

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA



**“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TECNICA PARA LA
PRODUCCION DE HARINA DE AMARANTO
(Amaranthus spp.)”**

PRESENTADO POR
JULIO MICHAEL SALVADOR CARPIO ESCOBAR

PARA OPTAR AL TITULO DE:
INGENIERO QUÍMICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, DICIEMBRE DE 2009.
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

MSc. RUFINO ANTONIO QUEZADA SÁNCHEZ

SECRETARIO GENERAL

LIC. DOUGLAS VLADIMIR ALFARO CHÁVEZ

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIO

ING. OSCAR EDUARDO MARROQUIN HERNÁNDEZ

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

DIRECTOR

ING. FERNANDO TEODORO RAMÍREZ ZELAYA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO QUÍMICO

Título

**“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TECNICA PARA LA
PRODUCCION DE HARINA DE AMARANTO
(Amaranthus spp.)”**

Presentado por

JULIO MICHAEL SALVADOR CARPIO ESCOBAR

Trabajo de Graduación Aprobado por

Docentes Directoras

Licda. XOCHIL MARIA GODOY DE VILLATORO

MSc. DELMY DEL CARMEN RICO PEÑA

San Salvador, Diciembre de 2009.

Trabajo de Graduación Aprobado por

Docentes Directoras

Licda. XOCHIL MARIA GODOY DE VILLATORO

MSc. DELMY DEL CARMEN RICO PEÑA

RESUMEN

Por poseer la semilla de amaranto un alto valor nutritivo (17% de proteína) y alto contenido de lisina, es un buen suplemento a los cereales, los cuales son deficientes en este aminoácido esencial; razón por la cual se evaluaron los contenidos de proteína que posee la harina de amaranto partiendo del grano crudo y tostado, el contenido de proteína para cada tipo de harina fue del 16.42 y del 14.1 % p/p respectivamente. Y por su alto contenido en ceniza se cataloga como harina integral (2.98 y 2.6 % p/p respectivamente).

Se procedió a realizar mezclas balanceadas de harina de trigo con harina de amaranto para la preparación de pan dulce, integral y palitos de pan integral, los cuales se evaluaron sensorialmente para conocer la existencia de diferencias significativas en las propiedades organolépticas de sabor y aroma entre las muestras en estudio y patrones preparados con harina de Trigo; obteniendo resultados satisfactorios de aceptación de las muestras en estudio, en especial las muestras con harina de amaranto tostado, a pesar de existir diferencias de sabor y aroma entre las muestras en estudio y las patrón.

Dadas estas premisas se consideró la evaluación de pre factibilidad técnica y económica para procesar harina de amaranto tostado en escalas de producción artesanal, de mediana y gran escala, dando como resultado la recomendación técnica de utilizar un tostador de lecho fluidizado a gran escala para tostar 500 Kg por hora de semilla y molerla con molino de rodillos similares a los utilizados con el trigo. La tasa de retorno de inversión antes de impuestos para esta escala es de 19% para el primer año de operación, para el segundo año del 26 % y para el tercero del 32%.

Este proyecto es técnicamente factible desarrollarlo a una escala de gran industria de harina de amaranto ya que las tasas de retorno antes de impuestos para la escala industrial y mediana resultaron del 12 % y (6%) respectivamente después del tercer año de operación.

INDICE

Pág.

Introducción	i
Capítulo I “Fundamentos teóricos”	
1.0 Amarantos (Amaranthus cruentus)	
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Aspectos botánicos y agronómicos.....	3
1.2.1 Descripción botánica.....	3
1.2.2 Requerimientos ambientales.....	4
1.2.3 Practicas agrícolas.....	5
1.3 Estructura del grano.....	8
1.4 Composición química y valor nutritivo del grano de Amaranto.....	10
1.5 Factores tóxicos o antinutricionales.....	14
1.6 Calidad nutricional de la proteína.....	15
1.7 Efecto del procesamiento en la calidad nutritiva del grano de amaranto.....	16
1.7.1 Extrusión.....	16
1.7.2 Reventado.....	17
1.7.3 Nixtamalizado.....	18
1.7.4 Germinado.....	18
1.8 Potencial alimentario del amaranto.....	19
1.9 Disponibilidad.....	21
Capitulo II “Requerimientos técnicos de producción”	
2.1 Control de calidad de harinas.....	24
2.1.1 Contenido de humedad.....	24
2.1.2 Proteína: cantidad y calidad.....	24
2.1.3 Cenizas.....	24
2.1.4 Color de la harina.....	25
2.1.5 Almidón dañado.....	25

INDICE	Pág.
2.1.6 Actividad enzimática.....	25
2.1.7 Viscoamilografía.....	26
2.1.8 Farinografía.....	26
2.1.9 Alveograma.....	26
2.2 Generalidades sobre la harina de amaranto.....	27
2.2.1 Propiedades funcionales de la harina de semilla de amaranto.....	28
2.2.2 El amaranto y su uso en las panaderías rurales de El Salvador.....	29
2.3 Generalidades sobre la harina de trigo.....	30
2.3.1 Composición del grano de trigo.....	30
2.3.2 Clasificación de la harina de trigo.....	30
2.3.2.1 Harina blanqueada.....	31
2.3.2.2 Harina integral.....	32
2.3.2.3 Características de harinas fuertes.....	32
2.3.2.4 Características de harinas suaves.....	32
2.3.3 Composición química.....	32
2.4 Operaciones unitarias para la obtención de harina de amaranto.....	35
2.5 Equipos utilizados a nivel industrial.....	37
 Capítulo III “Parte experimental”	
3.0 Metodología de elaboración.....	40
3.1 Materias primas empleadas.....	40
3.2 Obtención de harina de amaranto.....	41
3.3 Harina de trigo.....	43
3.4 Construcción y balanceo de las fórmulas para preparar pan.....	44
3.5 Preparación de mezclas de harina.....	45
3.5.1 Formulaciones.....	45
3.5.2 Salpor de amaranto.....	46

	INDICE	Pág.
	3.5.3 Pan integral.....	47
	3.5.4 Palitos de amaranto.....	48
3.6	Evaluación Sensorial.....	49
	3.6.1 Análisis sensorial.....	49
	3.6.2 Resultados del análisis.....	50
	3.6.2.1 Evaluación del salpor.....	50
	3.6.2.2 Evaluación del pan integral.....	51
	3.6.2.3 Evaluación de palitos de amaranto.....	52
	3.6.3 Evaluación del aroma.....	53
	3.6.4. Conclusiones.....	54
3.7	Análisis químico proximal.....	55
Capitulo IV	“Pre-Diseño de una planta procesadora de harina de amaranto (Amaranthus cruentus)”.	
4.0	Generalidades.....	56
4.1	Especificaciones de la materia prima.....	57
4.2	Especificaciones del producto terminado.....	58
4.3	Diagrama de flujo del proceso.....	59
4.4	Balance de materiales y energía.....	60
4.5	Selección de equipo.....	67
	4.5.1 Parámetros técnicos de operación.....	67
	4.5.2 Capacidad de producción.....	67
	4.5.3 Consumo energético.....	68
	4.5.4 Materiales de construcción.....	68
	4.5.5 Seguridad alimentaria.....	69
	4.5.6 Costos del equipo.....	69
4.6	Evaluación de pre factibilidad económica.....	75
	4.6.1 Costo de materia prima.....	75
	4.6.2 Costo de material de empaque.....	76
	4.6.3 Costos de operación.....	76
	4.6.4 Calculo de la tasa de retorno de inversión.....	80

INDICE

Pág.

4.7 Interpretación de resultados.....	84
Conclusiones.....	85
Referencias Bibliograficas.....	86
Anexos.....	90
Anexo A. Preparación de productos con mezclas de trigo amaranto.....	91
Anexo B. Formulario de evaluación sensorial.....	92
Anexo C. Análisis estadístico de las muestras de pan de amaranto.....	93
Anexo D. Requerimientos técnicos del tostador de amaranto de lecho fluidizado.....	95

INDICE DE CUADROS		Pág.
Cuadro No. 1	Fenología de 5 variedades de Amaranthus cruentus según el calendario juliano.....	8
Cuadro No. 2	Composición química del grano de amaranto.....	13
Cuadro No. 3	Promedio de los componentes químicos de algunos cereales y del grano de amaranto.....	13
Cuadro No. 4	Algunos aminoácidos esenciales en los granos de los cereales.....	16
Cuadro No. 5	Clasificación de la harina según su contenido de ceniza.....	25
Cuadro No 6	Efecto del tipo de molino sobre la distribución de la partícula de la harina de amaranto.....	27
Cuadro No. 7	Composición química proximal y contenido de almidón dañado del grano y harina de amaranto.....	28
Cuadro No. 8	Absorción de agua y aceite de la harina de semilla de amaranto.....	29
Cuadro No. 9	Determinaciones que se realizan a los tipos de harina de trigo.....	33
Cuadro No. 10	Detalles técnicos para el procesado del amaranto.....	36
Cuadro No. 11	Diferentes equipos industriales para la producción de harina.....	38
Cuadro No. 12	Características de las materias primas utilizadas.....	40
Cuadro No. 13	Receta de salpor de amaranto.....	46
Cuadro No. 14	Receta de pan integral de amaranto.....	47
Cuadro No. 15	Receta de palitos de amaranto.....	48
Cuadro No. 16	Aceptación del salpor patrón y los de estudio.....	51
Cuadro No. 17	Aceptación del pan integral patrón y los de estudio.....	52
Cuadro No. 18	Aceptación de los palitos patrón y los de estudio.....	52
Cuadro No. 19	Aceptación del aroma del pan de amaranto y el pan patrón.....	53
Cuadro No. 20	Aceptación y/o rechazo de hipótesis.....	54
Cuadro No 21	Resultado de las muestras de harina en estudio.....	55

INDICE DE CUADROS		Pág.
Cuadro No 22	Comparación de la calidad nutritiva del amaranto entre varios procesos.....	56
Cuadro No 23	Características de calidad de la materia prima.....	57
Cuadro No 24	Características de calidad del producto terminado.....	58
Cuadro No 25	Descripción de procesos productivos por cada escala de diseño de planta.....	62
Cuadro No 26	Consumo de amaranto y energía por etapa.....	66
Cuadro No. 27	Costeo del equipo involucrado en la producción artesanal de amaranto.....	70
Cuadro No. 28	Costeo del equipo involucrado en la producción industrial de amaranto.....	71
Cuadro No.29	Costos de producción de amaranto en México DF.....	75
Cuadro No. 30	Resumen de costos por escala en estudio.....	78
Cuadro No. 31	Costos anuales de operación por escala de producción	82
Cuadro No. 32	Tasa de retorno de inversión antes de impuestos para Diferentes escenarios y condiciones de operación.....	83

INDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1.	Planta de amaranto (Amaranthus cruentus).....	2
Figura 2.	Mal del talluelo que afecta al amaranto.....	7
Figura 3.	Diagrama de secciones transversal (a) y longitudinal (b) de semilla de amaranto.....	10
Figura 4.	Potencial industrial del amaranto.....	21
Figura 5.	Alveograma de la harina de trigo.....	26
Figura 6.	Moedor compacto para la molienda de cereales, realizado con el acoplamiento de dos módulos.....	37
Figura 7.	Proceso experimental de obtención de harina de amaranto.....	42
Figura 8.	Reventado de semilla de amaranto en superficie de teflón...	43
Figura 9.	Molido de amaranto tostado y crudo respectivamente, ambos en molino de discos.....	43
Figura 10.	Proceso de análisis sensorial de las muestras en estudio.....	49
Figura 11.	Aceptabilidad del salpor patrón y los de amaranto.	51
Figura 12.	Aceptabilidad del pan integral patrón y los de amaranto.....	52
Figura 13.	Aceptabilidad de los palitos patrón y los de amaranto.....	53
Figura 14.	Diagrama del proceso de producción de harina de Amaranto (Amarantus cruentus).....	59

INTRODUCCION

El amaranto es un alimento rico en proteína que se utilizó en la época pre colombina como cultivo más importante junto al maíz; pero por ser su inflorescencia de color rojo los españoles en la conquista erradicaron el cultivo por considerar que se le rendía culto al diablo, esta es la razón por la que en El Salvador se ha reducido a consumo alternativo y cultivo silvestre dado el desconocimiento a nivel general de sus propiedades.

En el continente americano se cultivan más 1800 hectáreas de amaranto de la especie *cruentus*, siendo México el productor más importante y Estados Unidos a través del Instituto del Amaranto, el ente que posee un banco de germoplasma más importante para América; muchos estudios demuestran la calidad nutricional de la semilla y los usos de la planta y semilla demuestran un amplio potencial industrial de explotación.

En El Salvador a través de la Facultad Multidisciplinaria de Occidente, de la Universidad De El Salvador se han desarrolla diversos estudios del cultivo del *amaranthus cruentus*, sobre su calidad nutricional y varias alternativas de consumo en mezclas balanceadas de alimentos, para consumo humano y animal. Su mayor consumo es como harina y actualmente es producido de manera artesanal y técnicamente es factible producirlo como harina bajo un modelo combinado de producción de harina de trigo y torrefacción de amaranto.

En El Salvador es viable el desarrollo de cultivos asociados de maíz y amaranto para consumo en las zonas rurales, el cual ayudará a disminuir el binomio desnutrición – pobreza, utilizando la escala de producción artesanal, el cual considera desarrollar los molinos rurales por el bajo costo de inversión y una tasa de retorno del 12 % después de 3 años de operación.

CAPITULO I.

FUNDAMENTOS TEORICOS

1.0 Amaranto (*Amaranthus cruentus*)

1.1 Generalidades.

Se le da el nombre de pseudo cereales a un grupo de plantas como la *Amaranthaceae*, porque sus semillas o granos son semejantes a los cereales, pero de tamaño más pequeño (Argumedo, 1999).

El amaranto de grano se domesticó en América hace más de 4000 años por culturas precolombinas y de allí posiblemente se difundió a otras partes del mundo. Fue cultivado y utilizado junto al maíz, frijol y calabaza por los aztecas en el valle de México, por los mayas en Guatemala y por los Incas en Sudamérica tanto en Perú, Bolivia como Ecuador junto a la papa y maíz. Los amarantos como verdura de hoja fueron utilizados en América y en otras partes del mundo desde la prehistoria en casi todo el mundo. Incluso desde mucho antes de su domesticación como lo demuestran las excavaciones arqueológicas, ya que en muchas zonas tropicales y subtropicales el amaranto era una planta importante de recolección sobre todo por sus hojas.

El género *Amaranthus* contiene más de 70 especies, de las cuales la mayoría son nativas de América y sólo 15 especies provienen de Europa, Asia, África y Australia (Robertson, 1987).

Una de las características más importantes del amaranto es sin duda su alto valor nutritivo (17% de proteína). La semilla presenta una gran versatilidad, pudiéndose utilizar en la preparación de diversos alimentos y tiene además un prometedor potencial industrial, tanto en la elaboración de alimentos,

cosméticos, colorantes como en plásticos biodegradables; asimismo, se puede aprovechar de múltiples formas, como en grano, verdura o forraje.

Sólo tres especies de amaranto se utilizan actualmente para la producción de grano:

Amaranthus cruentus: Crece en el sur de México, Guatemala y Estados Unidos. Es la especie más importante de Centro América, en donde es cultivada en montañas para usar como cereal y como hortaliza (Ver Figura 1).

Amaranthus caudatus: Crece en las regiones andinas de Bolivia, Perú y Argentina.

Amaranthus hypochondriacus: Procedente de la parte central de México, hoy en día se encuentra en Nepal, América Central y la India.



Figura 1. Planta de **Amaranto cruentus** cultivado (Santamaría, 1989)

1.2 Aspectos Botánicos y Agronómicos.

1.2.1 Descripción Botánica (Tapia, 1997).

El amaranto es una especie anual, herbácea o arbustiva de diversos colores que van del verde al morado o púrpura con distintas coloraciones intermedias.

La raíz es pivotante con abundante ramificación y múltiples raicillas delgadas, que se extienden rápidamente después que el tallo comienza a ramificarse, facilitando la absorción de agua y nutrientes, la raíz principal sirve de sostén a la planta, permitiendo mantener el peso de la panoja. Las raíces primarias llegan a tomar consistencia leñosa que anclan a la planta firmemente y que en muchos casos sobre todo cuando crece algo separada de otras, alcanza dimensiones considerables. En caso de ataque severo de nemátodos se observan nodulaciones prominentes en las raicillas.

El tallo es cilíndrico y anguloso con gruesas estrías longitudinales que le dan una apariencia acanalada, alcanza de 0.4 a 3 m de longitud, cuyo grosor disminuye de la base al ápice, presenta distintas coloraciones que generalmente coincide con el color de las hojas, aunque a veces se observa estrías de diferentes colores, presenta ramificaciones que en muchos casos empiezan desde la base o a media altura y que se originan de las axilas de las hojas. El número de ramificaciones es dependiente de la densidad de población en la que se encuentre el cultivo.

Las hojas son pecioladas, sin estipulas de forma oval, elíptica, opuestas o alternas con nervaduras prominentes en el envés, lisas o poco pubescentes de color verde o púrpura cuyo tamaño disminuye de la base al ápice, presentando borde entero, de tamaño variable de 6.5-15cm. Las hojas tiernas hasta la fase de ramificación se consumen como hortaliza de hoja.

La inflorescencia del amaranto corresponde a panojas amarantiformes o glomeruladas muy vistosas, terminales o axilares, que pueden variar de

totalmente erectas hasta decumbentes, con colores que van del amarillo, anaranjado, café, rojo, rosado, hasta el púrpura; el tamaño varía de 0.5-0.9 m pudiendo presentar diversas formas incluso figuras caprichosas y muy elegantes. Las flores son unisexuales.

Las semillas son pequeñas, pero muy abundantes, y van desde el blanco amarillento, verde, rosado rojo, hasta el púrpura. El fruto es un pixidio que contiene una sola semilla.

1.2.2 Requerimientos ambientales para el cultivo del amaranto en El Salvador.

De acuerdo al estudio “AMARANTO Preparación de Alimentos”, desarrollado por el Centro Universitario de Occidente de la Universidad De El Salvador y el Centro De Tecnología Agrícola (CENTA) y patrocinado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y el Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP); los requerimientos agronómicos para cultivar Amaranto en El Salvador son los siguientes:

a) Tipo de suelo

Aparentemente, los amarantos crecen bien en una variedad de tipos de suelo que van desde muy ácidos y de alto contenido de aluminio, hasta suelos alcalinos y salinos. Están adaptados a tierras que fluctúan entre finas y toscas, siempre que estén bien drenadas

b) Altitud

Es bien adaptada al trópico y crece bien entre 50 y 900 msnm.

c) Temperatura

La temperatura óptima para la germinación oscila entre 10 ° C y 27 ° C, lo que lo hace comparable con el maíz.

c) Agua

La cantidad de agua necesaria para lograr su cultivo es extremadamente importante en las regiones áridas y esta cantidad variará de un medio ambiente a otro. En el Salvador se ha comprobado que necesita más de 360 mm de agua, lo que lo hace más tolerante a la sequía que el maíz y el sorgo.

1.2.3 Prácticas agrícolas para el cultivo del amaranto en El Salvador.

a) Preparación de la tierra

Se necesita tierra suelta pero firme, a fin de ordenar la siembra a una profundidad uniforme (2.5 cm) de modo que la emergencia sea también uniforme.

b) Época de siembra

De acuerdo a experiencias en El Salvador, se recomienda sembrar en la segunda quincena de junio, aún cuando se obtienen buenos resultados si esta práctica se realiza en otra época si la temperatura es superior a los 18 ° C y existe humedad adecuada.

c) Profundidad de la siembra

La pequeñez de la semilla requiere una siembra poco honda, aunque influye la textura del suelo y la humedad; una profundidad de 2.5 cm parece ser la óptima.

d) Tasa de la siembra

Las tasas óptimas dependen de la humedad disponible y del método de cosecha; se recomienda que las tasas de población sean de 300,000 a 500,000 semillas / ha, dependiendo del uso a que se destine la planta, esto es función del interés en grano o follaje (verduras).

e) Fertilizantes

La respuesta del amaranto a los fertilizantes varía desde una respuesta nula hasta incrementos considerables; se ha observado que responde a la proporción de la fórmula 16-20-0 en el momento de siembra y la urea y/o sulfato de amonio al tercer raleo y en la floración, pero es muy importante contar con datos de los niveles de nutrientes en el suelo en el momento de la siembra.

f) Control de la maleza

No hay herbicida selectivo para el amaranto, lo mejor es hacer un control manual de limpieza, durante los primeros 45 días de desarrollo. el control de las plantas de hoja ancha debe hacerse manual y las gramíneas pueden eliminarse con el herbicida Fluazitop-p-Butil (Fusilade) en dosis de 1.0 litro por hectárea disuelto en 200 litros de agua, aplicarlo cuando los zacates tengan de 2 a 4 hojas.

g) Insectos

Aún cuando en el amaranto se ha encontrado un gran número de plagas de insectos, son pocos los problemas que afectan la planta, tales como la tortugilla, insectos chupadores y pulgones por lo que se hacen aplicaciones de plaguicidas, de acuerdo a la incidencia.

h) Enfermedades

Se ha encontrado que el mal del talluelo es causa de serias pérdidas de plantas, por lo que la aplicación de un fungicida ayuda a corregir tal enfermedad. Ver figura 2.



Figura 2. mal del talluelo que afecta al amaranto. (Santamaría,1989)

i) Cosecha

La cosecha se hace manual, se cortan las panojas y se ponen al sol durante 72 horas para eliminar humedad, luego se desgranan presionándolas contra una zaranda, posteriormente se hace pasar una corrientes de aire alternativamente se puede utilizar una segadora trilladora.

j) Método de la siembra

La siembra directa de la semilla es el único procedimiento practicado; aunque se utiliza el trasplante; pero afecta su crecimiento.

k) Rendimiento

Los rendimientos que se han obtenido realizando prácticas manuales van desde 1175 kg/ha hasta 3111 kg/ha.

En el cuadro No. 1, se muestra el efecto de la fecha de siembra sobre el ciclo de cultivo, características de las plantas y rendimientos de cinco variedades de semillas de Amarantho.

Cuadro No. 1 Fenología de 5 variedades de *amaranthus cruentus* según el calendario juliano. (Escobar-Valencia, 1993).

	VARIETADES	S	E	F	C	APF (m)	APC (m)	TP (m)	R (Kg/Ha)	GRASA %	Proteína Cruda %
JUNIO	7USA	165	168	219	252	0.52	1.00	0.31	772.5	9.86	17.51
	8 USA	165	168	219	252	0.56	1.20	0.31	600.1	8.12	16.8
	20 USA	165	168	219	252	0.54	1.10	0.3	710.4	7.38	16.56
	26 USA	165	168	219	252	0.56	1.10	0.3	587.1	6.64	19.03
	17 GUATEMALA	165	168	219	252	0.48	1.09	0.32	640.6	6.31	17.26
JULIO	7USA	196	200	240	268	1.00	1.39	0.33	701.30	9.28	18.23
	8 USA	196	200	240	268	1.00	1.59	0.34	867.00	7.87	15.80
	20 USA	196	200	240	268	1.20	1.64	0.35	702.80	5.98	17.32
	26 USA	196	200	240	268	0.99	1.62	0.34	695.10	8.12	16.45
	17 GUATEMALA	196	200	240	268	1.43	1.50	0.40	771.90	8.56	18.41
AGOSTO	7USA	227	232	269	294	0.97	1.23	0.32	399.20	7.90	16.87
	8 USA	227	232	269	294	1.02	1.40	0.32	449.90	9.11	16.48
	20 USA	227	232	269	294	1.04	1.24	0.29	426.20	9.79	16.75
	26 USA	227	232	269	294	1.18	1.42	0.31	755.70	7.79	16.44
	17 GUATEMALA	265	268	310	346	1.17	1.51	0.29	800.10	5.26	17.42
SEPTIEMBRE	7USA	265	268	310	346	0.59	0.76	0.29	452.30	7.98	14.64
	8 USA	265	268	310	346	0.58	0.96	0.30	431.50	6.93	15.67
	20 USA	265	268	310	346	0.54	0.92	0.30	402.20	9.70	16.17
	26 USA	265	268	310	346	0.58	0.96	0.32	293.40	7.46	16.49
	17 GUATEMALA	265	268	310	346	0.45	0.83	0.31	447.20	7.64	14.52
OCTUBRE	7USA	288	291	334	7**	0.91	1.13	0.47	919.30	6.51	16.24
	8 USA	288	291	334	7**	0.84	1.17	0.47	734.60	7.30	15.24
	20 USA	288	291	334	7**	0.78	1.12	0.48	695.90	8.20	16.45
	26 USA	288	291	334	7**	0.74	1.07	0.43	710.70	6.05	15.55
	17 GUATEMALA	288	291	334	7**	0.82	1.12	0.47	1007.90	6.25	15.38

S = DIAS DE SIEMBRA C = DIAS DE COSECHA
 E = DIAS DE EMERGENCIA ** = ENERO DE 1992
 F = DIAS DE FLORACION

APF = ALTURA DE PLANTA EN FLORACION
 APC = ALTURA DE PLANTA EN COSECHA
 TP = TAMAÑO DE PANOJA
 R = RENDIMIENTO

1.3 Estructura del grano

Los granos de amaranto son semillas pequeñas, de 1.0 mm a 1.35 mm de diámetro, de forma lenticular. El color varía desde el blanco hueso hasta beige, café, rojo, pardo o negro, dependiendo de la especie y su morfología.

La estructura del grano de amaranto se divide en (Ver figura 3):

a) Epicarpio ó Pericarpio

El epicarpio es una capa delgada y única, conteniendo en el exterior el pigmento que proporciona el color a la semilla, es rico en calcio, sodio y magnesio, y por estudios de molienda se ha encontrado que las cenizas están concentradas en un 60 % en el revestimiento de la semilla y en la fracción del germen.

b) Endocarpio (Germen o embrión)

El endocarpio circula en el perispermo de uno de sus lados. En las células del parénquima del embrión están ubicados los cuerpos proteínicos que mide de 3 a 5 micras de diámetro.

La proteína del *Amaranthus cruentus*, está principalmente distribuida en el germen y la envoltura de la semilla (65%) y el perispermo amiláceo (35%). Se ha encontrado más nutrientes en el embrión, como grasa, fibra, cenizas, de 2.3 a 2.6 veces más nitrógeno y de 2.4 a 2.5 veces más la concentración de minerales, especialmente hierro y cobre que en la semilla entera.

c) Perispermo

El perispermo está localizado en el centro de la semilla y consiste en una pared delgada del parénquima celular.

Esta capa aleurónica está firmemente unida con la envoltura de la semilla, aunque es susceptible de separar por abrasión.

Su principal componente es el almidón que es el más abundante de los carbohidratos en la semilla. El almidón está constituido por amilopectina y solo 5 - 7% de amilasa.

d) Endospermo

En el endospermo se ubican los cuerpos proteínicos cuyo diámetro está entre 1.5 y 2.4 micras. (Escobar-Valencia, 1993); (Martínez, 1988).

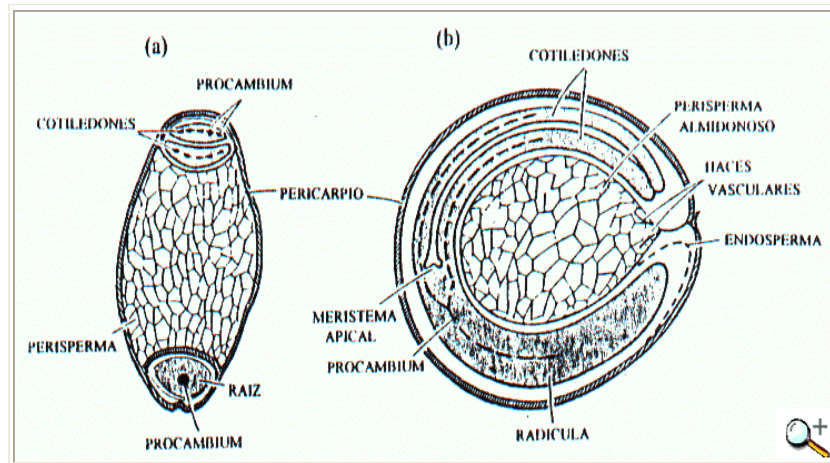


Fig. 3. Diagrama de secciones transversal (a) y longitudinal (b) de semilla de amaranto (Tapia 1997).

1.4 Composición química y valor nutritivo del grano de amaranto

Las principales cualidades de esta planta, como fuente de grano, estriban en sus propiedades organolépticas y funcionales, destacándose el contenido de aminoácidos esenciales de su proteína, cuyo balance es satisfactorio. La proteína del amaranto es rica en los aminoácidos esenciales lisina, triptófano y metionina, de tal manera que su calidad proteínica, ya procesado adecuadamente, es igual a la calidad proteínica de la caseína (Martínez, 1988).

Debido al alto contenido de lisina, el amaranto es un buen suplemento a los cereales, los cuales son deficientes en este aminoácido esencial. En general niveles de 25% a 30% de harina de grano de amaranto a 70% - 75% de harina de cereal mejoran la calidad del Trigo, Arroz, Maíz y Maicillo. Además, bajo condiciones normales, el amaranto y su harina tiene una vida de anaquel mayor a una semana que la de otros cereales y leguminosas.

La harina de semilla de Amaranto ha sido utilizada en varias proporciones para desarrollar productos de panadería; en mezclas para panqueques, como ingrediente de tortillas preparadas con Maíz o Trigo; en diversos productos tipo pastas; como alimentos propios del destete; en granola; en alimentos de buena calidad nutritiva y como cereales para el desayuno. Todos estos productos ponen en relieve la calidad nutricional de tales alimentos gracias a la presencia del Amaranto.

Los valores reportados en la literatura respecto a la composición química del grano de amaranto son muy variables, atribuyéndose estas diferencias a prácticas agronómicas, genotipo, clima. Estos valores se reportan en el cuadro No. 2. (UES-CENTA, 1991)

a. Almidón.

Es el carbohidrato más abundante, encontrándose en una concentración de un 62% del peso total del grano. La composición del almidón (menor contenido de amilasa), influye en sus propiedades físico – químicas. Se reportan concentraciones de sucrosa (1.6%) que como azúcar libre es mayor que otros granos.

b. Proteína.

El grano de amaranto tiene un alto contenido de proteína, que varía en un rango de 12.5 % a 17.6%. Posee una óptima composición de aminoácidos que sumado a la alta digestibilidad de su proteína, la convierten en apta para los requerimientos humanos. El Amaranto tiene un alto nivel de lisina, el cual se encuentra limitado en muchos cereales, como el Maíz, Sorgo y Trigo. Por esta razón, el grano de amaranto es un excelente complemento para los cereales. Una combinación de Arroz y amaranto en una razón de 1:1 ha sido reportada como muy cercana a las especificaciones dadas por la FAO / OPS. (Bressani, 1991)

Estudios respecto al valor nutritivo indican que el puntaje aminoácido del amaranto es superior al de los cereales comúnmente empleados, reportándose valores que van de 73% - 80%. Ensayos biológicos con semilla de amaranto muestran una buena disponibilidad de la proteína, la digestibilidad de la semilla va de regular 53% - 65% a buena 68% - 77%. El valor biológico alrededor del 73% y una eficiencia proteínica que va del 1.42 – 1.83 a 2.4 – 3.4 hasta valores semejantes a la caseína (López, 1998).

c. Lípidos.

La grasa contribuye al 17% aproximadamente de las calorías totales del grano. Cerca del 6% del Amaranto es insaturado, de los cuales un 40% es ácido linoleico que es un ácido graso esencial en la nutrición humana. Contiene además ácidos oleico y palmítico en cantidades apreciables y trazas de esteroides y ésteres del esteroide y de 4.6% - 6.7% de escualeno, siendo este último de interés ya que es un intermediario de la biosíntesis esteroidea, desconociéndose sin embargo, como puede esto afectar la calidad del aceite.

d. Minerales.

Los valores altos reportados, especialmente para el calcio, podría deberse a que el ácido fítico posiblemente esté en forma de sal insoluble de calcio en la semilla. El contenido de vitaminas y minerales en especial el hierro y provitamina A, hacen del amaranto un cultivo de gran potencial alimentario y nutricional.

El contenido de proteínas es más alto que los valores reportados para los cereales, como se observa en cuadro No. 3, lo que hace de gran importancia al Amaranto como cultivo potencial para la nutrición humana y animal (López, 1998).

Cuadro No. 2. Composición química del grano de amaranto (UES-CENTA, 1991).

Parámetro	Unidad	Porcentaje (p/p)
Humedad	g	6.2 – 10.7
Proteína	g	13.0 – 17.8
Grasa	g	4.0 – 9.0
Fibra Cruda	g	3.2 – 9.2
Carbohidratos	g	60.0 – 71.0
Cenizas	g	1.09 – 4.9
Calcio	ppm	1250.0 – 4600
Fósforo	ppm	2900.0 – 7500
Hierro	ppm	31.0 – 215
Magnesio	ppm	2300. – 5400
Manganeso	ppm	15.9 – 48.1
Cinc	ppm	35.0 – 46
Cobre	ppm	6.0 – 13.2
Riboflavina	mg	0.03 – 0.32
Niacina	mg	1.19 – 4.30
Vitamina C	mg	1.7 – 7.24
Tiamina	mg	0.07 – 0.90

Cuadro No 3. Promedio de los componentes químicos de algunos cereales y del grano de amaranto (g / 100g) (Bressani, 1991).

	MAIZ	SORGO	ARROZ	TRIGO	AVENA	AMARANTO
PROTEINA	9.4	8.8	7.2	9.3	11.6	12.9
GRASA	4.3	3.2	0.6	0.7	3.1	7.2
FIBRA CRUDA	1.8	2.3	0.6	0.5	3.5	6.7
CENIZA	1.3	2.7	0.5	1.5	1.5	2.5
CARBOHIDRATOS	74.4	64.4	79.7	74.4	73.8	65.1
CALORIAS	361	342	364	307	370	377

1.5 Factores tóxicos o antinutricionales.

En el grano de amaranto además de poseer componentes nutritivos, se reportan posibles factores tóxicos.

La semilla de amaranto contiene un factor que disminuye su gustosidad y señalan como candidatos responsables a las saponinas y compuestos fenólicos. Sin embargo Sánchez-Marroquín dice que las semillas de amaranto no contienen saponinas ni compuestos fenólicos. Indica también que los oxalatos y nitratos están presentes en cantidades no significativas, por lo que pueden eliminarse por medio del lavado (Arevalo, Reyes, Martínez, 2000).

Otros estudios realizados por diversos autores indican que en el grano de amaranto es posible encontrar:

- a) Actividad antitriptica de 8017 UTI/g (Unidad inhibidora de tripsina) que disminuyó a 1636 UTI/g en semilla tostada. Valores bajos al compararlos con 10,000 UTI/g que es la cifra que se considera apta en productos para consumo humano.
- b) Fitatos en proporciones de 2.2-3.4 mg/100 g que posiblemente interfieren con la biodensidad del hierro.
- c) Hemaglutininas en grano crudo en una proporción de 5 y 0 unidades en el tostado. Imery indica la presencia de hemaglutininas en harina cruda pero no en harina cocida.
- d) Taninos presentes en las testas de semillas variedades parda y negra, no así en las claras. En otro estudio se encontró una proporción mayor de taninos en el grano oscuro que en el grano claro. Sin embargo, los niveles encontrados en el grano de color blanco son bajos y pueden ser eliminados por procesos térmicos, de tal manera que se puede decir que son inocuos desde el punto de vista nutricional.

Se presenta un amplio rango en el contenido de oxalatos en amaranto, variando de 5.22 a 24.98 mg/100g en base seca, por lo cual estos resultados sugieren un éxito potencial para la selección y/o el desarrollo de líneas más bajas de oxalato. Sin embargo, aún se han reportado niveles mas bajos de oxalato en el amaranto donde se enfatiza que hay diferentes genotipos con un bajo porcentaje en base seca, promediando en 1.10024% y teniendo un rango de 0.94% a 1.29% (Arevalo, Reyes, Martínez, 2000; Bressani, 1991).

1.6 Calidad nutricional de la proteína.

La composición amino acídica del grano de amaranto cuando se compara con el patrón del FAO/OMS 1973 (huevo), revela una proteína de buena calidad con valores altos para todos los aminoácidos y en especial para lisina en un 50 %, aminoácido en que los cereales comunes son deficientes, y triptófano que es una aminoácido azufrado, deficiente en las leguminosas de grano, estos se encuentran en cantidades apreciables en las semillas de amaranto.

Se reporta a la leucina como el primer aminoácido limitante y treonina como segundo en el amaranto.

Si se comprara la composición de aminoácidos del grano de amaranto con los valores reportados para los cereales (ver cuadro 4), se observa que el amaranto podría contemplar la deficiencia de lisina y triptófano en otros cereales y leguminosas de grano, que contienen cantidades apreciables de los aminoácidos en que es deficiente el amaranto, proporcionando la complementación, una proteína muy cercana al patrón estándar FAO/OMS.

Esta deficiencia de lisina y triptófano se corrige parcialmente mediante la suplementación con semilla de amaranto y así mismo la leucina y treonina, aminoácidos deficientes en el amaranto es suplementado por otros cereales y leguminosa (Thomas, 1988).

Cuadro No. 4 Algunos aminoácidos esenciales en los granos de los cereales (gaa/gn) (granos de aminoácido/granos de proteína o nitrógeno).

*Tomando como patrón de FAO el Huevo de gallina (Bressani, 1991).

AMINOACIDOS	MAIZ	SORGO	ARROZ	TRIGO	AVENA	AMARANTO	PATRON FAO*
Isoleucina	0.289	0.34	0.279	0.253	0.301	0.225	250
Lisina	0.18	0.17	0.235	0.16	0.214	0.321	340
Leucina	0.81	1.004	0.513	0.391	0.437	0.321	440
Metionina	0.116	0.108	0.107	0.089	0.086	0.136	220
Treonina	0.249	0.224	0.233	0.168	0.193	0.215	250
Triptofano	0.038	0.07	0.064	0.072	0.075	0.056	60

1.7 Efecto del procesamiento en la calidad nutritiva del grano de amaranto.

El procesamiento de un alimento se refiere al conjunto de fases sucesivas que involucran la transformación de materias primas en productos acabados. Una de las categorías dentro del procesamiento de productos agrícolas en la transformación de un material crudo, mediante diferentes operaciones unitarias, en un producto con características aceptables por el consumidor; estas transformaciones en la mayoría de los casos alteran las propiedades físico-químicas y nutricionales de la materia prima original.

Después de la cosecha, el grano de Amaranto, es sometido a limpieza y secado, luego a procesos como extrusión, reventado, nixtamalizado y germinado (Solano, 2002).

1.7.1 Extrusión.

“Extrusión es el proceso por el cual el material alimenticio es forzado a correr bajo una o más variedades de condiciones de mezclado, calor y deslizamiento a través de un conducto diseñado para formar y/o secar el extrusado”. En este proceso, el almidón y/o las proteínas son convertidos en una masa plastificada y viscosa, dando como resultado el rompimiento molecular, mezclado, esterilización, gelatinización del almidón, desnaturalización de la proteína,

inactivación de ciertas enzimas que pueden deteriorar los alimentos en almacenamiento y destrucción de sustancias tóxicas (Martínez, 1988).

Respecto al Amaranto el proceso de extrusión mejoró el valor nutritivo del grano de Amaranto, no teniendo efecto significativo sobre la digestibilidad verdadera de harinas GUA-17 (*A. cruentus*) y CAC-38 (*A. caudatus*). Así mismo, el proceso de extrusión no afectó significativamente la disponibilidad del aminoácido lisina. (Martínez, 1988)

1.7.2 Reventado.

En este proceso el grano de Amaranto está en contacto directo con una superficie caliente por 5 0 10 segundos, hasta que la mayor parte de los granos ha tomado un color blanco, se observan expandidas y no se escucha más el ruido del reventado. Se remueven constantemente para evitar que se quemen. El proceso de reventado incrementa el volumen de la semilla desde valores reportados de 390% a 1050%, incremento que se atribuye al tamaño de los gránulos de almidón, a su forma esférica, angular o poligonal, a su bajo contenido de amilasa, bajo poder de hinchazón, alta solubilidad gran capacidad de retención de agua y un alto rango de temperatura de gelatinización. Otros factores importantes en el volumen de expansión son: humedad del grano al tostarse, temperatura y condiciones de almacenamiento, temperatura de reventado, madurez de la semilla y genotipo.

El reventado imparte sabor, color y aroma agradable, destruye factores antifisiológicos, mejora la relación de eficiencia proteínica (PER) y la digestibilidad, sin embargo, induce reacciones de algunos aminoácidos tales como la Lisina con los carbohidratos presentes en el alimento, ocasionando reducciones que van hasta un 30 % en la lisina reactiva del amaranto reventado respecto al crudo, y si el tratamiento térmico es muy severo, se pueden racemizar aminoácidos como alanina, ácido aspártico, ácido glutámico y fenilalanina.

1.7.3 Nixtamalizado.

Este método, también llamado método alcalino de cocción, es el proceso mediante el cual el grano de Amaranto es hervido con cal para ser cocinado. El porcentaje de cal varía entre 0.4% a 1.3% del peso del grano; y el tiempo de cocción puede variar entre 7 y 10 minutos.

Durante este proceso se produce un desprendimiento de la cáscara del grano, parte de la capa aleurónica y parte del germen. Las otras pérdidas son químicas, como por ejemplo, vitaminas del complejo B.

Además la nixtamalización mejora la calidad del grano de Amaranto, y la textura de la masa mejora, la digestibilidad aumenta 75% a 80%, la calidad proteica se aproxima a la de la caseína, aumenta el contenido de calcio y grasa; generando así un aumento del valor nutritivo. (Martínez, 1988)

1.7.4 Germinado.

Es un proceso antiguo que ofrece una alternativa para incrementar la calidad nutritiva del grano.

El grano después de lavado se somete a un tratamiento para disminuir la cuenta bacteriana en las semillas utilizando un antimicrobiano, seleccionado a partir de estudios realizados al respecto.

Las investigaciones realizadas con diferentes antimicrobianos, como el hipoclorito de calcio al 5% P/V, formaldehído 0.5% V/V y etanol al 70% V/V, encontraron que disminuyen significativamente la cuenta bacteriana, pero el hipoclorito de calcio, disminuye la capacidad germinativa de la semilla al 50%, el etanol la inhibió completamente y con el formaldehído se obtiene una capacidad germinativa del 87%, por la cual se opta por utilizarlo como antimicrobiano, previo al tratamiento de germinación.

Después que el grano ha sido sometido a la acción antimicrobiana se coloca en condiciones de humedad y a temperatura de 25-30°C (Temperatura Ambiente) las cuales son las óptimas para la germinación del grano de amaranto. Durante la primera etapa los componentes de la semilla se liberan por medio de diferentes cambios bioquímicos que ocurren dentro de ella, sin embargo, después que estos compuestos se liberan son degradados y aprovechados para la formación de la nueva planta y por ello disminuyen.

El tiempo óptimo de germinación oscila entre las 48 y 79 horas, tiempo en el cual presenta mayor composición proteínica (16 a 18.5%). La composición química del grano germinado es la que presenta mayor contenido de proteína comparado con otros procesamientos y por sus características químicas se incorpora mejor en mezclas de harinas, ya que posee menor viscosidad que las harinas sometidas a otros tratamientos y permite incorporarla en mayor proporción cuando se utiliza para elaborar atoles (Martínez, 1988).

1.8 Potencial alimentario del amaranto.

Desde el punto de vista de su utilización el amaranto presenta tres líneas importantes de investigación, las cuales son necesarias para impulsarlo en los sistemas de producción (ver figura 4); (Bressani, 1991).

La primera de estas líneas es el grano, el cual ha llamado la atención por su contenido relativamente alto de proteína y grasa; además su proteína es una fuente rica en lisina y otros aminoácidos esenciales. Todos estos factores sitúan al amaranto por arriba de los cereales al menos desde el punto de vista nutricional.

La semilla puede ser utilizada en la elaboración de dulces (alegrías en México), tortillas, nachos, barquillos, tamales, harinas, atoles, pop – amaranto como cereal para el desayuno, que sirven como alternativa para mejorar nutricionalmente los alimentos tradicionales de nuestro medio, que por sus características organolépticas como el color blanco pálido, sabor y aroma

agradable, pueden mezclarse bien con la mayoría de los platillos tradicionales, sin alterar su sabor.

Los chinos utilizan la harina para hacer fideos, panqueques y dulces, utilizan el colorante para la salsa de soja, y alcanzan excelentes resultados empleando la planta como forraje para animales.

En Europa y Estados Unidos se consumen en forma de granos integrales, harina, copos, harina integral de amaranto tostado, amaranto reventado al estilo rosetas, polvo pregel de amaranto, aceite de amaranto, barras de cereal, pan de amaranto, tortillas de amaranto y maíz.

La harina generalmente se utiliza para enriquecer pastas, panes, galletas y alimentos para bebés.

En mezclas con harina de Trigo al 25-30% de Amaranto, se obtiene pan francés de alto valor nutritivo.

La segunda línea de investigación es la del amaranto como verdura. Las hojas en efecto son una fuente rica en carotenos y en hierro, además, contienen niveles proteínicos comparables a las de muchas otras verduras.

La proteína es de alto contenido en lisina, siendo por consiguiente, muy buen suplemento para los cereales.

La tercera línea es el uso del amaranto, ya sea de la planta completa, la planta sin inflorescencia, sin grano, o bien el residuo de la cosecha como alimento para la producción animal (forraje).

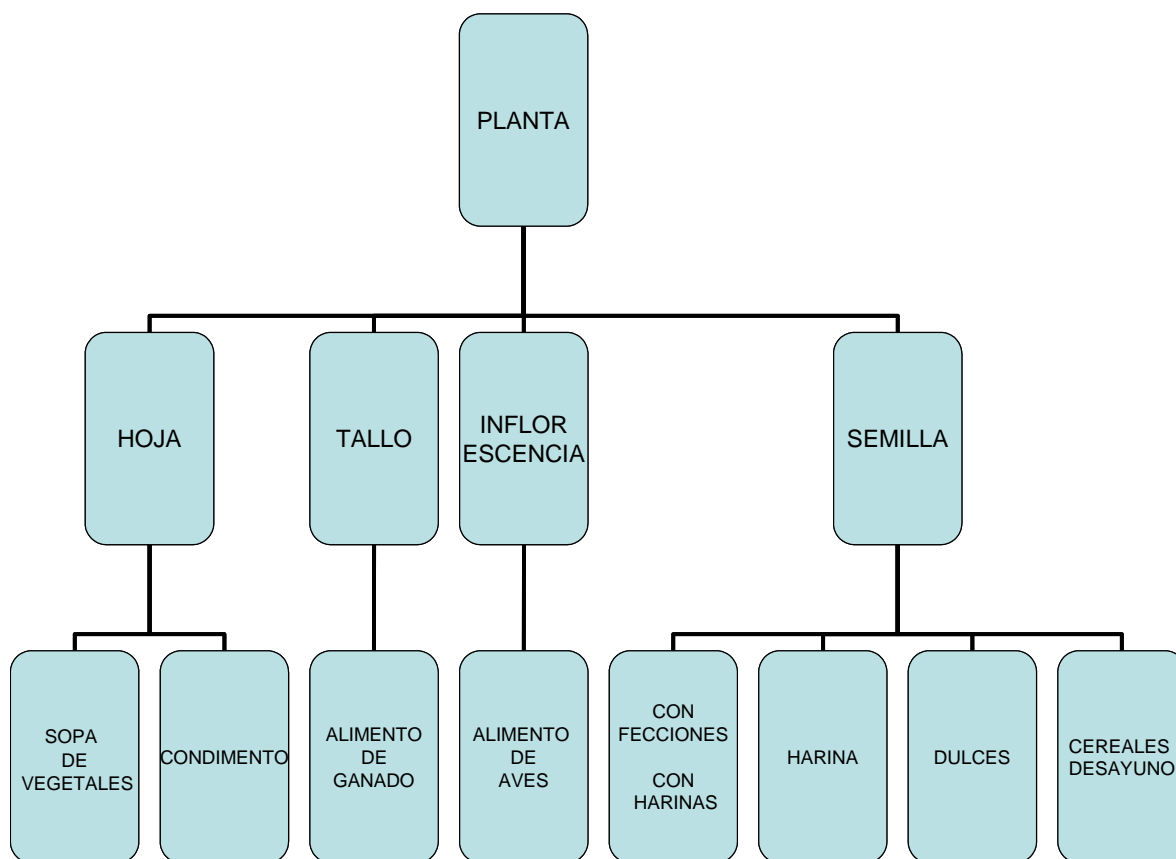


Figura 4. Potencial industrial del amaranto.

1.9 Disponibilidad

El cultivo de amaranto constituye una actividad productiva alternativa viable y rentable. Sus cualidades y propiedades nutritivas, agronómicas, industriales y económicas garantizan el éxito de la cadena nutritiva. Aunque la pérdida de una tradición es una desventaja.

El amaranto se produce en un ciclo corto (150-180 días, según la especie y variedad), soporta la escasez e irregularidad de lluvias, necesita de la humedad solamente en el momento de la siembra hasta que aparezcan los retoños. Los amarantos de grano se desenvuelven bien con escasa agua, más aún, llegan a crecer mejor en condiciones secas y templadas. La cantidad total de agua requerida por el amaranto de semilla a través de su ciclo vital es de solo el 60%

del agua en comparación al trigo o la cebada, por lo tanto el amaranto de semilla es un cultivo ideal para las regiones secas.

En México se ha desarrollado esquemas de agro asociaciones entre la empresa San Miguel de Proyectos Agropecuarios S.P.R. de R.S., y productores del Estado de México, bajo el concepto de producto-país. Por su parte, Perú, Argentina, Kenia, Tailandia, India, China, Polonia, entre otros, han establecido programas nacionales o sectoriales para el desarrollo del cultivo del amaranto. En países industrializados Japón, Estados Unidos, Alemania el consumo del amaranto se ubica en el ramo naturista y de consumo masivo (San Miguel, 2008).

La superficie destinada al cultivo de amaranto en México se encuentra poco desarrollada. El promedio estimado de superficie sembrada se halla entre las 1.000 y 1.300 ha, de baja consideración comparada con superficies cultivadas de los productos tradicionales.

En las últimas décadas el cultivo de amaranto se ha difundido de manera exponencial en varios países del mundo, particularmente en el Lejano Oriente. Hace más de cien años que fue introducido en China, pero a partir de la década de 1980, el gobierno impulsó su cultivo en suelos salinos y con problemas de irrigación, transformándolo en una fuente invaluable de alimento. Actualmente, China es el país en donde se cultiva la mayor superficie de amaranto, con más de 150 mil hectáreas, y posee uno de los bancos de germoplasma más importantes del mundo (Biodiversitas, 2008).

La India es otro de los principales productores del mundo y tanto el grano como las hojas se encuentran en numerosos platos de la cocina tradicional hindú. Este país se ha convertido en un centro secundario de diversificación y cuenta con el segundo banco de germoplasma de amaranto más relevante del planeta.

En Estados Unidos el interés por el amaranto se incrementó a mediados de la década de los 70 con la creación de la Fundación y el Centro de Investigación Rodale. Aunque la superficie sembrada no alcanzó grandes dimensiones, estabilizándose en cerca de 500 hectáreas, el interés por el producto ha ido en

aumento y actualmente EE.UU. comparte con Japón la vanguardia en la investigación agronómica y la tecnología de uso alimentario. En Iowa, se encuentra una colección de germoplasma de amaranto más importante que en 1999 ya contaba con 3400 registros de variedades provenientes de todas las latitudes.

La producción de amaranto en Perú, es una tradición milenaria que decayó largos siglos. Durante el año 2000 se cosecharon 1800 hectáreas y se produjeron 2700 toneladas, y en el primer semestre de 2001 la producción aumentó 50% respecto al mismo período del año anterior. Los avances agronómicos en este país son muy importantes, cuenta con dos de las colecciones de germoplasma de amaranto más importantes del mundo y es el país donde se han alcanzado los mayores rendimientos. En algunos ensayos experimentales se obtuvieron rendimientos en grano de hasta 72 qq/ha de grano, muy superiores al promedio mundial, que ronda 10- 30 qq/ha. El cultivo comercial del amaranto en Argentina ocupa menos de 50 hectáreas anuales, y la producción alcanzaría las 50 toneladas. La siembra se realiza en forma esporádica y con compromiso de compra previa, generalmente coordinado por la exportación.

En Guatemala se cultiva en el área de Chimaltenango y Atitlan por medio de cooperativas, sin mayor registro estadístico.

En el Salvador solo se ha cultivado a nivel de investigación en San Andrés y en la Facultad Multidisciplinaria de Occidente de la Universidad de El Salvador.

En Estados Unidos, el amaranto en grano se vende al consumidor a U\$S 3/Kg, el producto orgánico a U\$S 4,5/Kg y la harina de amaranto orgánico a U\$S 5,5/Kg.

Respecto al comercio mundial, no existen datos oficiales de exportaciones, de derechos de importación ni de preferencias arancelarias, debido a que este grano carece de posición arancelaria propia.

CAPITULO II

REQUERIMIENTOS TECNICOS DE PRODUCCION

2.1 Control de calidad de harinas.

Antes de determinar la calidad de la harina, es necesario precisar el uso que se le va a dar, ya que anteriormente se confundió la calidad con la fuerza de la harina, para que esta tuviera la capacidad de expandirse y retener los gases producidos durante la fermentación, cuando una que se dice débil puede ser excelente para la fabricación de galletas. Es muy importante evaluar las características de la harina para predecir su comportamiento durante los procesos de transformación y especialmente, de panificación (tecnología de cereales, 1998).

2.1.1 Contenido de humedad.

El contenido de humedad de la harina es una característica muy importante en relación a un almacenamiento seguro. La harina no debe tener más del 12% de humedad.

2.1.2 Proteína: cantidad y calidad.

Tanto la calidad como la cantidad de la proteína son importantes cuando queremos determinar el uso apropiado para una harina. La cantidad de proteína cruda de una harina esta relacionada con el nitrógeno total, mientras la evaluación de su calidad se relaciona, especialmente, con las características físico-químicas de los componentes del gluten.

2.1.3 Cenizas.

La prueba de cenizas se utiliza para medir el grado de extracción de la harina (cuadro 5), porque el endospermo puro contiene muy pocas cenizas, mientras el salvado, capa aleurona y germen contienen mucho más.

Cuadro No. 5. Clasificación de la harina según su contenido de ceniza.

Harina	Contenido de cenizas %
Especial	0.64 máximo
Extra	0.65 - 1.0
Corriente	1.01 – 1.20
Semi – Integral	1.21 – 1.40
Integral	1.41 mínimo

2.1.4 Color de la harina.

La prueba del color de la harina informa también sobre el grado de extracción, tal como la prueba de cenizas. Se mide el poder de reflexión de la luz de la harina

2.1.5 Almidón dañado.

El contenido de almidón dañado de la harina afecta principalmente la absorción de agua de una harina, pero también es importante durante la fermentación por que ofrece un sustrato para las enzimas amilolíticas. Solo los gránulos dañados del almidón son susceptibles a la acción de la amilasa en un almidón gelatinizado.

2.1.6 Actividad enzimática.

En la elaboración de productos esponjados con levadura, el gas dióxido de carbono es el agente que le proporciona esta característica durante la fermentación y horneado. Este gas es producido por las células de levadura a partir de azúcares simples presentes en la harina. Las enzimas que producen estos azúcares son las amilasas. Para regularizar la producción de dióxido de carbono en un grado que no excede la habilidad del gluten de retener el gas, se debe controlar la modificación enzimática.

2.1.7 Viscoamilografía.

Entre las propiedades más importantes del almidón tenemos su capacidad para hincharse y formar una pasta viscosa cuando una suspensión de almidón/agua es calentada hasta la temperatura de gelatinización. El hinchado de los gránulos del almidón y su desintegración consecutiva durante un calentamiento prolongado, conduce a cambios significantes en la viscosidad y otras propiedades reológicas de la pasta. Estas propiedades son características para cada tipo de almidón. Tales cambios ofrecen una información clave de la calidad del almidón u otros materiales que contienen almidón para su uso industrial.

2.1.8 Farinografía.

Con la farinografía se puede determinar el rendimiento probable de pan que puede dar una harina. También se puede usar para estudiar la influencia sobre la consistencia y características de la masa de mejoradores como bromatos, malta y enzimas.

2.1.9 Alveograma.

Es una grafica característica de cada harina, en donde se mide: Extensibilidad o fuerza de elasticidad de la masa y la Tenacidad o estabilidad de la masa. Figura 5.

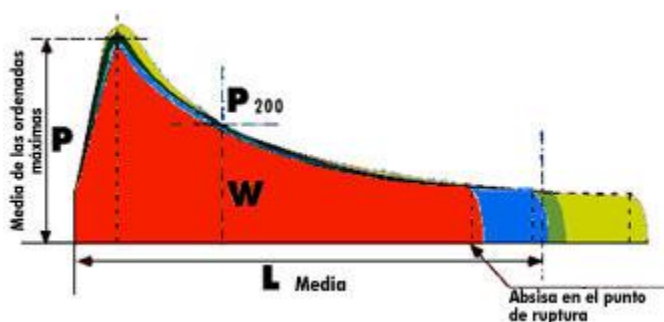


Figura No. 5. Alveograma de la harina de trigo, donde P es tenacidad, L es extensibilidad y W es fuerza.

2.2 Generalidades sobre la harina de amaranto.

Una de las formas mayormente utilizada de los granos de amaranto es en la forma de harina, como los cereales. Como harina compuesta, el amaranto se utiliza en la manufactura de pan con levadura y de otros productos de harina horneada. Uno de los factores que afectan la calidad de la harina y el producto horneado de harina es el contenido de almidón dañado. La dureza del grano, el nivel de acondicionamiento, el tipo de molino y la severidad de la molienda son algunos de los factores que afectan el nivel de almidón dañado en granos molidos (Cuadros 6 y 7).

El grano de amaranto ya limpio se temple a través del agregado de agua (3% p/p) y se deja en reposo por 45 minutos con mezclado a intervalos de 10 minutos. Los granos son molidos y las fracciones generadas son separadas por un juego de varios tamices. Se debe controlar que el proceso de molienda no afecte en forma significativa la composición proximal de la harina comparada con la del grano.

Cuadro No 6. Efecto del tipo de molino sobre la distribución de la partícula de la harina de amaranto. (Bressani, 1991).

Distribución de harina, % p/p					
Tipo de molino	> 425 μm	> 300 μm	> 212 μm	> 150 μm	< 150 μm
Martillos	50	20	30	-	-
Quadrumat de Brabender (rodillos)	52	20	18	10	-
Premier (1 pasada)	58	12	24	6	-
Premier (2 pasada)	25	27	27	21	-

Cuadro No. 7 Composición química proximal y contenido de almidón dañado del grano y harina de amaranto, % p/p (datos en base seca, excepto humedad).

Muestra	Humedad	Proteína	Grasa	Fibra	Ceniza	Almidon Dañado
Grano de Amaranto	8.9	12.3	4.4	5.9		
Harina de: Molino de martillos	10.5	12.1	4.9	4.3	2.0	13.8
Molino Quadrumat	9.6	11.4	5.2	4.5	3.0	28.8
Molino Premier 1er paso						30.7
Molino Premier 2º paso						56.1

2.2.1 Propiedades funcionales de la harina de semilla de amaranto.

El enriquecimiento de alimentos tradicionales y el reemplazo de las proteínas de uso convencional por otras no comunes, dependen de que estas últimas dispongan de propiedades funcionales adecuadas, las cuales facilitan su incorporación en la industria de alimentos. En tal sentido se presenta en el cuadro 8 el efecto de la temperatura sobre las propiedades funcionales de la harina de amaranto.

Referente a la absorción del agua y aceite, la temperatura no afecta estas propiedades, ya que los valores se mantuvieron prácticamente constantes a medida que se aumenta la temperatura. Esto confirma que las proteínas no son los únicos factores responsables de la formación de puentes de hidrogeno por absorción de agua, sino que también influye en gran medida el contenido de carbohidratos que (en las harinas de amaranto) representa aproximadamente el 70%. La absorción de aceite por parte de las mismas se reduce en un 15% al aplicar la temperatura de esterilización.

Al comparar los datos con los referentes a la harina de soya (cuadro 8), éstos revelan que la absorción de agua y aceite es superior en las harinas de amaranto. Por tanto, pueden ser utilizadas en la elaboración de productos de panadería, como en efecto ya son empleadas (Williams, 1995).

Cuadro No.8. Absorción de agua y aceite de la harina de semilla de amaranto.

Muestras de harinas de amaranto sometidas a	Absorción de agua %	Absorción de aceite %
60 °C por 4 horas	420	150
80 °C por 1 hora	420	150
90 °C por media hora	415	150
120 °C por 10 minutos	380	130
Harina de soya	250	140

2.2.2 El amaranto y su uso en las panaderías rurales de El Salvador.

Desde hace más 15 años El Centro Multidisciplinario de Occidente de la Universidad de El Salvador, ha impulsado el estudio de la semilla de amaranto, con semilla del INCAP (Guatemala). La semilla de amaranto es producida en parcelas de las familias del área rural, contiene alrededor del 15% de proteína y una composición aminoácido muy buena, en particular la cantidad de lisina y de aminoácidos azufrados que ayudan a mejorar la calidad nutritiva de los cereales comunes y de los productos preparados con ellos. Además, las cantidades útiles para mejorar la calidad nutritiva del arroz, del maíz o de la harina de trigo no interfieren con las características de manufactura, sabor, olor, color y textura de los productos de los cereales elaborados con el grano de amaranto. Estas características han servido para capacitar a amas de casa, de la zona occidental de El Salvador, en la utilización y preparación de harinas compuestas de maíz/amaranto (80/20) en tortilla fortificada; arroz/amaranto (90/10) al hacer tortas; trigo/amaranto (85/15) en donas, pan blanco y pan francés (Santamaría, 1995).

De acuerdo con formulaciones previamente desarrolladas, los productos que fueron analizados demostraron, respectivamente, las cantidades de proteína

siguientes: 8.8%, 8.6%, 12.4%, 11.7% y 13.0%. Es decir, resalta el contenido proteico cuando se comparan con los productos comerciales. En cuanto a la digestibilidad aparente, alcanzaron un 85%. Un aspecto muy importante es que los agricultores han aceptado al amaranto dentro de la banda de cultivos de El Salvador.

Para la preparación de las harinas compuestas, así como en el caso de alimentos con harina de trigo y de arroz, la semilla de amaranto fue sometida a un proceso de expansión después de que se lavó con una solución de bicarbonato de sodio al 5%. Para la preparación de tortillas de maíz, el grano de amaranto se somete a la nixtamalización (cocción con 0.4% de cal) y ya cocido se mezcla con el maíz también cocido y se transforma en masa, en un molido de discos o piedra.

2.3 Generalidades sobre la harina de trigo

2.3.1 Composición del grano de trigo.

El grano de trigo se compone de la siguiente manera:

Endospermo = Mas o menos el 83% del grano de trigo.

Afrecho = Mas o menos el 14.5 % del grano de trigo,

Germen = Mas o menos el 2.5% del grano de trigo.

2.3.2 Clasificación de la harina de trigo.

De acuerdo a su composición las harinas de trigo se clasifican en harinas blanqueadas y harina Integral.

2.3.2.1 Harina blanqueada.

Las harinas blanqueadas son aquellas que durante el proceso de molienda, se separa el germen y afrecho del endospermo.

Estas harinas son sometidas a un proceso de “blanqueo”, con agentes químicos como peróxido de benzoilo, cloro, etc. Además se le adicionan otras sustancias como bromato de potasio, ácido ascórbico, azodicarbonamida, etc.

Este tipo de harina incluye, las siguientes categorías: (Molsa, 2009)

a) Grado A o harina de trigo fuerte o extrafuerte.

Esta harina presenta alto contenido de proteínas y de gluten. Se utiliza en la elaboración de pan francés y panes de gran volumen con levadura.

b) Grado B o harina de trigo semi-fuerte.

La harina grado B presenta un contenido mediano de proteínas y gluten. Se utiliza a nivel doméstico y en la elaboración de pan dulce especial y pizza.

c) Grado C o harina de trigo suave

La harina de trigo suave presenta bajo contenido de proteínas y gluten. Se usa para la elaboración de pan dulce, barquillos y galletas.

d) Grado D o harina extra- suave

La harina grado D presenta un contenido bajo en proteínas, gluten y cenizas. Se utiliza en la elaboración de pasteles.

2.3.2.2 Harina Integral.

La harina integral se obtiene del trigo completo (endospermo, afrecho y germen), pueden ser fuertes o suaves, contiene altos contenidos de fibra y es utilizada para la elaboración pan integral (francés o dulce)

2.3.2.3 Características de harinas fuertes.

- Mayor absorción del agua.
- Mayor resistencia al amasado.
- Más tolerancia al tiempo de fermentación.
- Mayor volumen y rendimiento.
- Ásperas al tacto.

2.3.2.4 Características de harinas suaves.

- Menos absorción de agua.
- Menos resistencia al amasado.
- Menos tolerancia a la fermentación.
- Una miga más compacta.
- Textura sedosa al tacto.

2.3.3 Composición química.

Los requisitos físicos y químicos de cada tipo de harina se especifican en el cuadro no. 9.

Cuadro No. 9. Determinaciones que se realizan a los tipos de harina de trigo.
Fuente NSO 34083:95. CONACYT.

Determinaciones	Grado A	Grado B	Grado C	Grado D
Humedad en %, máximo	14.0	14.0	13.8	13.8
Proteínas (Nx5.7) en % mínimo	12.0	9.5	8.5	7.0
Gluten húmedo en %, mínimo	29.0	27.0	24.0	18.0
Ceniza en % máximo	0.62	0.60	0.60	0.50

Entre los componentes de la harina de trigo tenemos:

a) Carbohidratos.

Los carbohidratos constituyen la mayor parte del endospermo del trigo, estos carbohidratos varían en complejidad, siendo su forma más simple los monosacáridos o azúcares sencillos, los disacáridos son combinaciones de azúcares sencillos que se hidrolizan o desdoblan en sus formas más simples en presencia del agua.

El almidón es un carbohidrato complejo que se encuentra en la harina como gránulos o fracciones de gránulos.

b) Proteínas

Estas se clasifican como Insolubles y Solubles.

1.- Las proteínas insolubles, están formadas por la gliadina y la glutenina, que son las que forman el gluten, la glutenina se dice da fortaleza, hace que se retenga el gas mientras que la gliadina proporciona las cualidades de extensibilidad y elasticidad. El gluten formado es el componente que forma en la masa una red tridimensional y retiene los gases formados durante la fermentación.

2.- Las proteínas solubles, que representan el 1% de la proteínas de la harina, la albúmina es soluble en agua mientras que la globulina es soluble en solución salina.

c) Cenizas

Están situadas en el afrecho en su mayor proporción y es la cantidad de material mineral que contiene la harina.

d) Humedad

En la harina se permite un 14% de humedad como máximo. La harina con mucha humedad puede alterarse por crecimiento de hongos. Al utilizar la harina que ha perdido humedad se debe compensar agregándole más agua en el mezclado.

d) Grasa

En la harina de trigo contiene del 1al 2% de grasa, como la mayor parte se encuentra dentro del germen, un gran porcentaje de grasa se separa durante la molienda. La grasa de harina de trigo al igual que todas las demás grasas sufren alteraciones debido a procesos de oxidación y enranciamiento, por tal razón, la industria harinera se esfuerza por eliminarla de la harina blanca.

e) Fibra

La fibra se encuentra de 0.10 al 4% en harina de trigo, está constituida principalmente por celulosa.

2.4 Operaciones unitarias para la obtención de harina de amaranto.

Existen cuatro métodos para la obtención de harina de amaranto y sus parámetros técnicos se mencionan en el cuadro 10; Las Operaciones unitarias aplicadas se mencionan a continuación (Amaranth Institute, 1987):

a) Reventado del grano (popeado, tostado, expansión)

Las operaciones aplicadas son:

- Limpieza del grano
- Secado (al sol generalmente)
- Reventado del grano por exposición a una superficie caliente o a una corriente de aire caliente.
- Tamizado.
- Molienda.

b) Nixtamalizado.

Las operaciones aplicadas son:

- Cocción del grano
- Lavado
- Secado (al sol generalmente)
- Molienda

c) Molienda proceso seco.

- Acondicionado
- Limpieza
- Molienda con rodillos

- Secado por aire
- Tamizado
- Transporte y mezclado

Los métodos anteriores pueden variar con otras operaciones como Germinado, Extrusión y Hojueado.

Cuadro No. 10 Detalles técnicos para el procesado del amaranto. Fuente: Amaranth Institute (1987).

Operación	Proceso artesanal	Proceso Industrial
Limpieza	Separación manual o con zarandas de semillas no deseadas	Maquinas separadoras por densidad, utilizan aire y tamices
Reventado	Cómales o planchas calientes en un rango de 180 ° C a 200 ° C por 15 segundos	Tostadores de lecho fluidizado en el que la semilla entra en contacto con aire caliente a 160 ° C por 10 segundos.
Tamizado	Separación de semillas y / o harina con un colador o tamiz	Serie de tamices colocados dentro de cajas con movimiento de vaivén
Molienda	Molino de piedra, de discos	Molinos de rodillos ranurados, lisos, de martillos, de pines, etc.
Nixtamalizado	Cocción por 10 minutos en agua hervida con el 0.4 % P/P de cal.	Maquinas de tren húmedo con cocción con agua a 90 ° C y cal al 0.5 % P/P

2.5 Equipos utilizados a nivel industrial.

En la figura 6 se muestra el proceso industrial para la obtención de harinas. En el cuadro No. 11. Se muestran los equipos con mayor detalle (Ioporcaro, 2009).

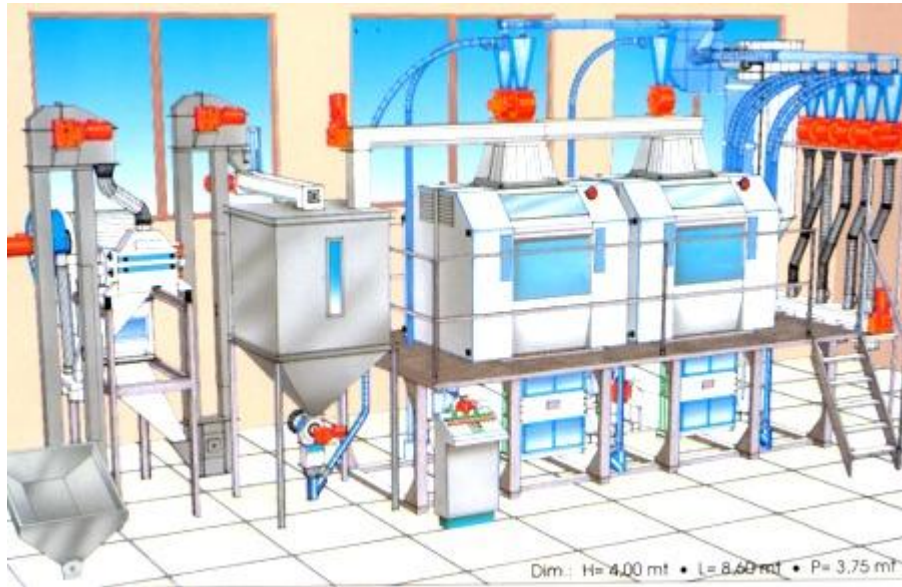


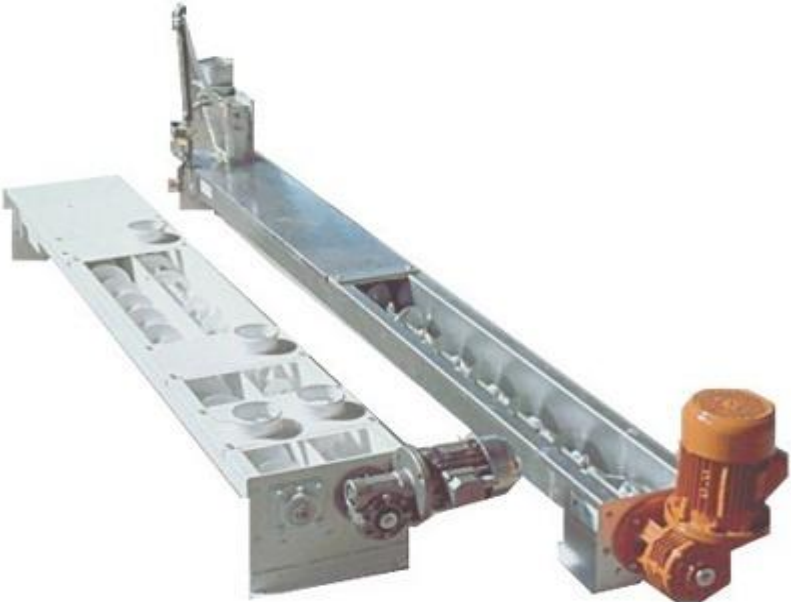



Figura No. 6. Molidor tipo rodillos compacto para la molienda de cereales, realizado con el acoplamiento de dos módulos. (Ioporcaro, 2009).

Cuadro No. 11. Diferentes equipos industriales para la producción de harina. (Ioporcaro, 2009).

Nombre del equipo	Foto o diagrama de diseño
SEPARADOR VIBRANTE	
MOLINO DE PINES (escala de laboratorio)	

Cuadro No. 11. Diferentes equipos industriales para la producción de harina. (Ioporcaro, 2009).

Nombre del equipo	Foto o diagrama de diseño
<p>MEZCLADOR Y TRANSPORTADOR HELICOIDAL</p>	
<p>BANCO DE CILINDROS PARA MOLIENDA</p>	

CAPITULO III

PARTE EXPERIMENTAL

3.0 Metodología de Elaboración.

Debido a que la harina de amaranto no posee gluten, se considero utilizarla en mezcla del 20% y 50% como mezclas óptimas con harinas de trigo para las formulaciones desarrolladas. Se utilizó harina de amaranto tostado y sin tostar (crudo). Los productos obtenidos se evaluaron sensorialmente y químicamente para conocer el nivel de aceptación y el efecto sobre las variables críticas del proceso de obtención de harina de amaranto.

3.1 Materias primas empleadas.

- a) Amaranto
- b) Harina de trigo

En el cuadro 12 se muestra una breve descripción de la materia prima utilizada en el experimento; vale mencionar que dado el buen precio con que se vende la harina de amaranto en el mercado detallista se cotiza la harina a un precio de 4.00 \$ / lb, en Guatemala; en México el costo al mayoreo de la semilla oscila entre 0.24 \$ / Kg. y 1.00 \$ / Kg.

Cuadro No. 12 Características de las materias primas utilizadas

Nombre	Nombre Científico	Muestra Vegetal	Variedad	Lugar de obtención	Precio de venta / kg
Amaranto	Amaranthus cruentus	Semilla	K – 277	Centro Kulbalib Quiche Guatemala	1.0 USD
Trigo	Triticum Sativum	Harina fuerte	Triumph, Scout, Centurk, Tagle, Parker	Molsa San Salvador	0.86 USD
Trigo	Triticum aestivum	Harina Suave	Monon, Konx, y Red Coat.	Molsa San Salvador	1.0 USD

3.2 Obtención de Harina de Amaranto.

Para la obtención de harina de amaranto se partió del grano de amaranto, siguiendo los pasos que se enumeran a continuación (ver figura 7):

a) Limpieza y Lavado.

Se utilizó coladores para cernir y aire, con la finalidad de eliminar todas las impurezas y cualquier cuerpo extraño que pudiera existir en la materia prima, sometiendo el grano a una corriente de aire creada por un ventilador de mesa.

Posteriormente se lavó con solución de bicarbonato de sodio al 5% y suficiente agua, removiendo continuamente de 5 a 7 minutos, para eliminar la astringencia de la semilla. A continuación se lavo con agua y se colocó en lienzos de tela y se secó al sol.

b) Reventado.

Una vez seco el grano, se reventó en una cacerola de teflón, donde el grano de amaranto está en contacto directo con la superficie de 10 a 25 segundos, a una temperatura entre los 175 a 195 °C, removiendo constantemente hasta que los granos se revienten. El grano reventado se tamizó para remover los granos tostados que no reventaron (Ver figura 8).

c) Molienda.

Después del reventado se procedió a moler la materia prima, utilizando un molino de discos con el objeto de triturar y obtener la harina.

Al moler la semilla sin tostar fue necesario molerla 2 veces no así con el tostado (ver figura 9).

d) Tamizado.

El proceso de tamizado se llevó a cabo para uniformar el tamaño de la partícula en las harinas y así poder homogenizar la granulometría a un tamaño de partículas que sobrepasen el 100% las 170 micras (malla 80)

e) Empacado.

La harina posteriormente se empacó en bolsas de polietileno para conservarlas para su posterior uso.

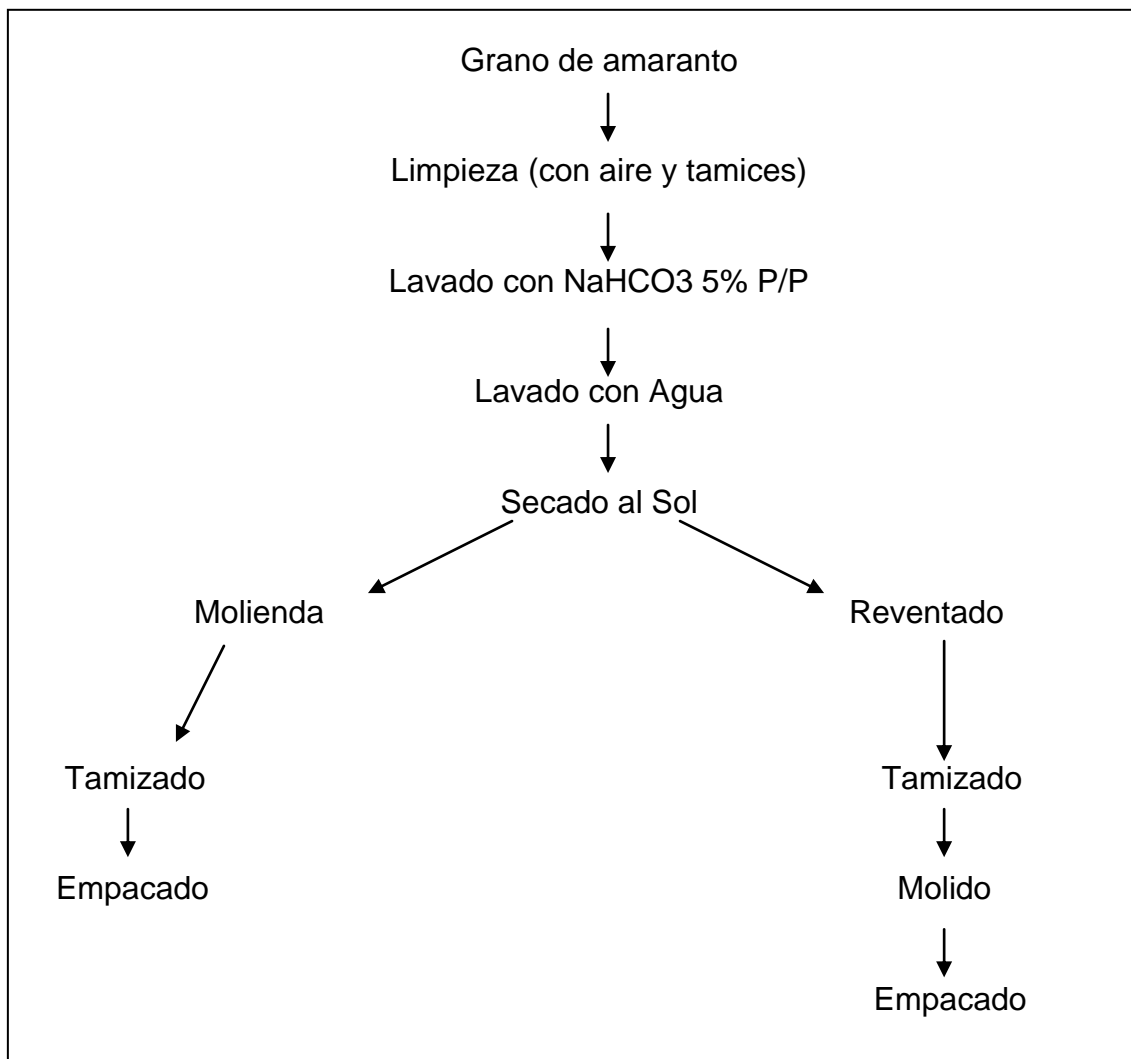


Figura 7. Proceso experimental de obtención de harina de amaranto.



Figura 8. Reventado de semilla de amaranto en superficie de teflón



Figura 9. Molido de amaranto tostado y crudo respectivamente, ambos en molino de discos.

3.3 Harina de Trigo.

Se utilizó harina de trigo fuerte, suave e integral de un productor nacional (Molinos de El Salvador) la cual es de uso común y de gran aceptación por los panificadores y mercado en general.

3.4 Construcción y balanceo de las formulas para preparar pan

Para elaborar una fórmula o revisar una ya hecha, deben de considerarse algunas condiciones de trabajo tales como:

- Tipo de producto que se quiere producir.
- Grado o tipo de harina a utilizar.
- Riqueza de la fórmula deseada.
- Costos.
- Tiempo de fermentación

Para elaborar fórmulas o balancear formulas ya hechas, es necesario tener presente cada uno de los cinco puntos citados y además tener conocimiento de los efectos que produce cada ingrediente en su mesa. Para así poder determinar como se puede utilizar mayor cantidad de un ingrediente y disminuir otro.

El balance de fórmulas se realizó utilizando la regla de tres.

En las panaderías siempre la harina es considerada como el 100% no importando la cantidad a utilizar. El resto de los ingredientes a emplear se calculan sobre la cantidad de harina a usar. Por ejemplo:

Harina	100.00%
Agua	55.00%
Sal	1.50%
Azúcar	1.00%
Manteca	2.00%
Levadura	Según tiempo de desarrollo

Con base a la fórmula promedio anterior podemos decir:

Si una bolsa de 50 libras es el 100%, ¿cuanto es el 55% de agua?

Harina 100.00 %	=	50 libras
Agua 55.00%	=	X

$X = 55.00\% \times 50 \text{ lb} / 100 \%$.

$X = 27.5$ libras de agua

De igual manera que el ejemplo anterior se procede con todos los ingredientes. Y con cualquier formula por que siempre se considera a la harina o mezcla como el 100%. Se recomienda para cuando el porcentaje a utilizar de algún ingrediente sea mínimo, hacer la conversión a onzas o gramos.

3.5 Preparación de mezclas de harina

3.5.1 Formulaciones

Tomando de base que la harina se considera el 100% en las formulaciones de pan las mezclas para los productos formulados fueron los siguientes:

- Salpor de amaranto 50 % p/p harina de trigo y 50 % p/p harina de amaranto.
- Pan Integral 80 % p/p harina de trigo y 20 % p/p harina de amaranto.
- Palitos de amaranto 50 % p/p harina de trigo y 50 % p/p harina de amaranto.

Se consideraron las mezclas anteriores como resultado de la evaluación previa de la cantidad óptima de amaranto que puede mezclarse con trigo, para los productos aquí desarrollados; y se aplicaron mezclas para la harina de amaranto tostado y harina de amaranto crudo. (Molsa, 2009).

3.5.2 Salpor de amaranto. (Ver anexo A)

Rendimiento: 26 salpores de 42.75 gramos (1 ½ onza).

Cuadro No. 13 Receta de salpor de amaranto.

INGREDIENTES	% p/p	Lbs.	Onz.	gramos
Harina Molsa Suave	50	0.5	8	227
Harina de Amaranto	50	0.5	8	227
Azúcar	30	-	4 ^¾	135
Manteca	27.5	-	4 ^½	128
Agua	31.25	-	5	142
Polvo de hornear	1.5	-	¼	7
Sal	1.5	-	¼	7
Huevos	3	-	½	14.25

Procedimiento:

1. Pesar correctamente todos los ingredientes.
2. Cernir la harina y colocar al centro.
3. Hacer una corona con la harina y colocar al centro, agua, azúcar, huevos y sal, deshacerla bien y luego agregar maneca.
4. Incorporar la harina en forma envolvente.
5. Hacer figuras, colocar en una lata semiengrasada.
6. Hornear a 350 °F (176.67° C) por 20 a 25 minutos.

Nota: Las unidades de medición utilizadas corresponden a las de uso común en las panaderías de microempresarios que utilizan equipo de medición con estas escalas.

3.5.3 Pan Integral. (Ver anexo A)

Rendimiento: 1106 gramos de pan (39 onzas); 17 panes de 28.5 gramos (1 onza); 1 pan de 285 gramos (10 onzas) y uno de 342 gramos (12 onzas).

Cuadro No. 14 Receta de pan integral de amaranto.

INGREDIENTES	% p/p	Lbs.	Onz.	Gramos
Harina	100	2	32	912
➤ Harina Fuerte	40%		12 ³ / ₄	364.8
➤ Harina Integral	40%		12 ³ / ₄	364.8
➤ Harina Amaranto	20%		6 ¹ / ₂	182.4
Azúcar	3	-	1	28.5
Manteca	2	-	¹ / ₂	14.25
Agua	51.6	-	16 ¹ / ₂	470
Sal	1.5	-	¹ / ₂	14.25
Levadura	1	-	¹ / ₄	7

Procedimiento:

1. Pesar correctamente todos los ingredientes.
2. Cernir la harina y colocar al centro.
3. Incorporar la harina y el resto de los ingredientes en una batidora casera o industrial.
4. Hacer figuras, colocar en una lata semiengrasada.
5. Dejar reposar por 1 hora para que levante.
6. Hornear a 392 °F (200.0° C) por 20 minutos.

3.5.4 Palitos de amaranto. (Ver anexo A)

Rendimiento: 36 unidades de 14.25 gramos (½ onza) cada uno.

Cuadro No. 15 Receta de palitos de amaranto.

INGREDIENTES	% p/p	Lbs.	Onz.	Gramos
Harina	100	0.75	12	342
➤ Harina Fuerte	50%		6	171
➤ Harina Amaranto	50%		6	171
Agua	54.0	-	6 ½	12
Sal	1.5	-	1/8	3.6
Levadura	5	-	1/8	3.6

Procedimiento:

1. Pesar correctamente todos los ingredientes.
2. Cernir la harina y colocar al centro.
3. Hacer una corona con la harina y colocar al centro, agua, azúcar, huevos y sal, deshacerla bien y luego agregar maneca.
4. Incorporar la harina en forma envolvente.
5. Hacer figuras, colocar en una lata semi engrasada.
6. Hornear a 350 °F (176.67° C) por 20 a 25 minutos.

3.6 Evaluación Sensorial.

En la figura 10, se muestra el flujo del proceso diseñado para la evaluación sensorial de cada muestra en estudio.

3.6.1 Análisis sensorial. (Ver anexo C)

El análisis sensorial se llevó a cabo realizando una prueba hedónica con un panel de 17 degustadores de una empresa, utilizando dos muestras por producto para cada uno, debidamente clasificados.

A cada uno de ellos se les entregó un formulario que se muestra en el anexo B, seguidamente se les proporcionó las siguientes muestras:

- Salpor: muestra patrón (base de trigo), seguido de los que contiene amaranto.
- Pan Integral: muestra patrón (base de trigo), seguido de los que contiene amaranto.
- Palitos: muestra patrón (base de trigo), seguido de los que contiene amaranto.

Las muestras evaluadas estaban a las mismas condiciones de temperatura, además de estar servidos de la misma manera como se consume normalmente.

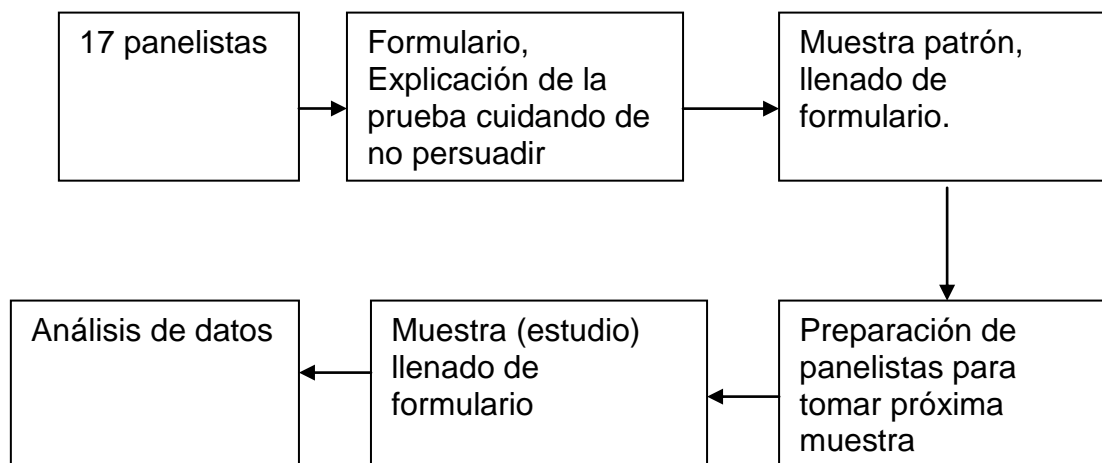


Figura 10. Proceso de análisis sensorial de las muestras en estudio.

El objetivo de esta evaluación fue seleccionar entre dos muestras (patrón y estudio). De acuerdo al criterio de cada persona, cual era el pan que mas le agradaba.

El análisis estadístico de los resultados se realizó mediante la prueba de chi cuadrado la cual permite establecer si existe o no diferencia significativa entre las muestras de pan sometidas a dicha evaluación.

Si existe diferencia significativa entre las muestras se descartará la que haya tenido menor cantidad de proteínas.

Si los resultados indican que no existen diferencia significativa entre las muestras analizadas se seleccionara la muestra que haya tenido mayor aceptación o que reporte un mayor contenido de proteínas.

3.6.2 Resultados del análisis.

Este análisis compara el pan patrón y el pan de estudio, respecto a su sabor y aroma. Los resultados se muestran en los siguientes cuadros, con sus respectivos gráficos. Estos resultados provienen de la evaluación sensorial (anexo C) realizado con una muestra de 17 panelistas.

3.6.2.1 Evaluación del salpor.

Según los resultados del cuadro 16 y reflejados en la figura 11, se observa que hay un mayor porcentaje de aceptabilidad del salpor de amaranto tostado al ser comparado con el salpor de amaranto crudo; pero aun así es mas aceptado el salpor de trigo.

Cuadro No. 16 Aceptación del salpor patrón y los de estudio.

Categoría	Puntaje	Salpor patron		Salpor amaranto c		Salpor amaranto T	
		No. Panelistas	Porcentajes	No. Panelistas	Porcentajes	No. Panelistas	Porcentajes
Gusta mucho	5	9	53%	4	24%	6	35%
Gusta moderadamente	4	8	47%	13	76%	11	65%
Ni disgusta Ni gusta	3	0	0%	0	0%	0	0%
Disgusta moderadamente	2	0	0%	0	0%	0	0%
Disgusta mucho	1	0	0%	0	0%	0	0%

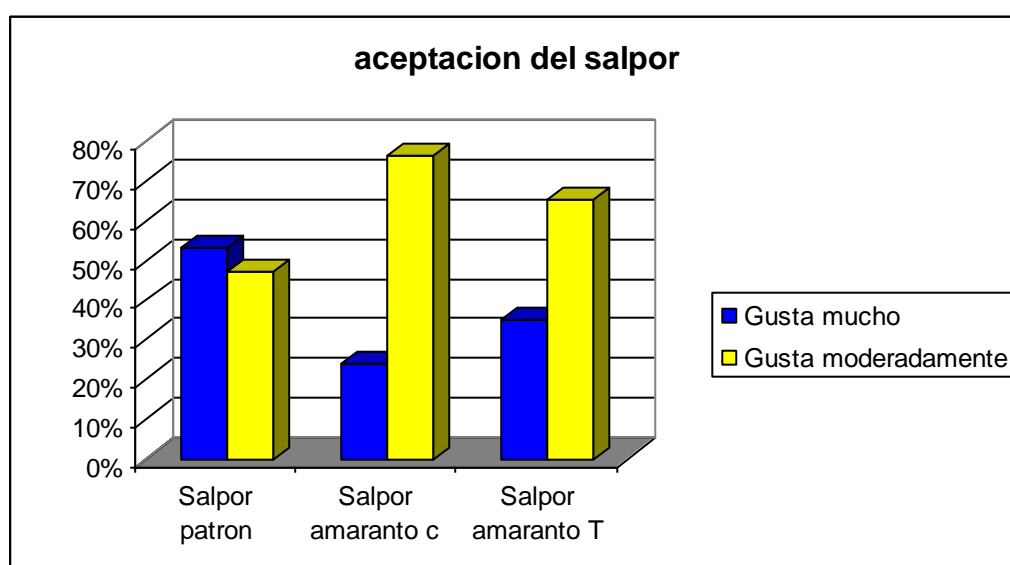


Figura 11. Aceptabilidad del salpor patrón y los de amaranto.

3.6.2.2 Evaluación del pan integral

Según los resultados del cuadro 17 y reflejados en el grafico 12, se observa que hay un ligero porcentaje de aceptabilidad mayor del pan integral de amaranto tostado al ser comparado con el pan integral de amaranto crudo y el de trigo.

Cuadro No. 17. Aceptación del pan integral patrón y los de estudio.

Categoría	Puntaje	Pan Integral Patrón		Pan Integral Amaranto c		Pan Integral Amaranto t	
		No. Panelistas	Porcentajes	No. Panelistas	Porcentajes	No. Panelistas	Porcentajes
Gusta mucho	5	5	29%	5	29%	6	35%
Gusta moderadamente	4	12	71%	12	71%	11	65%
Ni disgusta Ni gusta	3	0	0%	0	0%	1	6%
Disgusta moderadamente	2	0	0%	0	0%	1	6%
Disgusta mucho	1	0	0%	0	0%	0	0%

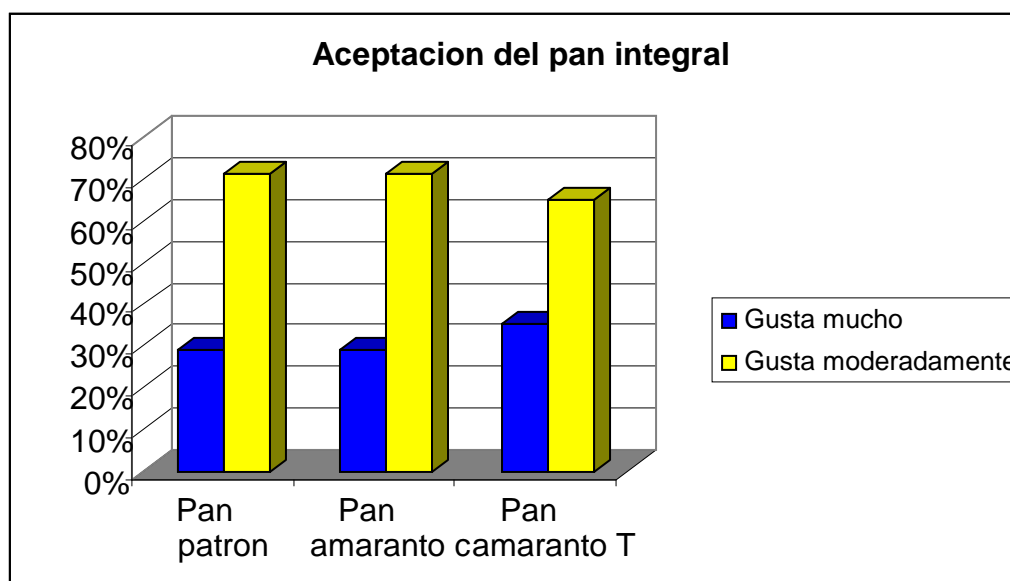


Figura 12. Aceptabilidad del pan integral patrón y los de amaranto.

3.6.2.3 Evaluación de palitos de amaranto.

Según los resultados del cuadro 18 y reflejados en el grafico 13, se observa que los palitos de amaranto tostado fueron aceptados casi igual que el patrón y mucho mejor que los de amaranto crudo.

Cuadro No. 18 Aceptación de los palitos patrón y los de estudio.

Categoría	Puntaje	Palitos patrón		Palitos de Amaranto c		Palitos de Amaranto t	
		No. Panelistas	Porcentajes	No. Panelistas	Porcentajes	No. Panelistas	Porcentajes
Gusta mucho	5	8	47%	3	18%	7	41%
Gusta moderadamente	4	9	53%	14	82%	10	59%
Ni disgusta Ni gusta	3	0	0%	0	0%	0	0%
Disgusta moderadamente	2	0	0%	0	0%	0	0%
Disgusta mucho	1	0	0%	0	0%	0	0%

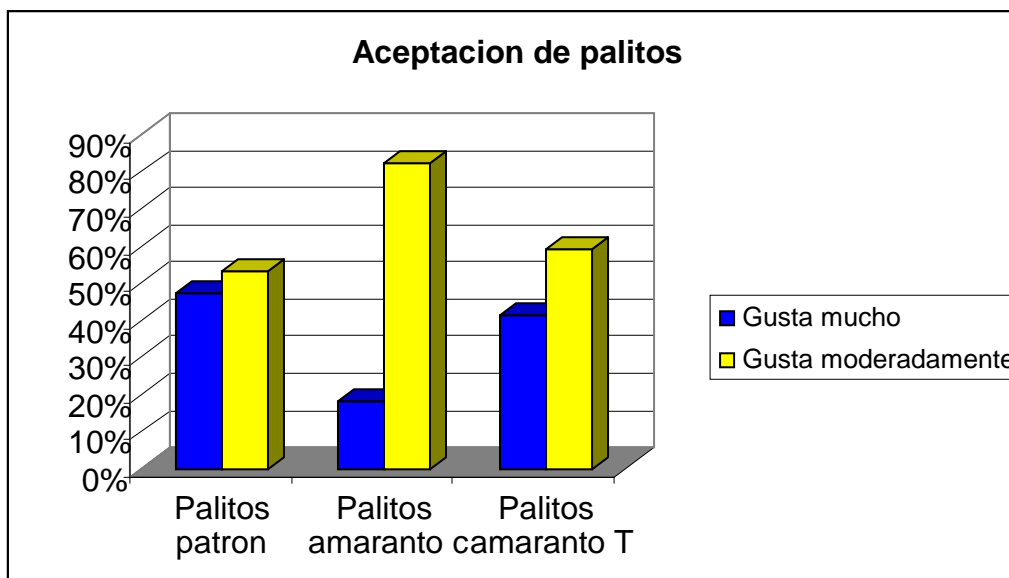


Figura 13. Aceptabilidad de los palitos patrón y los de amaranto.

3.6.3 Evaluación del aroma.

En el cuadro No. 19, se observan los resultados obtenidos de la evaluación del aroma de los productos en estudio.

Cuadro No. 19. Aceptación del aroma del pan de amaranto y el pan patrón.

Categoria	Puntaje	Salpor patron		Salpor amaranto C		Salpor amaranto T	
		No. Panelistas	Porcentajes	No. Panelistas	Porcentajes	No. Panelistas	Porcentajes
Agradable	2	15	88%	11	65%	13	76%
Desagradable	1	2	12%	6	35%	4	24%
		Pan Integral Patron		Pan Integral C		Pan Integral Amaranto T	
		No. Panelistas	Porcentajes	No. Panelistas	Porcentajes	No. Panelistas	Porcentajes
		12	71%	12	71%	13	76%
		5	29%	5	29%	4	24%
		Palitos patron		Palitos de Amaranto C		Palitos de Amaranto T	
		No. Panelistas	Porcentajes	No. Panelistas	Porcentajes	No. Panelistas	Porcentajes
		17	100%	9	53%	13	76%
		0	0%	8	47%	4	24%

3.6.4. Conclusiones.

Los productos en estudio con mayor aceptabilidad fueron los preparados con amaranto tostado, lo cual demuestra que al tostar el amaranto mejora sus características organolépticas.

Se concluye que el introducir Harina de Amaranto en la formulación de productos de panificación, mejorara la cantidad de proteína de los panes preparados y si la harina de amaranto es tostada mejorara el sabor y aroma de los productos de panificación; a excepción del pan integral que bien puede ser utilizado con harina de amaranto crudo, como se observa en el cuadro 20.

Cuadro No. 20. Aceptación y/o rechazo de hipótesis.

TIPO DE PAN	Ho
Salpor Amaranto Crudo	Rechazada
Salpor Amaranto Tostado	Rechazada
Pan Integral Amaranto Crudo	Aceptada
Pan Integral Amaranto Tostado	Rechazada
Palitos Amaranto Crudo	Rechazada
Palitos Amaranto Tostado	Rechazada

En definitiva Sí existe diferencia significativa en las propiedades organolépticas entre cada muestra en estudio y el patrón, a excepción del pan Integral con harina de Amaranto crudo.

3.7 Análisis Químico Proximal.

El análisis proximal se define como el esquema del análisis químico, mediante el cual se determina la composición de un alimento en término de sus principales grupos de nutrientes; y consta de las siguientes determinaciones:

- Humedad
- Proteína
- Cenizas
- Grasa
- Carbohidratos
- Fibra cruda

Para efectos de esta investigación se considero solamente el análisis de las harinas en estudio. Los análisis obtenidos de cada muestra fueron desarrollados bajo el método de la AOAC (Association of Oficial Analytical Chemist 1984) y se muestran en el cuadro 21. (Nieto,1990)

Cuadro No 21. Resultado de las muestras de harina en estudio.

Composición g/100g	Harina de Trigo Suave	Harina de Trigo Fuerte	Harina de Amaranto crudo	Harina de amaranto tostado	Mezcla 50% Trigo: 50% Amaranto	Mezcla 80% Trigo: 20% Amaranto
Humedad	12.78	14	7.7	5.3	9.04	12.26
Proteína	7.44	10.5	16.42	14.1	12.3	11.22
Grasa	1.26	1.40	7.1	5.7	3.48	1.64
Ceniza	0.59	0.62	2.98	2.6	1.60	1.02
Carbohidratos	75.32	77.58	67.8	63.2	69.26	74.7
Fibra	2.23	2.9	5.0	3.5	2.87	3.02

CAPITULO IV

Pre-Diseño de una planta procesadora de harina de Amaranto (*Amaranthus cruentus*).

4.0 Generalidades.

Para elaborar el pre-diseño de la planta procesadora de harina de Amaranto se consideró la comparación de una escala artesanal con dos industriales, debido a que este cultivo aún no se desarrolla en El Salvador de manera formal es importante considerar la escala artesanal tomando en cuenta que mientras se desarrolla políticas para impulsar el consumo a gran escala es factible el cultivar Amaranto en zonas rurales y producir su harina en un molino local.

De acuerdo a la investigación bibliográfica realizada en el capítulo I, se presenta en el cuadro 22 un resumen de los efectos del procesamiento en la calidad nutritiva del amaranto.

Cuadro No 22. Comparación de la calidad nutritiva del amaranto entre varios procesos.

Proceso	Valor nutritivo	Digestibilidad	Disponibilidad de Lisina
Extrusión	Mejora	No afecta significativamente	No afecta significativamente
Reventado (Popping)	Mejora relación de eficiencia	Mejora	La reduce en un 30% respecto al crudo
Nixtamalizado	Mejora	Aumenta un 75%	Se aproxima a la de la caseína
Germinado	Aumenta mas que los demás	Mejora	No afecta

Al evaluar los resultados del capítulo III, se concluye que el amaranto tostado (Popping) imparte sabor, color y aroma agradable a los productos preparados con su harina; a pesar que el crudo posee más proteína, el diseño a desarrollar se aplicará bajo la premisa que se utilizara amaranto tostado para obtener la harina; la cual se considera integral por su color y su contenido de ceniza.

El proceso de PRE diseño se desarrolló bajo el método heurístico, el cual se apoya en resultados de experiencias parecidas, que para nuestro caso es el proceso de producción de la harina de trigo. Se obvió el método iterativo por ser un método de mejora el cual puede ocuparse para evaluar la optimización en un futuro estudio de los equipos aquí sugeridos.

4.1 Especificaciones de la materia prima.

Las características que las semillas de amaranto deben cumplir se muestran en el cuadro No 23, considerando que las semillas corresponden al *Amaranthus cruentus*, especie nativa de la región mesoamericana.

Cuadro No 23. Características de calidad de la materia prima.

Características	Especificación	Harina de Amaranto
Granulometría	Que pase la malla 12 en un 100%	98% paso la malla 12
Densidad de la semilla	800 a 810 Kg / m ³	806 Kg / m ³
Proteína	No menor a 16 % p/p	17.1 % p/p
Carbohidratos	No menor al 62 % p/p	64 % p/p
Humedad	No mayor a 12 % p/p	10,1 % p/p
Ceniza	No mayor a 4.5 % p/p	3.6 % p/p

La recepción de semillas de Amaranto como materia prima debe ser con una frecuencia semanal y se recibirán en súper sacos de 1000 Kg para escala Industrial y sacos de 60 Kg para escala artesanal; los cuales no deben presentar olores extraños ni contaminación de animales, para tales efectos los

contenedores que los trasladen deberán apegarse al mismo criterio. Se pesaran en báscula electrónica para ingresar al sistema las cantidades exactas y controlar el rendimiento del proceso. Como política se debe manejar un inventario de materia prima con cobertura de quince días.

4.2 Especificaciones del producto terminado.

Las características de la harina de amaranto además de poseer buen sabor, aroma y color debe cumplir con las siguientes especificaciones establecidas en el cuadro No. 24.

La harina se debe de empacar en bolsas de papel sackraft de doble pared en un ambiente controlado de humedad relativa no mayor a 75 % y temperatura no mayor a 32 °C, para evitar que se desarrolle gorgojos y así garantizar la vida de anaquel de 3 semanas.

Cuadro No 24. Características de calidad del producto terminado. Harina C (Amaranto Crudo), Harina T (Amaranto Tostado)

Características	Especificación	Resultado Harina C.	Resultado Harina T.
Granulometría	100% atraviesa malla 80	85% pasa malla 80	90 % pasa malla 80
Proteína	No menor a 14 % p/p	16.42 % p/p	14.1 % p/p
Carbohidratos	No menor al 60 % p/p	61 % p/p	60 % p/p
Humedad	No mayor a 7 % p/p	7.7 % p/p	5.3 % p/p
Ceniza	No mayor a 2.8 % p/p	2.98 % p/p	2.6 % p/p
Lisina	No menor a 0.225 (gaa/gn)	-	-
Hongos ufc/g	10	-	-
Levaduras ufc/g	2	-	-
Staphilococcus aereus ufc/g	< 1 X 10 ³	-	-
Coliformes totales NMP/g	< 3	-	-
Escherichia coli ufc/g	-	-	-
Salmonella	-	-	-

4.3 Diagrama del proceso de producción de harina de Amaranto.

La figura 14 muestra el diagrama del proceso industrial considerado en el PRE diseño. La determinación del equipo idóneo y sus capacidades se determinará después del balance de materiales y consumo de energía (Mc Cabe, 1995).

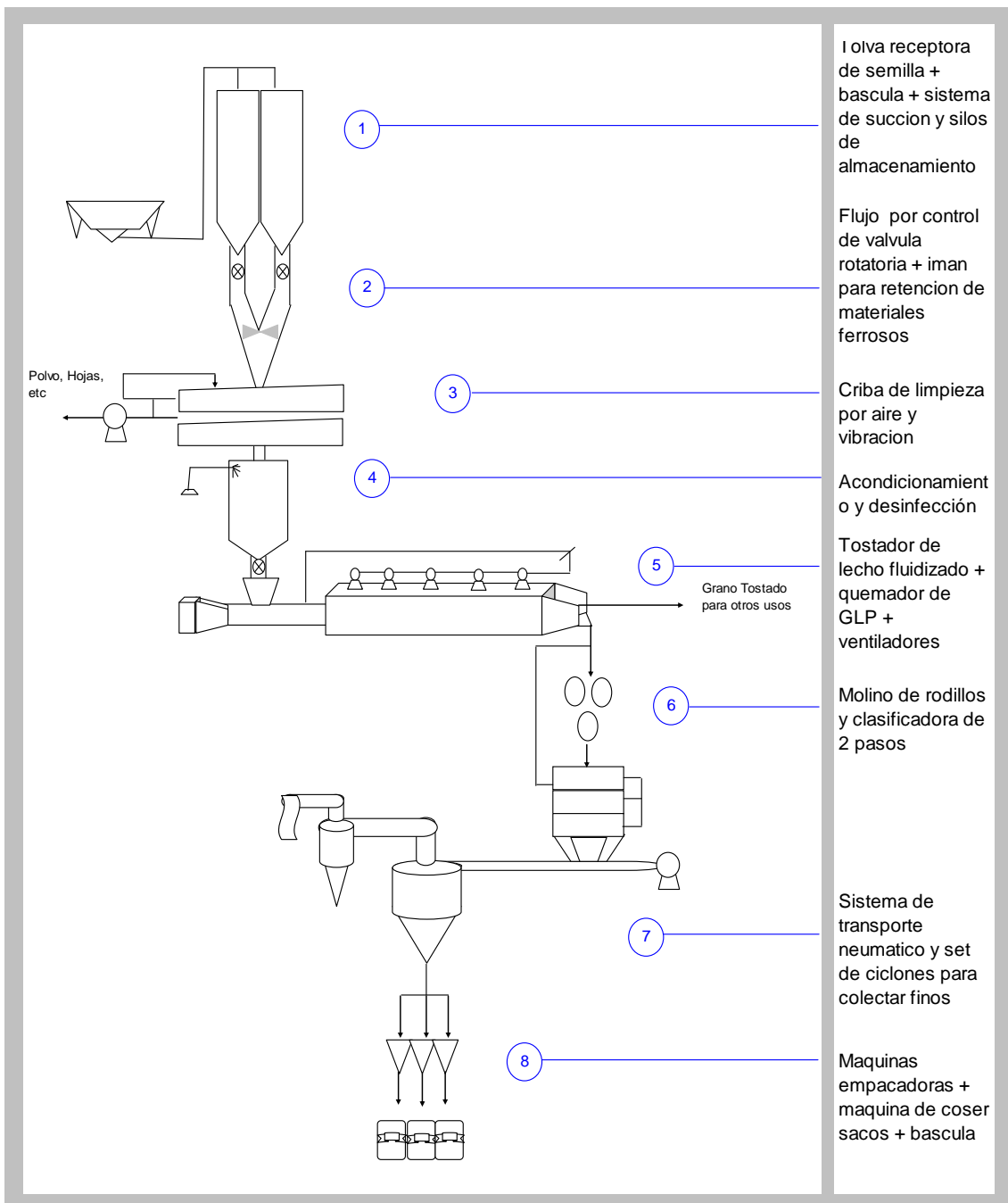


Figura 14. Diagrama del proceso de producción de harina de Amaranto (*Amaranthus cruentus*).

4.4 Balance de materiales y energía

De acuerdo al proceso productivo que se muestra en la figura 14, las operaciones involucradas en el presente análisis son:

- Recepción de materia prima
- Almacenamiento en condiciones controladas
- Limpieza de las semillas
- Acondicionamiento y Desinfección.
- Tostado con aire caliente
- Molido y clasificación
- Separación de finos
- Empacado

En el cuadro 25 se resumen las actividades de cada una de las etapas del proceso productivo por cada escala productiva en estudio, a fin de ilustrar de manera general el grado de complejidad de cada operación; queda a discreción del empresario que desarrolle este diseño el considerar los cambios pertinentes por ser este un diseño bajo el método heurístico (Jensen, 2006).

Como base de cálculo para el balance se consideraron los siguientes aspectos:

- 1 hora de trabajo.
- Merma de limpieza 0.2 % p/p.
- Incremento de humedad del 4 % p/p en el acondicionamiento.
- Decremento de humedad de 9% p/p en el tostado.
- Merma del 3.5% p/p en el molino y clasificadora, atribuible a pérdida de humedad y acumulación de finos en las mallas.
- Merma del 0.5 % p/p en el transporte neumático y del 0.1 % p/p en el empacado.

Con estas consideraciones la relación de rendimiento respecto a la semilla alimentada al proceso y la harina empacada como producto terminado es del **1.10: 1**; es decir que por cada 1,100 kilogramos de semilla de amaranto se obtendrá 1000 kilogramos de harina como producto terminado.

La búsqueda y selección de equipo parte de la premisa del rendimiento y los flujos de materia considerados en el cuadro 25. Dichos flujos consideran como techo el procesar 500 Kg por hora de semilla lo cual bajo condiciones de continuidad demandaría al año una necesidad de 4,380 toneladas, demanda que puede ser cubierta por la siembra de 1700 hectáreas; que hoy solo puede ser cubierta por la compra de amaranto en Guatemala y México.

Respecto de la energía consumida por cada hora de trabajo representada por Kw. / HR para cada escala se tomo de la capacidad de los motores de los equipos seleccionado para cada escala (ver cuadro 26), convirtiendo los HP en Kw. De la siguiente manera:

Si un motor tiene 3 HP se multiplica por su equivalencia en watts de 746 y luego se divide entre 1000 para convertirlo en Kilo watts. ($3\text{HP} \times 0.746 \text{ Kw. /HP}$) lo cual da un resultado de 2.2 Kw. De consumo por hora.

Los resultados de consumo por hora de todos los equipos seleccionados en cada escala fueron de:

- 1.49 Kw. / HR para la escala Artesanal.
- 17.9 Kw. / HR para la escala Industrial esquema mediana.
- 44.7 Kw. / HR para la escala Industrial esquema grande.

Es importante tener presente que de los procesos propuestos dadas las características del diseño se puede diversificar a producir amaranto tostado y harina de amaranto sin tostar, al mismo tiempo que se procesa la harina de amaranto tostado; para lo cual se tendrá que hacer un rebalanceo de materiales y consumo energético.

Cuadro No 25. Descripción de procesos productivos por cada escala de diseño de planta.

Proceso	Recepción de materias primas			
Escala	Descripción	Equipo	Flujo másico	Kw. de consumo
Artesanal	Recepción de sacos de 60 Kg. y almacenaje en sacos.	Báscula electrónica	4.2 Ton / mes	0.4 Kw. / HR
Industrial (mediana)	Recepción de súper sacos de 1000 Kg. y sistema de succión neumático para almacenar en silo.	Báscula electrónica Ventilador, Silo y vibrador.	60 Ton / mes	0.5 Kw. / HR + 2.2 Kw. / HR
Industrial (Grande)	Recepción de contenedor a granel de 20,000 Kg. y sistema de succión neumático para almacenar en silos.	Báscula electrónica, ventilador, silos y vibrador.	360 Ton / mes	1 Kw. / HR + 4.4 Kw. / HR
Proceso	Limpieza			
Escala	Descripción	Equipo	Flujo másico	Kw. de consumo
Artesanal	Dejar caer de manera uniforme con un huacal las semillas frente a una corriente de aire	Ventilador	25 Kg. / HR	0.09 Kw. / HR
Industrial (mediana)	Sistema con 2 tamices ligeramente inclinados con movimiento de vaivén y succión de aire.	Clasificadora	100 Kg. / HR	1.1 Kw. / HR
		Ventilador para polvo		2.2 Kw. / HR
Industrial (Grande)	Sistema de zarandas en Z con movimiento de vaivén y succión de aire para eliminar polvos.	Clasificadora	500 Kg. / HR	3.3 Kw. / HR
		Ventilador para polvo		2.2 Kw. / HR

Cuadro No 25. Descripción de procesos productivos por cada escala de diseño de planta.

Proceso	Acondicionamiento y Desinfección			
Escala	Descripción	Equipo	Flujo másico	Kw. de consumo
Artesanal	Lavado de semillas en una solución de bicarbonato de sodio al 5% P/V	Depósitos o cubetas	25 Kg. por hora	-
Industrial (mediana)	Almacenamiento por 4 horas en una solución desinfectante incorporada por un atomizador	Silo, atomizador, bomba de inyección.	100 kg / hr y tiempo de residencia 4 HR	0.20 Kw. / HR
Industrial (Grande)	Puede humedecerse en el transporte con tornillo mientras es transportado al silo.	Tornillo sin fin	500 kg / hr y tiempo de residencia 4 hr	Usa el mismo de la clasificadora
Proceso	Tostado (Popping)			
Escala	Descripción	Equipo	Flujo másico	Kw. de consumo
Artesanal	Colocar el grano en una superficie caliente 170 grados Centígrados por espacio de 10 a 15 seg.	Comal o plancha (para pupusas)	25 Kg. /HR	
Industrial (mediana)	Las semillas son transportadas con aire caliente a 220° centígrados por espacio de 10 segundos.	Tostador de lecho fluidizado por ventilador	100 Kg. /HR	3 Kw. / HR
Industrial (Grande)	Las semillas son transportadas con aire caliente a 220° centígrados por espacio de 10 segundos.	Tostador de lecho fluidizado por sistema de ventiladores	500 Kg. / HR	10 Kw. / HR

Cuadro No 25. Descripción de procesos productivos por cada escala de diseño de planta.

Proceso	Molienda y Clasificación			
Escala	Descripción	Equipo	Flujo másico	Kw. de consumo
Artesanal	Molienda en molino de discos y cernido para separar impurezas	Molino de discos, colador	25 kg por hora	1 Kw. / HR
Industrial (mediana)	Molienda en molino de rodillos que giran en sentido contrario y clasificado en tamiz de 3 pares de mallas con alimentación independiente y movimiento de vaivén; con sistema de limpieza.	Banco de molino de rodillos, clasificadora de 3 pares de tamices, vibradores	100 Kg./HR , compuesto de 80% harina y 20% afrecho	6 Kw. / HR
Industrial (Grande)	Molino de rodillos de 3 pasos, 1 ^{er} paso un cilindro estriado montado en un banco fijo y el otro en un móvil; los siguientes cilindros lisos con diferentes aberturas. Clasificadora igual a la anterior.	Banco de molino de rodillos, clasificadora de 3 pares de tamices, vibradores	500 Kg. /HR; compuesto de 85 % harina y 15% afrecho.	15 Kw. / HR
Proceso	Transporte y recolección de finos			
Escala	Descripción	Equipo	Flujo másico	Kw. de consumo
Artesanal	No aplica transporte			-
Industrial (mediana)	Transporte puede ser sustituido por tornillo sin fin,	Sin fin helicoidal,	100 Kg. /HR	2.2 Kw. / HR
Industrial (Grande)	Sistema de ventiladores y tuberías de materiales grado alimenticio que transportan la harina.	Tuberías, ventilador. Ciclones y filtros.	500 Kg. / HR	6.6 Kw. / HR

Cuadro No 25. Descripción de procesos productivos por cada escala de diseño de planta.

Proceso	Empaque			
Escala	Descripción	Equipo	Flujo másico	Kw. de consumo
Artesanal	Se empaca manualmente en bolsas de 5 Kg.	Báscula	5 bolsas por hora	-
Industrial (mediana)	La harina se deposita en tolvas que son descargadas manualmente y se empaca en bolsas de 23 Kg. que luego se cosen.	Empacadora manual, Báscula Máquina para coser sacos.	4 bolsas por hora	0.5 Kw. / HR
Industrial (Grande)	La harina se deposita en las tolvas de las maquinas de empaque de control neumático y se empacan en bolsas de de 23 Kg. que luego se cosen	Empacadora automática, Báscula, Máquina para coser bolsas.	21 bolsas por hora	2.2 Kw. / HR

Cuadro No 26. Consumo de amaranto y energía por etapa. * Se requiere mezcla de agua y desinfectante aprobado por la FDA para aumentar la humedad de la semilla en 4 % p/p.

Escala del proceso	Recepción de materia prima	Limpieza		Acondicionamiento y Desinfección		Tostado		Molienda y Clasificación		Transporte		Empaque	
		Entra	Sale	Entra	Sale	Entra	Sale	Entra	Sale	Entra	Sale	Entra	Sale
Artisanal	25 kg	25	24.95	24.95	25.95	25.95	23.61	23.61	22.78	22.78	22.67	22.67	22.64
Consumo en Kw.	0.40	0.09						1.0					
Industrial (mediana)	100 kg	100	99.80	99.80	103.79	103.79	94.45	94.45	91.14	91.14	90.68	90.68	90.59
Consumo en Kw.	2.7	3.3		0.2		3		6		2.2		0.5	
Industrial (Grande)	500 kg	500	499	499.0	518.96	518.96	472.25	472.25	455.72	455.72	453.44	453.44	452.99
Consumo en Kw.	5.4	5.5				10		15		6.6		2.2	

* Base de cálculo: 1 hora.

4.5 Selección de equipo.

Para la selección de equipo se consideraron los siguientes aspectos:

- Parámetros técnicos de operación por etapa del proceso.
- Capacidad de producción.
- Consumo energético.
- Materiales de construcción.
- Seguridad Alimenticia.
- Costo del equipo.

Para cada escala propuesta se cotizo en diferentes firmas comerciales de distribución de equipos para la industria de alimentos en El Salvador y en la Word Wide Web.

4.5.1 Parámetros técnicos de operación.

Los parámetros técnicos de operación se tomaron de los cuadros 10, 23 y 24 para los cuales solo presentó problema de cotización el tostador de lecho fluidizado, del cual se ha tomado un costo tomando como base la dimensión del tostador, que se obtiene del análisis del sistema de aspiración y transporte neumático (Muñoz-Gaitán 2005), en el anexo D se muestran los cálculos para el diseño del tostador de lecho fluidizado.

4.5.2 Capacidad de producción.

Los equipos de producción seleccionados para cada escala se han considerado para procesar las siguientes cantidades:

- 25 Kg. / HR Escala artesanal.
- 100 Kg. / HR Escala industrial mediana.
- 500 Kg. / HR Escala industrial grande.

Se debe tomar en cuenta que estos datos corresponden al 100% de capacidad de los equipos, pero al operar hay que ajustarlos para que alcancen una capacidad nominal del 95 %. Como los esquemas de trabajo (a excepción del artesanal) son para trabajar 24 horas los 7 días de la semana, al considerar los paros por mantenimiento preventivo y/o correctivos, es normal operar en niveles de capacidad real entre el 80 y 85%.

4.5.3 Consumo energético.

El consumo energético se ha considerado para motores Tri fasicos y 220 V Para efectos de cálculos del análisis económico se ha considerado el consumo energético de los equipos que intervienen en la transformación de la harina de amaranto; se ha omitido el consumo generado por las luminarias y aires acondicionados de oficinas, los cuales deberán ser evaluados al momento de de diseñar las oficinas de la escala que corresponda.

4.5.4 Materiales de construcción.

Los supersacos en que se recibirá la semilla de amaranto deben de polipropileno y queda a discreción del inversionista el utilizar la tolva de recepción, ya que por la dimensión de los supersacos se puede succionar la semilla al silo directamente del supersaco; en caso de ser requerida la tolva esta deberá construirse de acero pulido, acero galvanizado o acero inoxidable.

Los silos se pueden construir de acero galvanizado o inoxidable, tendrá fondo cónico para la descarga, techo, acceso lateral, aireación, cubierta de seguridad y vibrador; esto aplica para los silos de materia prima y de amaranto acondicionado.

La criba de limpieza y la clasificadora de harina son equipos independientes que deben de separarse del resto para evitar trasladarles vibración; ambas trabajan con zarandas móviles intercambiables, poseen marcos de madera y la malla puede ser de alambre para la criba y nylon para la harina; cada marco de zaranda trae una zaranda superior y otra de fondo y entre ellas hay bolas de

goma y/u otro material que hacen la acción de limpieza durante la vibración mientras pasa el material. El housing debe estar construido de acero inoxidable.

La máquina reventadora (tostador de lecho fluidizado) y el intercambiador de calor y la tubería de transporte deben estar construidas de acero inoxidable tipo 304. (Muñoz-Gaitán 2005)

Las máquinas empacadoras y todo el sistema de transporte que entre en contacto con la semilla y / o la harina deben ser de acero inoxidable tipo 304 y deberán ser forjados con soldadura Tig (Tungsten inert gas) para evitar puntos de contaminación por corrosión del material.

4.5.5 Seguridad alimentaria.





Los materiales garantizan en buena parte la seguridad de los alimentos al no permitir contaminación por corrosión (física, y microbiológica); pero además los equipos deben de ubicarse de forma que no exista contaminación cruzada en el desarrollo del proceso; para lo cual se debe hacer un análisis de riesgo y puntos críticos de control para garantizar la inocuidad de la harina a producir.

Este último debe desarrollarse acorde al árbol de decisiones propuesto por la herramienta de análisis de riesgo y puntos críticos de control, HACCP por sus siglas en ingles.



4.5.6 Costos del equipo.

Se detalla a continuación en el cuadro No. 27 y 28 los costos de los equipos seleccionados para cada escala de operación; Los equipos comprados fuera del país se cotizaron con el incoterm "Ex Work" (En Fabrica) por lo que al costo se le debe agregar el valor del flete desde la fabrica a la ubicación de la fabrica que se esta PRE diseñando; además se debe contemplar un seguro por daños a la maquinaria. Los equipos seleccionados son marca SKOLD de origen Danes pero con distribución en Santa Fe argentina.

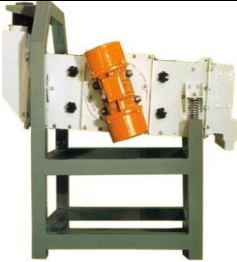


Cuadro No. 27. Costeo del equipo involucrado en la producción artesanal de amaranto.

Escala de Producción	Nombre del Equipo	Descripción	Costo	Foto
Artesanal La inversión inicial en equipo es de \$ 1,125.00 USD.	Báscula Electrónica.	Báscula electrónica con plataforma de capacidad para 300 kg	\$ 300	
	Molino de Discos	Molino convencional de nixtamal.	\$100	
	Ventilador	Ventilador de pedestal para separar el polvo y la paja de la semilla	\$ 25	
	Cocina y comal	Sistema hechizo que combina los quemadores de una plancha para pupusas con una superficie como un comal.	\$ 500	
	Báscula	Báscula de mesa para controlar el empaque del producto final	\$100	
	Utensilios	Huacales, barriles y coladores.	\$ 100	




Cuadro No. 28. Costeo del equipo involucrado en la producción industrial de amaranto.

Nombre del Equipo	Descripción	Costo mediana	Costo Grande	Foto
Silo de almacenamiento	Fabricado en acero inoxidable tipo 304 con sistema de alimentación neumático. Capacidad de 22 m ³ y 105 m ³ para mediana y grande respectivamente.	\$6,000	\$10,500	
Transporte neumático para MP DME	Ventilador y mangueras flexibles para colocarlas entre saco y saco. 7 metros de tubería para escala mediana y 15 metros de tubería para escala grande.	\$4,500	\$8,700	
Vibrador	Vibrador para ayudar a fluir las semillas.	\$ 300 X 4	\$ 300 X 4	
Válvula rotativa	Válvula controlada electrónicamente para dejar pasar las semillas de acuerdo al flujo de producción.	\$900 X 2	\$900 X 2	


Cuadro No. 28. Costeo del equipo involucrado en la producción industrial de amaranto.

Nombre del Equipo	Descripción	Costo mediana	Costo Grande	Foto
Criba de limpieza modelo KF12	Juego de mallas ligeramente inclinadas en una unidad vibratoria, con succión de aire para eliminar polvos y basuras.	\$4,875	\$7,500	
Silo para acondicionar Humectador FH950	Silo con dos compartimientos separados, alimentados por sinfín de paletas que agrega agua, incluye deposito de agua, válvulas y guarniciones.	\$7,800	\$12,000	
Tostador de lecho fluidizado	Un ventilador centrifugo impulsa el aire a través de un intercambiador de calor y este circula por el tostador y se recircula parte del aire caliente para ahorrar consumo de GLP	\$4,000	\$6,000	

Cuadro No. 28. Costeo del equipo involucrado en la producción industrial de amaranto.

Nombre del Equipo	Descripción	Costo mediana	Costo Grande	Foto
Molino de rodillos FR500	Modelo FR500 con 3 pasos, 1 ^{er} paso un cilindro estriado montado en un banco fijo y el otro en un móvil; todos los cilindros giran en sentido contrario y a velocidades diferentes. Por ser el amaranto tostado en un 90 % libre de cáscara, se extrae el 96.5 % de harina de la alimentación.	\$10,000	\$15,000	
Criba de harina FS 1000	Unidades de cernido con alimentación independiente; caja juego de tamices posee bolas de goma para limpieza; posee 4 salidas; 2 para retorno de partículas arriba de la malla 80 y 2 para continuar el proceso.	\$6,700	\$10,241	
Transporte neumático DME	Compuesto por ventilador y tuberías conectadas a la criba de harina para transportar la harina, se incluyen juego de ciclones con filtros.	\$10,500	\$16,000	

Cuadro No. 28. Costeo del equipo involucrado en la producción industrial de amaranto.

Nombre del Equipo	Descripción	Costo mediana	Costo Grande	Foto
Embolsadora S 100	La Embolsadora tiene una tolva de entrada con un vibrador que garantiza el continuo flujo de la harina; a la salida se encuentran 2 sinfines dosificadores. Uno alimenta cantidades grandes y el otro cantidades pequeñas para el ajuste del peso de la bolsa de 23 Kg.	\$2,900	\$2,900 X 3	
Tablero Electrónico	Tablero de control central con llave principal y medidor de amperaje, arrancadores y protección de motores.	\$ 5,000	\$7,250	
Instrumentación	Sensor de peso para el descargo de semilla y harina; medidor de humedad MT 500	\$2,500	\$2,500	
Herramientas	Herramientas de instalación y mantenimiento.	\$2,175	\$2,175	
Equipo de Laboratorio	Medidor de humedad, balanza analítica, instrumentación, molino de ensayo, tamices, farinografo, etc.	\$5,000	\$6,000	
Servicio técnico de instalación	Servicio de 1 técnico para guiar la instalación y primera corrida, trabajo de 6 días incluye viáticos y pasaje de avión.	\$5,500	\$7,500	
TOTAL	Valor total precio Ex Work	\$80,450	\$123,036	

4.6 Evaluación de pre factibilidad económica.

Para evaluar si el proyecto es económicamente factible, a continuación se muestran los costos de materia prima, material de empaque, costos de operación, mantenimiento e inversión, para conocer la tasa de retorno de cada una de las escalas de operación. El cuadro 30 resume los costos más representativos.

4.6.1 Costo de materia prima.

Actualmente el valor de la producción de amaranto es alto en México y Guatemala, debido a que el mercado objetivo es de consumidores de comidas no tradicionales y por eso el alto precio de venta valora bien la producción, sin embargo para efectos de potenciar el cultivo en masa y su consumo se tomara para este estudio el costo de la semilla de amaranto partiendo de la premisa que este rinde 2.0 toneladas por hectárea.

Los costos de producción de amaranto por hectárea (San Miguel, 2008) cultivada de forma tradición en la parte plana y cerril se muestran en el cuadro 29.

Cuadro No.29 costos de producción de amaranto en México DF. (San Miguel, 2008)

Concepto	Costo en parte cerril (\$)	Costo en parte plana (\$)
Almácigo	95	95
Preparación del terreno	300	182
Siembra	60	60
Labores Culturales	272	136
Cosecha	237	182
Limpieza	136	136
Total	1100	791
Costo por tonelada (\$)	550	395.50

Al considerar el flete de importación terrestre se cuenta con las siguientes tarifas de transporte: Guatemala \$1500.00 y México \$3,000 ambos transportan 20 toneladas de semilla, por lo que considerando un costo promedio el factor flete por tonelada es de 135 \$ /tonelada.

Para efectos de calculo se tomara el costo promedio entre el cultivo en plano y en cerro, el cual es de 472.75 \$ / ton; para que el cultivador se motive se le pagará sobre el costo un 60 % quedando el costo en 756.40 \$ / ton, al sumarle el flete el costo en planta es de 891.40 \$ / ton. (0.891 \$/ kg)

4.6.2 Costo de material de empaque.

Las bolsas para la escala artesanal son de polietileno y contendrán 5 Kg. Las bolsas de sackraft contendrán 23 kg. Será impresa a una tinta y las cantidades a requerir por escala son:

- Escala Artesanal requiere 880 bolsas mensuales; costo de \$0.25 la unidad.
- Escala Industrial mediana 2300 bolsas mensuales; costo de \$0.90 la unidad.
- Escala Industrial grande 15000 bolsas mensuales. \$0.50 la unidad.

4.6.3 Costos de operación.

La planta se organizará de la siguiente manera:

Logística: Responsable de garantizar el abastecimiento oportuno de la cadena de suministro y tendrá bajo su responsabilidad el proceso de almacenaje y protección de la materia prima y producto terminado, Compras nacionales e internacionales y la distribución del producto terminado en los diferentes canales de ventas.

Producción: Responsable de la realización del producto de forma continua y acorde a los estándares de calidad definidos por la legislación del país, el mercado y los parámetros intrínsecos del amaranto; Bajo su responsabilidad se encuentran los subproceso de Limpieza y acondicionado, Tostado, Molido, Clasificación, Transporte, Empacado, Mantenimiento y Aseguramiento de la Calidad.

Comercial: Responsable de capitalizar el presupuesto, medir el la preferencias del mercado y toma de decisiones de las estrategias de ventas que mejores resultados le brinden a la empresa.

Administrativo: Responsable de salvaguardar el fiel cumplimiento a las leyes nacionales y políticas de la empresa y la estabilidad laboral; bajo su responsabilidad se encuentra los procesos de Recursos Humano, Contabilidad, Tesorería, Tecnología, Servicios varios.

Para calcular los costos de operación consideramos las siguientes premisas:

- Sueldo de personal operativo de \$225 al mes, sueldo del personal administrativo promedia los \$700 y sueldo de personal ejecutivo \$ 2000; Sobre cada sueldo se debe incrementar un 40% en concepto de prestaciones de ley y de la empresa.
- La planta artesanal trabajara 8 horas diarias por 5.5 días a la semana.
- La planta Industrial mediana trabajará 24 horas de lunes a sábado.
- La planta Industrial Grande trabajará 24 horas todos los días del año.
- El costo de la energía eléctrica para la industria ronda los 0.18 Kw. / HR.
- El costo de mantenimiento corresponde a los repuestos y herramientas requeridas para mantener funcionando las maquinas y será equivalente a \$30 por hora de mantenimiento.

Cuadro No. 30. Resumen de costos por escala en estudio.

Concepto	Descripción	Escala	Cantidad	Costo Unit \$	Costo Total \$
Materia Prima	Semilla de amaranto embalada en súper sacos de 1 tonelada	Artesanal	4.2 ton/mes	891.40 \$ /ton	3,743.88 \$
		Mediana	60 ton / mes	891.40 \$ /ton	53,484.00 \$
		Grande	360 ton /mes	891.40 \$ /ton	320,904.00 \$
Material de Empaque	Bolsa de papel sackraft de doble pared embalada en cientos.	Artesanal	880	0.25 \$	220.00 \$
		Mediana	2300	0.90 \$	2070.00 \$
		Grande	15000	0.50 \$	7500.00 \$
Recurso Humano	Se requieren 3 ó 4 operativos por uno administrativo y 3 administrativos por un ejecutivo. El costo unitario ya contempla las prestaciones. Se considera para la escala Mediana y Grande 3 turnos para cubrir las 24 horas de trabajo diarios. Las horas extras generadas por el personal operativo promedian las 20 HR / MES.	Artesanal	2 operativos	367.5 \$	2695.00 \$
			2 Admon.	980.0 \$	
			0 ejecutivo		
		Mediana	36 operativos	367.5	30,450.00 \$
			9 Admon.	980.0 \$	
			3 Ejecutivo	2800.0	
		Grande	72 operativos	367.5 \$	52,960.00 \$
			15 Admon.	980.0 \$	
			4 Ejecutivos.	2800.0 \$	
Energía Eléctrica	Se requiere instalaciones de 220 voltios y acometidas trifásicas polarizadas.	Artesanal	276 Kw / mes	0.18 \$ / Kw	50.00 \$
		Mediana	10826 Kw/mes	0.18 \$ / Kw	1948.68 \$
		Grande	32184 Kw/mes	0.18 \$ / Kw	5793.12 \$

Cuadro No. 30. Resumen de costos por escala en estudio.

Concepto	Descripción	Escala	Cantidad	Costo \$	Costo Total \$
Mantenimiento	Se aplicara un mantenimiento preventivo a cada equipo después de que haya trabajado 300 horas.	Artesanal	4 HR / mes	30 \$ / hora	120.00 \$
		Mediana	136 HR / mes	30 \$ / hora	4080.00 \$
		Grande	216 HR / mes	30 \$ / hora	6480.00 \$
Combustible GLP	Galones de GLP requeridos por quemador	Mediana	3000 Gal / mes	2.12 \$ / Gal	6360.00 \$
		Grande	3600 Gal / mes	2.04 \$ / Gal	7344.00 \$
Inversión de equipos de proceso	Costo del conjunto de todos los equipos requeridos para cada escala puestos en planta.	Artesanal			1,125.00 \$
		Mediana			80,450.00 \$
		Grande			123,066.00 \$
Inversión en activo fijo.	Valor del terreno, construcción de nave industrial, estantería, montacargas entre otros.	Artesanal		Valor de casa de trabajo, + otros	1850.00 \$
		Mediana		Terreno de 100 m ² + otros	9250.00 \$
		Grande		Terreno de 200 m ² + otros	31500.00 \$
Costo Financiero	Intereses a pagar anualmente por financiar el proyecto al 20 % de interés.	Artesanal			495.00 \$
		Mediana			35398.00 \$
		Grande			54149.00 \$

4.6.4 Cálculo de la tasa de retorno de inversión.

Los cálculos considerados para el balance presentado en el cuadro No. 26 son con base a la producción por hora considerando una merma del 10% y una capacidad de producción del 100%. Partiendo de esta premisa se presento en el cuadro No. 30 los costos más representativos por mes para cada escala de producción. El cuadro No. 31 muestra los costos anuales por centro de costo requeridos para producir las siguientes cantidades por escala de producción:

a) Artesanal.

Alimentación de 25 Kg. por hora son transformados en 22.64 Kg. de harina empacada.

El horario de producción es de 8:00 am. A 12:00 m y de 1:00 pm. A 5:00 pm. De lunes a Viernes y sábados de 8:00 am. A 12:00 m; esto equivale a 22 días de 8 horas de producción cada uno.

Producción anual es igual a multiplicar 22.64 Kg. por 8 horas / día por 22 días / mes por 12 meses; dando como resultado anual una producción de 47,816 Kg.

b) Mediana Industria.

Alimentación de 100 Kg. por hora son transformados en 90.59 Kg. de harina empacada.

El horario de producción es continuo de 24 horas al día de lunes a sábado; esto equivale a 25 días de trabajo de 24 horas de producción cada uno.

Producción anual es igual a multiplicar 90.59 Kg. por 24 horas / día por 25 días / mes por 12 meses; dando como resultado anual una producción de 652,248 Kg.

c) Gran Industria.

Alimentación de 500 Kg. por hora son transformados en 453 Kg. de harina empacada.

El horario de producción es continuo de 24 horas al día los 7 días de la semana; esto equivale a 30 días de trabajo de 24 horas de trabajo.

Producción anual es igual a multiplicar 453 Kg. por 24 horas / día por 30 días / mes por 12 meses; dando como resultado anual una producción de 3, 913,920 Kg.

La tasa de retorno no es más que la razón de la utilidad producida por las ventas anuales y los costos totales anuales de operación (Baasel, 1979). Se consideran tres escenarios para la venta de la totalidad de la harina a producir:

- Escenario 1: Alta inversión en mercadeo, precio de introducción sostenido por un año.
- Escenario 2: Alta inversión en cultura de consumo, precio de venta estándar con un 10 % de descuento para ofertas.
- Escenario 3: Las anteriores mas desarrollo de distribuidores, precio de venta regulado.

En el cuadro No. 32 muestra los diferentes escenarios de precios de venta y su respectiva tasa de retorno para cada escenario. Respecto del precio de venta se ha tomado de referencia el precio de venta de mayoreo que registra México que oscila entre \$1.10 a \$2.5 por kilogramo con demanda en dulces de alegría, y harina para diferentes preparaciones de alimentos y bebidas. Guatemala demanda harina de amaranto por el nicho de los consumidores de alimentos naturales, orgánicos y vegetarianos; su precio de venta llega hasta los cuatro dólares por libra, pero es muy oneroso para la economía salvadoreña.

Cuadro No. 31. Costos anuales de operación por escala de producción.

COSTOS VARIABLES DE PRODUCCION	ARTESANAL	MEDIANA	GRANDE
Materias Primas	\$44,926.56	\$641,808.00	\$3,850,848.00
Materiales de Empaque	\$2,640.00	\$24,840.00	\$90,000.00
Mano de obra directa	\$8,820.00	\$158,760.00	\$317,520.00
Personal de supervisión	\$980.00	\$5,880.00	\$11,760.00
Energía Eléctrica	\$600.00	\$23,384.16	\$69,517.44
Combustible (GLP)	\$703.00	\$76,320.00	\$88,128.00
Mantenimiento	\$1,440.00	\$48,960.00	\$77,760.00
Costos de distribución (Fletes)	\$4,500.00	\$45,000.00	\$115,525.44
	\$64,609.56	\$1,024,952.16	\$4,621,058.88

COSTOS FIJOS DE PRODUCCION	ARTESANAL	MEDIANA	GRANDE
Laboratorio de calidad	\$600.00	\$1,500.00	\$3,000.00
Seguridad Industrial	\$120.00	\$2,300.00	\$5,000.00
Servicios de Vigilancia	\$1,000.00	\$21,600.00	\$30,000.00
Prestaciones a empleados	\$490.00	\$8,232.00	\$16,464.00
	\$2,210.00	\$33,632.00	\$54,464.00

COSTOS FIJOS DE INVERSION	ARTESANAL	MEDIANA	GRANDE
Depreciación			
De maquinaria	\$225.00	\$14,481.00	\$22,151.88
De construcción	\$1,750.00	\$6,250.00	\$22,500.00
Sistema de Almacenamiento	\$100.00	\$3,000.00	\$9,000.00
Alquileres	\$0.00	\$13,200.00	\$26,400.00
Seguros	\$323.05	\$5,124.76	\$23,105.29
Impuestos			
	\$2,398.05	\$42,055.76	\$103,157.17

GASTOS GENERALES	ARTESANAL	MEDIANA	GRANDE
Administración	\$1,016.00	\$12,743.05	\$18,311.05
Mercadeo (20% del gasto de fabricación)	\$12,921.91	\$204,990.43	\$924,211.78
Financieros	\$495.00	\$35,398.00	\$54,149.04
	\$14,432.91	\$253,131.48	\$996,671.86

COSTOS TOTALES	\$83,650.52	\$1,353,771.40	\$5,775,351.92
-----------------------	--------------------	-----------------------	-----------------------

Estos costos corresponden a una operación al 100% de la capacidad instalada; como se menciona en la sección 4.5.2 de este capítulo, la capacidad instalada se puede ver disminuida en la práctica por actividades no programadas de mantenimiento; cortes de energía. Esto se considera en el cuadro No. 32. El resultado muestra una disminución en la Tasa de Retorno antes de Impuestos.

Cuadro No. 32. Tasa de retorno de inversión antes de impuestos, para diferentes escenarios y condiciones de operación.

	ARTESANAL	MEDIANA	GRANDE
COSTOS TOTALES	\$ 83,650.52	\$ 1,353,771.40	\$ 5,775,351.92
COSTOS DIRECTOS DE PRODUCCION	\$ 69,217.61	\$ 1,100,639.92	\$ 4,778,680.05
GASTOS GENERALES	\$ 14,432.91	\$ 253,131.48	\$ 996,671.86
PRODUCCION TOTAL (Kg. al 100%)	47,816.00	652,248.00	3,913,920.00
COSTO POR Kg.	\$ 1.45	\$ 1.69	\$ 1.22
PRECIO DE VENTA			
ESCENARIO 1	\$ 1.80	\$ 1.80	\$ 1.80
ESCENARIO 2	\$ 1.90	\$ 1.90	\$ 1.90
ESCENARIO 3	\$ 2.00	\$ 2.00	\$ 2.00
UTILIDAD POR Kg.			
ESCENARIO 1	\$ 0.35	\$ 0.11	\$ 0.58
ESCENARIO 2	\$ 0.45	\$ 0.21	\$ 0.68
ESCENARIO 3	\$ 0.55	\$ 0.31	\$ 0.78
UTILIDAD BRUTA			
ESCENARIO 1	\$ 16,851.19	\$ 73,406.48	\$ 2,266,375.95
ESCENARIO 2	\$ 21,632.79	\$ 138,631.28	\$ 2,657,767.95
ESCENARIO 3	\$ 26,414.39	\$ 203,856.08	\$ 3,049,159.95
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS			
ESCENARIO 1	\$ 2,418.28	-\$ 179,725.00	\$ 1,269,704.08
ESCENARIO 2	\$ 7,199.88	-\$ 114,500.20	\$ 1,661,096.08
ESCENARIO 3	\$ 11,981.48	-\$ 49,275.40	\$ 2,052,488.08
TASA DE RETORNO (AI)			
ESCENARIO 1	3%	-13%	22%
ESCENARIO 2	9%	-8%	29%
ESCENARIO 3	14%	-4%	36%
PRODUCCION TOTAL (Kg. al 85%)	40,643.60	554,410.80	3,326,832.00
COSTO POR Kg.	\$ 1.70	\$ 1.99	\$ 1.44
PRECIO DE VENTA			
ESCENARIO 1	\$ 2.07	\$ 2.07	\$ 2.07
ESCENARIO 2	\$ 2.19	\$ 2.19	\$ 2.19
ESCENARIO 3	\$ 2.30	\$ 2.30	\$ 2.30
UTILIDAD POR Kg.			
ESCENARIO 1	\$ 0.37	\$ 0.08	\$ 0.63
ESCENARIO 2	\$ 0.49	\$ 0.20	\$ 0.75
ESCENARIO 3	\$ 0.60	\$ 0.31	\$ 0.86
UTILIDAD BRUTA			
ESCENARIO 1	\$ 14,914.64	\$ 46,990.44	\$ 2,107,862.19
ESCENARIO 2	\$ 19,791.88	\$ 113,519.73	\$ 2,507,082.03
ESCENARIO 3	\$ 24,262.67	\$ 174,504.92	\$ 2,873,033.55
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS			
ESCENARIO 1	\$ 481.73	-\$ 206,141.05	\$ 1,111,190.32
ESCENARIO 2	\$ 5,358.96	-\$ 139,611.75	\$ 1,510,410.16
ESCENARIO 3	\$ 9,829.76	-\$ 78,626.56	\$ 1,876,361.68
TASA DE RETORNO (AI)			
ESCENARIO 1	1%	-15%	19%
ESCENARIO 2	6%	-10%	26%
ESCENARIO 3	12%	-6%	32%

4.7 Interpretación de resultados.

De acuerdo a los resultados de los diferentes escenarios y capacidades, es importante señalar que la escala industrial mediana no es rentable; esto se debe a que el volumen de producción es muy bajo contra los altos costos de operación, por tanto el precio de venta propuesto no es capaz de cubrir estos costos y un alza en los precios de venta deja fuera de competencia a la harina de amaranto.

La escala artesanal es rentable y sostenible en periodo de 3 años bajo la premisa que los sueldos percibidos por mano de obra, supervisión y venta quedan en manos de los dueños de la empresa; si la empresa es familiar entonces la retribución sería mayor. Es importante observar que una vez la empresa sobreviva al tercer año de operación y quiera incrementar su operación tiene una gran brecha económica para alcanzar la escala industrial grande por que esta comprobado que la escala mediana no es rentable, por tanto el empresario tendrá que evaluar si la demanda le permite abrir otra operación artesanal o hacer el esfuerzo para conformar una sociedad y operar a gran escala.

Para la gran escala Industrial el panorama es muy favorable para cada año de operación a pesar que se importe el amaranto desde México y Guatemala; los retos mas grandes que tiene esta escala es el crear la cultura de consumo y los canales de distribución para permitir la venta de la capacidad instalada de producción.

El mayor reto para que este proyecto se lleve a cabo es el crear alianzas de desarrollo para que la agroindustria del amaranto sea una alternativa de crecimiento económico para El Salvador; dado que el volumen de producción considerado aquí planteado más los incrementos que el mercado genere por el consumo de la harina, semilla y planta tienen la oportunidad de cultivarse el 100% en el país. En El Salvador se cultivan 234,820 Hectáreas de Maíz el cual puede asociarse con el Amaranto y además se debe considerar las tierras ociosas para promover el cultivo del Amaranto (MAG, 2005).

CONCLUSIONES

1. El amaranto es un recurso agrícola que, en el contexto de la economía globalizada puede redituarse enormes beneficios económicos y agroindustriales para que El Salvador se consolide a la vanguardia de su desarrollo y aprovechamiento.
2. Desde la perspectiva social, el amaranto constituye una herramienta valiosa para incidir simultáneamente y de manera integral en el binomio desnutrición-pobreza.
3. La harina de amaranto a producir posee un contenido de proteínas (17%) mejor que el trigo (12%) pero menor que la harina de soya (35%).
4. El mercado responde a la harina de soya para elaboración de mezclas de harina balanceadas, pero no conoce el amaranto.
5. El costo de la harina de soya es de 2.5 USD / Kg. En México (2009), lo que da un margen para que el amaranto pueda competir.
6. El proyecto es técnicamente viable, pero para llevarlo a la práctica requiere la intervención de varios sectores:
 - a. Gubernamental: Incentivos productivos.
 - b. Agrícola: Desarrollo de amplias zonas de cultivo.
 - c. Empresa Privada: Desarrollo de cadena de suministro.
 - d. Financiero: Mejorar las tasas de intereses.
 - e. Instituciones Educativas: Desarrollo de cultura de consumo.
7. El Salvador posee la superficie de cultivo requerida por la planta Industrial aquí propuesta, lo que permitirá que el costo de la materia prima se disminuya en un 18%, dándole margen al amaranto de competir agresivamente con la harina de soya.
8. Los agricultores pueden cultivar de manera alternada con el maíz para aprovechar ambos ciclos de cultivo y mejorar el rendimiento del suelo.
9. Se puede aprovechar la infraestructura actual de los molinos rurales de maíz y frijol para acondicionarlos con el fin de procesar la harina de amaranto, por el bajo costo de inversión y una tasa de retorno del 12 % después de 3 años de operación.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Amaranth Institute (1987). "The amaranth" USA.
- Arévalo, R. Reyes, J. Martínez, L. (2000). Fortificación Nutricional de Barquillos Mediante La Sustitución Parcial de Harina de Trigo Por Harina de Amaranto. Trabajo de graduación para optar al título de: Licenciatura en Química y Farmacia, Universidad De El Salvador.
- Argumedo, W. (1999). Factibilidad tecnológica en la preparación de nachos y Corn chips fortificados con amaranto (*amaranthus cruentus*). Trabajo de graduación para optar al título de: Licenciatura en Química y Farmacia, Universidad De El Salvador.
- Baasel, W. (1979) Preliminary Chemical Engineering Plant Design. Publicado por El Sevier, New York.
- Biodiversitas, (2008). Extracción parcial del boletín bimestral de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad de México.
- Blank – Tarquin, (1999). Ingeniería Económica, 4^a Edición. Mac. Graw Hill. USA.
- Bressani, R. (1991). El amaranto, Inc, Avances en alimentación y nutrición. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá: Boletín 2 (II). 7-8p. Guatemala, C.A.
- Bressani, R. (1991). Revista técnica "El Amaranto y su potencial" Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá. Guatemala, C.A
- Bressani, R, (1991). Artículo "Propiedades de la harina de amaranto y "Efectos de la temperatura en la harina de amaranto" Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá. Guatemala, C.A

- Escobar, R. Valencia, T. (1993). Efecto de la fecha de siembra en cinco variedades de Amaranto, sobre el desarrollo de la planta, rendimiento y calidad de la semilla durante la estación lluviosa en San Andrés La Libertad. Trabajo de graduación para optar al título de: Ingeniero Agrónomo, Universidad De El Salvador.
- Encuestas de Intenciones de Siembra de Granos Básicos. (2005/2006). Ministerio de Agricultura y Ganadería División de Estadísticas Agropecuarias.
- Estudios y diseños agroindustriales (2007). Ingeniería para molineros, www.quiminet.com
- Introducción a la ciencia y tecnología de cereales y de granos andinos. (1998). Lima, Perú. [www.fao.org/cultivos andinos](http://www.fao.org/cultivos_andinos)
- Jensen, J. (2006) Introducción a la producción de alimentos balanceados. Skiold. www.losseibos.com
- La empresa San Miguel de Proyectos Agropecuarios S.P.R. de R.S., (2008). www.sanmiguel.com.mx
- LÓPEZ, A. (1998). Elaboración de un Alimento Infantil de Alto Valor Nutricional a Base de Amaranto-Arroz y Amaranto – Maíz. Trabajo de graduación para optar al título de: Licenciatura en Química y Farmacia, Universidad De El Salvador.
- Martínez de Martell, C. (1988). Evaluación en adultos Humanos de la calidad proteínica del grano de amaranto sometido a varios procesos tecnológicos. Trabajo de graduación para optar al título de: Máster en Ciencias Químicas y Farmacias, Universidad de San Carlos de Guatemala.

- Mc Cabe- Smith (1995), Operaciones Unitarias en Ingeniería Química 4ª Edición. Mc. Graw Hill. USA.
- Muñoz, F. Gaytán, G. (2005). Fabricación de una máquina para reventar granos de Amaranto, Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, Universidad Agraria de la Habana Cuba.
- Nieto, J. (1990), El cultivo de amaranto una alternativa agronómica para Ecuador. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Publicación Miscelánea N°52. Quito, Ecuador.
- Robertson, K.R. (1981). The General of Amarantaceae in the south eastern United States. Journal of The Arnold Arboretum 62 (3): 267-314.
- Santamaría, M. Berganza, B. (1989). Revista Técnica “El amaranto y su uso en las panaderías rurales de El Salvador”. Facultad Multidisciplinaria de Occidente. Universidad de El Salvador.
- Solano, R. (2002). Cuantificación del ácido fítico en cuatro harinas del grano de amaranto obtenidas con diferentes tratamientos y el grano sin tratar. Trabajo de graduación para optar al título de: Licenciatura en Química y Farmacia, Universidad De El Salvador.
- Seminario Taller (2009). “Tecnología del Pan”. Escuela de panificación Alfonso Álvarez Lemus MOLINOS DE EL SALVADOR S.A DE C.V
- Tapia, M. (1997). Cultivos andinos sub explotados y su aporte a la alimentación. 2a Edición. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación (FAO). Oficina Regional para América Latina y el caribe. Santiago, Chile.
- Thomas y Krishnamurthy. (1988), Grano de Amaranto, Salvador de las dietas a base de cereales. Archivo latinoamericano, El amaranto y su potencial, Boletín 34, 12p. Universidad de Washington. USA.

- UES – CENTA (1991) Amaranto Preparación de Alimentos. Investigación desarrollada por la Facultad Multidisciplinaria de Occidente, Universidad De El Salvador y el Centro de Tecnología Agrícola (CENTA). Publicación apoyada por el Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP). Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación (FAO). Organización Mundial para la Salud (OMS).

- Williams, JT. (1995). Cereales y Pseudo Cereales; publicado por Chapman & Hall. USA.

ANEXOS

Anexo A. Preparación de productos con mezclas de trigo- amaranto.

Preparación de mezclas



Amasado y formado.



Reposo (solo para el pan integral)



Horneado



Anexo B. Formulario de evaluación sensorial.

Evaluación sensorial para la muestra de mejor preferencia.

Observe detenidamente cada muestra, luego de olerla, pruébela, indique el grado en que le gusta o disgusta cada muestra, colocando un cheque en la casilla que sea de su preferencia.

Comentar sobre el aroma entre agradable o desagradable.

CODIGO		158TA	CODIGO		TAX32	CODIGO		21SAT
SABOR			SABOR			SABOR		
Gusta mucho			Gusta mucho			Gusta mucho		
Gusta moderadamente			Gusta moderadamente			Gusta moderadamente		
Ni gusta ni disgusta			Ni gusta ni disgusta			Ni gusta ni disgusta		
Disgusta moderadamente			Disgusta moderadamente			Disgusta moderadamente		
Disgusta mucho			Disgusta mucho			Disgusta mucho		
AROMA			AROMA			AROMA		
Agradable			Agradable			Agradable		
Desagradable			Desagradable			Desagradable		

Anexo C. Análisis estadístico de las muestras de pan de amaranto.

Cuadro de resultados por muestra. (Valor observado y valor esperado)

GM: gusta mucho

G: gusta moderadamente

Hipótesis nula y alternativa

Ho: NO existe diferencia significativa en las propiedades organolépticas entre cada muestra en estudio y el patrón.

H1: Si existe diferencia significativa en las propiedades organolépticas entre cada muestra en estudio y el patrón.

Calculando el valor esperado por cada muestra: se multiplica el total de una categoría por el total de panelistas y esto se divide entre el total de la suma de ambas categorías.

Nivel de confianza NC = 95 %

Grados de libertad $v = (2-1)(2-1) = 1 \times 1 = 1$

$X^2_{0.95} = 0.0039$ (Valor tabulado)

Calculando X^2 experimental:

$$X^2 = \sum (V_o - V_e)^2 / V_e$$

Conclusión: si el valor de X^2 experimental es mayor que el X^2 tabulado por lo cual Ho se rechaza.

Resultados: A continuación se muestran los resultados.

Categoría	Valor Observado			Valor Esperado		
	Salpor Patron	Salpor Amaranto C	Total	Salpor Patron	Salpor Amaranto C	Total
GM	9	4	13	6,50	6,50	13,00
G	8	13	21	10,50	10,50	21,00
Total	17	17	34	17,00	17,00	34,00

$$(V_o - V_e)^2 / V_e \quad 0,9615 \quad 0,9615 \quad 0,5952 \quad 0,5952$$

$$X^2 \quad 3,1136$$

El valor experimental es mayor que el tabulado $0.7381 > 0.0039$, por lo cual H_0 se rechaza

Categoría	Valor Observado			Valor Esperado		
	Salpor Patron	Salpor Amaranto T	Total	Salpor Patron	Salpor Amaranto T	Total
GM	9	6	15	7,50	7,50	15,00
G	8	11	19	9,50	9,50	19,00
Total	17	17	34	17,00	17,00	34,00

$$(V_o - V_e)^2 / V_e \quad 0,3000 \quad 0,3000 \quad 0,2368 \quad 0,2368$$

$$X^2 \quad 1,0737$$

El valor experimental es mayor que el tabulado $1.0737 > 0.0039$, por lo cual H_0 se rechaza

Categoría	Valor Observado			Valor Esperado		
	Pan Integral	Pan Integral C	Total	Pan Integral	Pan Integral C	Total
GM	5	5	10	5	5	10
G	12	12	24	12	12	24
Total	17	17	34	17	17	34

$$(V_o - V_e)^2 / V_e \quad 0,0000 \quad 0,0000 \quad 0,0000 \quad 0,0000$$

$$X^2 \quad 0,0000$$

El valor experimental es menor que el tabulado $0 < 0.0039$, por lo cual H_0 se acepta

Categoría	Valor Observado			Valor Esperado		
	Pan Integral	Pan Integral T	Total	Pan Integral	Pan Integral T	Total
GM	5	6	11	5,5	5,5	11
G	12	11	23	11,5	11,5	23
Total	17	17	34	17	17	34

$$(V_o - V_e)^2 / V_e \quad 0,0455 \quad 0,0455 \quad 0,0217 \quad 0,0217$$

$$X^2 \quad 0,1344$$

El valor experimental es mayor que el tabulado $0.1344 > 0.0039$, por lo cual H_0 se rechaza

Categoría	Valor Observado			Valor Esperado		
	Palitos Patron	Palitos Patron C	Total	Palitos Patron	Palitos Patron C	Total
GM	8	3	11	5,5	5,5	11
G	9	14	23	11,5	11,5	23
Total	17	17	34	17	17	34

$$(V_o - V_e)^2 / V_e \quad 1,1364 \quad 1,1364 \quad 0,5435 \quad 0,5435$$

$$X^2 \quad 3,3597$$

El valor experimental es mayor que el tabulado $3.3597 > 0.0039$, por lo cual H_0 se rechaza

Categoría	Valor Observado			Valor Esperado		
	Palitos Patron	Palitos Patron T	Total	Palitos Patron	Palitos Patron T	Total
GM	8	7	15	7,5	7,5	15
G	9	10	19	9,5	9,5	19
Total	17	17	34	17	17	34

$$(V_o - V_e)^2 / V_e \quad 0,0333 \quad 0,0333 \quad 0,0263 \quad 0,0263$$

$$X^2 \quad 0,1193$$

El valor experimental es mayor que el tabulado $0.1193 > 0.0039$, por lo cual H_0 se rechaza

Anexo D. Requerimientos técnicos del tostador de amaranto de lecho fluidizado.

Determinación de algunas propiedades físico-mecánicas del grano de amaranto como objeto de reventado:

Velocidad terminal (V_t) del grano de amaranto.

Se calcula para el grano sin reventar y el grano reventado utilizando la ecuación citada por M. OSHENIN (1986).

$$V_t = 174 * ((g * d_p * (\rho_f)^{1/2}) / \mu) \quad (1)$$

Para calcular el número adimensional se utiliza la ecuación citada por WHITE (1984):

$$Re = (D * V_f * \rho_f) / \mu \quad (2)$$

Donde:

g : aceleración de la gravedad (9,81 m/s²);

d_p : diámetro de la partícula (grano de amaranto reventado y sin reventar) (m);

ρ_f : densidad del aire (kg/m³);

ρ : densidad del grano de amaranto (reventado y sin reventar) (kg/m³);

D : diámetro característico por donde fluye el aire o el fluido) (m);

V_f : velocidad del fluido (aire) (m/s);

μ : viscosidad dinámica del aire (Pa·s).

Los datos a sustituir en la ecuación 2 son:

Densidad del aire a 220 °C = 0.68 (kg/m³) y viscosidad dinámica del aire a esa misma temperatura 2,84188 x 10⁻⁵ (Pa · s).

Del manual de selección de ventiladores el diámetro característico de la descarga del ventilador es 0,2106 m y la velocidad del aire a la salida es

11.176 m/s (2 200 pies/min) con un gasto de desplazamiento de 0,3894 m³/s (825 pies³/min).

Consideraciones:

- Humedad de la semilla sin tostar es de 10.1% y la del grano tostado de 7.1 %,
- La forma de la semilla es esférica.
- Densidad fue de: la semilla sin tostar es de 806.11 Kg/m³ y la de la semilla tostada fue de 115.28 Kg/m³. Al dividir las densidades resulta que el volumen que ocupa la semilla reventada es de 7:1.
- El espacio poroso para el grano sin reventar fue de 39,6 % y para el grano reventado el promedio fue de 69,36 %
- Coeficiente de fricción estática.

Semilla sin reventar-Semilla sin reventar	0,5725
Semilla sin reventar-Acero	0,3925
Semilla reventada-Semilla reventada	0,8296
Semilla reventada-Acero	0,3550
Semilla reventada—Malla de acero	0,6586

- Angulo natural de deslizamiento de la semilla de Amaranto.

Semilla sin reventar-Acero	29,45°
Semilla reventada-Acero	29,70°
Semilla reventada—Malla de acero	47,35°

- Propiedades aerodinámicas de la semilla de Amaranto.

Condición		Velocidad del aire
Trabajo nominal del ventilador		26 m/s
Inicio de fluidización	Semilla sin reventar	5.0 m/s
	Semilla reventada	1.18 m/s
Arrastre total	Semilla sin reventar	6.0 m/s
	Semilla reventada	2.2 a 2.8 m/s

Sistema de alimentación de aire.

Del análisis de las propiedades aerodinámicas del grano de amaranto se tienen datos para seleccionar el ventilador, que es de tipo 20 LS centrífugo con rotor de 6 aspas radiales, caudal de 825 (pies³/min) (0,3893 (m³/s)), velocidad del aire en la descarga (2 200 pies/min) (11,176 (m/s)), girando a 2 679 rpm y potencia al freno de 1,88 HP, por esto se selecciona un motor de 2 HP, con la descarga de aire de 8,29" de diámetro equivalente (0,2106 (m)). (CHAMPION BLOWER, s/f).

Selección del quemador de GLP.

Para calcular la potencia del quemador se utiliza la ecuación:

$$Q = mC_p(T_r - T_m) \text{ (kW)} \quad (3)$$

Donde:

$$m = Q_v \cdot \rho \quad (4)$$

Q_v : gasto del ventilador = 0,3893 (m³/s);

ρ : densidad del aire a la entrada del ventilador.

Tomando en cuenta las consideraciones y sustituyéndolas en la ecuación (4) y conociendo que:

$$C_p = 1,0047 \text{ (kJ/kg K)}$$

$$T_r = 493,16 \text{ (K)}$$

$$T_m = 293,16 \text{ (K)}$$

Sustituyendo valores en la ecuación (3), entonces: $Q = 78,22 \text{ [kW]} \text{ (266 886 [BTU/hora])}$

Selección del quemador

Se cotizaron quemadores comerciales para gas LP que se encuentran en el mercado, por ejemplo se puede citar uno de 250 000 [BTU/hora] de marca Eclipse de fabricación británica, o de 1 000 000 [BTU/hora] de fabricación nacional. Para este caso se seleccionó un quemador automatizado de marca «Vincon», de fabricación nacional para calentar el intercambiador de calor y un quemador de 300 000 [BTU/hora] semiautomático tipo atmosférico de la misma marca, que se coloca a la entrada del ventilador cuando se calienta el aire con fuego directo.

Consumo de gas

Para calcular el consumo de gas LP se divide entre 25 000 la potencia del quemador en BTU/hora, para este caso el consumo nominal horario de gas es 10,67 (kg/hora). Para calcular el tiempo entre cargas se toma una producción de 100 (kg/hora) de amaranto reventado, considerando una humedad del grano de 14 %, el volumen horario de la tolva es (kg/hora), la misma tiene una capacidad de 403 kg (500 litros), el tiempo de consumo es $403/114 = 3,53$ horas.