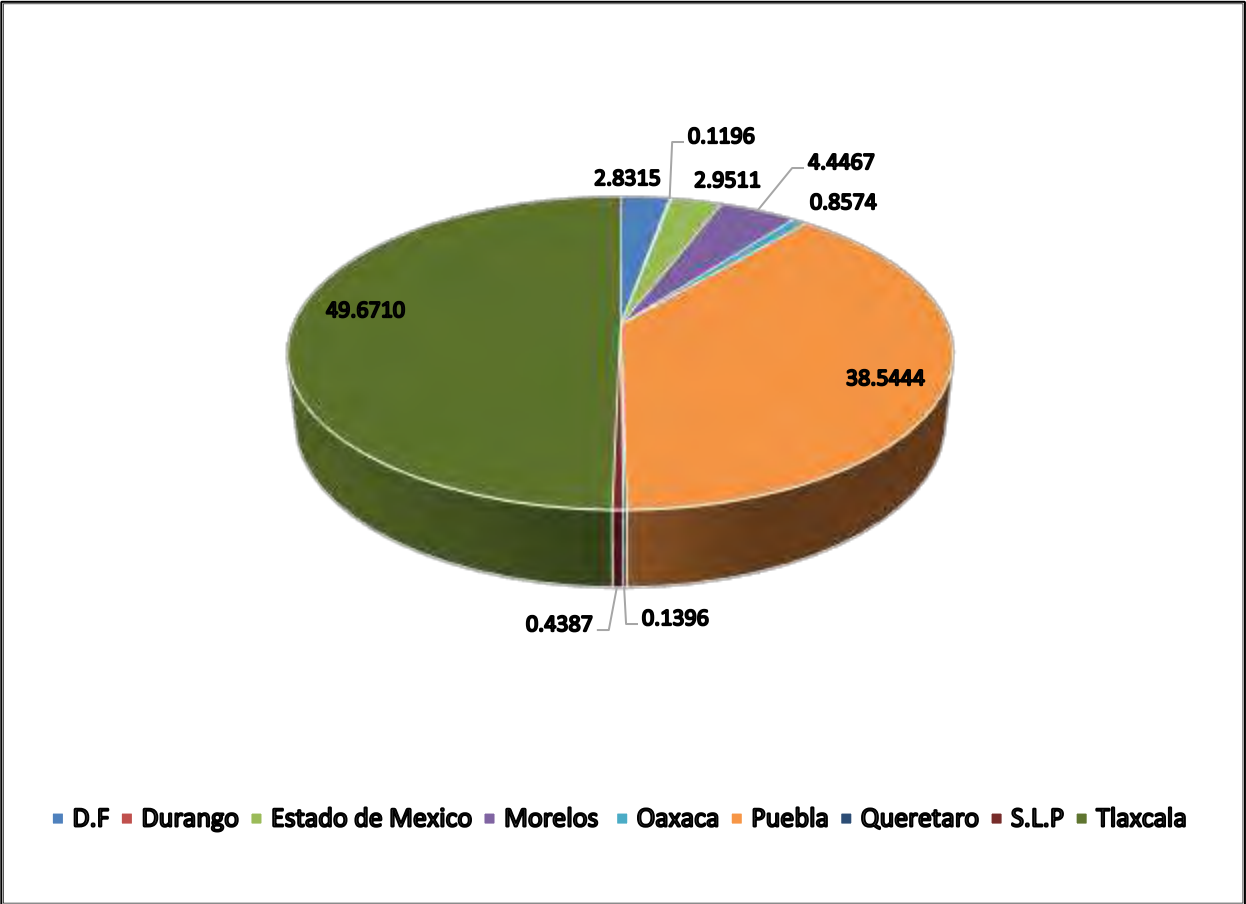
Actualmente en México el cultivo se encuentra en pequeñas áreas, siendo las más importantes: Tulyehualco-D.F., Amilcingo y Huazulco-Morelos, San Miguel del Milagro-Tlaxcala, Puebla y Oaxaca , cabe recalcar que los productores nacionales de amaranto están agrupados en el Comité Sistema Producto Amaranto y trabajan coordinados con SAGARPA, la comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural del D.F así como las delegaciones de Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta, junto con la fundación Grupo Produce A.C. En la Figura 1.3 se presenta la gráfica de productores nacionales de amaranto.



Fuente: SINAREFI.ORG, 2015

Figura 1.3 Gráfica de productores nacionales de amaranto

En la Figura 1.3 se observa en la gráfica se observa que en el periodo del 2005-2014 ha ido creciendo de forma casi gradual las hectáreas de cultivo así como las toneladas de producción de amaranto. por otro lado en la Figura 1.6 se presenta la producción de cultivo de amaranto a nivel nacional para el 2014, datos más recientes reportados.



Fuente: SIAP.GOB, (2014)

Figura 1.4 Producción del cultivo de amaranto en el año 2014

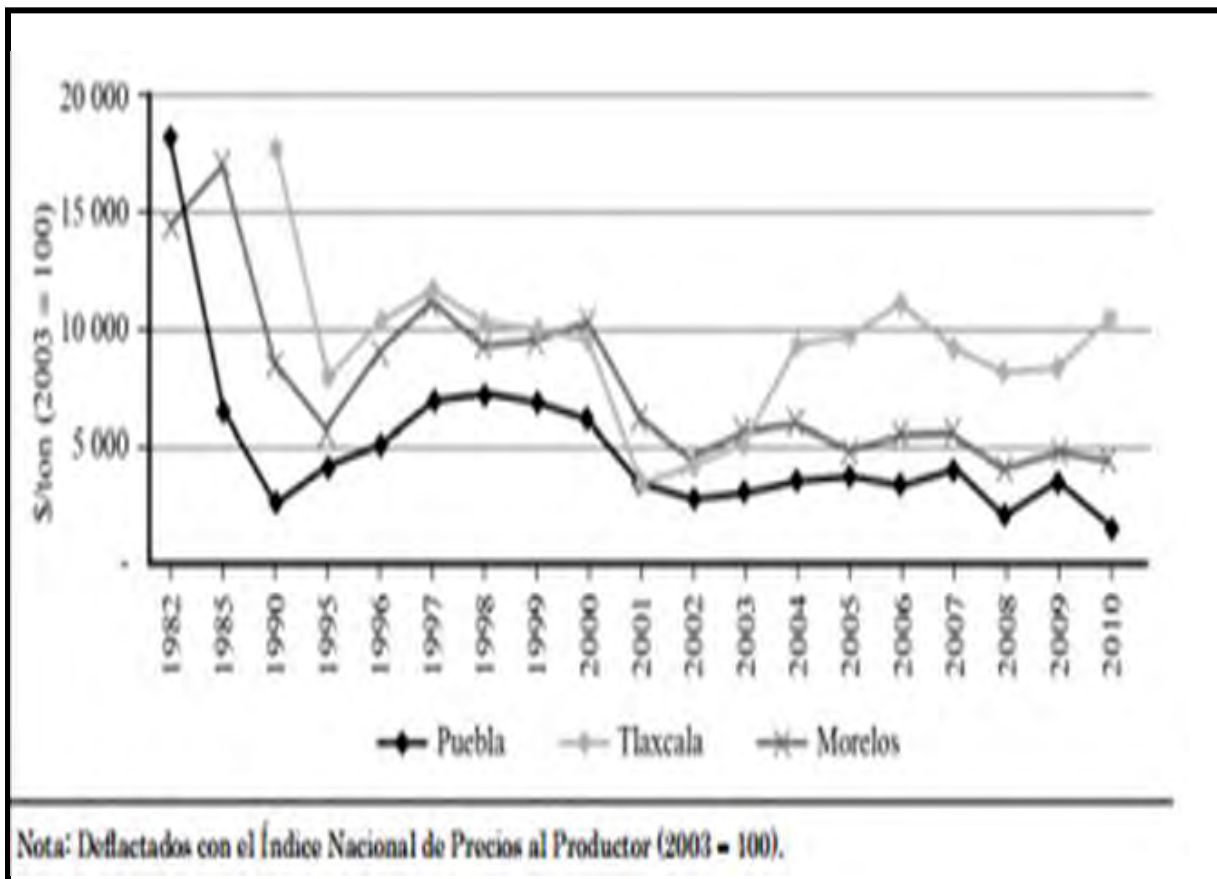
Se refleja en la Figura 1.4, la gráfica presenta el predominio del estado de Tlaxcala en el cultivo del amaranto seguido por el estado de Puebla lo que los ubica en estos últimos años como los estados con mayor cultivo del antes mencionado.

Hay que recalcar que no son los únicos estados que cultivan amaranto, ya que estados como: Nayarit, Chihuahua, Hidalgo, Aguascalientes, Sinaloa y Guerrero,

también son productores, solo que estos no lo hacen periódicamente y las zonas de cultivo son muy limitadas, año con año hay una variabilidad en cuanto a la producción, sin embargo los estados dominantes año con año son Puebla, Tlaxcala y el D.F. (Ayala, 2013).

Problemática de los productores de Amaranto

Los productores de amaranto han tenido que lidiar con la caída de los precios medios rurales donde desde 1980 hasta 2010 se tiene estimado que ha decrecido el precio del amaranto. La Figura 1.7 muestra los precios de amaranto 1982-2010.



Fuente: INEGI, 2013

Figura 1.5 Gráfica de los precios de amaranto 1982- 2010

La tasa media anual de más del 5% en contraste con la alza media anual del precio de fertilizantes, específicamente la urea la cual su precio se ha elevado entre el 24.49% y 22.30%, por lo que ya se cuestiona la rentabilidad, esto en caso de no

apoyar su cultivo y si sigue a la alza del precio de los fertilizantes así como otros insumos agropecuarios. Un problema importante en la producción y cultivo es la deficiencia técnica, tales como tecnología y capacitación, todo esto con la finalidad de aumentar la rentabilidad del cultivo de amaranto por lo que se debe de buscar una mejora continua al igual que innovación para las técnicas agronómicas de cultivo (Ayala *et al.*, 2013).

1.7 Pseudocereal (amaranto)

Ya que los amarantos poseen ciertas características muy apegadas a los cereales dado a su producción de grano o semilla y sabor, erróneamente se le ha dado el nombre de *pseudocereales*, ya que el amaranto pertenece a otra familia del reino vegetal y tiene características muy diferentes a los cereales, lo que hace que se le ubique en una diferente clasificación (Morales *et al.*, 2014).

A menudo se les llama falsos cereales y esto es porque los cereales verdaderos son gramíneas las cuales tienen características muy específicas, las gramíneas más conocidas son; el trigo, cebada, y maíz. Las características particulares de las gramíneas es tener hojas finas y puntiagudas la cuales crean inflorescencias que luego se transforman en espigas y dan los granos que conocemos como cereales. Los pseudocereales por el contrario producen hojas anchas y es ahí donde se dan los granos o semillas un poco parecidas a las de las gramíneas. Estas semillas se vienen consumiendo desde hace mucho casi a la par que las semillas o granos de los cereales verdaderos. Entre los pseudocereales más conocidos están la quínoa, el amaranto, kañiwa y chía, etc.

Se analizó la composición del grano de amaranto y comprobó que su valor nutricional lo aventaja respecto de los demás cereales. Su contenido de proteínas es mayor y contiene lisina, el cual es un aminoácido deficitario en este grupo de alimentos. Además, como el grano se utiliza entero a causa de su diminuto tamaño, es particularmente interesante el aporte de fibra, vitaminas, minerales y fitoquímicos con fuerte efecto antioxidante. Los resultados del estudio también muestran que el amaranto aporta algunos minerales como el hierro, además, como no contiene gliadinas resulta apto para celíacos. Su consumo no solo sería beneficioso para la

población en general, sino muy particularmente, constituiría un aporte en los planes alimentarios destinados a poblaciones desfavorecidas, en aspectos nutrimentales y deficiencias alimentarias (Viviant, 2013).

1.8 Amaranto Reventado

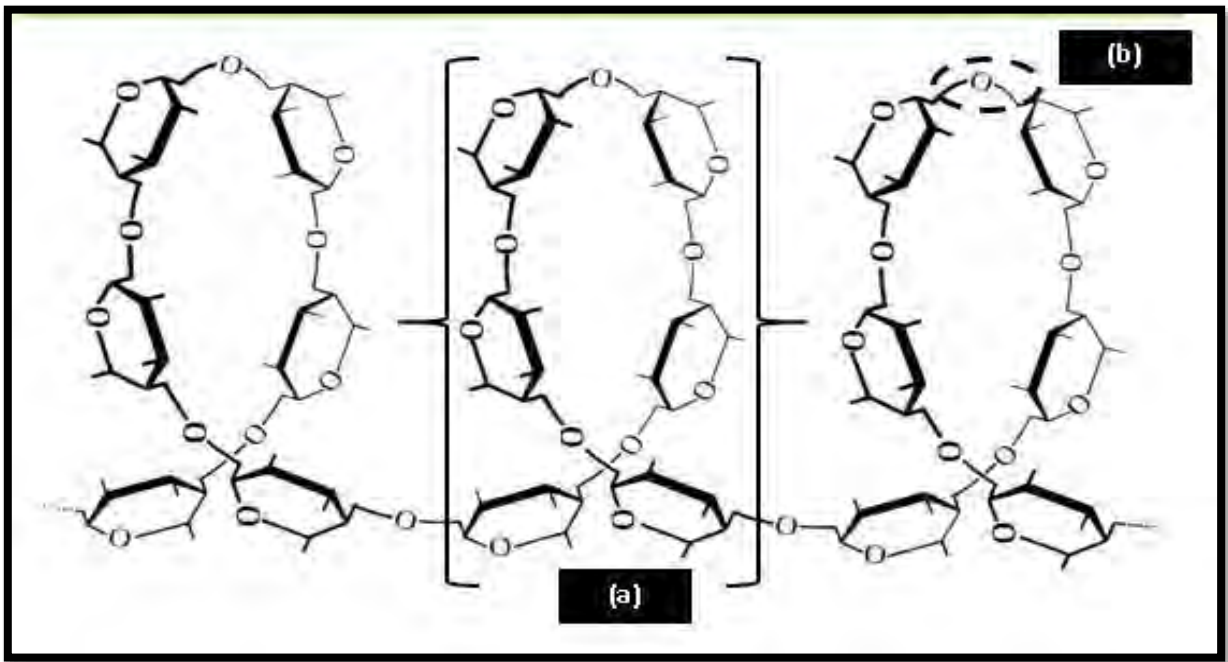
Es común encontrar al amaranto como la típica “alegría”, la cual consiste en un aglomerado de amaranto reventado con miel y otros ingredientes, y erróneamente pensamos que esa es la forma en la que se encuentra naturalmente el amaranto, sin embargo, Arendt y Zannini, (2013) mencionan que el reventado fue descubierto hace miles de años por la cultura mexicana y que de igual forma es uno de los procesos más antiguos para el tratamiento de la semilla de amaranto ya que destaca por su facilidad y el realce de sabor al final del proceso, este se lleva a cabo mediante la vaporización del agua la cual está contenida en la matriz del almidón o que por ende incrementa la temperatura y presión dentro de esta expandiendo los gránulos de almidón, el endospermo se transforma dentro de una matriz esférica la cual se solidifica por la evaporación del agua dándole esa propiedad esponjosa, textura crocante y sabor.

El reventado se genera en un rango de temperatura de entre 150 a 220 °C con un tiempo de 10 a 25 segundos, por lo que el contacto directo del grano con la superficie caliente en un tiempo prolongado decrece la calidad del producto ya que la calidad de la proteína disminuye debido al aumento de la temperatura debido a que el proceso aminora la concentración de algunos aminoácidos como es el caso de la lisina el cual se ve minimizado en un 19% de este aminoácido disponible (4.57 gramos por 16 gramos de nitrógeno), pero se ha sugerido que el tratamiento incrementa la calidad proteica en comparación con la contenida en el grano crudo (Morales *et al.*, 2014)

1.9 Almidón

Es uno de los carbohidratos con mayor importancia dado su uso en la industria como en la dieta diaria del ser humano, después de la celulosa es considerado el

segundo polisacárido de más relevancia desde el punto industrial, al ser abundante se puede encontrar en diversos alimentos como los son; cereales, tubérculos y frutas. Químicamente el almidón es una mezcla de dos polisacáridos muy similares, la amilosa y la amilopectina: la amilosa es producto de la condensación de D-glucopiranosas por medio de un enlace glucosídico $\alpha(1,4)$, lo que establece la larga cadena lineal de entre 200-2500 unidades y pesos moleculares de casi un millón. (Badui, 2006). La Figura 1.6 muestra la estructura helicoidal de la amilosa.

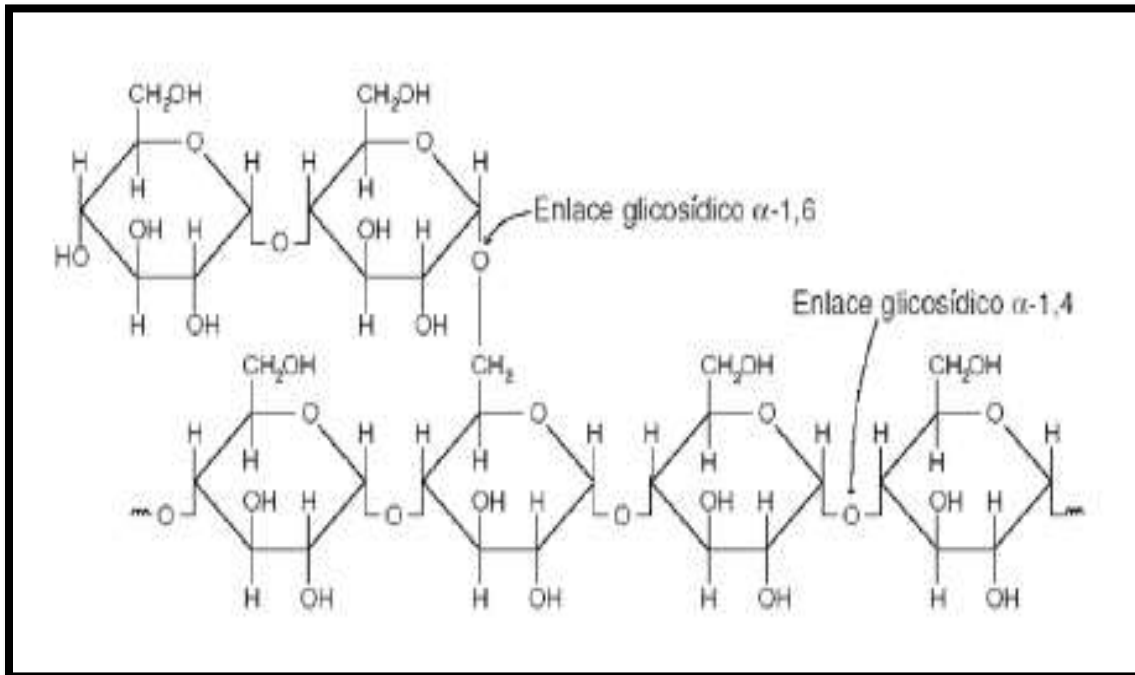


Fuente: (Badui, 2006)

La Figura 1.6 Molécula de amilosa, en (a) se muestra cada hélice con una conformación de 6 moléculas de glucosa, mientras que en (b) se denota el enlace glucosídico $\alpha(1-4)$ que se da entre las moléculas de glucosa.

Por lo que la amilosa es una α -D-(1,4)-glucana, cuya unidad repetitiva es la α -maltosa, puede tomar una forma helicoidal tridimensional. Cada hélice consta de seis moléculas de glucosa. La amilosa tiene usos como recubrimiento de frutos y frutas desecadas o glaseadas, ya que evita la adhesión que pudiera estar presente entre los frutos, las películas de amilosa se ocupan para envasado de los alimentos en especial cafés y té instantáneos (Badui, 2006). Por su parte la amilopectina es un glucano ramificado donde existe un punto de ramificación cada 15-30 restos de glucosa, cabe mencionar que su reparto es irregular y que los modelos propuestos

indica que la amilopectina forma dobles hélices de una forma paralela. Tiene una forma parecida a la de un árbol donde las ramas se unen a un tronco central mediante enlaces α -D-(1,6). En la Figura 1.7 se presenta la estructura de la amilopectina.



Fuente: Meneses et al. (2007)

Figura 1.7 Molécula de amilopectina. El enlace del tronco principal viene dado por enlaces α (1-4) a la cual en el carbono 6 de la estructura lineal de glucosa se agrega una cadena de la misma composición, por lo que a ese enlace se le conoce α (1-6).

Su peso molecular puede alcanzar 200 millones de Daltons. La amilopectina por calentamiento proporciona soluciones claras y de alta viscosidad, que son además filamentosas y cohesivas por lo que al contrario de la amilosa, no tiene tendencia a la retrogradación, ni presenta envejecimiento, ni forma geles aunque la concentración sea muy alta. La viscosidad decrece sin embargo fácilmente en medio ácido en tratamientos en autoclave o por fuerte agitación mecánica (Grosch, 1997).

En la tabla 1.4 se muestran algunos usos del almidón y sus derivados en la industria alimenticia.

Almidón	Usos
Almidones céreos no modificados (incluso mezclados con almidones normales o harinas).	Salsas para ensalada, conservas estériles o congeladas, sopas, salsas instantáneas, cereales de desayuno, aperitivos.
Almidones céreos pregelatinizados o amilopectina pura.	Productos de panadería, pan esterilizado, rellenos, salsas para ensaladas, postres instantáneos.
Almidones céreos levemente hidrolizados.	Películas protectoras de alimentos.
Almidones céreos entrecruzados.	Rellenos, salsas instantáneas, conservas estériles o congeladas, postres instantáneos, salsas para ensalada, sopas, alimentos infantiles.
Éteres hidroxipropílicos de almidones céreos.	Conservas estériles y congeladas.
Éteres carboximetílicos de almidones céreos.	Estabilizantes de emulsiones.

Tabla 1.4 Usos del Almidón y sus derivados

Fuente: (Grosch, 1997)

La tabla 1.4 nos muestra las aplicaciones que tiene la amilopectina, la cual es un polisacárido que se encuentra en el almidón, dicho esto también se les conoce como almidones céreos a aquellos que carecen de amilosa.

“Algunas variedades de amaranto contienen dos tipos de almidón: ceroso y normal. Se ha informado que la existencia de ambos tipos de almidón en *A. hypocondriacus*, con gránulos de almidón que contienen 100% de amilopectina. Sugimoto *et al.*, (1981) señalaron que los dos tipos de almidón en *A. hypocondriacus* contienen 0 y 14% de amilosa, y el almidón es idéntico al del maíz y del trigo, con estructura tipo cristalina” (Morales *et al.*, 2014).

1.9.1 Pregelatinización del almidón

La pre gelatinización del almidón es una modificación física que sufre el almidón con la intención de ser aplicado en productos alimenticios, las características de este almidón tratado es la habilidad de absorber agua e hincharse rápidamente en agua fría lo que hace que mejore su viscosidad, y si se quiere obtener las propiedades del almidón nativo solo basta con someterlo a calentamiento con agua a temperaturas a la que gelatiniza el almidón. El almidón pregelatinizado se ha utilizado de manera más amplia que el almidón nativo, esto por la sensibilidad al calor que tiene y a la necesidad de crear alimentos con viscosidades a bajas temperaturas (Majzoobi et al., 2016).

Este tratamiento hidrotérmico a bajas temperaturas durante un corto tiempo (pregelatinización) consiste en la fusión parcial de cristales de amilosa, esto al alcanzar la temperatura de transición vítrea del polímero, por lo que puede ser analizado y estudiado mediante técnicas calorimétricas. Lo que ocurre durante este proceso es que al fusionarse los cristales de amilosa estas debilitan las fuerzas intermoleculares ocasionando que pequeñas cadenas de amilosa se solubilizan y difundan al exterior, por lo que existe una modificación en su arreglo molecular pasando de un estado amorfo a uno meta estable, provocando que la amilopectina permanezca dentro del grano (Garzón, 2006).

Los almidones naturales usualmente contienen altas cantidades de amilosa lo cuales al pregelatinizarse se puede esperar que produzcan geles o pastas muy duros (Adedokun & Itiola, 2009).

Básicamente la pregelatinización es un hidrotreatmento térmico, o es el calentamiento de suspensiones de un almidón al cual se le deshidrata por largo período y baja temperatura para obtener productos solubles en agua con bajas temperaturas con la finalidad de obtener geles, dándoles uso como lo son: en la elaboración de alimentos instantáneos (flanes y similares), coadyuvantes de panadería, repostería y confitería, en otros casos como excipiente para medicamentos (Grosch, 1997).

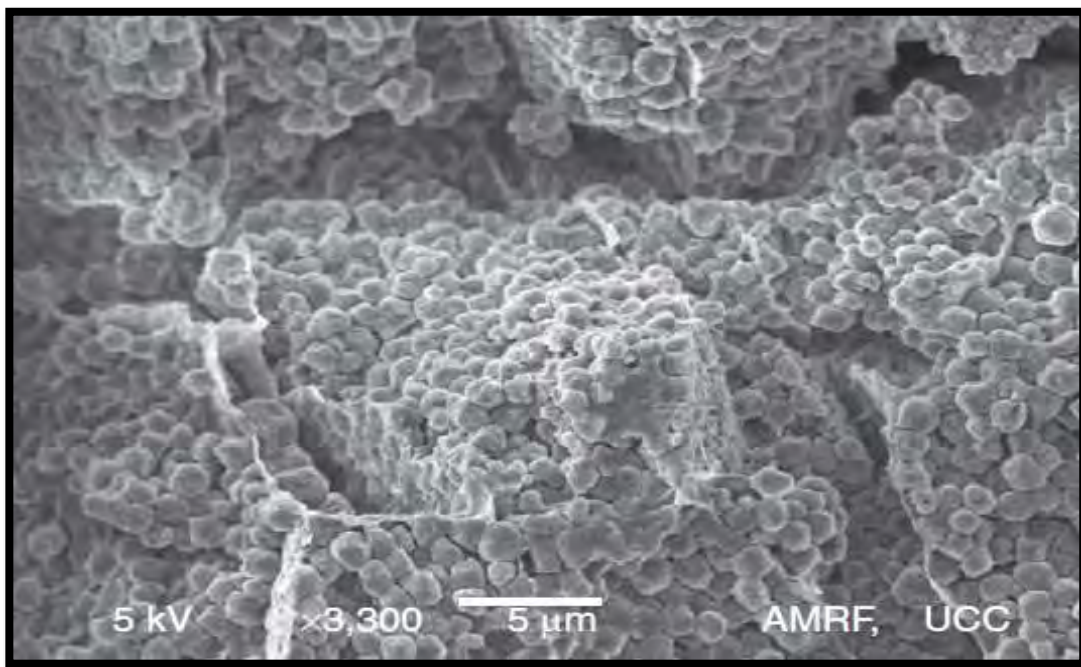
1.9.2 Gelatinización del almidón

La estabilidad que presenta la estructura del almidón la cual es muy organizada, impide que los gránulos sean insolubles en agua a temperaturas bajas y esto se debe a la interacción de los polisacáridos que lo constituyen (amilosa y amilopectina), pero estas al calentarse dentro en un medio acuoso se comienza un proceso de absorción del agua especialmente en zonas más accesibles y amorfas de la estructura, esta zona se denomina “zona intermicelar” además de que en esta parte los puentes de hidrogeno no son tan numerosos y tampoco muy rígidos a diferencia de las áreas cristalinas. La absorción de agua es directamente proporcional a la temperatura sometida el granulo de almidón, lo que hace que se hinche y aumente su volumen, y ya una vez hidratado completamente la zona amorfa, la parte cristalina inicia un proceso similar solo que se necesita de más energía. Existen diferentes tipos de temperatura para cada fuente de almidón, y es que esta determina su alcance máximo de volumen y perdida patrón de difracción de rayos X así como su birrefringencia, cuando se administrar más calor al gránulo hinchado el cual ya no puede retener más líquido, este se rompe causando que la amilosa y amilopectina queden dispersadas en el seno de la disolución, aquí es donde se pierde la estructura original y birrefringencia del gránulo junto con un aumento de la viscosidad, en un estimado se dice que alrededor del 30% de la amilosa queda en solución. A este proceso se le llama gelatinización donde llanamente se describe como una transición de un estado ordenado a uno desordenado donde se absorbe calor (Badui, 2006).

Depende del tipo de almidón y contenido de agua, el intervalo de temperatura necesaria para la gelatinización es variable para cada uno de los cereales. Una función de la gelatinización en los alimentos es que se vuelve más fácil de digerir por las enzimas amilolíticas, y cuando el almidón se reordena este ya no se digiere en el organismo y se conoce como resistente a enzimas y el grado de gelatinización para los alimentos comerciales tiene que ser lo suficiente para que el almidón sea digerido de una forma rápida (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1997).

1.9.3 Almidón de Amaranto

Uno de los componentes principales en el amaranto es el almidón, este se encuentra en un porcentaje de 48-69 % aproximadamente en peso seco, los gránulos de almidón en el amaranto son pequeños (de 0.8 a 2.5 μm de diámetro) como muestra la Figura 1.8 lo cual lo hace fácilmente degradable por las enzimas α -amilasas, que en comparación con los gránulos de arroz (3-8 μm) y papa (15-100 μm) es un tamaño relativamente pequeño. Los gránulos del almidón de amaranto casi tienen una estructura cristalina lo cual es algo inusual en gránulos de otra fuente, su forma es esférica o poligonal. Según la especie de amaranto varía el contenido de almidón por ejemplo para el *A. cruentus* se reportan porcentajes de 48% y para *A. hypochondriacus* 69% (Arendt y Zannini, 2013).



Fuente: Arend y y Zannini, (2013)

Figura 1.8 Micrografía de gránulos del almidón de amaranto almacenados en el perispermo.

Cuando se habla de diferencia con los cereales y pseudocereales como el amaranto, este parece contener menos almidón que otros cereales al igual que la amilosa, la cual es muy baja en comparación con los mismos, así también una diferencia notable es la localización del almidón en estos, ya que mientras en los

cereales este se deposita en el endospermo, el almidón del amaranto se localiza en el perispermo (Arendt y Zannini, 2013).

El tamaño del granulo de almidón varía entre especies de amaranto por lo que también se ve afectada su funcionalidad y propiedades fisicoquímicas lo que le confiere propiedades con un uso potencial de sus gránulos. Las semillas de amaranto se han convertido en una fuente excepcional de gránulos pequeños de almidón (1-3 μm de diámetro), y cabe recalcar que el amaranto no contiene gluten, esto lo hace un alimento apto para personas celiacas así como una buena fuente de fibra dietaria (Middlewood y Carson, 2012).

1.10 Textura

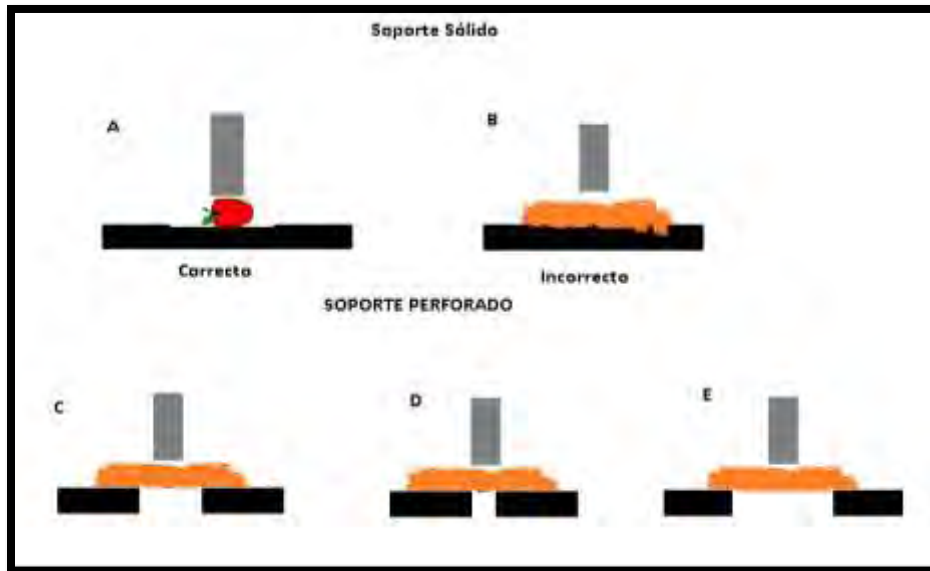
La textura es la manera en la cual varios constituyentes y elementos estructurales de un alimento están arreglados y combinados en una microestructura y macro estructuras cuyas manifestaciones externas se presentan en términos de flujo y deformación (De Man *et al.*, 1975). Es una combinación de efectos físicos y propiedades químicas (forma, tamaño, número, naturaleza, etc.), que determinan la disposición o manera que la unión de estas componen el material.

La textura de los alimentos formulados depende de los ingredientes de origen natural (formulación, adición, componentes, etc.), lo cual nos permite controlar y desarrollar texturas específicas no encontradas en alimentos naturales.

1.10.1 Prueba de punción

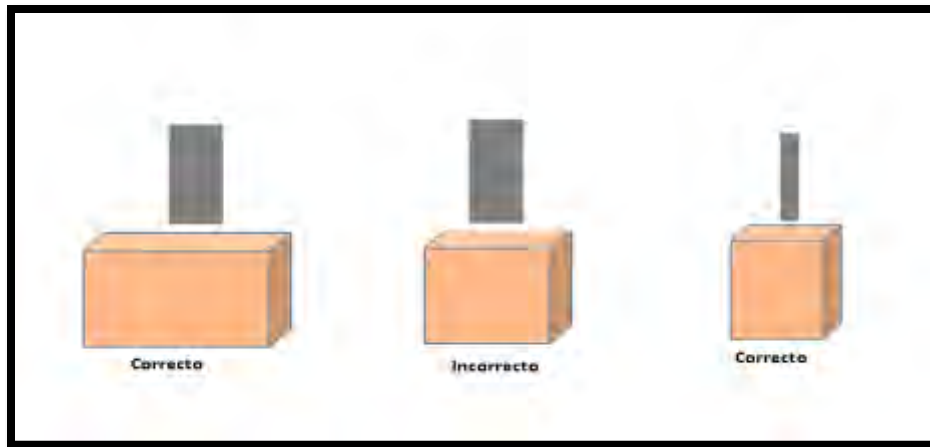
Para el control de calidad y el desarrollo de productos alimenticios como grasas, mantequillas, quesos, geles, pan, frutas, chocolates, entre otros, son comunes las pruebas de punción y/o penetración. En esta prueba el material que está bajo prueba es sometida a una combinación de compresión y cizallamiento. En los materiales sólidos la prueba es totalmente destructiva. La prueba consiste en medir la fuerza requerida para incidir un punzón en el alimento. Se caracteriza por: A) la medida instrumental de la fuerza, B) la penetración del punzón del alimento causando fractura irreversible o fluidez en el alimento y C) la profundidad de la penetración que usualmente es constante (Casas y Ramírez, 2001).

En esta prueba se puede asumir que la muestra es mucho más grande que la punta, haciendo despreciable el efecto en los bordes y la superficie (Figuras 1.9 y 1.10), para que las fuerzas se deriven principalmente por punción y exista una combinación de compresión, corte y cizalla.



Fuente: (Bourne, 1982)

Figura 1.9 Relación correcta de áreas del material y dispositivo en una prueba de punción.



Fuente: (Bourne, 1982)

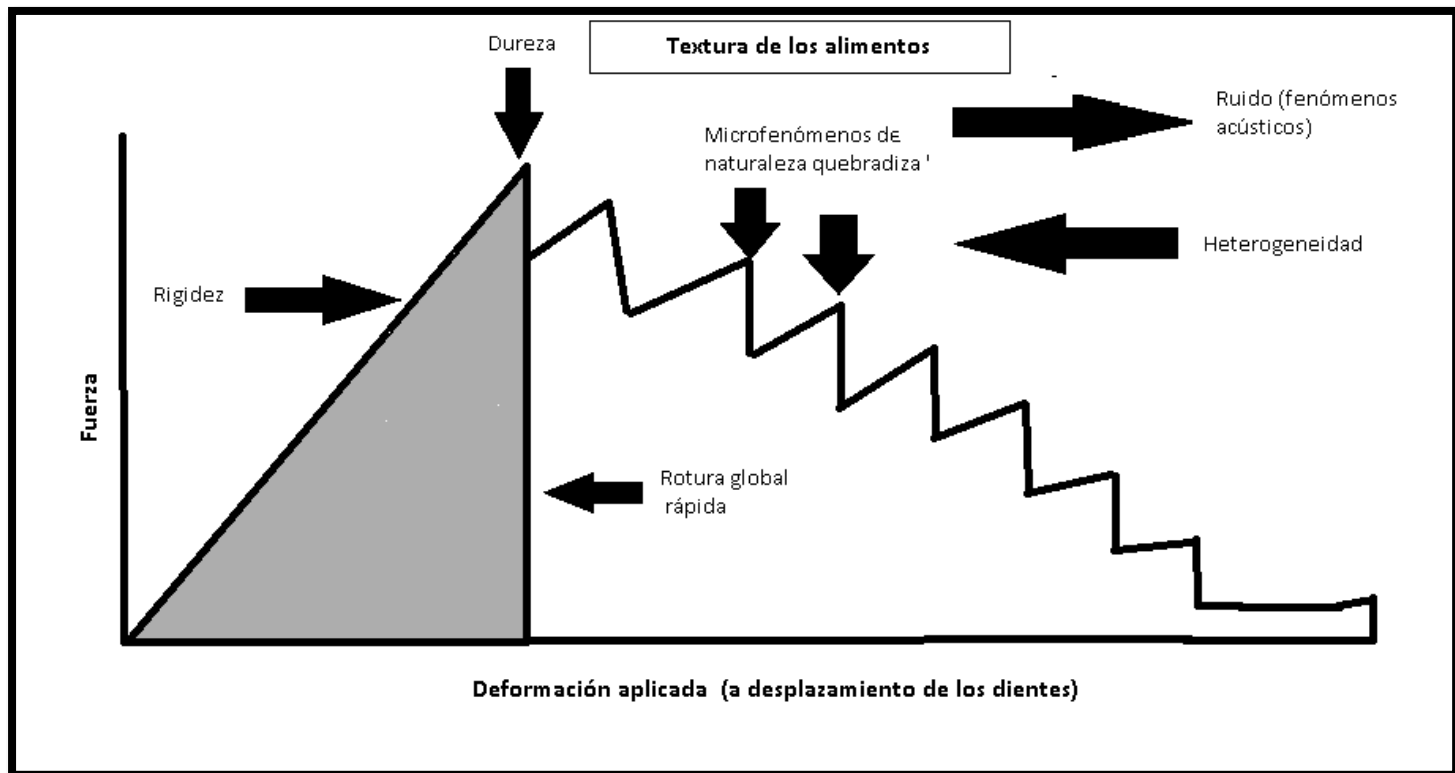
Figura 1.10 Posición correcta del material utilizado en prueba de punción.

1.10.2 Materiales quebradizos y crujientes

Las evaluaciones como crujidez, masticabilidad y resistencia son procesos de deformación. La definición inicial de crujiente puede estar correlacionada con la

velocidad y la fuerza que se aplica al cerrar las mandíbulas. Cuando el material se fractura la fuerza cae. Lo crujiente se puede asociar con una caída rápida de fuerza, asociada con la rápida propagación de la fractura, esta necesita que el material sea frágil. Si el alimento se deforma posteriormente a la fractura principal, las caídas van relacionadas con lo crujiente, si los picos son pequeños y frecuentes, el alimento se desbarata fácilmente, por el contrario si son grandes y frecuentes puede haber una transición de textura crujiente a dura (Rosenthal, 2001). La condición quebradiza es una característica de textura difícil de alcanzar muy parecida a la crujiente o dura, pero diferente. En la mayoría de los casos se ha visto que para lograr un producto crujiente debe fragmentarse abruptamente en varios pedazos al morderlo, la cual tiene que ver tanto con la sensación vibratoria de la mordida, como con la fuerza que se requiere para la fragmentación. Los alimentos quebradizos, por lo general presentará una estructura celular. Las células no se rompen en forma simultánea al morderlas, sino que son separadas en pequeños fragmentos. También existen otras texturas que pueden ser celulares. El lograr una condición quebradiza, o de otro tipo, depende del tamaño de la célula y el grado de expansión celular (Parra, 2006). La fuerza máxima alcanzada debería ser igual a la dureza, cuando más alta sea la fuerza más duro será el material como se observa en la Figura 1.11

También podemos definir lo crujiente como la distancia a la que se presenta la fractura, a menor distancia el producto será más crujiente. Dicha crujencia corresponde al “cronch” que hace un alimento, botana, pan, entre otros al romperse y es muy deseable escucharlo para el consumidor. Es importante que este acepte el producto para pronta extensión. En la Figura 1.11 se presenta la gráfica para un material crujiente.



Fuente: Rosenthal (2001)

Figura 1.11 Gráfica para un material crujiente

1.11 Industrialización de botanas de Amaranto

Se conoce como, “Botanas, a los productos de pasta de harinas, de cereales, leguminosas, tubérculos o féculas; así como de granos, frutas, frutos, semillas o leguminosas con o sin cáscara o cutícula, tubérculos; productos nixtamalizados y piel de cerdo, que pueden estar fritos, horneados, explotados, cubiertos, extruidos o tostados; adicionados o no con sal y otros ingredientes opcionales y aditivos para alimentos” (NOM-187-SSA1/SCFI-2002).

Actualmente varias empresas mexicanas desarrollan una nueva gama de productos tomando como base al amaranto, esto con la finalidad de ubicar este alimento como esencial en la dieta humana para dar paso a una amplia variedad de productos encaminados hacia las personas con trastornos digestivos, como lo es la intolerancia al gluten (celiacos) presente en el trigo como ejemplo, el cual a pesar

de ser un cereal catalogado como beneficioso, este tipo de personas se ven limitadas en su alimentación debido a su tipo de trastorno, adicionalmente los productos elaborados con amaranto presentan un alto contenido proteico (Morales *et al.*, 2014).

En la tabla 1.5 la información nutrimental de algunas botanas de amaranto con otros ingredientes que actualmente se encuentran en el mercado, se toma en cuenta que estos productos son las presentaciones más comercializadas con contenido de amaranto.

Tabla 1.5 Información nutrimental de botanas de amaranto

Componente	Churritos de Amaranto	Charritas de Amaranto	Galleta integral de Amaranto y Naranja	Galletas de Amaranto
<i>Contenido energético (Por cada 100g de producto)</i>				
<i>(kcal)</i>	504.5	525	376.7	129.6
<i>(kJ)</i>	2110.7	2196.5	1576.2	542.2
<i>Proteínas (g)</i>	8.5	7.5	7.5	1.9
<i>Lípidos (g)</i>	26.2	30	11.2	7.2
<i>Hidratos de Carbono (g)</i>	67.5	52.5	50.2	14.4
<i>Fibra (g)</i>	0.9	0.7	10.3	-----
<i>Sodio (mg)</i>	0.5	9	4	0.04

Fuente: Morales *et al.* (2014)

Cabe recalcar que estos productos no tienen en su totalidad amaranto, ya que se encuentran otros agregados como ingredientes en su producción, tal es el caso de los churritos de amaranto que en algunos casos llevan mezcla con otras harinas reduciendo así un contenido considerable de amaranto, por lo que todo el aporte nutricional no se debe directamente al antes mencionado.

1.12 Productos Artesanales

El amaranto ha sido utilizado desde épocas prehispánicas de diferentes modos, pero en la mayoría de los casos su uso ha sido en el ámbito alimenticio, como ejemplo esta la “Alegría” el cual es una mezcla de miel con semillas de amaranto reventado, básicamente existen diferentes variables de este alimento ya que pueden haber combinaciones con frutos secos hasta la utilización de saborizantes, esto debido a que mayormente se usa el amaranto reventado, aunque de igual forma se usa como agregado en mezclas con semillas para la elaboración de granolas. Las harinas que provienen de la harina de la semilla o del grano reventado se usan en la panificación donde se llega a sustituir la harina de trigo en un 20%, aunque el grano reventado se ocupa mucho como adorno para ciertos panes y botanas. Su uso actual va desde la elaboración de milanesas vegetarianas de amaranto hasta su uso en tamales, a continuación se enlistan algunos usos que a la fecha se pueden encontrar en mercados artesanales:

- Alegrías.
- Galletas.
- Paletas de amaranto y miel.
- Cuernitos de amaranto (Pan).
- Panques.
- Garibaldis.
- Pastel.
- Borrachitos.
- Pastas para sopa.

(Morales *et al.*, 2014)

1.13 Extrusión en la Industria alimentaria

Junco (2014) explica que la extrusión es definida como "el proceso que consiste en dar forma a un producto, forzándolo a través de una abertura con diseño específico". Así pues, la extrusión puede o no implicar simultáneamente un proceso de cocción. Centrándonos en el proceso de extrusión aplicado al tratamiento de cereales, oleaginosas, entre otros, podemos decir que la extrusión consiste en hacer pasar a través de los agujeros de una matriz, un granulado de harina húmeda de estos productos a presión por medio de un tornillo sinfín que gira a cierta velocidad. Este proceso de extrusión se puede efectuar de dos maneras ya sea en frío o con aplicación de calor.

- Frío: En este tipo de extrusión no se aumenta la temperatura, y solo interviene la presión con la finalidad de elaborar productos como salchichas, pastas sin cocimiento y confitería por mencionar algunas.

- Aplicando calor: Este proceso es termo mecánico lo que quiere decir que se hace inducir energía térmica y energía mecánica sobre el alimento, utilizando altas presiones (hasta 25 Mpa) y altas temperaturas (100-180 °C) durante un lapso, una de las ventajas de este proceso es la inactivación de enzimas, y reducción de la contaminación microbiana, así por ende se origina una cocción sobre el producto con bajos niveles de humedad (Junco, 2014).

1.13.1 Factores o variables que influyen en la extrusión.

Algunos factores que influyen en las características de los productos extruidos son los siguientes.

Condiciones durante la extrusión

- Temperatura.
- Presión.
- Diámetro de los orificios de la boquilla.
- Velocidad de cizalla.

Propiedades químicas y reológicas del alimento.

- Contenido de agua.
- Tipo de almidones así como contenido de proteínas, grasas, azúcares y sales.
- Agentes emulsificantes.
- Características de fluidez y cohesividad de las partículas sólidas.

Por lo que el producto final puede verse afectado por cualquier factor, por ejemplo si el contenido de aceites o grasas en la harina es alto, puede ser que el producto no tenga una buena estabilidad y pierda su forma de moldeo (Junco, 2014). En la Figura 1.12 se presenta un extrusor en frío y sus partes

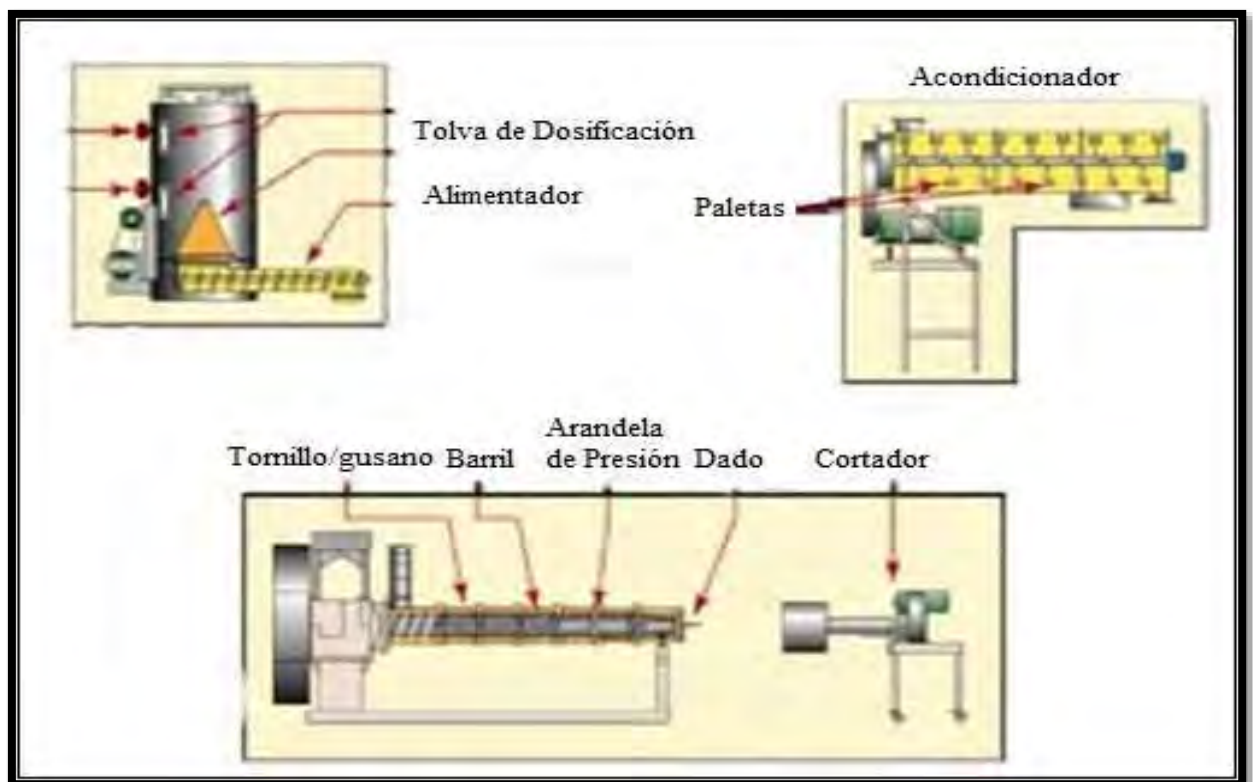


Figura 1.12 Extrusor en frío y sus partes

Fuente: Junco. (2014)

Como se aprecia en la Figura 1.12, el alimentador es el encargado de proveer al extrusor la materia prima, por lo que se puede regular la velocidad de alimentación, en el acondicionador se puede obtener un pretratamiento de la materia prima, obteniendo una cierta humedad o temperatura para optimizar la calidad del producto y aumentar la plasticidad de la materia prima previo a la extrusión, donde el tornillo gira de tal manera que obliga a la masa (por efecto de presión) pasar sobre el cabezal con la forma deseada , para finalmente ser cortada (Junco, 2014).

1.13.2 Partes del extrusor:

- Reserva de alimentos: Es el material o mezclas que se van a procesar en un extrusor.
- Tornillo o rotor del extrusor: se compone de alabes, los cuales reciben los ingredientes, los mezcla y los transforma en una masa homogénea plástica; y la fuerza a pasar por un dado
- Barril: parte cilíndrica, que cubre al tornillo o al rotor.
- Tolla mezcladora: espacio donde son vertidas las mezclas a procesar.
- Dado: Se coloca en la parte final del barril y da forma al producto.
- Cuchilla: cuchillas que giran a velocidad constante para cortar el producto.

(Riaz, 2004).

1.13.3 Zonas de un extrusor:

Zona de alimentación: En esta área se introducen materiales crudos de baja densidad global de masa en un cilindro del extrusor. La velocidad de alimentación total es limitada por la capacidad de los tornillos de esta sección para transportar la alimentación seca. Si se utiliza calentamiento del barril, es

común que se inyecte agua corriente debajo de la zona de alimentación a fin de hidratar los biopolímeros y posiblemente la transferencia conductiva de calor

Zona de amasado: en esta zona continua la compresión y los tornillos del extrusor empiezan a alcanzar un mayor grado de llenado conforme disminuye el paso del tornillo. La materia prima pierde su textura de identidad granular y su densidad empieza a aumentar conforme lo hace la presión en el interior del cilindro. El corte empieza a adquirir importancia conforme el tornillo lo llena. Para contribuir al cocimiento, también se puede inyectar vapor. La zona de alimentación es básicamente una zona de transición entre la materia prima particulada y el material visco-elástico homogéneo encontrado en la zona de cocción.

Zona de cocción: en esta área, comúnmente la temperatura y la presión aumentan de manera muy rápida debido a la presencia del dado o boquilla y al paso pequeño del tornillo. La transformación final de la materia prima también ocurre aquí, lo que afecta de manera importante la densidad, el color y las propiedades funcionales del producto final.

Zona de moldeado y corte: el producto realmente se forma al pasar a través de un dado o boquilla y posiblemente un mecanismo fijado de corte directamente al extrusor. Para fijar la longitud y la forma finales del producto se utilizan dispositivos adicionales de post-extrusión. El dado o boquilla también tienen una función importante en productos inflados ya que promueven la repentina evaporación de la humedad en forma de vapor. Algunas propiedades de los productos inflados son la densidad global de masa y de partícula, la textura y la porosidad (Riaz, 2004).

1.13.4 Clasificación de los extrusores:

Los extrusores se clasifican térmicamente y al tipo de tornillo. Las características de ambas se muestran a continuación:

Extrusión en frío:

- La energía térmica es solamente generada por la energía mecánica del equipo.

- La energía mecánica es generada por la fuerza de fricción entre las capas en movimiento del producto.
- Los tornillos de estos extrusores poseen unas alas muy profundas y ruedan a poca velocidad en un tubo de superficie interna lisa, para que la materia prima esté sometida a la mínima fricción posible.
- Se emplean para elaborar pasta, hot dogs, algunas pastas para pastelería y confitería.

Extrusión en caliente:

- Se le conduce calor externa y se puede poner chaquetas de vapor o calentadores eléctricos.
- El alimento se calienta por contacto de las paredes q rodean el extrusor y por contacto con el tornillo calentado con vapor.
- Reducen la contaminación microbiana con pérdidas mínimas en el valor nutritivo del alimento, pueden conservarse durante mucho tiempo.
- Los productos que se pueden elaborar son snack, pan tostado, escandinavo y cereal para desayuno (Riaz, 2004).

1.14 Comparación de la composición química del Amaranto y Maíz

Análisis nutricionales del maíz arrojan una deficiencia de aminoácidos esenciales importantes para el ser humano como lo son la lisina y el triptófano, como también lo es la calidad proteica que contiene un grano o cereal, donde de igual manera la mayoría no cubre el perfil requerido para tener un balance apropiado para la alimentación (Charley, 1990).

En la tabla 1.6 se muestra una comparativa entre la composición química del amaranto y del maíz.

Tabla 1.6 Tabla comparativa de composición química del amaranto y maíz

Componente (%)	Amaranthus hypocondriacus	H. de Maíz Nixtamalizada
<i>Humedad</i>	9.40	10.9
<i>Proteína</i>	15.3	7.76
<i>Lípidos</i>	7.10	3.22
<i>Carbohidratos</i>	62.7	71.4
<i>Fibra</i>	2.90	7.70
<i>Cenizas</i>	2.60	1.75

Fuente: Bressani et al. (2001)

Como se puede apreciar, el amaranto tiene un alto contenido en proteína y bajo contenido de carbohidratos en comparación con el maíz, además de que la FAO ha declarado que al amaranto es uno de los alimentos más balanceados respecto a características nutrimentales. Algo que destaca de la proteína del amaranto, es su alto contenido de lisina, lo que le confiere una complementación aminoácidica excelente.

En la Tabla 1.7 se presenta su contenido de aminoácidos.

Tabla 1.7 contenido de aminoácidos de amaranto y maíz

Aminoácido esencial	Patrón de aminoácidos	Amaranto hypocondryacus	Maíz
<i>Isoleucina</i>	2.8	3.9	3.5
<i>Leucina</i>	6.6	5.7	12.4
<i>Lisina</i>	5.8	5.5	3.0
<i>Metionina + Cisteína</i>	2.5	4.7	2.0
<i>Fenilalanina + Tirosina</i>	6.3	7.3	4.4
<i>Treonina</i>	3.4	3.6	3.3
<i>Triptofano</i>	1.1	1.0	0.7
<i>Valina</i>	3.5	4.5	4.9
<i>Histidina</i>	1.9	3.0	3.0

Fuente: Morales et al. (2014)

Como se detalla en la tabla 1.7 apreciamos que el maíz tiene una cierta deficiencia de lisina y triptófano, por lo que una adición de amaranto a un producto podría cubrir esta deficiencia, que si bien el maíz contiene un buen perfil de aminoácidos por balance y contenido, el amaranto cubre una buena parte de los aminoácidos esenciales referenciándose al patrón de aminoácidos, que es un estándar en el cual hipotéticamente se espera un alimento como los cereales tenga ese balance.

La proteína del amaranto se encuentra en el embrión (65%) a diferencia de otros cereales como el maíz, arroz y soya que presentan sobre 80% de la proteína en el endosperma (Bressani, 1989). En cuanto a la calidad biológica de la semilla de amaranto, esta presenta biodisponibilidad en su proteína haciéndola de buena calidad y absorción. Esto se demuestra en estudios realizados en ratas, a partir de su alimentación con maíz, trigo y amaranto (Yañez, *et al.*, 1994). A continuación se muestra en la Tabla 1.8 la calidad biológica de la proteína de mezclas de amaranto y maíz.

Figura 1.8 Calidad biológica de mezclas de harinas amaranto-maíz

Mezcla Maíz : Amaranto	Ingesta total (g)	Variación de peso (g)	Proteína ingerida (g)	PER*
100:0	197.5 ± 34.3	22.9 ± 5.8	12.17 ± 1.10	1.77 ± 0.38
90:10	213.0 ± 23.3	27.1 ± 6.8	14.19 ± 1.50	1.77 ± 0.38
70:30	242.2 ± 14.5	40.4 ± 5.6	18.20 ± 1.13	2.22 ± 0.21
50:50	275.4 ± 31.9	58.0 ± 7.8	23.44 ± 2.71	2.47 ± 0.14

Fuente: Yañez et al.(1994)

*Relación Eficiencia Proteica (PER por sus siglas en inglés). Se hace notar que el aumento de amaranto a la mezcla mejora la PER de la mezcla 50/50 que a pesar de ser una ingesta más grande, es proporcional al aumento de PER en ratas donde estudios hechos con otras mezclas como con harina de trigo,

demuestran que aún siendo mismas proporciones, su eficiencia proteica es notoriamente más baja que con amaranto.

Por lo antes mencionado, la mayoría de estudios realizados con el amaranto han sido enfocados a mejorar la calidad de proteínas complementando a los cereales y granos como el maíz, trigo y frijol, por lo que se sugiere que exista una excelente complementación con estas proteínas en especial maíz y trigo (Morales *et al.*, 2009). Por eficiencia y versatilidad la mezcla de maíz con amaranto es señalada como buena por su eficiencia en el organismo ya que a pesar de haber mezclas de amaranto con otras harinas como la de trigo donde su calificación proteínica es de aproximadamente 100, la mezcla maíz/amaranto obtiene una calidad excelente, por ejemplo el maíz en combinación con un 12.7 % de amaranto tostado, constituye una fuente de proteínas que puede satisfacer las necesidades de un niño y adolescente cubriendo el 70 % de las necesidades diarias de una dieta normal (Morales *et al.*, 2014; Escobedo García, 2013).

1.15 Perfil de viscosidad aparente

El almidón es usado ampliamente en la industria alimenticia como espesante, por lo tanto es necesario saber el comportamiento en cuanto al desarrollo de viscosidad debido a que de esto depende la textura que tomará el producto final, además se realizan monitoreos en diferentes etapas del proceso. Se sabe que el almidón en exceso de agua, al aplicarle calor, forma un gel y la viscosidad que genere el almidón puede medirse mediante un instrumento llamado Rapid Visco Analyzer (RVA) o un reómetro con celda de almidones.

La Figura 1.15 muestra un perfil de viscosidad típico de un almidón en el cual indica los parámetros que usualmente se obtienen con este tipo de medición. A continuación se definen los parámetros según lo reportado en la literatura que son monitoreados en una gráfica del perfil de viscosidad. En harinas de maíz nixtamalizado, el punto más importante es el pico máximo de viscosidad presentado, ya que este refleja el estado de la harina, después de su procesamiento. Esto es un indicativo de cómo se realizó el procesamiento de los granos de maíz, en su tratamiento térmico alcalino y su molienda húmeda y seca del granulado.

a) Temperatura de pastificación

La temperatura de pastificación provee una indicación de la temperatura mínima requerida para la cocción de una muestra, la cual puede variar, ya que hay implicaciones debidas a la estabilidad que posean otros compuestos de la muestra, proveyendo además gastos de energía (Rogers, 2010).

Jin-Song (2008) dijo que las mediciones de la temperatura de pastificación utilizando un instrumento de RVA no pueden reflejar un valor verdadero de la temperatura de gelatinización.

b) Pico de viscosidad

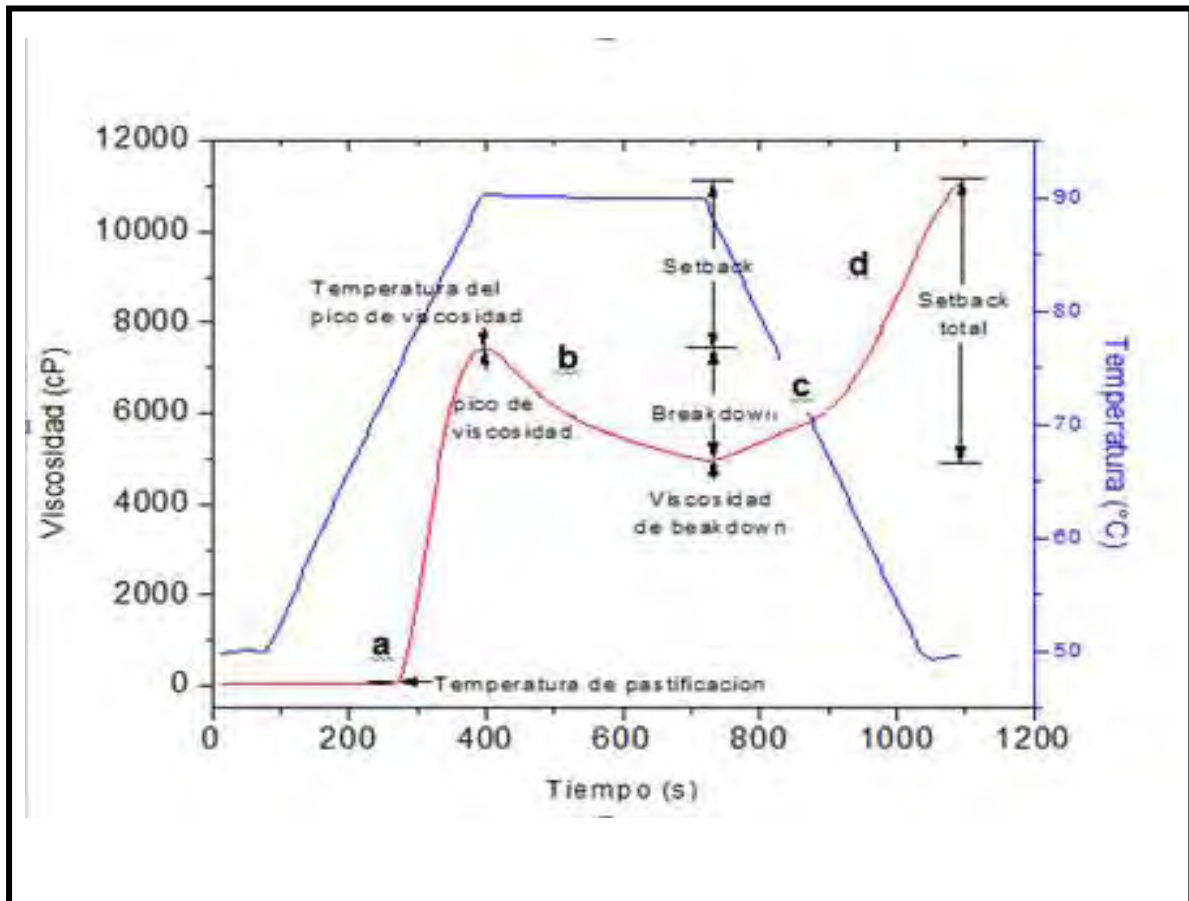
El pico de viscosidad indica la capacidad y habilidad de absorción de agua de los gránulos de almidón, además ocurre un cese del hinchamiento. En este punto se presenta un equilibrio entre los gránulos hinchados y los polímeros lixiviados. (Dengate, 1984; Rogers, 2010).

c) Punto de quiebre (Breakdown)

Según Jan *et al.* (2013), el punto de quiebre es una medición del grado de desintegración de los gránulos de almidón o la estabilidad de la pasta. Teniendo en cuenta la morfología de los gránulos, el punto de quiebre es un resultado de la desintegración de la estructura de los gránulos de almidón causados por las fuerzas de cizallamiento (Vandeputte *et al.*, 2003).

d) Regresión (Setback)

El punto de regresión es una medida de la tendencia a retrogradar o sinéresis del almidón al enfriar la pasta. Este aumento en la viscosidad final principalmente es debida a la retrogradación de la amilosa lixiviada contenida en la pasta cocida (Karim *et al.*, 2007; Jan *et al.*, 2013).



Fuente: Jane et al. (2013)

Figura 1.13 Perfil de viscosidad aparente para una harina

El viscoamilograma lo proporciona el equipo directamente en la pantalla de la computadora *in situ*. Al ir corriendo la muestra, se van obteniendo las diferentes partes que se encuentran en la gráfica de manera que el pico máximo de viscosidad es lo más importante.

El punto **a** representa el tiempo en el que la muestra inicia a desarrollar viscosidad y a una temperatura de 32-55 °C y un tiempo de 170 segundos. El punto **b** representa el grado máximo de viscosidad aparente que desarrolla la muestra, con una temperatura de 98 °C. El punto **c** representa la desvalorización de la viscosidad en la muestra debido a la pastización, después de que experimenta un calentamiento permanente de 90 °C, y por último el punto **d** representa la viscosidad aparente final de la muestra. El trayecto efectuado desde el punto **a** al punto **b** representa el intervalo de temperatura de gelatinización

El pico máximo es seguido por una disminución en la viscosidad de la pasta, como la ruptura de las moléculas y los gránulos de almidón están dispersos en la fase acuosa. La velocidad y la magnitud del hinchamiento y desglose dependen del tipo y la cantidad de fécula, el gradiente de temperatura, la fuerza de cizalladura y la composición de la mezcla, por ejemplo, la presencia de los lípidos y proteínas. La temperatura de gelatinización de la mayoría de los almidones está entre 60-80 °C. En general, hay una relación negativa entre el contenido de amilosa del almidón y la viscosidad de la temperatura y el pico de gelatinización.

Como la pasta viscosa se enfría, la viscosidad aumenta debido a la formación de un gel que se mantiene unido por las interacciones intermoleculares que afectan a las moléculas de amilosa y amilopectina. En geles que contienen aproximadamente el 25% de amilosa, las moléculas de almidón forman una red resultante en un gel firme, en contraste a los geles de almidón ceroso, que son suaves y contienen agregados pero ninguna red. La retrogradación del almidón ha sido definida como el proceso que ocurre cuando las cadenas moleculares en los almidones gelatinizados comienzan a re-asociarse en una estructura ordenada, durante la retrogradación, la amilosa forma asociaciones de doble hélice de 40 a 70 unidades de glucosa, mientras que la cristalización de la amilopectina ocurre por una re-asociación de las pequeñas ramificaciones más externas. Aunque ambas, la amilosa y la amilopectina son capaces de retrogradar, el componente de la amilopectina, aparentemente puede ser el mayor responsable (Jan *et al.*, 2013).

1.16 Análisis térmico por calorimetría diferencial de barrido (DSC)

El análisis térmico es una técnica donde se estudian las modificaciones en los materiales debido a cambios en la temperatura, y que se define como un conjunto de técnicas que estudian el comportamiento térmico de una muestra en un intervalo de tiempo y temperatura en condiciones específicas.

La calorimetría diferencial de barrido es una técnica experimental encargada de definir y cuantificar la cantidad de calor que absorbe o libera una sustancia al ser sometida a una temperatura constante en un tiempo determinado, o cuando esta sustancia es calentada (o enfriada) a una velocidad constante en un determinado

intervalo de temperatura, por lo que se cataloga como una técnica de relevancia dado su rapidez y alto grado de sensibilidad durante el análisis, y es que cuando se analiza un material o sustancia, se emplea este método para determinar su estabilidad térmica y caracterización de sus transiciones. En la técnica esta la existencia de dos mini charolas, una de ellas no contiene nada ya que sirve como referencia durante el análisis y la otra es la que contiene la sustancia, para cada capsula se necesitan calefactores y un sistema de control, esto con la intención de verificar si existe algún cambio térmico entre la capsula de referencia y la capsula con muestra y de ser así corregir a manera de mantener la misma temperatura en las dos capsulas, sea endotérmico o exotérmico el proceso. La técnica de DSC puede medir todas las transformaciones o reacciones donde exista un cambio de energía, como utilidades destacan las siguientes:

- La determinación de temperaturas de transición vítrea, temperaturas de transformación, cristalización, fusión, ebullición, sublimación, descomposición, isomerización, etc.
- Estabilidad térmica de materiales y sustancias.
- Cinética de cristalización. (Suriñach,1992)

La calorimetría diferencial de barrido se ha ocupado de caracterizar la estabilidad térmica de las proteínas, al igual que su conformación global, por lo que recientemente su uso ha incrementado debido a que las agencias regulatorias de alimentos solicitan estos análisis como requisito de identificación sobre estabilidad térmica en alimentos debido a su precisión, y es que un termograma puede aproximarnos a la digestibilidad de una proteína e indicarnos hasta que temperatura es estable, si existe alguna interacción y si en mezclas hay un reforzamiento o una disminución de su temperatura de desnaturalización.

Capítulo II. Metodología

Desarrollo experimental

Los procedimientos experimentales se resumen en el cuadro metodológico que se muestra en la Figura 2.1. Este cuadro fue la guía a seguir durante el trabajo experimental. Contiene las actividades preliminares, como las que concernieron a la elaboración de harina de amaranto, actividades por objetivo que incluye; variables y los niveles de cada uno de los objetivos.

El diagrama del cuadro metodológico presenta una organización congruente y racional de la descripción del conjunto de actividades que se requirieron para contrastar la hipótesis planteada, así como las condiciones de trabajo y las técnicas experimentales que se utilizaron para la evaluación de las unidades experimentales.

En cuanto a su estructura metodológica, el cuadro se divide en:

- 1) Actividades preliminares.
- 2) Desarrollo de objetivos particulares.
- 3) Evaluación de las unidades experimentales.

En fin el cuadro proyecta el trabajo conjunto, que se siguió durante la experimentación de esta tesis.

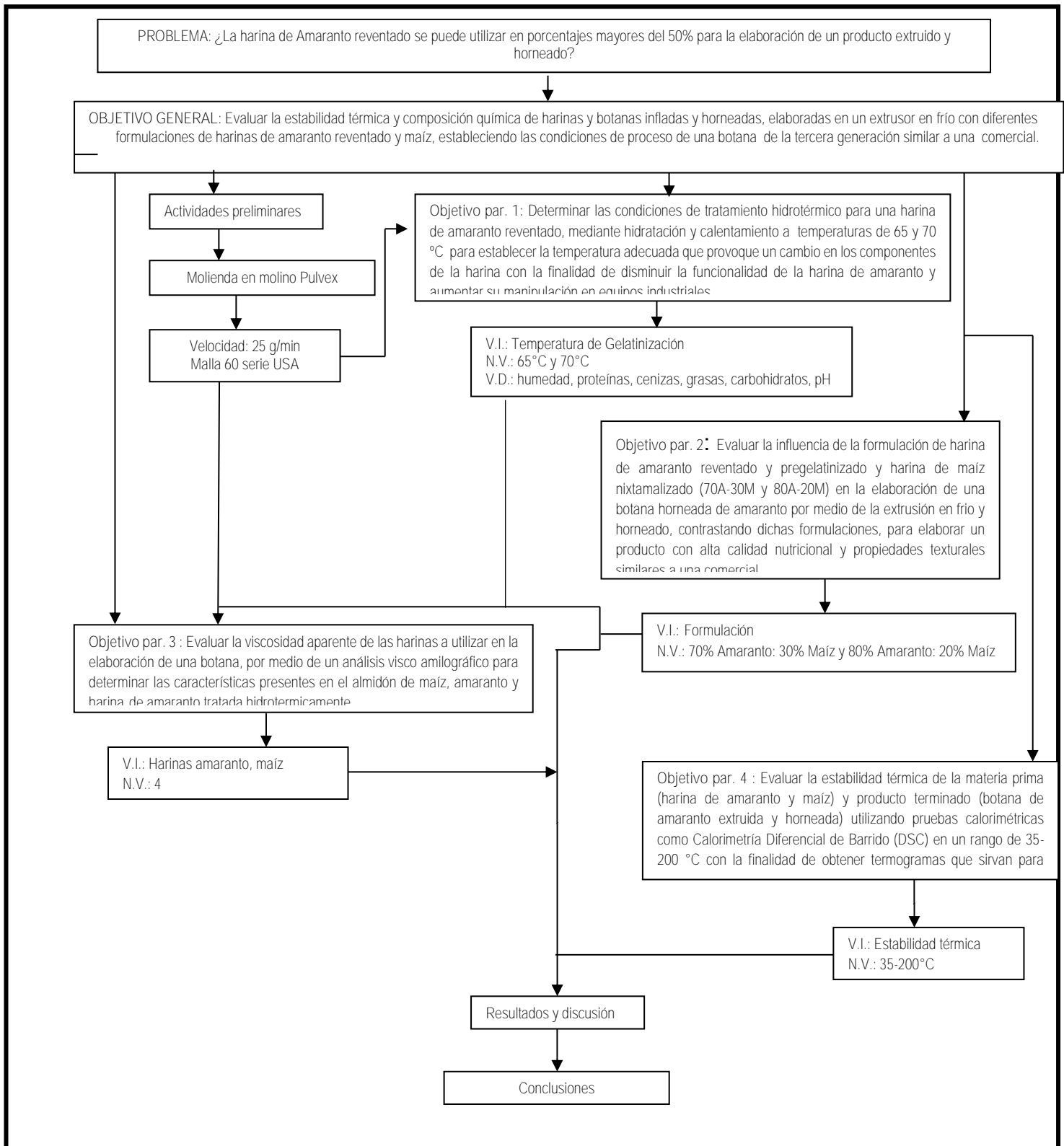


Figura 2.1 Cuadro metodológico del desarrollo experimental

2. Metodología

Materia Prima

Para la elaboración de las botanas horneadas de amaranto se utilizó harina de amaranto reventado (*Amaranthus hypocondriacus*) y harina de Maíz nixtamalizada marca MASECA.

2.1 Acondicionamiento del Amaranto Reventado

El amaranto reventado se molió en un Pulvex 200, utilizando una criba de 1mm y se hizo pasar por un tamiz 60 serie USA.

Materiales y Métodos

- Harina de maíz nixtamalizado
- Harina de Amaranto Reventado (*Amaranthus hypocondriacus*)

Equipo

- Ro-Tap (U.S. estándar Modelo KH59986-60). (Ver Fig.2.1 a)
- Serie de tamices USA, malla : 60 (Ver Fig.2.1 b)



Figura 2.2 Tamizado de la harina de amaranto a) Rot tap, b) Tamiz 60 serie USA

Procedimiento:

La harina de maíz nixtamalizado tiene una distribución de tamaños de acuerdo a lo que reporta la Norma NMX-046-S-1980, la cual menciona que el 75% del material debe pasar por el tamiz 60 serie USA, por esa razón el producto de la molienda de amaranto reventado se tamizó utilizando la misma malla de acuerdo a lo que se muestra en la Figura 2.2 tamizado de harina de amaranto en malla 60 serie USA, con la finalidad de tener mezclas de harinas homogéneas, no formación de grumos en la masa y mejores propiedades en la textura de la botana horneada.

2.2 Actividades correspondientes al objetivo 1

A la harina de amaranto reventado molida y tamizada se le realizó un tratamiento hidrotérmico (Ver Figura 2.2 a, b ,c) con la finalidad de obtener una harina que se pudiera utilizar para la elaboración de una botana horneada, dado que la harina de amaranto reventado sin ningún tratamiento al ser hidratada tiende a tener una viscosidad muy alta y es demasiado pegajosa y con mucha fuerza mecánica, por lo que se optó el uso de un hidrotatamiento en cual buscó modificar la propiedades de la harina que presuntivamente podrían ser los almidones contenidos en el amaranto o en su caso las proteínas.

Materiales y Métodos:

- Charolas de Acero
- Atomizador
- Espátula
- Balanza Digital
- Vasos de Precipitado
- Termómetro 150 °C
- Parrilla
- Probetas
- Vidrio de Reloj
- Vernier
- Harina de Amaranto (Previamente tratada) 400g
- Harina de Maíz 150g
- Harina de Amaranto Reventado (*Amaranthus hypocondriacus*)

Equipo:

- Horno de calentamiento por convección de alta temperatura

a) Tratamiento Hidrotérmico:

Para el tratamiento hidrotérmico de la harina de amaranto fue necesario extender 500 g de harina de amaranto reventado a lo ancho y largo de una charola de aluminio (50 cm largo x 36 cm ancho) como muestra la Figura 2.3 a con la finalidad de tener una capa homogénea y delgada que cubriera toda la superficie de la misma para posteriormente hidratar con agua caliente (a 70 °C) mediante aspersion y mezclado en un porcentaje de 21% en Vol. de agua (% V/m) evitando la formación de grumos y en un tiempo de 10 minutos. Después de la hidratación de la harina (ver Figura 2.3 b), la charola se tapó con papel aluminio cubriéndola en su totalidad, dejando una pequeña abertura para el termómetro de mercurio con el fin de obtener lectura de la temperatura a la que se encontrara la harina en el transcurso del tratamiento. Este tratamiento se realizó durante dos horas y cada 30 minutos se mezcló y se deshicieron los grupos formados para que se deshidratara homogéneamente como muestra la Figura c.



Figura 2.3. a) Harina de amaranto siendo hidratada mediante aspersion. b) Charola con abertura para termómetro siendo introducida al horno. c) Mezclado y desecho de grumos cada 30 minutos.

En un horno previamente caracterizado térmicamente se colocó la charola en la segunda sección del horno con la harina hidratada y se tomó lectura de la misma para mantenerla en una temperatura específica y constante, mezclando arbitrariamente el contenido de la charola durante el lapso que se mantuvo en el horno (cabe aclarar que este tratamiento se realizó por triplicado, usando una

temperatura de 65 °C exclusivamente para unas muestras y siguiendo el mismo procedimiento se manejó un tratamiento a 70 °C en otras).

Después de un lapso de 2 horas (sin sacar la charola del horno) se disminuyó la temperatura del horno a 35 °C y se destapó la charola, retirando el aluminio con la finalidad de disminuir el tiempo de secado a dos horas y alcanzar una humedad del 12%. La harina tratada se molió otra vez en un molino Pulvex (debido a la formación de algunos aglomerados en la harina) y se tamizó empleando un tamiz del número 60 USA.

b) Extrusión de las botanas con dos tratamientos hidrotérmicos

Se armó el extrusor que se encuentra en la Figura 2.4 a con un área de alimentación de 22.08 y una configuración de tornillo de 9 alabes junto con todas sus piezas. Se pesan 400 g de harina de amaranto (utilizando la harina previamente tratada, se harán dos mezclas una utilizando 400 g de harina con tratamiento a 65 °C y otra con 400 g de harina tratada a 70 °C) y 100 g de Harina de Maíz Nixtamalizada dando un total de 500 g. Se realizó una mezcla de estas harinas con ayuda de una batidora de cocina, a la cual posteriormente se le hidrata con 300 mL de agua a una temperatura de 75 °C homogéneamente con ayuda de una aspersor de forma gradual durante 25 min como muestra la figura 2.4 b. El tazón de la batidora se tapa dejando reposar por alrededor de 30 min.

La mezcla hidratada se lleva a la tolva de alimentación para iniciar la operación de extruido. Una vez concluido los 5 minutos se abre la compuerta del extrusor y se gira el tornillo de la boquilla por donde saldrá la mezcla, obteniéndose placas (ver Figura 2.4 c y d de donde se marcan muchas formas de figuras geométricas. Sobre una charola perforada (comúnmente usada en panadería) se ponen las figuras cortadas de la masa extruida y se precalienta el horno a 200 °C, para posteriormente meter las charolas con el material extruido antes mencionado.



Figura 2.4 Extrusión de la botana, a) extrusor en frío, b) formulación de harina mezclada e hidratada c) extrusión de la muestra d) Placas y tiras

Sobre una charola perforada (comúnmente usada en panadería) se ponen las figuras cortadas de la masa extruida y se precalienta el horno a 200 °C, para posteriormente meter las charolas con el material extruido antes mencionado. La temperatura de horneado es de un intervalo de 200°C a 220°C por aproximadamente 3-5 min (evitando que se queme el producto), pasado este lapso se sacan las charolas ya con el producto final y se deja enfriar de acuerdo a las Figuras 2.5 a y b

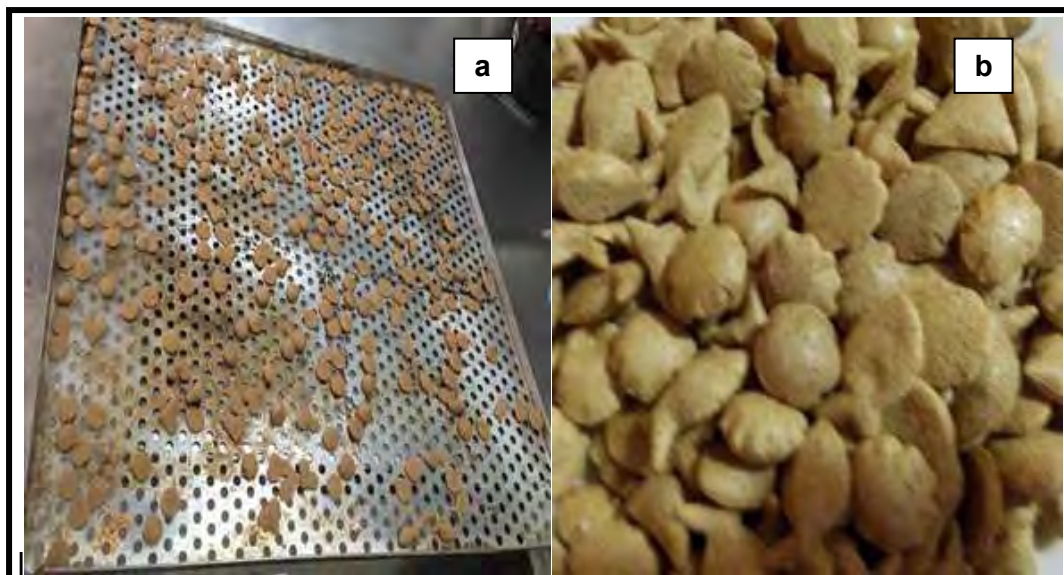


Figura 2.5 Botanas expandidas después del horneado. a) Charola con botanas. b) Diferentes Figuras de botanas expandidas horneadas.

De acuerdo a las botanas procesadas a 65 y 75 °C, fueron seleccionadas aquellas que presentaran la mayor expansión y con esa temperatura se hicieron los tratamientos hidrotérmicos.

c) Evaluación de las botanas con por índice de expansión.

Se utilizó un vernier digital de la marca Mitutoyo modelo CD-8"CSX

Es un parámetro que permite observar el incremento del tamaño de las botanas de amaranto-maíz a la salida del dado del extrusor y horneadas.

Procedimiento:

Después de la extrusión se hacen figuras con los diferentes moldes, se toman 10 figuras diferentes y con ayuda del vernier se toma el grosor de los mismos (ver Figura 2.6), posteriormente se llevan al horno a una temperatura de aproximadamente 200 °C durante 3-5 min, al término de este lapso se mide nuevamente el grosor de las figuras de acuerdo a la Figura 2.5 a y b. Después de las mediciones se hacen los cálculos de índice de expansión por ecuación 1.

Ecuación para medición de la expansión de la botana:

$$I.E. = \frac{(DPE - DPS)}{DPE} \cdot 100$$

(ec. 1)

Dónde: *I. E.*: Índice de Expansión (%)

DPE: Diámetro del producto horneado (mm)

DPS: Diámetro del producto extruido (mm).

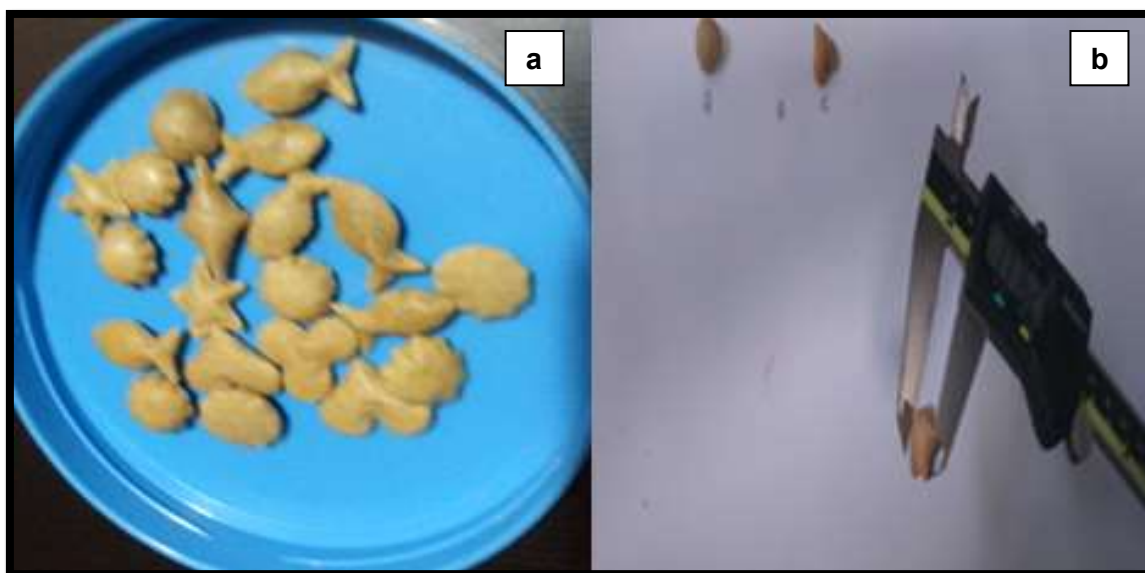


Figura 2.6. Determinación del índice de expansión. a) Botanas expandidas, b) Medición con vernier digital.

2.3 Actividades correspondientes al objetivo 2

Procedimiento

La harina de amaranto a pesar de tener características nutricionales excepcionales, cuenta con una gran dificultad de manipulación por lo que su uso no ha sido explotado, esto debido a sus características de absorción de agua, tipo de proteínas, tamaños diminutos de los almidones, así como otros componentes que la conforman, por tal motivo es difícil encontrar en el mercado

productos que contengan en su mayor parte harina de amaranto, su uso como tal no es muy propicio para el uso en equipos de extrusión o de manejo de harinas si no se le realiza un tratamiento hidrotérmico.

Se utilizaron tres variables para conocer su influencia y sus relaciones entre ellas; la formulación, el área de alimentación al extrusor, y la configuración del tornillo. Se busca la mayor proporción de harina de amaranto para proporcionar una botana de alto valor nutricional y con buenas características de expansión y dureza, por esa razón las formulaciones utilizadas fueron 80-20 y 70-30 amaranto maíz. El área de alimentación significa una diferente entrada de material granulado húmedo al extrusor, entre más reducida está más tiempo de residencia representa la muestra dentro del equipo, por tanto mayor cizallamiento del material y una masa viscoelástica más homogénea para el moldeado de la botana. El número de alabes del tornillo sinfín por donde se transporta el material es sumamente importante también dado que prolonga el tiempo en el equipo y proporciona mejor mezclado de las harinas húmedas.

Las variables independientes utilizadas se manejaron en dos niveles con dos repeticiones para obtener las mejores condiciones de extrusión. En total veinticuatro corridas.

En la tabla 2.1 se presentan las condiciones de experimentación así como las variables independientes con diferente nivel de variación a las que sometieron las muestras durante el proceso de extruido.

Tabla 2.1 Condiciones experimentales con 3 variables independientes.

<i>Corrida experimental</i>	Formulación Amaranto-maíz	Área de Alimentación (cm)	Configuración del tornillo (no. de alabes)
1	70-30	22.08	11
2	80-20	44.10	09
3	80-20	22.08	09
4	70-30	44.10	09
5	70-30	44.10	09
6	80-20	22.08	09
7	80-20	44.10	11
8	70-30	22.08	11
9	80-20	44.10	11
10	80-20	22.08	11
11	70-30	44.10	11
12	70-30	22.08	09
13	70-30	44.10	11
14	70-30	22.08	11
15	80-20	44.10	09
16	80-20	44.10	09
17	80-20	22.08	11
18	70-30	44.10	11
19	70-30	22.08	09
20	80-20	22.08	09
21	80-20	22.08	11
22	70-30	44.10	09
23	80-20	44.10	11
24	70-30	22.08	09

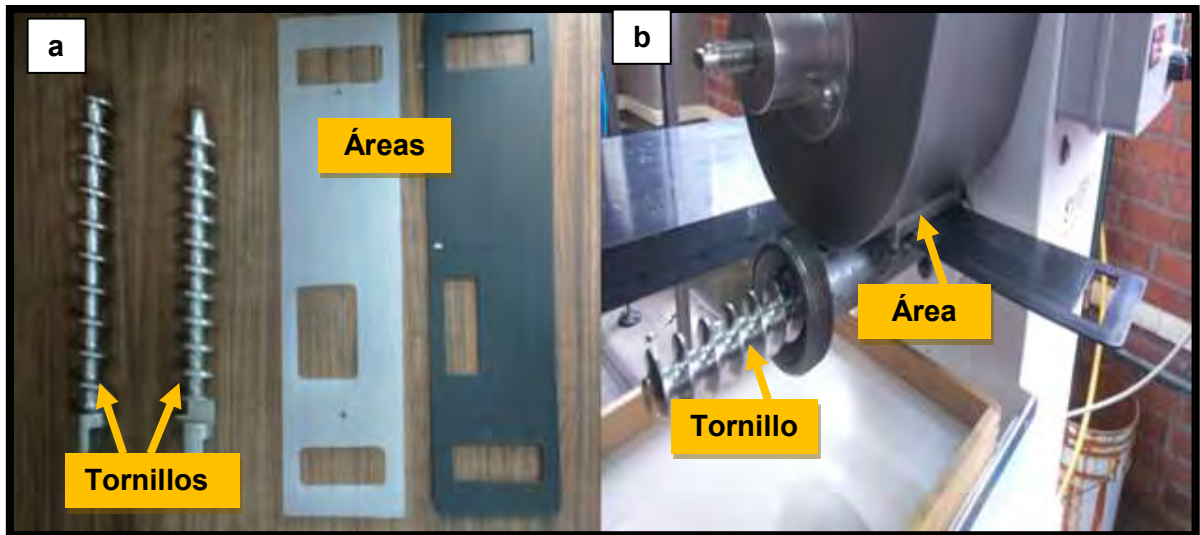


Figura 2.7.Configuraciones de tornillo 9 y 11 alabes así como las áreas de alimentación de 22.08 cm² y 44.1cm² y en b) el montaje del tornillo y la abertura de alimentación al extrusor.

a) Extrusión de las botanas se realizó de acuerdo a las condiciones de la tabla 2.1. Las variables de equipo se esquematizan en la Figura 2.7 a y b

La extrusión de cada corrida experimental se realizó siguiendo los procedimientos experimentales descritos en el punto 2.2 b.

b) Posteriormente, se evaluaron las botanas determinando el índice de expansión de acuerdo al punto 2.2 c.

c) Dureza de las botanas utilizando un Penetrómetro

Esta técnica opera bajo el principio de peso constante (velocidad variable). Mide distancia, básicamente en compresión aunque realmente existe cizallamiento y flujo (en materiales plásticos).

Procedimiento: Unir a la varilla el dispositivo adecuado de la muestra (cono de aluminio), posteriormente se libera la varilla, se sube y se asegura, se pone sobre la base el material a ser medido, la varilla se libera y se baja manualmente hasta colocarla a una altura tal que la punta del cono o la aguja justo haga contacto con se libera la varilla y se deja que se sumerja en la muestra por un tiempo determinado y se vuelve a asegurar o detener, manualmente se empuja hacia abajo el medidor de profundidad hasta que haga contacto con la parte superior de la varilla, para finalizar se toma la lectura del indicador.

Cálculos: La dureza está dada por la fuerza que aplica el cono al penetrar dividida entre el área del dispositivo que penetra y esta a su vez depende de la profundidad de penetración (lectura de la carátula) y de las dimensiones del cono (ver Figura 2.8). la muestra con la ayuda de un tornillo micrométrico, el indicador debe marcar cero,

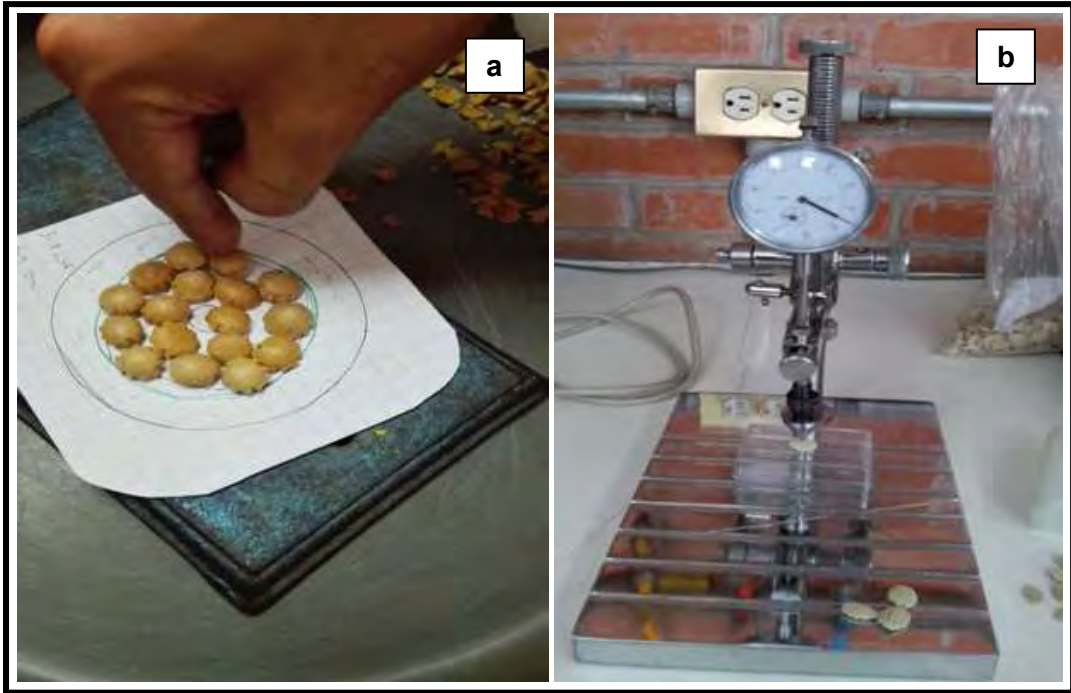


Figura 2.8. Penetro metro de aguja y botanas expandidas para el análisis de dureza

La ecuación dos permite el cálculo de la dureza

$$D \frac{F}{A} = \frac{m_t a_g}{A}$$

(ec.2)

Dónde:

D: Dureza (N)

A: Área total del dispositivo que penetró (m)

mt: Peso del cono, varilla, cilindro y pesos agregados (g)

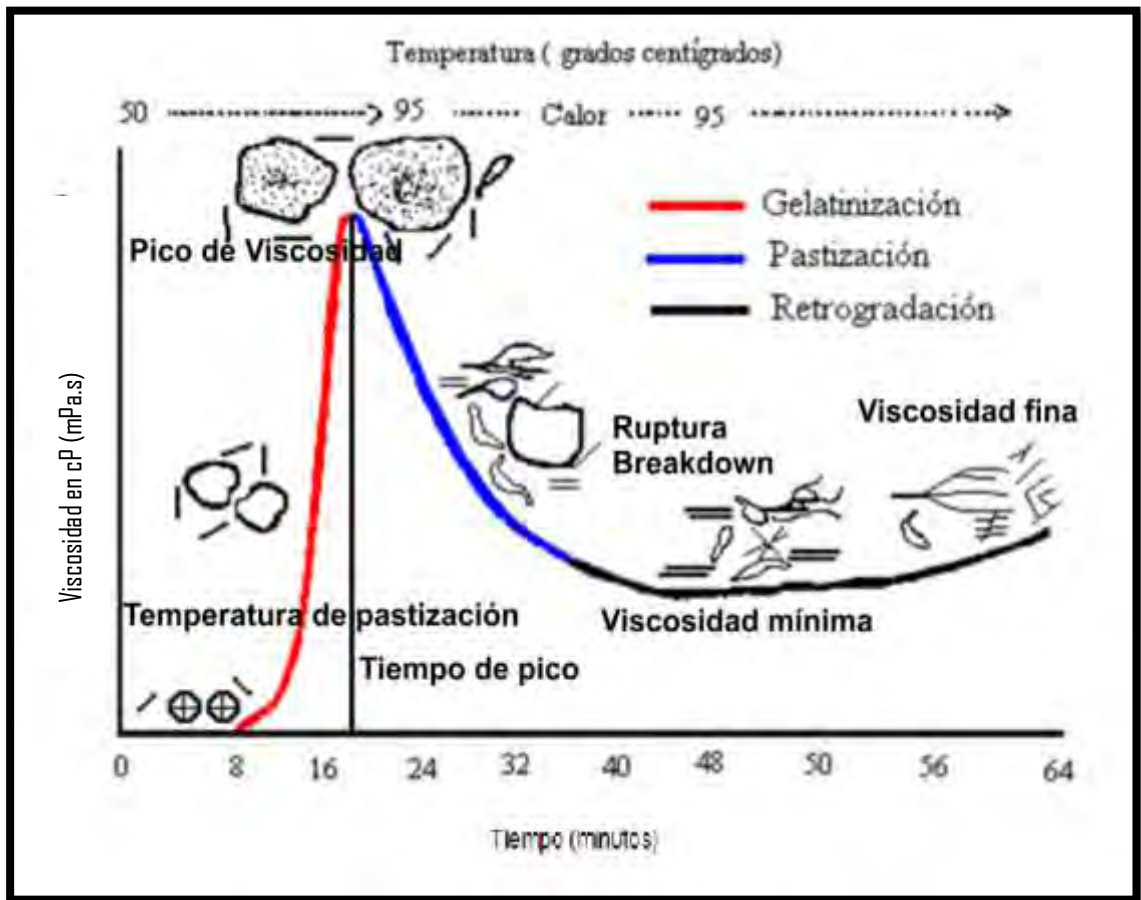
a_g : Aceleración de la gravedad (m/s^2)

2.4 Actividades correspondientes al objetivo 3:

La formación de pasta de almidón engloba varios procesos los cuales provocan continuos cambios de viscosidad: hinchamiento del gránulo, lixiviación de componentes a partir del gránulo (principalmente amilosa), y eventualmente la desintegración del gránulo como se muestra en la Figura 2.9 (Atwell, 1988; Thomas y Atwell, 1999).

Los cambios de viscosidad de las dispersiones de almidón durante el calentamiento, comúnmente son medidos con instrumentos llamados viscoamilógrafos (Brabender) y analizadores rápidos de la viscosidad (ARV) en los últimos años existe un Reómetro Modular con un acoplamiento celda para almidones (Reómetro Modular Compact Rheometer MCR 102). Estos aparatos llevan a cabo programas de mezclado, calentamiento y enfriamiento, que generan perfiles de gelatinización y retrogradación altamente reproducibles (Srichuwong y Jane, 2007).

En un perfil típico viscoamilograma, durante la fase inicial de calentamiento, se registra un aumento de la viscosidad, como indicativo de que los gránulos de almidón comienzan a hincharse. En este punto, los polímeros con bajo peso molecular, particularmente las moléculas de amilosa, comienzan a lixiviar a partir del gránulo. Durante la formación de pasta, se obtiene un pico de viscosidad, lo cual representa que la mayoría de los gránulos se han hinchado. Durante el rompimiento (Breakdown), la temperatura se mantiene a 95 °C, registrándose una disminución de la viscosidad, debido al rompimiento de los gránulos hinchados, a la disociación de la amilosa y a que las moléculas de almidón continúan solubilizándose. Por último, en la fase de enfriamiento, la amilosa y la amilopectina solubilizadas empiezan a reasociarse manifestándose otro incremento en la viscosidad, el cual es conocido como la viscosidad de recuperación (set-back) (Thomas y Atwell, 1999).



Fuente: D'Appolonia (1995)

Figura 2.9 Ejemplo de perfil viscoamilográfico de harinas

El comportamiento del proceso de gelatinización y los perfiles de viscosidad aparente de las mezclas de harina-agua y almidón-agua comúnmente se determinan miden mediante un analizador rápido de viscosidad que pueden ser en un viscoanalizador o en un Reómetro, que consiste es un calentamiento y enfriamiento de la muestra en el analizador, que mide la resistencia de una muestra a los esfuerzos controlados de corte o cizalla. En estos equipos es considerado un simulador del procesamiento de los alimentos y se utiliza para relacionar la funcionalidad con las propiedades estructurales, un perfil típico de gelatinización de almidón RVA (ver Figura 2.9 a y b) muestra el aumento de viscosidad a un máximo, seguido por un descenso a un valor mínimo de ruptura de los gránulos (que se refiere a la distribución). A medida que se reduce la temperatura, la viscosidad aumenta nuevamente desde el mínimo a un valor final, (Regresión). El pico de viscosidad es indicativo de la capacidad de enlace

del agua al almidón y la facilidad con la cual se desintegran los gránulos de almidón, considerando que los valores más altos (Regresión) generalmente están correlacionados con el contenido de amilosa del almidón. El RVA y Reómetro ofrecen una forma cómoda de estudiar los efectos de los aditivos en reología de sistemas de almidón (Tang y Copeland, 2007). Los parámetros RVA han sido correlacionados con la textura y calidad de producto, pueden detectar diferencias en propiedades funcionales entre almidones y harinas de diferentes variedades o entornos de crecimiento que no se desprende de los análisis químicos convencionales.

Materiales:

- Agua destilada
- muestra de 3 g de harina de maíz nixtamalizado
- muestras de 3 g de harina de Amaranto (Nativo, reventado y tratada)
- Balanza analítica
- Micropipetas de 10 mL (PC Scientific, Mod.10 M)
- Reómetro Modular Compact Rheometer MCR 102.

Procedimiento:

Se prepararon suspensiones de harina de Amaranto y maíz, en cada una de las muestras se utilizaron 3 gramos de harina con 14 % de humedad y 18 mL de agua destilada. A cada una de las suspensiones de las muestras realizadas se les determinó la viscosidad para lo cual se empleó un Reómetro Modular Compact Rheometer MCR 102 girando a una velocidad de 194 rpm que se muestra en la Figura 2.10. Las condiciones con que se corrieron las muestras fueron las siguientes: primero se mantuvo a 50 °C por un minuto, posteriormente se calentó hasta 90 °C con una rampa de 7.5 °C/minuto y se mantuvo a 90 °C por 5.3 minutos. Por último se enfrió hasta 50°C con la misma rampa de calentamiento y cuando llegó a esta temperatura se conservó durante un minuto. Cada prueba tuvo una duración de 15 minutos, con lo cual se obtuvieron viscoamilogramas completos para su caracterización.



Figura 2.10 Reómetro Modular Compact Rheometer MCR 102

El aparato registra la viscosidad en unidades de centi-pascales en función del tiempo o bien de temperatura. Los datos más importantes de un viscoamilograma son los representados en la Figura 2.9, según lo reportado (D'Appolonia, 1995).

- La temperatura en la cual el gel empieza a ser perceptible.
- El pico máximo alcanzado por la suspensión.
- La temperatura a la cual se presenta el pico máximo.
- La viscosidad de la muestra alcanzada después del calentamiento permanente a 90 °C.
- La viscosidad final alcanzada por la muestra cuando finaliza la medición.

2.5 Actividades correspondientes al objetivo 4

La calorimetría diferencial de barrido (DSC) ha sido comúnmente utilizada en la rama industrial de los alimentos debido a los datos arrojados por el análisis y la interpretación de los mismos, actualmente agencias como la Food and Drug Administration (FDA) solicita como requisito un análisis de los alimentos mediante esta técnica, y es que a partir de esto uno puede obtener datos tales como desnaturalización de proteínas, adultera miento de alimentos, entrecruzamientos, gelatinización, etc., sin importar en qué estado se encuentre el alimento, es una herramienta eficaz para el estudio del comportamiento de los componentes que conforman al alimento de estudio.

Materiales

- Harina de Maíz nixtamalizado
- Harina de semilla de nativa de *Amaranthus hypocondriacus*
- Harina de Amaranto reventado de la especie *Amaranthus hypocondriacus*
- Harina de Amaranto reventado pregelatinizado a 70°C de *Amaranthus hypocondriacus*
- Mezcla de Harinas en proporción 70:30 (HAP:HM)
- Mezcla de Harinas en proporción 80:20 (HAP:HM)
- Producto Terminado con mezcla de harinas 70:30 (HAP:HM)
- Producto Terminado con mezcla de harinas 80:20 (HAP:HM)
- Espátula
- Pipeta Volumétrica de 1 mL
- 9 vasos de Precipitado de 5 mL
- 9 Varillas de vidrio
- 10 Celdas de aluminio de 14 μ L
- Agua destilada

Equipo:

- Balanza analítica
- Calorímetro diferencial de Barrido (DSC) de TA Instruments SDT 2960 (ver Figura 2.11).



Figura 2.11 Equipo de DSC (Calorímetro Diferencial de Barrido)

Los parámetros del análisis fueron los mismos para todas las muestras, donde se utilizó; la misma granulometría, así también un peso de muestra para análisis de entre 7.2-8.4 mg y un intervalo de operación de 35 a 200 °C con un rango de calentamiento de 10 °C/min.

Inicialmente se prepararon todas las muestras para su análisis, esto se realizó elaborando una masa con las harinas de relación 1:2 (g de Harina: mL de Agua Destilada). Para el análisis fue necesario ocupar celdas de aluminio con capacidad de 14 μ L, a las cuales se les agregó aproximadamente 7 mg de cada muestra procediendo a sellarlas herméticamente y dejándolas reposar por alrededor de una hora a temperatura ambiente esto con la finalidad de favorecer la hidratación. Se utilizó una celda sellada de aluminio como referencia y se trabajó con un rango de calentamiento de 10°C/min y un intervalo de temperaturas de 35 °C a 200 °C, (Ahmed *et al.*, 2013).

3. Resultados y análisis

3.1 Resultados de actividades preliminares

Acondicionamiento de la harina de amaranto reventado.

En la Figura 3.1 se muestra la harina de amaranto reventado que fue molida (ver Fig 3.1 a) y que se obtuvo al haber pasado por tamiz 60 USA y en la 3.1 b los ingredientes utilizados en la botana.



Figura 3.1 Harinas para botanas. a) Harinas de amaranto obtenidas de la molienda b) Ingredientes para la botana.

Se puede apreciar que las harinas son homogéneamente similares, estas dos unidades experimentales fueron utilizadas para las diferentes formulaciones.

3.2 Resultados de las actividades correspondientes al objetivo 1.

El uso de dos temperaturas (65 y 70 °C) de acuerdo a lo reportado por Morales *et al.* (2014). Se puede justificar tomando como base que el componente al que se le adjudican dichas propiedades de la harina sin tratamiento son los almidones contenidos en el amaranto los cuales teóricamente tienden a gelatinizar en un intervalo de 62-68 °C tomando así una temperatura media de 65 °C y una temperatura de 70°C con la finalidad de obtener harinas de características diferentes basándonos en el aumento de la temperatura de gelatinización de los almidones. Una vez tratadas las harinas se hicieron las botanas por extrusión y

se hornearon, se evaluó su expansión, ese fue el criterio de selección para el tratamiento. Sin embargo, como se muestra en la Figura 3.2 que presenta la gráfica de expansión de las botanas con distinto tratamiento térmico. No existió diferencia significativa entre los dos tratamientos realizados varias veces, por lo que se optó trabajar en una temperatura de 70 °C.

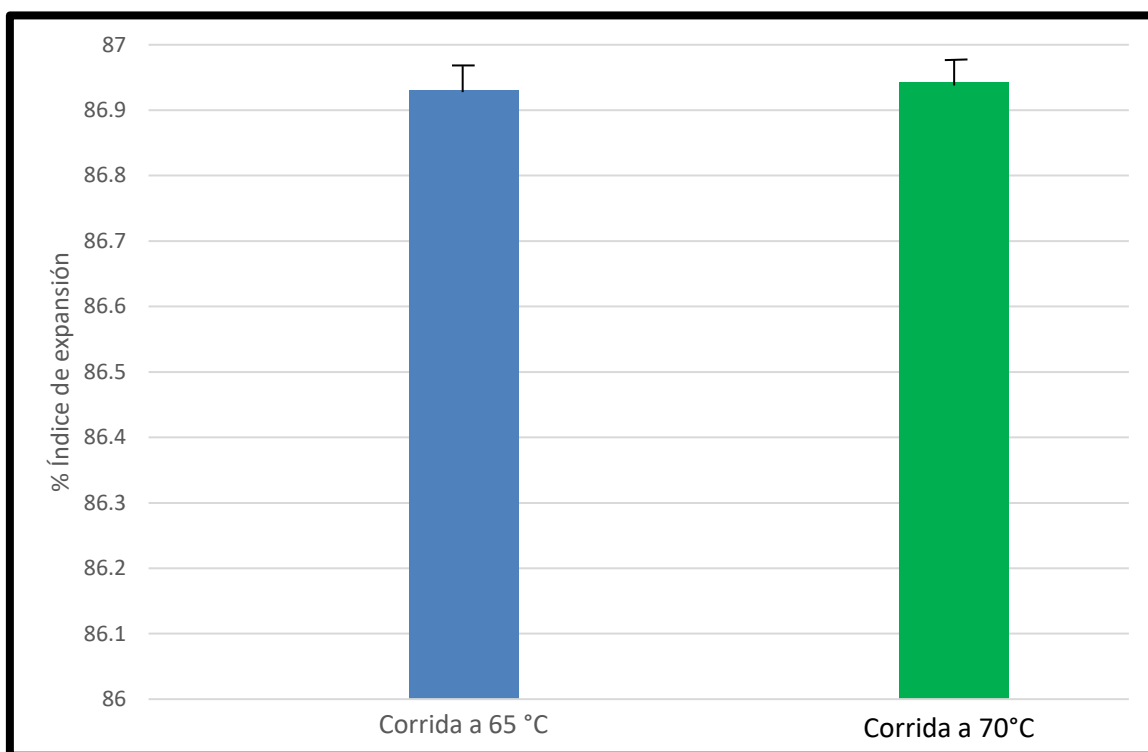


Figura 3.2 Gráfico de los índices de expansión de las botanas extruidas y horneadas después de utilizar las harinas previamente tratadas a diferentes temperaturas.

De esta forma se demuestra que el uso de cualquiera de las temperaturas no afecta el estado final del producto, ya que no existe diferencia significativa tal como se muestra en la gráfica, donde se usaron las mismas variables para el procesamiento de las harinas, tomando así; el área de alimentación de harina a la tolva del extrusor, configuración del tornillo del extrusor y una formulación presuntiva de 80% de Harina tratada y 20% de Harina de Maíz Nixtamalizada (Ver Anexo 2).

De tal modo se utilizó para toda la experimentación la harina que es tratada a una temperatura de 70 °C, esto dado que la harina sigue presentando características de adhesividad y visco elasticidad por lo que podemos inferir que

el almidón no tiene un rol tan importante dentro de las características reológicas del masa. Tomando en consideración que el tratamiento pudiera afectar otros componentes modificándolos a esta temperatura (70 °C), es una forma de asegurar de igual forma una gelatinización total del almidón como componente de la harina de amaranto y una probable modificación a las proteínas.

Cuando se realiza un pretratamiento con alta temperatura, se incrementa la interacción proteína, lípidos y almidón formando una red que atrapa aire y favorece la expansión y el inflado de una botana. De ahí que la formulación es una variable crítica que permite manipular las características de las masas dentro del extrusor, repercutiendo en las propiedades del extruido, además de formar sinergismo con las mezclas de los ingredientes utilizados.

3.3 Resultados correspondientes al objetivo 2

El diseño experimental aplicado fue un factorial de 2 a la 3, en donde se estudian tres factores con dos niveles cada uno, con 8 corridas base, con 3 repeticiones dando un total de 24 corridas.

Las 24 corridas experimentales fueron nombradas con una simbología, la cual significa S, de serie, 70-30 y 80-20 corresponden a la formulación de harinas amaranto-maíz, el C11 ó C9 es el tornillo utilizado en el extrusor de 11 alabes o de 9 alabes y el A22.08 ó A44.1 es el área de alimentación que se utilizó durante el extruido de la botana.

Los parámetros evaluados fueron la dureza y el índice de expansión, los cuales se muestran en la Figura 3.3 y 3.4.

En la Figura 3.3 se muestran los resultados de las pruebas de dureza de todas las botanas extruidas y horneadas.

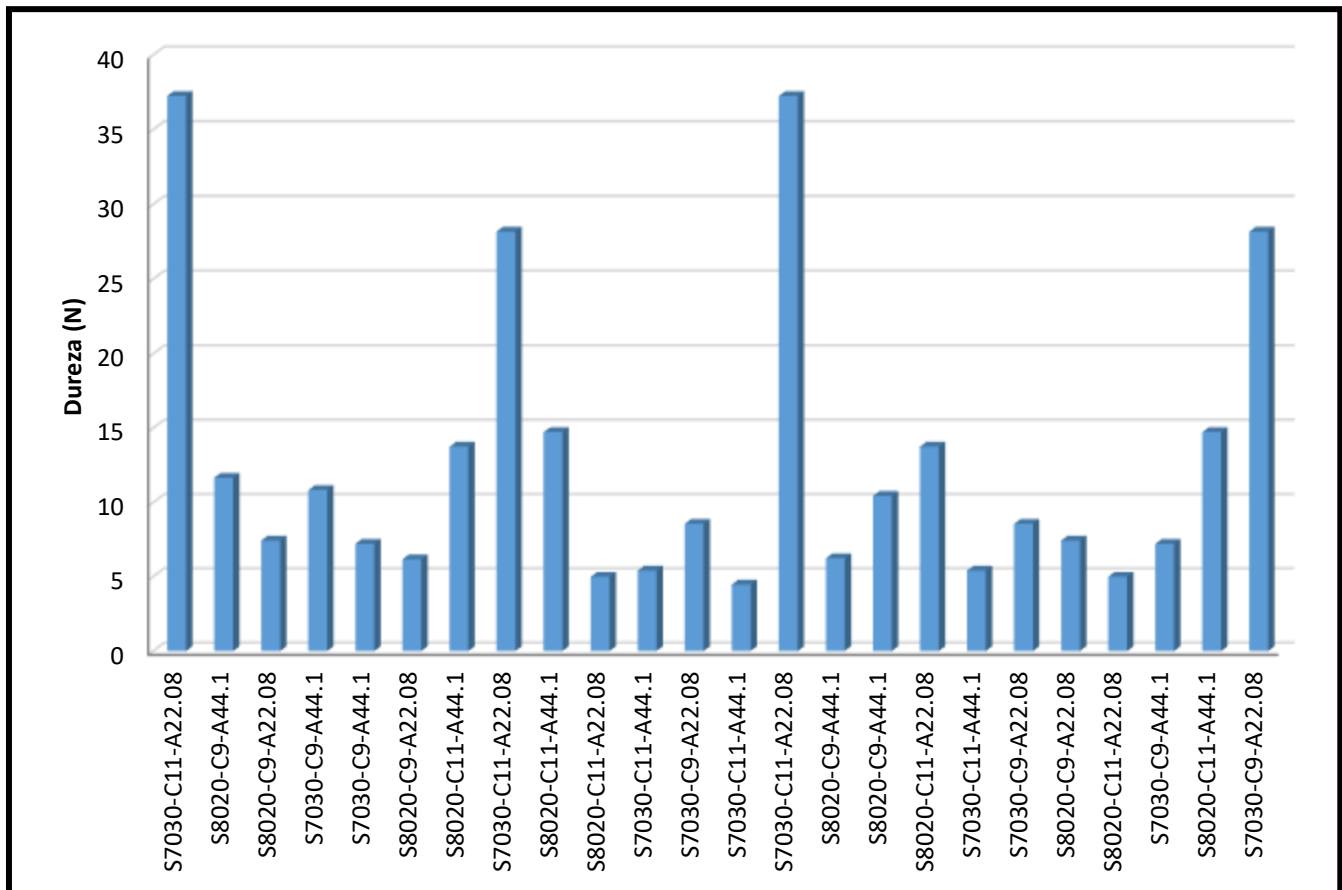


Figura 3.3 Gráfica de dureza de botanas expandidas

En la Figura 3.3 se puede observar que en las corridas 1, 8, 14 y 24 con serie “S7030-C11-A22.08”, “S7030-C11-A22.08”, “S7030-C11-22.08” y “S7030-C9-22.08” respectivamente se obtuvo la mayor dureza con respecto a las demás. Sin embargo su valor es bastante alto y son duras para ser masticadas comparándolas con una botana comercial harinas de Maíz-trigo-papa, ya que no existe una totalmente similar en el mercado y que tiene un valor de 16 N evaluado experimentalmente. Lo reportado por Cruz-Villegas *et al* (2016) y Morales-Pérez, (2016) muestra que esos valores son altos para el consumo y aprobación del consumidor por lo que se decide tomar los de las formulaciones con durezas entre el intervalo 14 a 17N, por lo cual los valores más cercanos a esta dureza son dadas por la formulación de botana de 80A-20M la cual tiene una dureza de 14.733N (de la serie S8020-C11-A44.1).

En la Figura 3.4 se muestra la gráfica para índice de expansión de las botanas extruidas y horneadas.

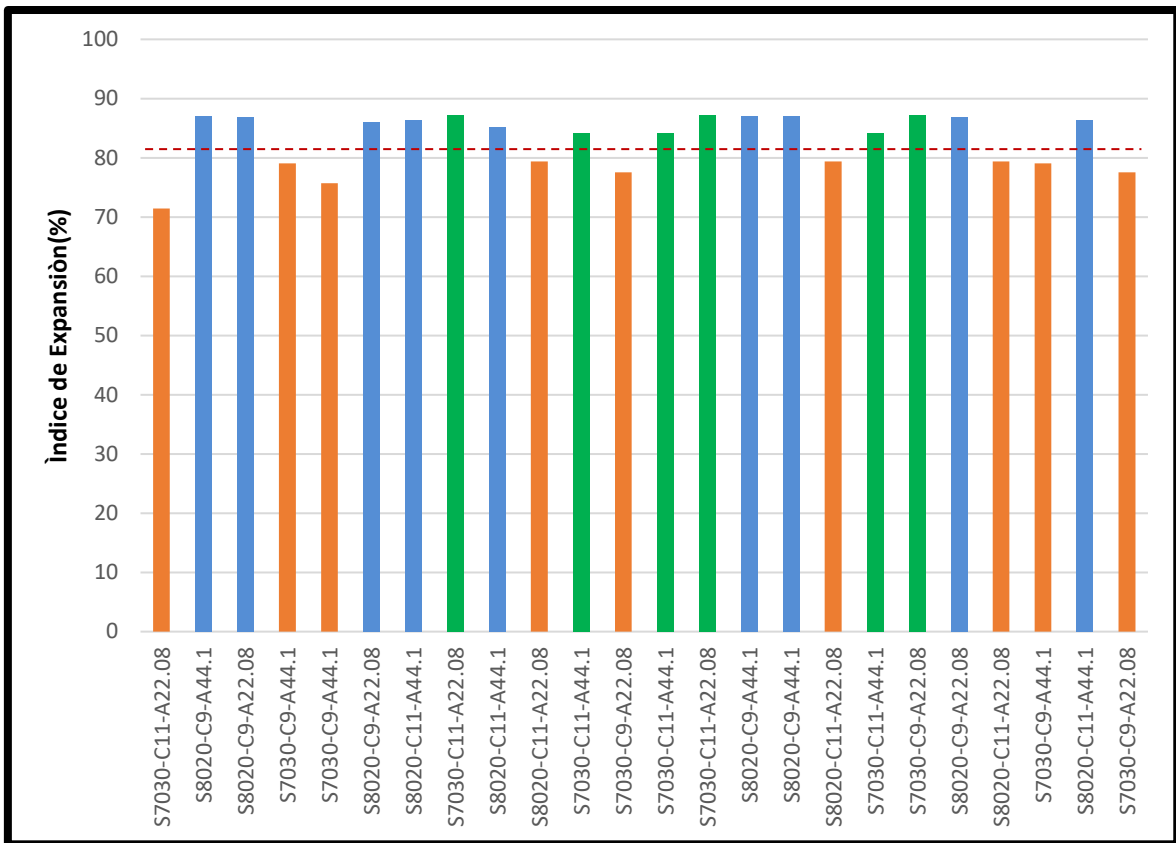


Figura 3.4 Grafica de índice de expansión de botanas expandidas

Hay muchas corridas experimentales que mostraron una expansión similar de las doce corridas con formulación 80-20 A-M, nueve presentaron una r expansión mayor al 80%, así mismo seis de 70-30 tienen una expansión mayor del 80%, pero la formulación de 80-20 presentó botanas con una menor dureza para la masticación, similares a una comercial de Maíz-trigo-papa, por lo que las mejores condiciones para la elaboración de la botana sería ocupar una formulación de 80A-20M, adicionalmente presenta mayor contenido de amaranto, lo cual puede resultar en mayor contenido nutricional.

De igual forma usar una configuración de tornillo de extrusión de 11 alabes da botanas con una dureza adecuada, dado que el tener más alabes le confiere mayor cizallamiento a los sólidos granulares dentro del extrusor y eso da como resultado la dureza de las botanas. En cuanto al área de alimentación se recomienda sea de 44.1 cm² dado que da botanas con mayor expansión, el área de 22.08 cm² presenta botanas más duras, ya que su tiempo de residencia dentro del extrusor es mayor y esto permite más cizallamiento y presión a los sólidos granulares y a la masa viscoelástica dentro del extrusor estos factores

impactan directamente la dureza apropiada de la botanas y la expansión por arriba del 80%.

En la Figura 3.5 se muestran los gráficos de interacciones entre las variables.

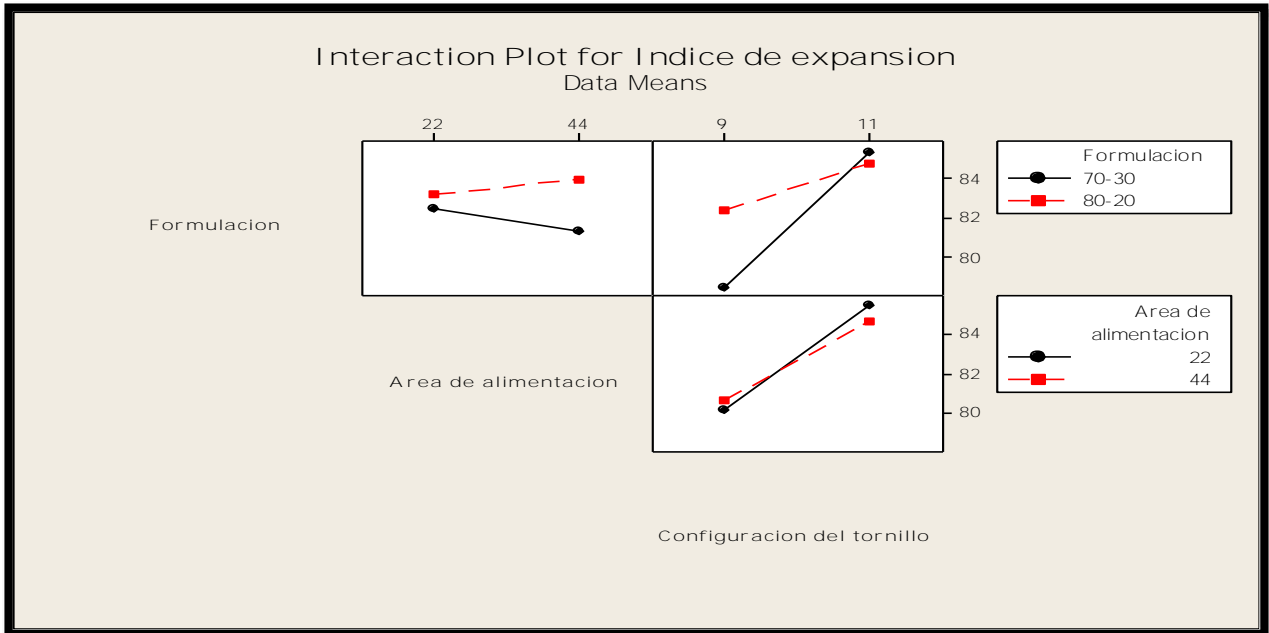


Figura 3.5 Gráfico estadístico de la prueba de índice de expansión y sus interacciones con las variables independientes.

Las gráficas de expansión de las botanas y sus interacciones entre las variables evidencian que la formulación 80-20 tiene mayores índices de expansión en cualquiera de las dos áreas de alimentación, No existe interacción de la formulación con el área de expansión. Sin embargo, si existe interacción entre la formulación y la configuración del tornillo. Con las dos formulaciones y un tornillo de 11 alabas se presenta la mayor expansión. Para la configuración del tornillo y el área de alimentación si hay interacción.

La Figura 3.6 muestra el estadístico respecto a la dureza mostrando las interacciones entre los factores que participan en la elaboración de la botana.

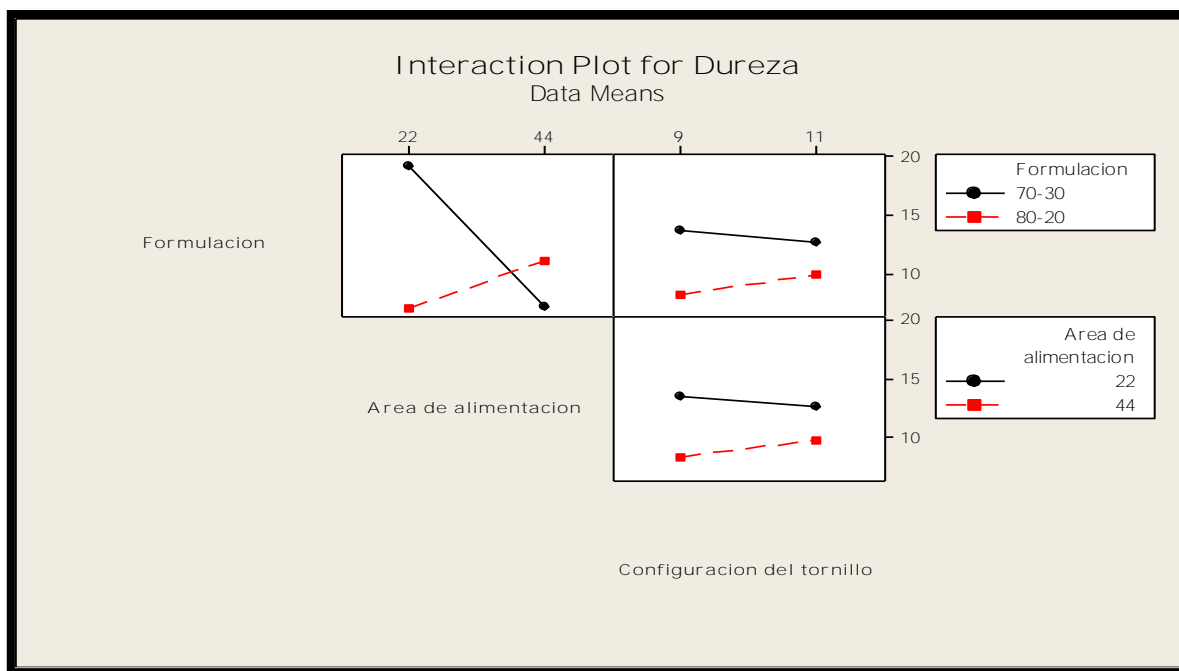


Figura 3.6 Gráfica estadístico de la prueba de dureza y sus interacciones con las variables independientes.

En la gráfica de la Figura 3.6 se observa que la formulación con el área de alimentación tiene una fuerte interacción y que las mayores durezas se presentan a un área de alimentación de 22.08 cm² y esas botanas tienen valores por arriba de 17 N. La combinación formulación con configuración del tornillo para la dureza no tiene influencia significativa. En las formulaciones 80A-20M respecto al área de alimentación de 44.1 cm² fue donde se presentó una dureza menor en comparación con el área de 22.08cm² y respecto a la configuración de tornillo mostro una ligera diferencia dando así que hay un aumento de dureza utilizando una configuración de tornillo de 9 alabes.

Dados estos criterios las botanas seleccionadas fueron de formulación 80-20 amaranto maíz, área de alimentación de 44.1 cm² y configuración del tornillo de 11 alabes, con una dureza de 14.733N y una expansión mayor al 80% correspondientes a la serie S8020-C11-A44.1.

3.4 Resultados correspondientes al objetivo 3

La Figura 3.7 presenta los valores obtenidos del perfil de viscosidad aparente para las harinas utilizadas para este proyecto, la señalado en color rojo corresponde a la harina nixtamalizada de maíz comercial "MASECA", la señal en color azul corresponde la harina de semilla de amaranto nativa así igual en color

gris se presenta en la semilla de amaranto reventado y por último el color cian corresponde a la harina de amaranto reventado tratada hidrotermicamente, es importante resaltar que todas las harinas fueron previamente tamizadas en una malla 60 de la serie USA.

Para el análisis viscoamilográfico se divide en cuatro regiones a, b, c y d, donde:

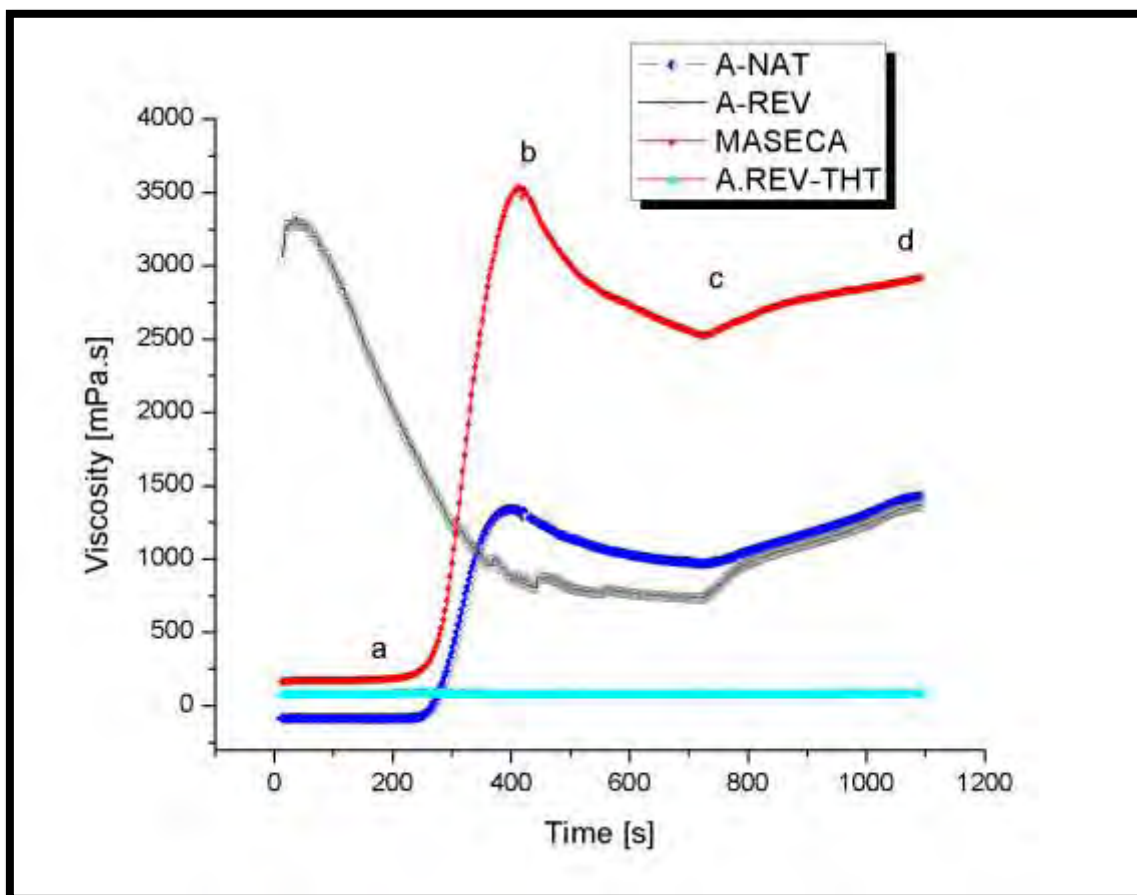


Figura 3.7 Perfiles Viscoamilográfico de las harinas de amaranto (Nativo, reventado y tratado) y maíz nixtamalizado.

Las regiones: a, b, c y d, representadas en la figura 3.7 son explicadas en el Capítulo I.bajo el numeral 1.15. que lleva por título: “Perfil de viscosidad aparente”.

Debido a toda la información existente de la harina de maíz nixtamalizada que es de lo que más se ha reportado en la literatura (Palacios-Fonseca, 2009; Cornejo Villegas *et al.*, 2010), donde se utilizó un producto comercial, harina de maíz nixtamalizado marca “MASECA”, esta información sirvió como referencia para el estudio de las regiones de los perfiles de viscosidad aparente mostrado

en la Figura 3.7 grafica roja (maíz), la región “a” se comienza a hidratar el gránulo de almidón, inicialmente se tiene la presencia de cruz de malta que indica un ordenamiento interno de los componentes del granulo y conforme pasa el tiempo la lixiviación de amilosa ocurre un hinchamiento del gránulo esto ocurre a partir de los 270 segundos tomando como viscosidad inicial de 273 mPa.s y ascendiendo con un tiempo de 391 segundos y viscosidad de 3628 mPa.s esta es la rampa de gelatinización de los almidones del maíz que en un pico máximo alcanza 3750 mPa.s, en la región “b” con un tiempo de 411 segundos los gránulos de almidón de la harina han alcanzado la máxima absorción de agua lixiviando los componentes internos del gránulo, posteriormente en “c” comienza la desintegración del granulo provocando su ruptura obteniendo la viscosidad mínima de la pasta , en este momento la amilosa y la amilopectina están libres perdiendo la cristalinidad y el arreglo estructural, esto ocurre en un tiempo de 725 segundos con una viscosidad 2620 mPa.s, respecto a la región “d” se muestra la tendencia de retrogradación existe un aumento de viscosidad debido a la lixiviación de la amilosa hacia el medio acuoso, esto indica que la masa al enfriarse las cadenas de amilosa y amilopectina se reorganizan, sin embargo mayor parte de la retrogradación se le atribuye a la amilopectina (Jan *et al.*, 2013). Los resultados obtenidos se cotejan con lo publicado por Palacios-Fonseca *et al.* (2009) del estudio sobre análisis de harinas de maíz comerciales.

De entrada hay que resaltar que la harina de maíz nixtamalizada tiene amilosa y amilopectina. Sin embargo el amaranto no, ya que presenta un alto valor de amilopectina, pero no de amilosa. Al término de la prueba de harina nixtamalizada se sacó del cilindro del equipo y la harina de maíz formó un gel de cilindro que se muestra en la Figura 3.8 a

La semilla de amaranto es la que tiene los gránulos de almidón más pequeños y tiende a retrogradar por su alto contenido de amilopectina (French, 1984). El amaranto nativo muestra una capacidad de absorción de agua muy baja, esto dado que en la región “a” presenta valores negativos de viscosidad por lo que se asume que en un tiempo de 284 segundos comienza a haber una absorción de agua por parte del gránulo ocurriendo la lixiviación de la amilosa la cual es muy poca debido a que el grano de amaranto tiene un contenido del 2-5% de amilosa, por lo que carece de la fracción gelificante del almidón (Morales *et al.*, 2014)

hasta un tiempo de 369 segundos y una viscosidad de 1232 mPa.s. Posteriormente, en la región “b” se alcanza el pico máximo con un tiempo de 391 segundos y una viscosidad de 1306 mPa.s, donde los gránulos del almidón del amaranto están demasiado hinchados debido a la alta absorción de agua que se le atribuye en este caso a la amilopectina dado que esta fracción es la responsable del hinchamiento de los gránulos de almidón (INIAP,2003), respecto a la región “c” se aprecia un descenso de la viscosidad hasta 912 mPa.s después de 731 segundos en esta etapa los gránulos pierden su estructura lixiviando los componentes en este caso mayoritariamente la amilopectina, finalmente la región “d” muestra la tendencia a retrogradar de la amilopectina formando un gel suave y con contenido de agregados característico de los almidones cerosos y aunque ambas, la amilosa y la amilopectina son capaces de retrogradar, el componente amilopectina, aparentemente puede ser la mayor responsable (Jan *et al.*, 2013). Con respecto al perfil viscoamilográfico del maíz este es mucho más alto que el del amaranto, pero aún así el amaranto nativo presenta todos los puntos correspondientes a un perfil viscoamilográfico, aunque su respuesta es muy lenta al hidratado. Así mismo al término de la prueba se muestra el cilindro del equipo con el amaranto nativo y esta sólo es una pasta sin consistencia como aparece en la Figura 3.8 a

La muestra de la harina de amaranto reventado presenta en la región “a” una rápida absorción de agua por parte del gránulo, esto pudo deberse al tratamiento térmico que se le hizo a la semilla de amaranto reventado sometándolo a calor directo en un comal con una temperatura de alrededor de 150-220 °C el cual provoca que el contenido de agua dentro de la semilla se evapore rompiendo la matriz de almidón exponiéndolo en su totalidad, Fonseca-Florido *et al.* (2016) informa que el almidón de amaranto nativo (semilla) tiene una bajo poder de hinchamiento en comparación con otras semillas que debido a su estructura interna más abierta lo que permite un mejor hinchamiento del gránulo, por tal motivo es de esperarse que si el almidón del amaranto reventado está más expuesto su poder de hinchamiento será mayor según lo reportado, de igual manera INIAP, (2003) establece que los gránulos pequeños de almidón tienden a gelatinizar más rápido siendo el gránulo de amaranto uno de los más pequeños oscilando en diámetros de 3-5 μm y un alto contenido de amilopectina (siendo

esta fracción la causante del hinchamiento del gránulo), de tal modo que la región de pastificación sea muy rápida con un tiempo de 8 segundos y una viscosidad inicial de 3198 mPa.s y finalizando con un lapso de 16 segundos y viscosidad 3445 mPa.s dando a continuación en la región “b” una viscosidad máxima de 3481mPa.s en un tiempo de 33 segundos lo que nos indica una rápida transición del gránulo debido a su absorción e hinchamiento, posteriormente en la región “c” se aprecia una inestabilidad muy abrupta de la pasta debido a la desintegración del gránulo y composición del mismo ya que el bajo contenido de amilosa no permite la formación de un gel, y se presume exista solo en el medio la amilopectina lixiviada la cual es la fracción que tiende principalmente a retrogradar, esto ocurre en un tiempo de 719 segundos y una viscosidad mínima de 604 mPa.s, por último en la región “d” se muestra la retrogradación de la amilopectina y un pequeño aumento de la viscosidad debido a la reorganización de la misma, con un tiempo de 1084 segundos y viscosidad de 1416 mPa.s. También al término de la prueba se obtuvo dentro del cilindro del equipo y de él no había un cilindro de masa que formara un gel, más bien en la Figura 3.8 b se aprecia una suspensión, lo que da evidencia a la explicación anterior

Finalmente, en la muestra de harina de amaranto reventada tratada hidrotérmicamente se puede observar que no existe formación de viscosidad y formación de gel (ver Figura 3.8 c) de igual manera hay ausencia de señales que nos indiquen la transición en la morfología del gránulo, esto es debido al tratamiento hidrotérmico a 70 °C.

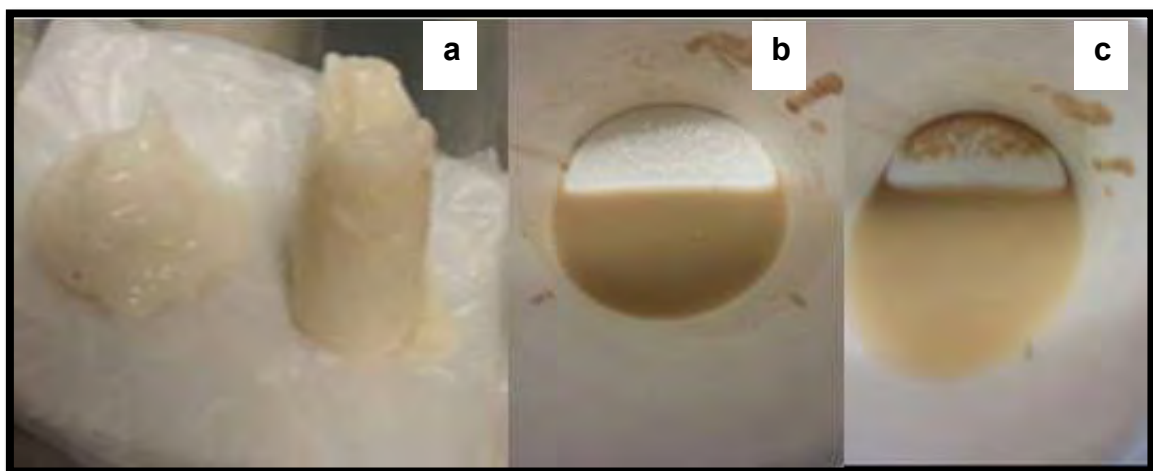


Figura 3.8 Geles formados dentro del cilindro del Reómetro a) amaranto nativo y harina de maíz nixtamalizado b) amaranto reventado, c) amaranto con tratamiento hidrotérmico.

El hidro tratamiento térmico abatió la viscosidad de la muestra propiciando que los gránulos de almidón gelatinicen y posteriormente retrograden perdiendo así la estructura nativa del gránulo y sus propiedades de viscosidad debido al almidón, por tanto se puede evidenciar que el almidón del amaranto reventado está completamente gelatinizado su almidón. Sin embargo, en nuestra cultura la principal aplicación del almidón y sus derivados es desde el punto de vista funcional y no nutricional. La razón de lo anterior es que este biopolímero constituye una excelente materia prima para modificar la textura, apariencia y consistencia de los alimentos. En el caso del amaranto el que este almidón este gelatinizado resulta en un beneficio para el granulado húmedo y la masa de la formulación ya que disminuye sus propiedades funcionales haciéndola más manipulable y con menor fuerza mecánica. De esta manera dentro del extrusor se puede moldear, es decir se permite la fabricación semi industrial de productos de amaranto y todas las propiedades funcionales que desarrolle se atribuyen únicamente a las proteínas presentes.

3.5 Actividades correspondientes al objetivo 4

La Figura 3.9 muestra los resultados de los termogramas que fueron obtenidos en un Calorímetro Diferencial de barrido a las condiciones detalladas mostradas en el capítulo 2.5 de esta tesis.

Las muestras de harina de semilla de amaranto nativo *A. hypocondriacus*., harinas de semilla de amaranto reventado y de amaranto reventado con tratamiento hidrotérmico, presentan un intervalo de temperaturas un tanto altas a comparación de las que se reportan en estudios previos de sustancias aisladas de amaranto, en este estudio se presenta directamente estudios calorimétricos a las harinas de amaranto. En otros estudios presentan resultados para el almidón de amaranto. Este es uno de sus componentes mayoritarios con alrededor del 62% para el género *A. hypocondriacus*, donde la amilopectina resulta estar en un porcentaje de casi el 100%. Sin embargo, se estima que es

probable que este género contenga entre un 5% a 8% de amilosa, dicho esto los trabajos previos de calorimetría sobre el amaranto arroja que la temperatura donde ocurre la gelatinización del almidón es aproximadamente en un intervalo de 62 a 68 °C, valores muy bajos para los obtenidos en la experimentación por lo tanto no se puede asegurar que se presente la gelatinización, a excepción del amaranto nativo que presenta cambios por arriba de 40 - 70 °C. En las harinas de amaranto reventado y amaranto reventado tratado esta señal no aparece en ese intervalo de temperatura, esto indica que para estas dos muestras el almidón esta gelatinizado completamente

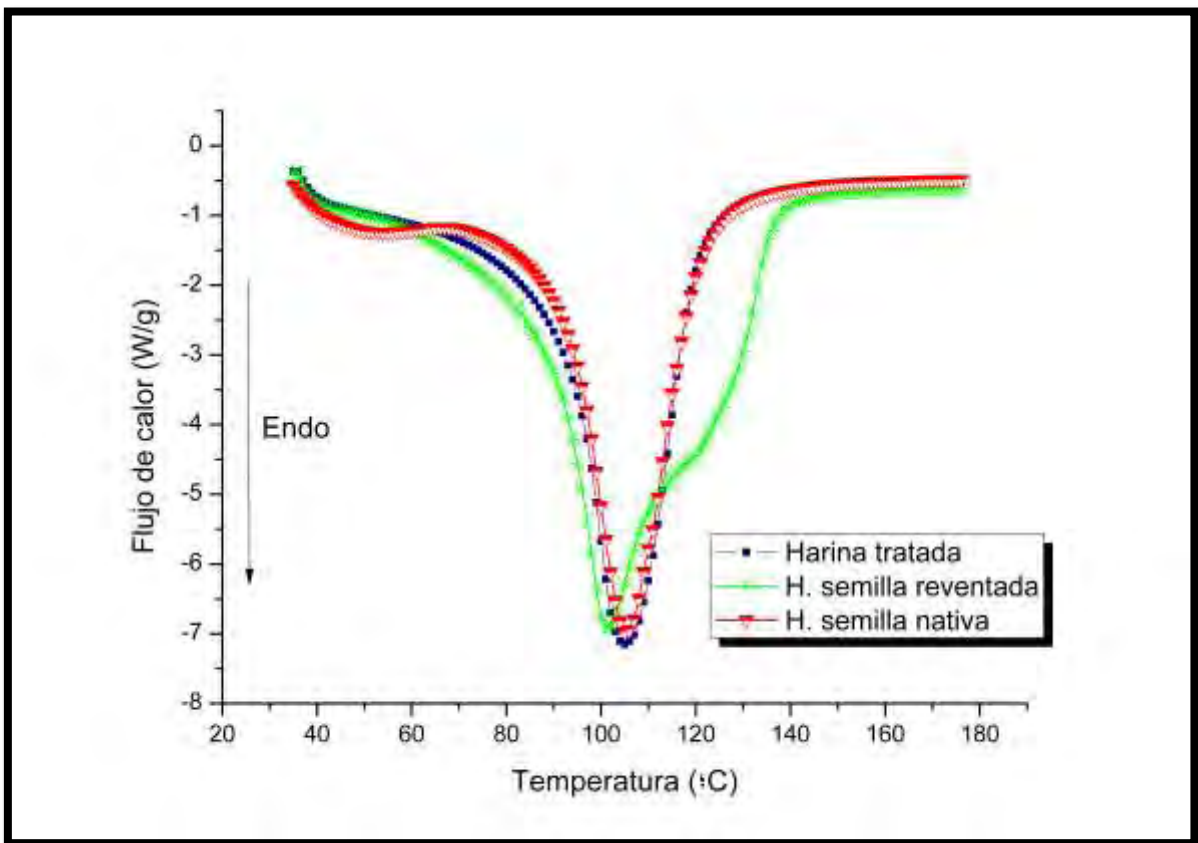


Figura 3.9. Termogramas de la harina de semilla de *Amaranthus* nativa, amaranto reventado y amaranto reventado y tratado.

Debido a que hay ausencia del pico endotérmico alrededor de 70 °C, lo que indica una total degradación del almidón, esto ocurrido por los tratamientos térmicos del reventado y el tratamiento hidrotérmico, lo cual se puede corroborar con el análisis del perfil viscoamilográfico en las pruebas del reómetro (ver Fig 3.7) y con las fotografías tomadas en el cilindro del equipo (ver Figs 3.8). Por

otra parte existe una alta posibilidad de que el intervalo de temperatura y pico máximo de la señal sea de una de las proteínas que el amaranto posee en mayor cantidad, esta sería la "Globulina" tal y como lo reportaron Martínez y Añón (1996) la cual se señala son proteínas oligoméricas que se pueden disociar a pH's alcalinos y también sirven como proteínas de reservorio de semillas dicotiledóneas, esta proteína dentro de la semilla del amaranto generalmente contiene dos fracciones : "Globulina 11S" y "Globulina 7S". La globulina 11S está formada por la unión de dos hexámeros mediante puente disulfuro lo cual lo hace una estructura de gran peso molecular (343 mil Daltons) así como de una gran estabilidad, son capaces de agregarse y formar polímeros de mayor masa molecular y disociarse en subunidades más pequeñas. Benavent (2007) señala en sus estudios acerca de esta fracción proteica que su estabilidad térmica es muy alta lo que la hace termoestable, requiriendo temperaturas por encima de 95 °C para desnaturalizarla. La fracción 7S no presenta puentes disulfuro y contiene un bajo contenido de aminoácidos azufrados y un casi nulo contenido de triptófano, su estructura está compuesta por hexámeros similares a la fracción 11S con un peso molecular de 186 mil Daltons y es termoestable, requiriendo temperaturas por encima de 75 °C para desnaturalizarla y sólo pierde parcialmente la estructura secundaria y terciaria.

Como se puede apreciar en el termograma de la harina de semilla nativa de amaranto, existe una estructura uniforme del valle del termograma, esto indica que existe un arreglo homogéneo de las estructuras que se encuentran dentro de la semilla a la cual no se le sometió a ningún tratamiento, cabe aclarar que teóricamente dentro del rango de 62 a 68 °C los almidones del amaranto gelatinizan. En el termograma de la harina de semilla reventada de amaranto, muestra un termograma más desproporcionado en su valle, la simetría de su valle nos indica que debido al factor de temperatura y humedad, su estructura interna cambio y dado esto existe un desorden de componentes en la semilla ya reventada mediante técnicas de calor (Doublier, 1987).

El termograma de la harina previamente reventada ahora con un tratamiento térmico y de hidratación, como se puede observar el valle tiene una uniformidad a lo largo del rango de temperatura lo que podemos relacionar con un reacomodo de la estructura interna de los componentes de la harina , probablemente con las

proteínas en comparación con la estructura de la harina de amaranto reventado a temperaturas mayores de 120 °C de acuerdo a lo reportado por González *et al.*, (2007).

En la tabla 3.2 se muestran los datos obtenidos del análisis calorimétrico mediante DSC.

Muestra	Temperatura pico	Intervalo de la señal	ΔH (J/g)
<i>H. de semilla de Amaranto (a)</i>	105.39 °C	87.60-122.00 °C	445.5
<i>H. Amaranto reventado(b)</i>	101.40 °C	79.58-133.65 °C	656.0
<i>H. Amaranto Tratada hidrotermicamente(c)</i>	105.40 °C	84.74-122.95 °C	581.3

De acuerdo a las entalpías de transición de los endotermas podemos notar que la harina de semilla de amaranto es mucho menor a la de la harina de amaranto reventado, esto pudo suceder debido al tratamiento térmico directo de la semilla, el cual expone o modifica los componentes de la misma, y después de ser tratado hidro térmicamente la harina baja su entalpia pudiendo ser que el factor de calor y agua del tratamiento modifique la disponibilidad de algún componente lo que ocasiona una disminución en su entalpía de transición. El pico de temperatura es muy regular en las tres muestras, sin embargo se puede decir que no hubo alguna señal de transición del almidón como originalmente se esperaba, analizando las muestras se puede intuir que se tiene una desnaturalización de la proteína mayoritaria del amaranto (Globulinas), dicha proteína en el caso del amaranto se han analizado dos de sus fracciones principales, las 11S y las 7S, cada fracción contiene características distintas tanto estructurales y químicas, Schiraldi *et al.*, (2009) estudio el comportamiento de las proteínas globulares contenidas en los pseudocereales, encontrando así que a diferencia del gluten el cual crea redes que retienen el agua y forma masas estables, las proteínas de este tipo no tienden a reorganizarse entre sí y crear redes poliméricas, por lo tanto las fracciones acuosas son más móviles que la fracción atrapada por las redes que forma el gluten. El contenido de proteínas en harinas como la albumina y la globulina permiten la formación de mallas tridimensionales que en presencia

de otro cuerpo llegan a absorber la fase acuosa separándola del mismo, como ejemplo sería el agua contenida en el granulo del almidón.

La desnaturalización de las proteínas ocurren comúnmente en presencia de agua y en estudios calorimétricos mediante DSC se representa mediante un endoterma de transición, así también un exceso de agua en el análisis incrementa la estabilidad térmica de la proteína aumentando la temperatura de desnaturalización por encima del rango especificado, de este modo se puede justificar el ligero aumento de la temperatura pico de las muestras como lo es el caso de la semilla nativa y el amaranto reventado. En estudios calorimétricos sobre proteínas globulares 7S y 11S de harinas de soya (las cuales son muy similares a la del amaranto), se encontró que en el escaneo mediante DSC solo se muestra una sola transición endotérmica, a la cual se le es atribuida al solapamiento de las fracciones proteicas 7S y 11S, esto dado a que las harinas son mezclas de diversos componentes que pueden existir en estado amorfo, pudiendo así, ser las responsables de la existencia de un compuesto conglomerado y por tal caso la existencia de una sola señal. Estas harinas que tienen en su composición las fracciones proteicas globulares (7S y 11S), comienzan a desnaturalizar y formar otras estructuras alrededor de los 73 °C finalizando en temperaturas cercanas o mayores a los 120 °C. Los estudios sugieren que se forman estructuras complejas a causa del calor y la humedad, las cuales son principalmente debidas a las reacciones entre las fracciones 7S y 11S, y de acuerdo a los resultados obtenidos se sabe que cuando hay una humedad del 30% o más este tipo de proteínas se vuelven materiales visco elásticos (Rao y Hartel, 1998).

Se reporta que en el caso de las proteínas con fracción 11S se han alcanzado temperaturas de desnaturalización alrededor de los 101 °C (Condés *et al.*, 2013), de tal manera y bajo la evidencia anteriormente presentada, podemos justificar que lo obtenido en los termogramas es la presencia de las fracciones proteicas globulares 11S y 7S conjuntas creando una estructura compleja y el porqué del gráfico obtenido.

En las Figura 3.10 se muestran los termogramas de las formulaciones de mezclas de harinas, las cuales difieren en la simetría del valle respecto al termograma de la harina de semilla de amaranto reventada con tratamiento, esto

puede justificarse por la adición de la harina de maíz, notando así que la predominancia del amaranto se mantiene. Sin embargo, existe una ligera desviación en las señales a partir de los >110 °C aproximadamente lo que se le pudiera atribuir a los componentes de la harina de maíz nixtamalizada. Los picos de temperatura se mantienen estables por lo que podemos aseverar que no hay cambios tan significativos de la predominancia de la proteína globular en la mezcla, y que hay existencia de interacción por parte del maíz.

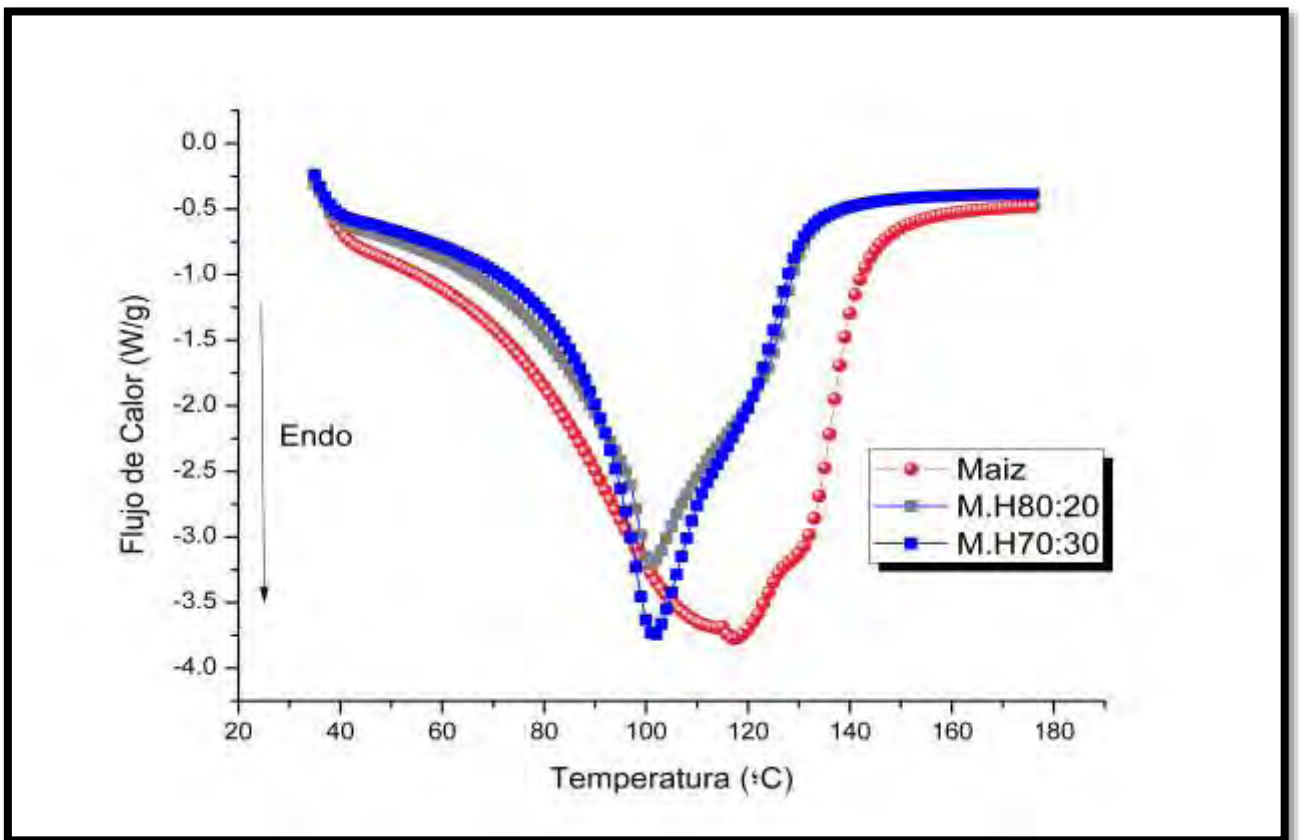


Figura 3.10 Termogramas de las formulaciones de harinas (70A:30M y 80A:20M respectivamente) que se utilizaron para la elaboración del producto final y de igual forma se muestra el termograma de harina de maíz.

En la tabla 3.3 se reportan los valores de pico y entalpías obtenidas por DSC

Tabla 3.3 los Resultados obtenidos del DSC para las dos formulaciones

Muestra	Temperatura pico	Intervalo de la señal	ΔH (J/g)
<i>Mezcla de Harinas 70:30</i>	101.76 °C	82.45-128.11 °C	518.4
<i>Mezcla de Harinas 80:20</i>	101.01 °C	80.73-128.88 °C	440.0

Cuando se agrega la harina de maíz se puede observar que mientras más se agrega de esta, hay una pequeña modificación en los intervalos de señal ya que mientras se aumenta la cantidad de harina de maíz la temperatura de inicio del intervalo disminuye y de igual manera las entalpías de transición. Sin embargo: se mantiene un pico de temperatura muy similar a los que presenta el amaranto aun después del agregado de harina de maíz nixtamalizada.

La Figura 3.10 de igual manera muestra el termograma de la harina nixtamalizada de maíz marca "MASECA" la cual es una harina comercial y por lo tanto se analizó mediante calorimetría para obtener el termograma correspondiente.

En el termograma apreciamos una temperatura pico muy elevada de 117.63 °C con una deformación en la simetría del valle, esto puede indicarnos que dentro de ese rango existen interacciones de varios componentes los cuales se encuentran de una manera desordenada, estudios sobre la harina de maíz nixtamalizada reportan la existencia de complejos lípido-amilosa, Ramos (2014) detectó señales por medio de difracción de rayos X correspondiente a los complejos antes mencionados, y describe que estos complejos tienden a visualizarse en un rango de temperatura de entre 80 y 130 °C, así también analizando la composición química del maíz obtuvieron que los ácidos grasos de cadenas de alrededor de 18 y 16 átomos de carbono debido a su estructura son muy aptos para la formación de este tipo de compuestos. De tal manera se puede asegurar que las condiciones de nixtamalización son propicias para la formación de complejos amilosa-lípidos. La presencia de estos complejos es determinante en alimentos con base en almidón ya que producen variación en la gelatinización, capacidad de hinchamiento, solubilidad y propiedades reológicas de pastas y

geles. Son numerosos los estudios donde se reporta que durante la nixtamalización el almidón gelatiniza parcialmente y se sabe que los almidones que contienen lípidos granulares internos, como lo es el maíz, forman complejos durante la gelatinización.

En la Figura 3.11 se muestran las imágenes de los termogramas obtenidos a partir de las muestras de producto terminado o botanas extruidas en frío y horneadas y de igual manera el termograma de la harina de maíz..

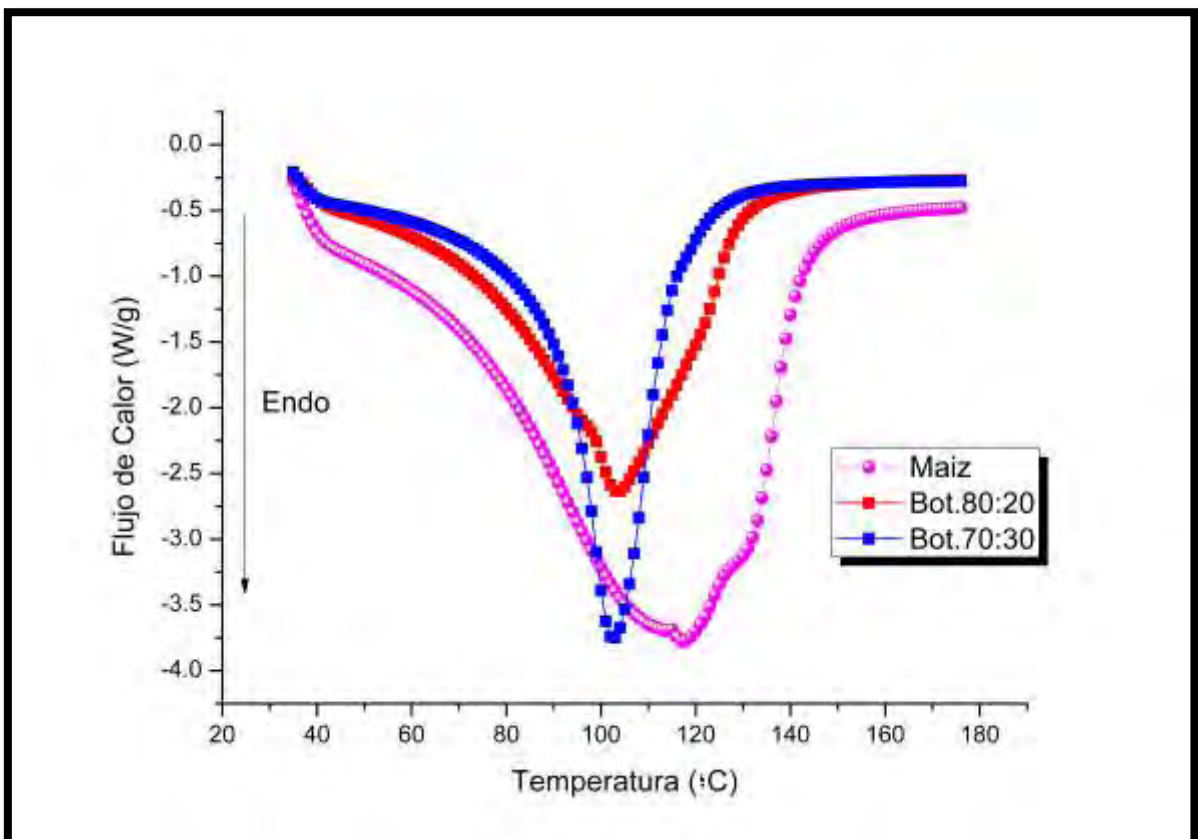


Figura 3.11 Termograma del producto terminado con formulación 70A:30M, Termograma del producto terminado con formulación 80A:20M y termograma de la harina de maíz.

En los termogramas de la Figura 11 del producto terminado (después del horneado) con formulación 70A:30M podemos notar que la simetría del valle se volvió muy simétrica, indicándonos un arreglo de los componentes internos a diferencia del producto final con formulación 80A:20M donde se vuelve más notoria la presencia de los componentes del maíz y las interacciones del mismo con el amaranto. Sin embargo correlacionando con el índice de expansión son botanas menos duras y con mayor índice de expansión 80A: 20M.

En la tabla 3.4 se muestran los datos obtenidos del análisis DSC de las dos muestras del producto terminado con diferentes formulaciones.

Muestra	Temperatura Pico	Intervalo de señal	ΔH (J/g)
<i>Producto terminado con mezcla 70A:30M</i>	102.77 °C	85.69-120.47 °C	407.6
<i>Producto terminado con mezcla 80A:20M</i>	103.74 °C	77.67-126.39 °C	414.2

Respecto a las temperaturas pico de las muestras se puede observar que hay un ligero aumento con respecto al de sus formulaciones crudas, esto puede ser debido a la cantidad de agua que absorbe reforzando un poco la desnaturalización del conglomerado de proteínas como lo informa Rao y Hartel (1998), de igual forma existe una disminución de entalpías, confirmando que la energía necesaria para la transición de la señal es menor con respecto a las muestras de mezclas de harinas crudas.

CONCLUSIONES

- Se demostró que la temperatura de 70 °C para el tratamiento hidrotérmico en harina de amaranto reventado fue la más adecuada, debido al efecto que produce el tratamiento sobre las proteínas del amaranto y su almidón. Esta harina tratada permitió la manipulación de las masas para la elaboración de una botana inflada, tomando en cuenta su índice de expansión y crujencia, las cuales fueron determinantes en el producto final.
- La extrusión de la botana dio como resultado dos formulaciones propuestas de harina de amaranto y harina de maíz nixtamalizada (70A:30M y 80A:20M) para la elaboración de una botana inflada y horneada, se encontró que las condiciones apropiadas fueron; una formulación de 80A:20M, el uso de tornillo utilizado de mayor número de alabes durante la extrusión (11 alabes) y un área de alimentación de 44.1cm², estas condiciones dieron productos con una dureza de 14.733N, la cual es muy aproximada a las durezas de algunas botanas comerciales, de igual forma el índice de expansión fue por arriba del 80% lo que nos indica que es un producto con buenas propiedades texturales. Cabe aclarar que no existen productos comerciales con estas formulaciones de amaranto, por esa razón no se utilizaron como comparativo, sólo fueron utilizados sus valores de dureza más recomendables y atractivos al consumidor.
- Se evidencio en el análisis de viscosidad aparente que las harinas de amaranto reventado y reventado con tratamiento hidrotérmico tienen propiedades complejas dado a la escasa formación de gel y viscosidad de su almidón, por lo que se descarta juegue un papel importante en las propiedades funcionales de la masa, ya que debido al hidrotreamiento se abate la viscosidad por parte del almidón. Sin embargo es por eso que al eliminar dicha propiedad en la harina esta se vuelve manipulable y útil para la elaboración del producto final, lo que nos demuestra que en la

harina de amaranto existen otros componentes que son los responsables de brindar sus propiedades visco elásticas como las proteínas.

- Los termogramas obtenidos por calorimetría diferencial de barrido (DSC) evidenciaron que las globulinas 11S y 7S son responsables de las propiedades de la harina de amaranto, debido que en la masa extruida dentro del extrusor fue manipulable, por lo que probablemente presentarán interacciones moleculares en una matriz compleja de nutrientes que permitieron la extrusión de la botana, por tal hecho es que en los resultados reportados se obtuvieron las señales correspondientes mostrando datos que nos confirmaban un acomplejamiento principal de las fracciones proteicas del amaranto predominando las características del mismo sobre las del maíz.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un análisis de proteínas, en un HPLC para conocer como fueron afectadas por el tratamiento hidrotérmico realizado a la harina de amaranto reventado y a la botana. Lo que proporcionará información nutricional de la botana final.
- Otro análisis importante deberá ser pruebas de aceptabilidad y sabor de las botanas a un grupo de consumidores no entrenado para la comercialización y distribución de las mismas.
- Adicionalmente, es recomendable hacer un análisis de microscopia electrónica de barrido en las diferentes etapas de la elaboración de la botana, es decir antes y después de su horneado, así como de las materias primas utilizadas, para evidenciar cambios morfológicos al almidón.
- Es necesario realizar una extrapolación de los resultados para elaborar botanas a nivel industrial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adedokun, M. O., & Itiola, O. A. (2009). Material properties and compaction characteristics of natural and pregelatinized forms of four starches. *Carbohydrate Polymers*, 818-824.
- Ahmed, W., I., Singh, S., D., Abas, W., A., Singh, G., B., (2013). Physico-Chemical and functional of flours from indian kidney vean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *Food Science and Technology*, 53, 278-284.
- Arendt, E. y Zannini, E. (2013). Amaranth. *Cereal Grains for the food and Beverage Industries*, 439-466.
- Atwell, W. A., Hood, L. F., Lineback, D.R., Varriano, E., Zobel, H. F. (1988). The terminology and methodology associated with basic starch phenomena. *Cereal Foods World*. 33(3), pp. 306-311.
- Ayala, G., V. A., Rivas-Valencia, P., Cortes-Espinoza, L., De la O, O., M., Escobedo-López, D. y Espitia-Rangel, E. (2013). La rentabilidad del cultivo de amaranto (*Amaranthus spp.*) en la región del centro de México. *CIENCIA ergo-sum* , 47-54.
- Becker, R., Meyer, D., Wagoner, P., Saunders, R. M.. (1992). *Alternative crops for sustainable agricultural systems*. Elsevier Science Publishers B.V. 266.
- Badui, D. S. (2006). *Química de los Alimentos*. Edo. México, México: Pearson. Pp 84-86.
- Barba de la Rosa, A. P., Fomsgaard, S. I., Laursen, B., Mortensen, G. A., Olvera-Martinez, L., Silva-Sánchez, C., Mendoza-Herrera, A., Gonzalez Castañeda, J. de Leon-Rodríguez, A. (2009). Amaranth (*Amaranthus hypocondriacus*) as alternative crop for sustainable food production: Phenolics acids and flavonoids with potential impact on its nutraceutical quality. *Journal of Cereal Science*, 49, 117-121.
- Benavent, A. M. (2007). Efecto de la desglicosilación enzimática en la antigenicidad del alérgeno 7S Globulina de Soja. *Instituto de Fermentaciones Industriales*, 45-62.

- Bourne, M. C. (1982). Food texture and viscosity: Concept and measurement. USA: Academic Press.
- Bressani, R., (1989). The proteins of grain amaranth. Food Reviews International, 5(1), 13-38.
- Bressani, R.; Turcios, J. C.; Reyes, L.; Mérida, R. (2001). Caracterización física y química de harinas industriales nixtamalizadas de maíz de consumo humano en América Central. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 51(3):309-313.
- Casas, N. B., y Ramírez, M. E. (2001). Apuntes del seminario de titulación: Reología y textura de materiales biológicos. Edo. De México: UNAM.
- Charley, H. Preparación de los alimentos. 1990. Ed. Limusa S.A., México. Pp 64-84.
- Coimbra, S., y Salema, R. (1994). Amaranthus Hypochondriacus: Seed Structure and Localization of Seed Reserves. Annals of Botany, 74, 373-379.
- Condés, C. M. (2012). Películas nanocompuestas, biodegradables y/o comestibles, en base a proteínas de amaranto y almidones de distinto origen botánico. Universidad Nacional de la Plata, 36-39,109-115,163.
- Condés, C. M., Añon, C.M. y Mauri, N. (2013). Amaranth protein films from thermally treated proteins. *Journal of Food Engineering*, 119,573-579.
- Cornejo-Villegas, M. A., Acosta-Osorio, A. A., Rojas-Molina, I., Gutiérrez-Cortéz, E., Quiroga, M. A., Gaytán, M., G. H. y Rodríguez-García, M. E. (2010). Study of the physicochemical and pasting properties of instant corn flour added with calcium and fibers from nopal powder. *Journal of food engineering*, 96,401-409.
- Cruz-Villegas, R., Hernández-Uribe, J. P. Güemes-Vera, N. (2016). Caracterización fisicoquímica de botanas horneadas por radiación de microondas a partir de harinas de chayotextle (*Sechium edule*) y papa dulce (*Ipomoea batatas*). Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos, 1,658-662.

- D' Appolonia, B. L. (1995). Effect bread ingredient on starch in bread gelatinization properties as measurement by the amylograph. *Cereal Chemistry*, 49 (5):532-543.
- De Man et al., J. M. (1975). *Rheology and texture in food quality*. Londres: Avi. Conn.
- Dengate, H. N. (1984). *Advances in Cereal Science and Technology*. (6th ed.). Christchurch: New Zeland, (Chapter 2). pp 114-121.
- Escobedo García, J. G. (2013). Desarrollo de una botana complementada con amaranto (*A. hypocondriacus*) para aumentar su calidad nutrimental. México: UNAM.
- Doublier, J.L. (1987). A rheological investigation of oat starch pastes. *Cereal Chemistry*. 64(1):21-26.
- Espitia, E. (1990). Situación actual y problemática del cultivo de amaranto en México. Chapingo, México: Ciamec.
- FAO/OMS/ONU. (1985). Necesidades de energía y proteínas. Ginebra: Serie Informes técnicos N°724.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1997). Los carbohidratos en la nutrición humana. Roma: FAO.
- Fonseca-Florido, H. A., Méndez-Montealvo, G., Velázquez, G. y Gómez-Aldapa, C. A.(2016). Thermal study in the interactions of starches blends: Amaranth and achira. *Food Hydrocolloids*.61,640-648.
- French D. 1984. Organization of starch granules. In: *Starch: Chemistry and Technology*. Academic Press., New York, pp: 183-247
- García, B. V. (2010). Amaranto: Una alternativa de alimento para personas de edad avanzada. Tesis Licenciatura, 40-84.
- Garzón, S., M. L. (2006). Almidón retrogradado para uso en compresión directa. Red de revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. 37(2), 18-28.

- Grosch, W. (1997). *Química de los Alimentos*. Zaragoza: Acribia.
- Hyun-Jung, C. y Qiang Liu. (2009). Impact of molecular structure of amylopectin and amylose on amylose chain association during cooling. *Carbohydrate Polymers*, 77, 807-815.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), (2013). Recuperado de <<http://www.inegi.org.mx/Anuarioestadistico2013.Agricultura.html>>
- Jan, R., Seema., Saxena, D. C., Singh, Sukhcham. (2013). Pasting and thermal properties of starch extracted from Chenopodium Album Grain. *Agriculture and Food Science Technology*, 4(10), 981-988.
- Jin-Song, B. (2008). Accurate measurement of pasting temperature by the rapid viscoanalyzer a case study using rice flour. *Rice Science*, 15(1), 69-72.
- Junco, M. (28 de Julio de 2014). Engormix. Obtenido de Balanceados: <https://www.engormix.com/MA-balanceados/fabricacion/articulos/extrusion-t6056/801-p0.htm>
- Karim, A. A., Toon, L. C., Lee, V. P., Ong, W. Y., Fazilah, A., Noda, T. (2007). Effects of phosphorus contents on the gelatinization and retrogradation of potato starch. *Food Science*. 72 (2), 132-138.
- Kaur S., Singh N. y Chand R., J. (2010). *Amaranthus hypocondriacus* and *Amaranthus caudatus* germplasm: Characteristics of plants, grain and flours. *Food Chemistry*, 123, 1227-1234.
- Martínez, E.N., y Añón, M.C. (1996). Composition and structural characterization of amaranth protein isolates. An electrophoretic and calorimetric study. *Journal Agricultural Food Chemistry*, 44, 2523-2530.
- Majzoubi M., Kave, Z. y Farahnaky A. (2015). Effect of acetic acid on physical properties of pregelatinized wheat and corn starch gels. *Food Chemistry*, 196, 720-725.
- Meneses J., Corrales C. M. y Valencia M. (2007). Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. *Rev.EIA.Esc.Ing.Antioq*, 8, 1294-1307.

- Middlewood, P. G. y Carson K., J. (2012). Extraction of amaranth starch from an aqueous medium using microfiltration: Membrane Characterisation. *Journal of Membrane Science*, 405-406, 284-290..
- Morales-Pérez, J. (2016). Estudio del efecto combinado del secado y freído en las propiedades de tortillas tostadas. *Alimentos y Ambiental*. México Puebla. Universidad de las Américas. Pp 55-69.
- Morales, G., Vázquez, N., Bressani, R. (2014). El Amaranto: Características y aporte nutricional. México D.F, México: Trillas. Pp 64,130-135.
- Moreno, S. Y., Herrera, P. P., Merin, C. J. y Rivas, A. A. L. (2003). Amylose:Amylopectin Ratio in starch of nixtamalized maize flour and its relationship with tortilla quality. *Fitotec*, 26, 115-121.
- NOM-187-SSA1/SCFI-2002. Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración y establecimientos donde se procesan. Especificaciones sanitarias. Información comercial. Métodos de prueba.
- NMX-F-046-S-1980. Harina de maíz nixtamalizado. Norma Mexicana. Secretaria de fomento Industrial. Dirección de Normas.
- Palacios-Fonseca, A. J., Vazquez-Ramos, C. y Rodriguez-García, M. E. (2009). Physicochemical characterizing of industrial and traditional nixtamalized corn flours. *Journal of food engineering*, 93, 45-51.
- Parra, G. C. (2006). Textura de frituras elaboradas con harina de maíz o de harina de trigo con diferentes porciones de harina de frijol. México: Tesis de licenciatura UNAM.
- Ramos, S. D. (2014). Efecto de la concentración de sales de calcio en la gelatinización del almidón durante el proceso de nixtamalización ecológica y tradicional. Universidad Autónoma de Querétaro. 9-14.
- Rao, M. A. y Hartel, W. R. (1998). Phase/State transitions in food, USA, Marcel Dekker. Inc. Pp. 253-268, 273-306.
- Ravindran V., Hodd, R. L., Kneale, C. R. y Bryden, W. L. (1996). Nutritional evaluation of grain amaranth (*Amaranthus hypocondriacus*) in broiler diets. *Animal Feed Science Technology*, 63, 323-33.

- Riaz N. Mian. (2004). "Extrusores en las aplicaciones de los alimentos" . España: Ed. Acribia.
- Rogers, J. (2010). RVA Super 4, installation and operation manual. Newport scientific. 57-59.
- Rosenthal, A. J. (2001). Textura de los alimentos: medida y percepción. España: Acribia.
- Sanz-Penella, P M., Wronkowska M., Soral-Smietana, M. y Haros M. (2013). Effect of whole amaranth flour on bread properties and nutritive value. *Food Science and Technology*, 50, 679-685.
- Schiraldi, A., Fessas, D. y Signorelli, M.(2009). Use of thermal analysis to design and monitor cereal processing. *Calorimetry in Food Processing*,265-285.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), (2014). Recuperado de <<http://www.gob.mx/siap#documentos>>.
- Singh, J., Kaur, L., McCarthy O.J, (2007). Factors influencing the physicochemical, morphological , thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications: A review. *Food Hydrocolloids*, 21(1), pp. 1-22.
- Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SINAREFI), (2015). Recuperado de <http://www.sinarefi.org.mx/redes/red_amaranto.html>.
- Srichuwong, S. y Jane, J. (2007). Physicochemical properties of starch affected by molecular composition and structures: A review. *Food Science and Biotechnology*, 16(5), pp. 663-674.
- Sugimoto Y., Yamada K., Sakamoto S. y Fuwa H. (1981) Some properties of normal-and waxy-type starches of *Amaranthus hypocondriacus* L. *Starch-Stärke*, 33(4): 112-116.
- Suriñach S. (1992). La calorimetría diferencial de barrido y su aplicación a la ciencia de materiales. *Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 11-17.
- Tang, M. C., Copeland, L. (2007). Analysis of complexes between lipids and wheat 410 starch. *Carbohydrate Polymers*, 67, 80-85.

- Thomas, D. J. y Atwell, W. A. (1999). Starches. St. Paul, U.S.A: Eagan Press.
- Vandeputte, G. E., Derycke, V., Geeroms, J., Delcour, J. A. (2003). Rice starches II. Structural aspects provide insight into swelling and pasting properties. Journal of Cereal Science, 38, 53-59.
- Viviant, V. (17 de 12 de 2013). ECO portal NET. Recuperado el 9 de 12 de 2015, de <http://www.ecoportald.net/Temas-Especiales/Salud/EIAmaranto> un pseudocereal con beneficios reales.
- Yañez et al., Z. I. (1994). Caracterización química y nutricional del amaranto (*Amaranthus cruentus*). Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 44-1.

ANEXO 1

Corrida	Formulación	Área de Apertura (cm ²)	Configuración de Tornillo (Alabes)	Dureza (N)	Índice de Expansión %
1	7030	22.08	11	37.250	71.460
2	8020	44.10	9	11.650	86.958
3	8020	22.08	9	7.430	86.910
4	7030	44.10	9	10.830	79.070
5	7030	44.10	9	7.213	75.690
6	8020	22.08	9	6.173	85.950
7	8020	44.10	11	13.753	86.300
8	7030	22.08	11	28.176	87.210
9	8020	44.10	11	14.733	85.130
10	8020	22.08	11	5.000	79.38
11	7030	44.10	11	5.410	84.200
12	7030	22.08	9	8.560	77.538
13	7030	44.10	11	4.470	84.200
14	7030	22.08	11	37.250	87.210
15	8020	44.10	9	6.240	86.958
16	8020	44.10	9	10.436	86.958
17	8020	22.08	11	13.753	79.380
18	7030	44.10	11	5.410	84.200
19	7030	22.08	9	8.560	87.210
20	8020	22.08	9	7.430	86.910
21	8020	22.08	11	5.000	79.380
22	7030	44.10	9	7.213	79.070
23	8020	44.10	11	14.733	86.300
24	7030	22.08	9	28.176	77.538

Tabla de resultados. Dureza e Índice de expansión para las 24 corridas.

ANEXO 2

Corrida	Temperatura de hidrotratamiento	Formulación	Configuración de tornillo	Área de Alimentación	Índice de Expansión
1	C1 65°C	80A:20M	9	22.08	86.95
2	C2 70°C	80A:20M	9	22.08	86.91
3	C3 65°C	80A:20M	9	22.08	86.95
4	C4 70°C	80A:20M	9	22.08	86.958
5	C5 65°C	80A:20M	9	22.08	86.89
6	C6 70°C	80A:20M	9	22.08	86.96
			Promedio		
		Corrida a 65 °C	86.93		
		Corrida a 70 °C	86.9426667		

Tabla de resultados del índice de expansión para las diferentes temperaturas de tratamiento.