

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



“Determinación de la calidad del grano reventado en líneas uniformes de amaranto (*Amaranthus cruentus*)”

Por:

JOSE ARMANDO ALONSO RIVERA

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Buenavista, saltillo, Coahuila, México.

Marzo 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos

"Determinación de la calidad del grano reventado en líneas uniformes de
amaranto (*Amaranthus cruentus*)"

TESIS

Presentada por

JOSE ARMANDO ALONSO RIVERA

y que somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para
obtener el título profesional de

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

APROBADA



Dr. Mario Alberto Cruz Hernández

Presidente



Dra. Ruth Elizabeth Belmares Cerdá

Vocal



Dra. Sonia Noheми Ramírez Barrón

Vocal



Dr. Alberto Antonio Neira Vielma

Vocal



Dr. José Dueñez Alanís

Coordinador de la División de Ciencia Animal



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Marzo de 2022

J. Armando Alonso

2

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos

"Determinación de la calidad del grano reventado en líneas uniformes de
amaranto (*Amaranthus cruentus*)"

· T E S I S

Presentada por

JOSE ARMANDO ALONSO RIVERA

y que somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para
obtener el título profesional de

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Fue dirigida por el siguiente comité:

Dr. Mario Alberto Cruz Hernández

Director

Dr. Leonardo Hernández Aragón

Director Externo

Dr. Ruth Elizabeth Belmares Cerda

Co-asesor

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Marzo 2022

Agradecimientos

A **mis padres Vicente Alonso y Norma Rivera por haberme forjado** por la persona que soy hoy en día; muchos de las cosas que he logrado se las debo a ellos, en donde incluyo este. Me formaron con reglas, pero al mismo tiempo con ciertas libertades y siempre me motivaron para que pudiera alcanzar mis sueños.

Agradezco a mis segundos padres **Hilario Alonso y María Justa Gonzales** por siempre estar en los momentos importantes en mi vida, por ser el ejemplo para salir adelante y por los consejos que han sido de gran ayuda para mi vida y crecimiento.

Agradezco infinitamente a mi **ALMA TERRA MATER**, por haberme permitido formarme en sus aulas, compartiendo ilusiones y anhelos. Con constancia, dedicación y esfuerzo alcanzamos nuestros sueños. ¡Gracias!

Agradezco al **Dr. Leonardo Hernández Aragón** y a la **bióloga Leticia tavitás**, por la oportunidad de trabajar bajo su tutela, por las atenciones brindadas a lo largo del proyecto.

Agradezco al **INIFAP Zacatepec Morelos**, por haberme permitido realizar este trabajo.

Agradezco al **Dr. Mario Alberto cruz Hernández**, por haberme guiado en este proyecto, en base a su experiencia ha sabido direccionar mis conocimientos.

Agradezco a mi hermana **Karina Arisvet Alonso Rivera**, por el apoyo que ha tenido conmigo la que me ha motivado para llegar a ser un profesionalista.

Agradezco a **Karen Yarely Montalvo Marín**. Quien me apoyo y alentó para seguir cuando más quise abandonar.

Dedicatorias.

A mis padres.

Quienes han sido la guía y el camino para poder llegar a este punto de mi carrera, que con su ejemplo, dedicación y palabras de aliento nunca bajaron los brazos para que yo tampoco lo haga aun cuando todo se complicaba

Agradezco a mi madre, por todo el apoyo brindado durante mi vida académica, tanto por el apoyo moral, como por el apoyo económico. Ya que ha sido una persona honesta, entregada a su trabajo y un gran líder, pero más que todo eso, una gran persona que siempre ha podido salir adelante y ser triunfadora.

A mis abuelos.

Hilario Alonso y María Justa Gonzales que han sido mis segundos padres que con mucho amor y cariño, les dedico todo mi esfuerzo en reconocimiento a todo el sacrificio puesto para que yo pueda estudiar, se merecen esto y mucho más.

A mi hermana.

Te dedico este trabajo por tu apoyo durante mi carrera universitaria siendo mi compañía y por qué has sido una de las personas que siempre ha creído en mis capacidades.

A mi universidad.

Les dedico este trabajo a todas las personas que forman parte de la universidad por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión, de manera especial.

A INIFAP. (Campo Experimental Zacatepec Mor.)

Le dedico este trabajo a INIFAP que me abrió las puertas durante un tiempo tan difícil para la humanidad, agradezco de corazón todo el apoyo brindado durante mi estancia. A los investigadores que forman parte del INIFAP en especial al Dr. Leonardo Hernández Aragón y la bióloga Leticia Tavitas.

A MI ALMA TERRA MATER.

Gracias a mi universidad , gracias por haberme permitido formarme y en ella, gracias a todas las personas que fueron partícipes de este proceso, ya sea de manera directa o indirecta, gracias a todos ustedes, fueron los responsables de realizar su pequeño aporte, que el día de hoy se ve reflejado en la culminación de mi paso por la universidad.

A Don Antonio Narro

Le dedico este trabajo a La Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, que lleva este nombre como muestra de respeto y reconocimiento a la memoria de Don Antonio Narro Rodríguez, quien heredó sus bienes para que pudiera crearse una escuela de agricultura en la región. Actualmente, es una institución emblemática de la educación agropecuaria superior en México, que se ha consolidado como una de las mejores instituciones en la formación de capital humano y conocimientos para el desarrollo sustentable del campo y del país.

**ALMA TERRA MATER,
ALMA TERRA MATER,
ARDA TROYA Y EN COMBATE MUERA MARTE,
ARDA TROYA Y EN COMBATE MUERA MARTE.
BUITRES, ¡BUITRES! ¡AL ATAQUE!**

¡Buitres por siempre!

¡Orgullo narro!

Índice

Agradecimientos	4
Dedicatorias.....	5
índice de figuras.....	9
Índice de cuadros	10
Índice de graficas	10
4.- Objetivos.....	18
4.1 Objetivo general.....	18
4.2 Objetivos específicos.....	18
5.2 Clasificación taxonómica	21
5.3.1 Tamaño y estructura de la semilla	24
5.4. Importancia nutrimental	26
5.5 Composición química de la semilla	27
5.6. Importancia del grano de amaranto en la industrialización	29
5.6.1. Económica.....	31
5.6.2 Producción del amaranto en México.....	32
5.6.3 Social.....	33
5.6.4 Nutritivo.....	35
5.6.5 Proteína cruda.....	37
5.6.6 Composición de la fracción albuminas.....	39
5.6.7 Proteínas ricas en metionina	39
5.6.8 Péptidos antimicrobianos	39
5.6.9 INHIBIDORES DE PROTEASAS.....	42
5.6.10 LECTINAS.....	42
5.7. Amaranto: propiedades benéficas para la salud	43
5.7.1 Digestibilidad y valor biológico	43
5.7.2 Relación de eficiencia proteínica.....	43
5.7.3 Propiedades anti-tumolares.....	43
5.7.4 Calidad de las proteínas	45
5.7.4.1 Calificación química.....	45
5.7.4.2 Hidratos de carbono	45
5.7.4.3 Ácidos grasos.....	46

5.7.4.4 Almidón.....	48
5.7.4.5 Vitaminas y nutrimentos orgánicos.....	49
5.7.4.6 Usos del amaranto.....	51
6. Materiales y métodos	52
6.1. Materia prima.	52
6.2. Métodos.....	52
6.2. 1Proceso para desgrane de panoja	52
6.3 Proceso para el reventado del grano	53
6.3.2 Remojo del grano.....	54
6.2.1 Selección del grano crudo	54
6.3.3 Reventado del grano.....	55
6.4 Proceso para el análisis de la calidad del grano reventado de amaranto.....	55
Determinación del grano reventado.	55
6.4.1 Selección del grano reventado:	55
6.4.2 Análisis sensorial.....	58
6.4.3 Determinación de humedad del grano reventado	58
6.4.4 Determinación de proteína	59
6.5 Extracto etéreo.....	64
7. Resultados y discusión	67
7.1 Rendimiento de grano reventado	67
7.2 Morfología o forma del grano reventado	69
7.3 Contenido de humedad del grano reventado.....	72
7.4 Contenido de aceite	74
7.5 Contenido de proteínas	76
8. Conclusiones.	79
BIBLIOGRAFÍA.....	80

indice de figuras

Fig.1 amaranto.....	22
Fig. 2 Granos de amaranto de diversos colores (Morales, 2009)	24
Fig. 3 Diagrama de secciones transversal y longitudinal del grano de amaranto (Betschatt y Saunders 1981)	25
fig.4 tabla de hectáreas sembradas	32
Fig. 5 toneladas de amaranto	33
Fig.6 siembra de amaranto en 2020.	33
Fig.7 panojas expuestas al sol.....	52
Fig.8 Desgrane de la panoja y separación del grano y tamo	53
fig.9 separado del grano.....	53
fig.10 pesado del grano.....	53
Fig.11 limpieza del grano.....	54
Fig. 12 frascos de vidrio.....	54
Fig.13 remojo de amaranto	54
Fig.14 adición de 1ml de agua	54
Fig.15 Maquina reventadora de grano.....	55
Fig.16 Selección del grano reventado.	55
Fig. 17 Recepción del grano reventado de amaranto.	56
Fig.18 Pesaje del grano reventado y no reventado de amaranto.....	56
Fig.19 análisis sensorial de amaranto reventado	58
Fig.20 secado	59
Fig. 21 digestiones	61
Fig. 22 Matraz Erlenmeyer	62
Fig. 23 Destilación.....	62
Fig. 25. Muestra resultante de la titulación	63
Fig. 26 Equipo tipo Soxhlet para la extraccion y destilación de aceite	65
Fig.27 Muestra III-47	71
Fig.28 Muestra III-55	71
Fig.29 Muestra III-117	71
Fig.30 Muestra IV-122	71
Fig.31 Muestra IV-123	71

Fig.32 Muestra V-21.....	71
--------------------------	----

Índice de cuadros.

Cuadro 1. Composición aproximada del grano de distintas especies de amaranto.....	29
Cuadro 2. Composición de amaranto y los principales cereales.	37
Cuadro 3. Composición de amino ácidos esenciales (g/ 100 g de proteína).....	38
Cuadro 4. Contenido de vitaminas del grano de amaranto	50
Cuadro 5. Líneas puras de amaranto seleccionadas para la evaluación preliminar de calidad de grano “reventado”.....	52
Cuadro 6. Resultados de los rendimientos del grano reventado de amaranto de seis líneas de amaranto.....	68
Cuadro 7. Resultados de la calidad del grano de las 6 líneas uniformes de amaranto reventado realizadas en el laboratorio de calidad del grano del Campo Experimental Zacatepec	70
Cuadro 8. Contenido de humedad en la harina del grano reventado de seis líneas uniformes de amaranto.....	73
Cuadro 9 Contenido de aceite de seis líneas uniformes de amaranto.	75
Cuadro 10 .Resultadas finales de la evaluación del grano reventado de las 6 líneas uniformes de amaranto realizadas en el laboratorio del campo experimental Zacatepec, INIFAP.....	77

Índice de graficas

Gráfica 1. Contenido de riboflavina en el grano de amaranto, en comparación con otros alimentos, mg/100 g de producto	500
Grafica 2. Resultados de los análisis del grano reventado en forma descendente de las 6 líneas uniformes de amaranto realizadas en el laboratorio de calidad del grano del Campo Experimental Zacatepec.	¡Error! Marcador no definido.
Grafica 3. Contenido de humedad de la harina del grano reventado de seis líneas uniformes de amaranto.....	73
Gráfica 4. Contenido de aceite crudo de seis líneas uniformes de amaranto.....	76
Grafica 5. Contenido de proteína en forma descendente del grano reventado de 6 líneas uniformes de amaranto.	78

Abstract.

In the present work, six types of pure lines of popped amaranth were evaluated. The grain presents morphological similarity in that the popped grain is eight-shaped, there are also differences in terms of moisture, oil and protein content, which is why the need to analyze each variety of amaranth in order to know its type of grain, morphological and chemical composition to determine its use in the industry.

The present work was carried out at the National Institute of Forestry, Agricultural and Livestock Research (INIFAP) where the popped grain of 6 genotypes of amaranth was evaluated to determine the percentages of grain quality. Selecting those with the highest percentage of grain recovery from sowing p/v 2021, 6 samples of 20 grams of raw grain were evaluated for each variety, for popping a popcorn popper was used where a study was carried out to know the morphological characteristics of the grain, as well as the yield of popped grain, as well as the sensory evaluation.

Regarding its chemical composition, oil content was determined using the Soxhlet method and the Kjeldhal method for proteins, making duplicate extractions in both methods.

Of the 6 varieties of amaranth that were analyzed, it was found that the most outstanding samples in terms of yield or percentage of popped grain were: ZAC-8-14-OMA-14B-28B-20-2-9M with 79.34%; ZAC-9-14-OMA-14B-26B-21-6-1M with 78.83% and ZAC-8-14-OMA-14B-28B-21-1-9M with 77.74%.

Therefore, in terms of moisture in the popped grain, the varieties with the highest percentage moisture content were: ZAC-10-14-OMA-42B-23B-6-2-20M with 6.95%; ZAC-9-14-OMA- 14B-26B-21-6-13M with 6.85% and ZAC-8-14- OMA- 14B-26B-21-1-13M with 6.8%.

Regarding the oil content in the popped grain, the varieties that reported the best percentages of oil were: ZAC-8-14-OMA-14B-28B-20-2-9M with 6.95%; ZAC-8-14- OMA-14B-26B-21-1-13M with 7.4% and ZAC-8-14- OMA- 14B-28B-21-1-9M with 6.2%

While for protein content, the highest values were reported by the following genotypes: ZAC-8-14- OMA- 14B-28B-20-2-9M with 17.10%; ZAC-10-14-OMA- 42B-23B-6-2-20M with 15.00% and ZAC-8-14- OMA- 14B-28B-21-1-9M with 14.56%.

With these results it was possible to determine the use of each of the genotypes, those that reported the highest percentages of recovery of popped grain will be used for the production of jimmies, others for the oil industry or for nutritional drinks.

Another important aspect of this research is that in many works published to date on the content of oil and proteins, they mention the results but do not show whether they are in raw or popped grain, it is also in a general way since the names are not mentioned. Of the genotypes evaluated. For this reason, these results are important to know the different genotypes with their different outstanding characteristics that will be used in breeding programs, for the generation of new varieties that meet both agronomic and grain quality

characteristics, since the Amaranth grain is in great demand in our country, both for consumption as popped grain, its nutritional content, or for its oil content, which represents an addition of great significance. Therefore, the producers will be able to sow the varieties that they require according to the products that they will industrialize or transform.

Keywords: *Amaranthus hypochondriacus*, *Amaranthus caudatus*, *Amaranthus Cruentus*, *Amaranthus hybridus*.

Resumen.

En el presente trabajo se evaluaron seis tipos de líneas puras de amaranto reventado, El grano presenta similitud morfológica en cuanto el grano reventado es de forma de ocho, también existen diferencias en cuanto al contenido de humedad, aceite y proteína, es por ello que surge la necesidad de analizar cada variedad de amaranto con la finalidad de conocer su tipo de grano, composición morfológica y química para determinar su uso en la industria.

El presente trabajo se realizó en el instituto nacional de investigaciones forestales, agrícolas y pecuarias (INIFAP) en donde se evaluó el grano reventado de 6 genotipos de amaranto, para determinar los porcentajes de calidad del grano. Seleccionando aquellos que con mayor porcentaje de recuperación de granos de la siembra p/v 2021, se evaluaron 6 muestras de 20 gramos de grano crudo por cada variedad, para el reventado se utilizó un reventador de palomitas en donde se realizó un estudio para conocer las características morfológicas del grano, así como el rendimiento de grano reventado, así como la evaluación sensorial.

Por lo que respecta a su composición química para la determinación del contenido de aceite, se efectuó mediante el método Soxhlet y para las proteínas por el método de Kjeldhal, haciendo extracciones por duplicado en ambos métodos.

De las 6 variedades de amaranto que se analizaron se encontró que las muestras más sobresalientes en rendimiento o porcentaje de grano reventado fueron: ZAC-8-14-OMA-14B-28B-20-2-9M con 79.34%; ZAC-9-14-OMA-14B-26B-21-6-1M con 78.83% y ZAC-8-14-OMA-14B-28B-21-1-9M con 77,74%.

Por lo tanto en humedad en el grano reventado las variedades con más alto contenido de porcentaje de humedad fueron: ZAC-10-14-OMA- 42B-23B-6-2-20M con 6.95%; ZAC-9-14-OMA- 14B-26B-21-6-13M con 6.85% y ZAC-8-14- OMA- 14B-26B-21-1-13M con 6.8%.

Con respecto al contenido de aceite en el grano reventado, las variedades que reportaron los mejores porcentajes de aceite fueron: ZAC-8-14-OMA-14B-28B-20-2-9M con 6.95%; ZAC-8-14- OMA- 14B-26B-21-1-13M con 7.4% y ZAC-8-14- OMA- 14B-28B-21-1-9M con 6.2%

Mientras que para el contenido de proteínas, los valores más altos lo reportaron los siguientes genotipos: ZAC-8-14- OMA- 14B-28B-20-2-9M con 17.10%; ZAC-10-14-OMA-42B-23B-6-2-20M con 15.00% y ZAC-8-14- OMA- 14B-28B-21-1-9M con 14.56%.

Con estos resultados se pudo determinar la utilización de cada uno de los genotipos, los que reportaron más altos porcentajes de recuperación de grano reventado se utilizarán para la elaboración de palanquetas, otros para la industria aceitera o para bebidas nutritivas.

Otro aspecto importante de esta investigación es, que en muchos trabajos publicados hasta la fecha sobre el contenido de aceite y proteínas mencionan los resultados pero no muestran si estos son en grano crudo o reventado, además es en forma general ya que no se mencionan los nombres de los genotipos evaluados. Por tal razón, estos resultados son

importantes para conocer los diferentes genotipos con sus diferentes características sobresalientes que se utilizarán en los programas de mejoramiento genético, para la generación de nuevas variedades que reúnan las características tanto agronómicas como de la calidad del grano, puesto que el grano de amaranto está teniendo una gran demanda en nuestro país, tanto para consumo como grano reventado, su contenido nutrimental, o por su contenido de aceite que representa un agregado de gran significancia. Por lo que, los productores podrán sembrar las variedades que ellos requieran de acuerdo a los productos que ellos industrializarán o transformarán.

- **Palabras clave:** *Amaranthus hypochondriacus*, *Amaranthus caudatus*, *Amaranthus Cruentus*, *Amaranthus hybridus*.

1. Introducción.

El amaranto o alegría es una planta herbácea anual que pertenece al género *Amaranthus*, es predominante tropical, incluye cerca de 70 especies nativas de los trópicos y de las regiones templadas de todo el mundo; de las cuales 40 son de América y el resto pertenece a Australia, Asia y Europa dentro del género se encuentran las especies *A. cruentus*, *A. hypochondriacus* y *A. caudatus* que son las más importantes para la producción de grano de amaranto.

La problemática que el amaranto presenta en su producción se debe a que las variedades que existen no son aptas para una cosecha mecanizada teniéndose que cosechar a mano lo cual es una actividad costosa. Esto se debe a que las plantas de amaranto tienen una altura mayor de 2.0 m, y que las panojas presentan un bajo contenido de grano de amaranto esto se debe a que en las panojas (glomérulos) tienen un mayor índice de flores femeninas que masculinas por lo cual no alcanzan a polinizar a las flores femeninas y por lo tanto producen más tamo que grano. Por esta razón los productores no están interesados en sembrar en la actualidad los criollos o variedades que existen ya que sus rendimientos son bajos y los costos de cultivo son altos. Para lograr una mayor rentabilidad del cultivo de amaranto, es importante que los productores obtengan mayores volúmenes de grano con menores costos.

Para mejorar los niveles de sostenibilidad económica del amaranto, es imprescindible que los productores cuenten con variedades modernas aptas para la cosecha mecanizada, y con buenos potenciales de rendimiento además debe incluirse en el plan nacional de cultivos, ya que puede ser una alternativa importante por su alta demanda nacional e internacional, pero se requiere mejorar la tecnología de cultivo para incrementar el rendimiento y calidad. También, es necesario mejorar la articulación de la producción con los agentes y canales de comercialización para aprovechar los nichos de mercado; además de fortalecer la investigación y difusión de tecnologías amigables al medio ambiente para el manejo del cultivo

En el INIFAP Zacatepec Morelos se desarrolló un proyecto de mejora genética de amaranto a través de cruzamientos para desarrollar una variedad moderna con las características de la planta para su mecanización con una altura menor a 1.5 m, resistente al acame, con panojas compactas y con buena calidad de reventado y nutricional del grano.

Por lo antes mencionado, es importante hacer hincapié en que se consideró que como parte complementaria de esta investigación se incluyera de manera preliminar la determinación de la calidad de grano “reventado” de las líneas puras seleccionadas en PV-2021, esta actividad permitirá dar una idea sobre la calidad del grano que poseen las futuras variedades de amaranto, que desde luego este factor constituye otra de las características importantes que deben reunir los nuevos cultivares para satisfacer los requerimientos de la industria y del público consumidor (Tavitas y Hernández, 2022).

Tanto en las variedades como en los amarantos criollos tropicales (*A. cruentus* L.) que se cultivan en el estado de Morelos, por lo general el grano crudo presenta similitudes morfológicas; sin embargo, en el proceso de “reventado” muestran algunas diferencias en cuanto a sus formas, tales como: trébol, como número ocho y forma de esfera, y algunos simplemente no revientan. Además, existen diferencias en cuanto al contenido de aceite y proteína, es por ello que surge la necesidad de analizar el grano de los nuevos genotipos que están en desarrollo con el propósito de conocer sus características morfológicas y químicas y determinar su uso en la industria (Tavitas *et al.*, 2008., Bahena y Bustos, 2016.).

2. Justificación.

A pesar de que el amaranto tiene presencia en el consumo de los mexicanos desde tiempos prehispánicos, pero en la actualidad se le ha dado mucha importancia por su efecto nutracéutico en la salud y alimentación en donde se han implementado nuevas formas de alimentación que son más sanas y nutritivas; ya que es considerado como cultivo con amplio potencial nutricional y con capacidad de disminuir los niveles de desnutrición si son agregados a la actual dieta.

En México el cultivo de amaranto ha sido de los menos atendidos tanto de la investigación como en los apoyos gubernamentales debido a sus reducidos niveles de producción, por lo que su importancia estadística sigue siendo baja considerando que este cultivo nativo es un claro ejemplo del potencial y diversidad agrícola desaprovechado por las estrategias alimenticias.

Es importante rescatar la producción local del amaranto, ya que el Gobierno Federal lo integro a la canasta de los granos básicos después del maíz, trigo, frijol, arroz , por lo cual se deben incrementar los rendimientos para abastecer la demanda que es de aproximadamente 25 mil toneladas anuales, esto se puede lograr obteniendo variedades modernas para su mecanización, con buena calidad de grano reventado y que los actores de la dinámica agrícola de este cultivo posean las capacidades fundamentales para impulsar su producción, promoción, comercialización y especialmente el consumo en áreas de atender el problema de desnutrición y seguridad alimentaria en México

4.- Objetivos.

4.1 Objetivo general

Evaluar los aspectos para determinar la calidad del grano reventado del amaranto (*Amaranthus cruentus*) en seis líneas uniformes desarrolladas en el INIFAP Zacatepec Morelos

4.2 Objetivos específicos

1. Seleccionar el grano reventado para la determinación del porcentaje.
2. Evaluar aspectos sensoriales como el aroma y sabor del grano reventado.
3. Caracterizar los aspectos de forma del grano reventado.
4. Determinar el contenido de humedad de acuerdo a las normas nacionales
5. Obtener el aceite de amaranto para medir el rendimiento.
6. Determinar porcentaje de proteína utilizando el método de Kjeldahl.

5. Revisión de literatura.

5.1. Origen

El amaranto pertenece a la familia Amaranthaceae, subfamilia Amaranthoideae, género *Amaranthus* L. (Carmona y Orsini-Velázquez, 2010). Este género es predominantemente tropical, se distribuye en todos los climas desde el nivel del mar hasta 3,600 m (Mazón *et al.*, 2003). Borsch *et al.*, (2015) reportan que la familia Amaranthaceae se conforma por 82 géneros y 840 especies. Costea *et al.*, (2001) mencionando que existen aproximadamente 40 especies de *Amaranthus* que son nativas de América.

El género *Amaranthus* se caracteriza por incluir plantas herbáceas anuales o arbustivas con flores de diversos colores, de verde a morado o púrpura con distintas coloraciones intermedias; unisexuales, con flores masculinas y femeninas en la misma planta (monoicas) o en plantas diferentes (dioicas) (Mosyakin y Robertson, 1996). Además de su importancia botánica y taxonómica, el género ha acaparado gran interés a nivel mundial, debido al valor nutricional que presentan algunas de sus especies, mismas que son fuente importante de alimento como verdura y grano (Wesche-Ebeling *et al.*, 1995). Dentro del género se encuentran plantas silvestres, semidomesticadas y domesticadas productoras de grano, que han contribuido en los procesos de diversificación debido al flujo génico entre ellas (Boege, 2009).

El amaranto, palabra que proviene del griego y significa: “la que no se marchita, la imperecedera, ha ido cobrando importancia en la dinámica alimentaria mundial; sin embargo, sus antecedentes de cultivo son sumamente antiguos, por su origen y uso, el amaranto puede ser considerado un cultivo nativo de Mesoamérica. Cultivado 5000 años a.C, el amaranto (*o huauhtli*) era considerado un cereal con un alto significado social, religioso y económico antes de la Conquista y era valorado en la misma proporción que al cultivo del maíz y el frijol.

El amaranto, considerado pseudocereal, crece intensivamente y tiene una fotosíntesis por demás acelerada y efectiva sin importar la calidad del suelo donde se cultiven y pueden

sobrevivir a zonas con condiciones climáticas extremas “desde ambientes secos hasta húmedos, de regiones altas a nivel del mar y se desarrolla en suelo de todo tipo de calidades”. Esta cualidad de resistencia y adaptabilidad del cultivo a condiciones agronómicas adversas constituye una oportunidad de producción para los pequeños productores rurales al tener menores niveles de siniestralidad que cultivos más comunes en México. (Martínez *et al.*, 2016)

Las evidencias arqueológicas encontradas en México, confirman el origen americano de las especies cultivadas para grano, ya que, las hojas y semillas del genero *amaranthus* fueron utilizadas por los habitantes de América prehistórica, mucho antes del proceso de domesticación de estas plantas (Sauser, 1967)

Según Grubden (1975) y Grubden y Sloten (1981) *Amaranthus cruentus* L, especie para la producción de grano, es originaria de América Central, probablemente de Guatemala y sureste de México, donde se cultiva y se encuentra ampliamente distribuida.

Amaranthus caudatus L. es otra especie para la producción de grano originaria de los andes y de aquí se distribuyó a otras zonas templadas y subtropicales, está adaptada a días cortos y bajas temperaturas (Grubben, 1975; Grubben y Sloten, 1981 y Hunziker, 1952)

Sauser (1950, 1967) indica que *Amaranthus hypochondriacus* L. es otra importante especie para la producción de grano y es originaria de México, se le cultiva desde el tiempo de los aztecas, actualmente se continúa cultivando con una amplia distribución en México; también se cultiva en el Himalaya en Nepal y en el sur de la India, donde se han formado centros secundarios de diversificación

Los amarantos fueron nombrados huauhtli por los aztecas. “ huauh” en el nahuatl del siglo XVI fue un radical nominal independiente, no relacionado con alguna otra raíz, “ huaqui” secar daría nombre “huactli” una cosa secada en el exterior, palabra que no se puede derivar de alguna raíz Uto-azteca (Costea y Tardif, 2003)

El género *Amaranthus* L incluye especies que se originaron en las Américas, África y Eurasia. La asociación entre estas plantas y el nombre *amaranthus* es relativamente reciente. Los amarantos de grano (*A. hybridus* L. y *A. powellii* S, Wats) fueron introducidas en Europa en el siglo XVI. (Sauer 1950,1967). Otras especies de amarantos tales como *A. Tricolor* L. de Asia y *A. blitum* L. también fueron asociados con este nombre después del siglo XVI. El nombre de amaranto ya había sido utilizado anteriormente por los griegos y romanos por lo menos desde hace 200 años atrás.

5.2 Clasificación taxonómica

Debido a la variabilidad que existe dentro de cada una de las especies para grano, ha sido necesario hacer subdivisiones. Sauer (1950) subdividió a *A. hypochondriacus* en tres razas: común. Arizona y Aberrante; para *A. cruentus* distinguió la común y la mexicana.

Kauffman y Reider (1984) mencionan para *A. hypochondriacus* los tipos Nepal, Mercado, Mixteco, Azteca y Picos; para *A. Cruentus*, el mexicano, africano y guatemalteco: para *A. hybridus* el prima y para *A. caudatus* el sudamericano y *edulis*.

Los nombres aluden a las civilizaciones que florecieron en estos sitios durante la época precolombina (Espitia, 1986). Algunas poblaciones no se ajustan a esta clasificación debido a que representan nuevos tipos de grano con variación por hibridaciones.

Los grupos morfológicos representan una parte del espectro de la variación genética dentro de cada especie. Las accesiones dentro de un grupo realmente son variedades nativas, en el sentido de Hoyt (Kauffman, 1992), es decir son razas locales o complejos del cultivo adaptadas a diferentes condiciones ambientales y culturales, se han desarrollado mediante selección natural y artificial en sistemas de cultivos primitivos (Kulakow y Jain, 1987; Espitia, 1991; Kauffman 1992 y Espitia, 1992 a, b)

- *Amaranthus hypochondriacus* L.
- *Amaranthus hypochondriacus* L.raza Azteca
- *Amaranthus hypochondriacus* L.raza Mercado
- *Amaranthus hypochondriacus* L.raza Mixteca

Amaranthus hypochondriacus L.raza Nepal

Amaranthus hypochondriacus L.raza Picos

Amaranthus cruentus L.

Amaranthus cruentus L. raza Mexicana

Amaranthus cruentus L. raza Guatemalteca

Amaranthus cruentus L. raza Africana

Amaranthus cruentus L. raza Sudamericana

Amaranthus cruentus L. raza (A. eulis) raza Edulis

Amaranthus cruentus L. raza Prima



Fig.1 amaranto.

5.3 Características botánicas y morfológicas del amaranto.

El amaranto es una planta perteneciente a la familia *amaranthaceae*, herbácea o arbustiva, de ciclo anual y de crecimiento rápido, sus tallos son lisos o rayados de color verde o morado, y las inflorescencias cuando maduran, se convierten en panojas de distintas coloraciones, como verde, vino, café o purpura y algunas coloraciones intermedias. La producción de semilla se efectúa tanto por autopolinización como por cruzamientos por la acción del viento (Mujica et al., 1997) sus granos en cierto modo son similares a los de los cereales y por ello al amaranto se le conoce como un “pseudocereal” aunque la planta es herbácea y la semilla es dicotilenea (Belton y Taylor, 2002)

La clasificación más importante usada es la sugerida por Sauer (1950), el género se divide en dos subgéneros: *amaranthus* (plantas monoicas) y *acnida* (L.) El subgénero *amaranthus* se ha dividido en dos secciones con base en características morfológicas de la inflorescencia y de la flor. (Koshoo y Pal, 1972): *amaranthus* (sect. *Amaranthotypos*

dumort; “*paniculati*” de Small), con inflorescencias grandes, terminales, de crecimiento indeterminado, las flores son pentámeras con un utrículo dehiscentes y circunsesil y *blitopsis dumort* (grupo “*crassipes*” de Small) con inflorescencias auxiliares de crecimiento determinado, cuándo existe una inflorescencia terminal, esta es muy pequeña. Las flores son bimeras o trímeras con un utrículo de dehiscencia irregular (Robertson, 1981)

La estructura básica floral para ambas secciones es una cima dicásica comúnmente llamada glómérulo. Una flor inicial estimada es seguida por un número indefinido de flores pistiladas. Los glómérulos se encuentran en un eje sin hojas y forman una panícula compleja de aspecto cilíndrico, compacto que técnicamente recibe el nombre de tirso. Antes de la excreción del estambre los pistilos dentro de un glómérulo son receptivos al polen.

Todos los amarantos exhiben fenotipos muy variados y se adaptan a una enorme variedad de condiciones climáticas, la forma más común de la hoja es elíptica con una punta aguda y una base cuneada. El tamaño de la hoja varía mucho dentro y entre especies. El color de las plantas varía desde verde oscuro hasta magenta con un amplia gama de colores intermedios y diferentes combinaciones, Mosyakian y Robertson (1996) proponen el rango subgénerico (subgénero *albersia*) para la sección *blitopsis* sensu lato. Esta clasificación infragenérica con 3 subgéneros (*acnida*, *amaranthus* y *albersia*) se encuentra basada en caracteres clásicos tales como los de la inflorescencia y características florales, es de importancia conocer si otros caracteres apoyan esta clasificación (Costea *et al.*, 2001a)

La protección mecánica de las flores y de los frutos en contra de los herbívoros es obvia a partir de las bractéolas espinosas en *Amaranthus*. Parece existir una correlación entre la presencia de las bractéolas espinosas y la dehiscencia de los frutos: las especies que presentan frutos dehiscentes tienen bractéolas espinosas mientras que especies con frutos indehiscentes presentan generalmente bractéolas membranosas o foliáceas

5.3.1 Tamaño y estructura de la semilla

La semilla es pequeña, lisa y brillante; es ligeramente aplanada de forma lenticular y mide de 1 a 1.5 milímetros de diámetro (Stallknecht y Schulz, 1993). Sus colores varían del negro al blanco incluyendo amarillentos, cafés, dorados, rojos, rosados y púrpuras, como se muestra en la figura 2.

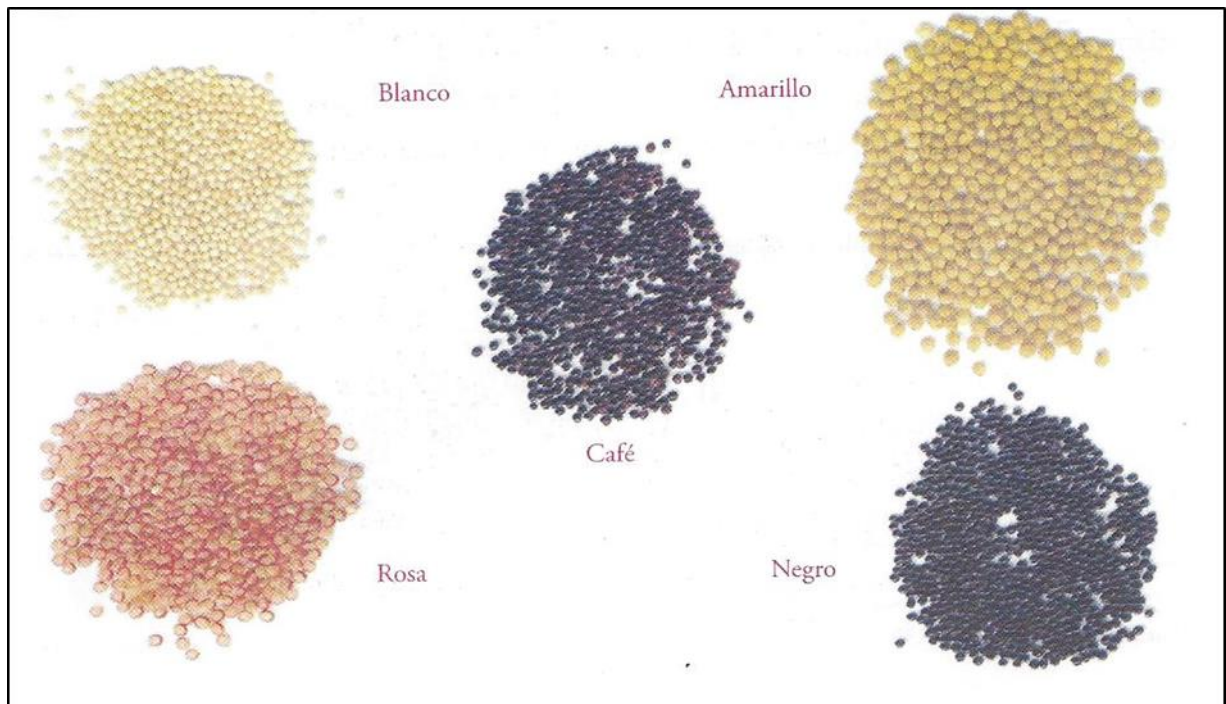


Figura 2. Granos de amaranto de diversos colores (Morales, 2009)

Como se muestra en la figura 3, en el grano se distinguen cuatro partes importantes: el epispermo o cubierta seminal el cual está constituido por una capa de células muy finas; el endospermo, que es la segunda capa; el embrión, formado por dos cotiledones, que es la parte más rica en proteínas, y el perispermo, que consiste de una capa interna rica en almidones (Betschart y Saunders, 1981).

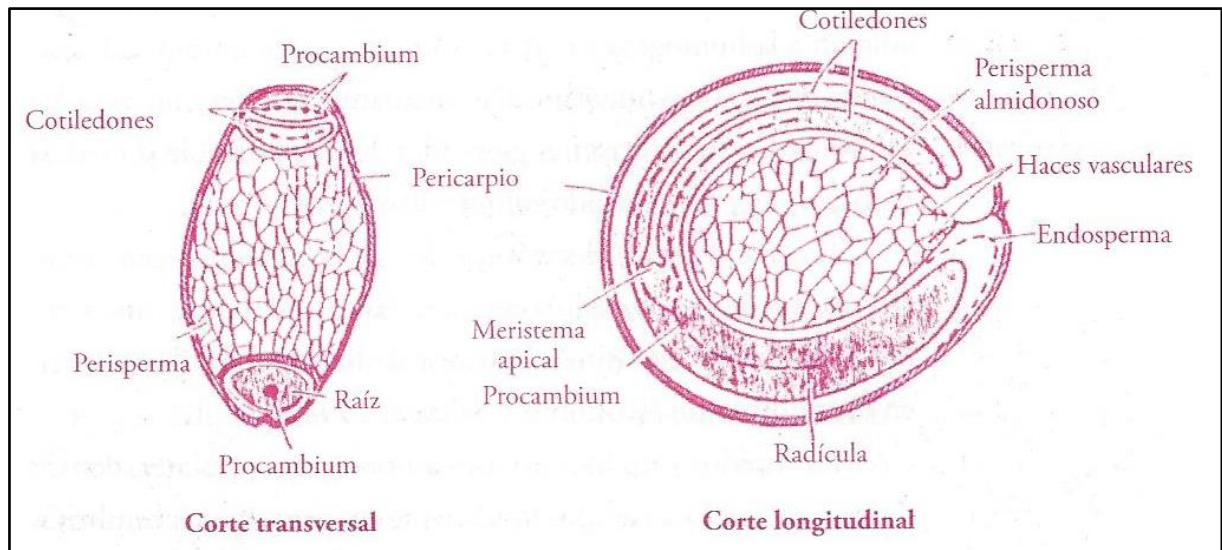


Figura 3. Diagrama de secciones transversal y longitudinal del grano de amaranto (Betschatt y Saunders 1981)

Frecuentemente se menciona el incremento del peso o tamaño de semilla como un objetivo de un programa de mejoramiento genético de amaranto (Weber y Kauffman, 1990). Semillas de mayor tamaño incrementarían la eficiencia seguramente del vigor de plántulas, facilitarían el manejo, aumentarían la eficiencia en el reventado; sin embargo, el incremento del tamaño de la semilla también traería consigo una reducción en la proteína, si este se da en el endospermo en comparación a que si se diera en el embrión o en los cotiledones. Kauffman (1981) no pudo incrementar el tamaño de la semilla por selección. Hay especies relacionadas que podrían servir como germoplasma para incrementar el tamaño de la semilla, los mayores tamaños de semilla se dan en el género *A. pumilis* y *A. cannabinus*, alcanzar más de 0.2 g por cada 100 semillas Espitia (1994) reporta que la poliploidia puede ser otra opción para incrementar el tamaño de semilla, este mismo autor menciona que los genotipos de crecimiento determinado presentan ligeramente mayor tamaño de semilla.

5.4. Importancia nutrimental

El amaranto pertenece a la familia *Amaranthaceae* y al género *Amaranthus* donde se consideran 11 especies diferentes de amaranto, de las cuales sólo las especies *caudatus*, *cruentus* e *hypochondriacus*, se utilizan para el consumo humano. Según criterios de la FAO, la OMS y otras instituciones internacionales, se considera al amaranto como un alimento de excelente calidad proteica, ya que se asemeja a la proteína ideal propuesta por la FAO (Man y Paucean, 2001) y con una digestibilidad similar a la del pan blanco. Además de disminuir el colesterol y los triglicéridos, mejora el metabolismo de la glucosa y de los lípidos y aumentar la concentración de calcio y fósforo en los huesos.

Este cereal se ha empleado para elaborar películas biodegradables y alimentos libres de gluten. En México se ha utilizado en una amplia variedad de alimentos, entre ellos de confitería y bebidas tradicionales a base de amaranto (amarantole). Este último ha sido parte de programas sociales de algunas dependencias gubernamentales quienes sugirieron un incremento del contenido proteico sin alterar el costo y las características sensoriales. (Chiapana, stuva y kiwicha, 2005)

El amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) es una tradicional planta mexicana, que proporciona tanto granos como sabrosas hojas de alto valor nutricional, pero sigue siendo subutilizado. La Academia Nacional de Ciencias ha declarado que el amaranto podría ser un grano con alto potencial comercial que puede explotarse debido a su calidad nutricional superior (Academia Nacional, 1984). El grano es rico en proteínas (17%) y su composición de aminoácidos está cerca del equilibrio óptimo de aminoácidos requerido en la dieta humana (Schnetzler y Breen, 1994). Las hojas también contienen un alto nivel de proteínas. (28 a 49%), aceite insaturado (45% ácido linoleico), fibra (11 a 23%), y minerales como potasio, hierro, magnesio y calcio. Aparte de estos componentes nutricionales, las semillas también contienen otras sustancias que desempeñan diversas funciones biológicas. Como en la dieta, como inhibidores de proteasa, antimicrobianos péptidos, lecitinas y compuestos antioxidantes (Duarte, Jokl y Carlsson, 1986). Se ha informado que extractos de hojas de

Amaranthus gangeticus poseen actividad anticancerígena en el cáncer de hígado, mama y colon en líneas celulares. En las partes vegetales de *Amaranthus tricolor* también se encontró que tiene proliferación antitumoral y anti celular. (Broekaert y Terras, 1992).

La conservación de los cereales ha sido, es y será motivo de preocupación para el hombre, debido a la necesidad que tiene de preservarlo de factores físicos y microbiológicos del ambiente. Un reporte de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO dice que el 30 % de los cereales alimenticios post cosecha se pierde en los países del mundo en vías de desarrollo a causa de la manipulación inadecuada, deterioro y plagas

En especial en la zona rural donde los agricultores utilizan lugares poco apropiados para la conservación y almacenaje de los granos de kiwicha, sin el control adecuado de temperatura y humedad relativa del medio. Los cereales están constituidos principalmente de carbohidratos, que además contienen proteínas y lípidos en bajas concentraciones. (López 2014)

5.5 Composición química de la semilla

De acuerdo con investigaciones que concluyeron en un reporte del USDA “Composition of Foods”, el grano de amaranto es el producto de origen vegetal más completo, constituye una de las fuentes más importantes de proteínas, minerales y vitaminas naturales: A, B, C, B1, B2, B3; además de ácido fólico, niacina, calcio, hierro y fósforo, en comparación con otros cereales comunes como el arroz, maíz, trigo, cebada, avena y el centeno. Además es uno de los alimentos con una altísima presencia de aminoácidos como la lisina. Solamente la leche de vaca y la materna humana contienen igual o un poco más de estas sustancias nutritivas.

La cantidad de proteína de la semilla de amaranto es mayor que la de los cereales. Contiene el doble de proteína que el maíz y el arroz, y de 60 a 80% más que el trigo. El grano de amaranto se puede utilizar integralmente como un recurso para proporcionar a la población los requerimientos proteicos y de calorías, los cuales en la actualidad se obtienen tan solo de 20 especies vegetales, como el trigo, arroz, sorgo, frijol, soya, caña de azúcar; etc.

Un estudio realizado, en 1975, por la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos y por la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO) de las Naciones Unidas (ONU) para conocer los vegetales poco explotados pero con gran potencial, mostró que el amaranto es uno de los 36 cultivos más prometedores del mundo; por esta razón la misma Academia lo describió como “El mejor alimento de origen vegetal para consumo humano” (Cortés, 2008).

Entre los aspectos del grano de amaranto más estudiados están la identificación y cuantificación de los aminoácidos y las proteínas. De acuerdo a la tabla 4, los granos contienen alrededor de 13 a 18% de proteínas crudas, aunque algunos autores han encontrado valores que oscilan de 15 a 22% de proteínas (Tosi *et al.*, 2001).

Cuadro 1. Composición aproximada del grano de distintas especies de amaranto

COMPONENTE	A. caudatus	A. cruentus	A. hypochondriacus
	g/100 g de base seca		
Proteínas crudas	13.0	14.1	15.6
Extracto etéreo	6.0	6	6.1
Fibra cruda	4.0	2.9	5.0
Cenizas	2.0	2.7	3.3
Hidratos de carbono	65.0	67.2	62.0
Energía (kcal)	360	372	370

Fuente: Morales *et al.*, 2009

5.6. Importancia del grano de amaranto en la industrialización

El grano de amaranto tiene un amplio uso en la alimentación y además representa un prometedor potencial en la industria de los alimentos, en la elaboración de cosméticos; además, se puede aprovechar de múltiples formas, como grano o como verdura (Alejandre y Gómez, 1986). Sin embargo, para su consumo, previamente es sometido a tres procesos: “reventado”, “germinado” y “nixtamalizado”. El proceso más común es el de “reventado”, porque ayuda a mejorar sus propiedades sensoriales y nutritivas, su contenido de aminoácidos como la lisina que es superior a la del maíz y a la del arroz. A su vez, el grano de amaranto contiene proteínas como albumina, globulinas y glutelina (Barrales *et al.*, 2010), y también aporta aceites esenciales para el organismo humano como el ácido oleico y el linoleico que contiene “Omega 6” presente en todos los aceites vegetales. Otro aceite que contiene el amaranto es el escualeno, que es un poderoso antioxidante que posee propiedades anti- cancerígenas (Barrales *et al.*, 2010).

El reventado del grano de amaranto confiere al grano mejor sabor, color, aroma e incrementa la calidad de proteína (Zapotoczny *et al.*, 2006; Morales *et al.*, 2014). El grano

se revienta comúnmente con un sistema de lecho fluidizado con aire caliente. En este sistema los factores que afectan el volumen de reventado del grano son principalmente el contenido de humedad del grano, la temperatura y la velocidad de flujo de aire caliente (Lara y Ruales, 2002). También, afectan el volumen de expansión de grano en los cereales el ambiente de cultivo y la variedad (Mishra *et al.*, 2014). No hay un método común para la determinación de humedad en el grano de amaranto.

Para estudiar el efecto de las variedades y ambiente del cultivo sobre el reventado de grano es necesario homogenizar las condiciones de operación del sistema de reventado debido a la variación en el contenido de humedad del grano. Humedad que está en función del lugar de producción, manejo y almacenamiento.

En México se ha empleado tradicionalmente en la elaboración de la golosina denominada “alegría”, que se obtiene con el grano tostado en casa, proceso en el que no existe ningún control sobre tiempo o temperatura de reventado, lo que contribuye a mayor desperdicio de materia prima y pérdidas de nutrientes (Bressani, 1984) el reventado de la semilla de amaranto conlleva varios propósitos: impartir sabor, color y aroma agradables, mejorar la relación de eficiencia proteica (PER) así como la digestibilidad y la destrucción de factores antifisiológicos, lo que hace más nutritiva la semilla. (Beschert *et al.*, 198, Jaik y Tena, 1984; Sánchez – Marroquín, 1980 y Tena, 1984).

El alto volumen de reventado del amaranto se atribuye al reducido tamaño de los gránulos de almidón (de una a 3 micras); a su forma esférica, angular o poligonal, a su bajo contenido de amilasa (7.2%), bajo poder de hinchazón, alta solubilidad, gran capacidad de retención de agua y alto grado de temperaturas de gelatinización. Otros factores importantes en el volumen de expansión: la humedad del grano en el momento del reventado, el tiempo y las condiciones de almacenamiento, la temperatura de reventado, la madurez de la semilla y el fenotipo de la planta (Lorenz, 1981; Masters *et al.*, 1985, y Walker *et al.*, 1970)

5.6.1. Económica.

En México la producción comercial del amaranto se encuentra concentrada en cuatro regiones: el oriente del estado de Morelos principalmente Huazulco y Amilcingo, Morelos; San Miguel del Milagro en Tlaxcala; Huaquechula, Tochimilco, Tochimizolco, San Juan Amecac y Santa Clara Tetla en el estado de Puebla y Tulyehualco, Mixiquic, Tetelco y Tecomilt en la Cd. de México.

El amaranto tiene el potencial para convertirse en un cultivo básico de la misma importancia agrícola y económica que otras especies como el maíz, trigo, sorgo, cebada, arroz, entre otros. Las aplicaciones tecnológicas son muy variadas y amplias, aceite comestible, alimentos industrializados, concentrados proteicos (proteína de alta calidad), almidones modificados, farmacéutica, cosméticos, aplicación química, entre otros rubros.

En el año agrícola 2016 se reportaron 4,545 ha cosechadas de amaranto en México (SIAP, 2017). La zona de producción más importante se encuentra en el centro del país e incluye los estados de Puebla, Tlaxcala y Estado de México, con una superficie cosechada de 2,088, 1,556 y 400 ha, respectivamente. El estado de Puebla concentró 46 % de la superficie cosechada. En este estado, los municipios más importantes fueron Tochimilco, Cohuecan y Atzitzihuacán, con 1,160, 265 y 205 ha, respectivamente (SIAP, 2017). Las variedades usadas en su mayoría son crillos locales, aun cuando existen variedades mejoradas obtenidas por algunas instituciones y recomendadas para diversas regiones. El Instituto de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) ha liberado las variedades Nutrisol y Revancha, el Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala tiene registradas las variedades Laura y Gabriela, y la Universidad Autónoma Chapingo tiene las variedades mejoradas Areli, Diego y PQ2, las cuales aún no están registradas, pero ya se encuentran disponibles. Todas pertenecen a la especie *Amaranthus hypochondriacus* L. y recomendadas para Valles Altos.

Estas variedades presentan, entre otras características, resistencia al acame, floración precoz a intermedia y buen rendimiento de grano; empero, no existe una evaluación del comportamiento agronómico de las variedades mejoradas para el estado de Puebla y determinar su rentabilidad a nivel comercial ya es necesario contar con variedades con alto

rendimiento de grano, características agronómicas favorables y alto volumen de expansión de grano reventado.

5.6.2 Producción del amaranto en México.

En México se cultivan 11 especies de amaranto, de las cuales las especies *Amaranthus hypochondriacus L* y *Amaranthus cruentus* son originarias del territorio nacional (Velasco y Villela, 2016). La producción de amaranto está concentrada en su mayoría en los estados localizados en la meseta central: Tlaxcala, Puebla, Estado de México, Morelos, Ciudad de México, Oaxaca, San Luis Potosí, Durango y Querétaro.

La menor superficie y producción nacional del grano en México durante 2019, ha repercutido en la tendencia positiva que presentaba su exportación e incentivó un repunte en la importación.

Indicador	Hectáreas
	2019
Maíz grano blanco	6,672,098.2
Frijol	1,788,816.7
Maíz grano amarillo	1,534,965.5
Sorgo grano	1,411,676.3
Trigo grano	702,054.9
Soya	187,766.0
Chile	135,488.2
Calabaza	54,882.7
Cebolla	43,557.6
Jitomate (Tomate rojo)	42,383.3
Arroz	26,867.9
Amaranto	4,226.9

fig.4 tabla de hectáreas sembradas

Fuente:
INEGI Encuesta Nacional Agropecuaria 2019.

La producción de este grano bajó 22% en 2019 por la disminución en la superficie sembrada (10.1%) y las condiciones adversas que redujeron su rendimiento 13.2% en comparación con el año anterior

Volumen de producción por entidad

Rank	Entidad federativa	Región	Volumen (toneladas)	Variación (%) 2018-2019
	Total nacional		5,548	-22.0
1	Puebla	Centro	3,396	-33.7
2	Tlaxcala	Centro	1,197	19.8
3	México	Centro	702	-0.6
4	Ciudad de México	Centro	140	-8.0
5	Oaxaca	Sur-Sureste	104	-16.5
6	Morelos	Centro	8	1.8

Fig. 5 toneladas de amaranto

Datos registrados de siembra de amaranto en 2020

Situación al 31 de DICIEMBRE de 2020

Estado	Superficie (ha)			AMARANTO	
	sembrada	cosechada	siniestrada	Producción (ton) obtenida	Rendimiento (ton/ha) obtenido
CIUDAD DE MEXICO	116	116		138	1.190
MEXICO	152	152		336	2.208
MORELOS	7	7		9	1.300
OAXACA	78	69		101	1.466
PUEBLA	1,814	1,636		3,373	2.062
TLAXCALA	677	677		1,165	1.721
TOTAL	2,844	2,657		5,122	1.928

Fig.6 siembra de amaranto en 2020.

5.6.3 Social.

El amaranto es un producto que se ha integrado a varios de los programas de apoyo alimentarios operados por el gobierno federal y algunos gobiernos estatales, con la finalidad de mejorar la alimentación y nutrición de la población mexicana marginada. De

igual forma, existen diversas organizaciones, como en México Tierra del Amaranto, Puente a la Salud Comunitaria y Alternativa que promueven el desarrollo sustentable del amaranto en comunidades donde se le utiliza como estrategia para abatir la desnutrición y la pobreza. Una de las estrategias es la promoción e incorporación del amaranto en la dieta de la población (Morales *et al*, 2009)

En el cultivo de amaranto existen pocas evaluaciones de variedades para producción comercial en México; los reportes más recientes son de García-Pereyra *et al.* (2011) en Durango, Torres *et al.* (2006) en Ciudad de México y Ramírez *et al.* (2011) en Tlaxcala; pero no existen evaluaciones que aborden en el mismo estudio la producción comercial de grano y la determinación del volumen de expansión para variedades mejoradas o nativas que se cultivan en los Valles Altos, por lo que es necesario determinar los mejores genotipos disponibles para estas condiciones y algunas características de procesamiento del grano cosechado. En la selección de las mejores variedades a recomendar para su siembra comercial en una región determinada, es de interés elegir los genotipos con comportamiento superior en cuanto a rendimiento de grano y que presenten características agronómicas sobresalientes en diferentes ambientes; sin embargo, la elección de las variedades rendidoras y estables se dificulta debido a los diferentes niveles de respuesta, en ocasiones contrastantes, entre las variedades a través de ambientes (Ferreira *et al.*, 2006).

Por lo que respecta al género *Amaranthus cruentus* en el estado de Morelos el INIFAP-Campo Experimental Zacatepec desde 2008, ha realizado diferentes investigaciones desde la evaluación de criollos y variedades, así el manejo agronómico en donde se seleccionaron las variedades Criollo de Amilcingo, Revancha y Payasa por su buen comportamiento así como se desarrollaron diferentes paquetes tecnológicos con insumos orgánicos y químicos, así como la mecanización de la siembra y cosecha con trilladora estacionaria para lo cual se desarrollaron los prototipos de una sembradora y la trilladora con los resultados de esas investigaciones los productores pueden obtener rendimiento de hasta 2.3 to/ha y la reducción de los costos de producción hasta de un 30%, obteniéndose un mayor beneficio

costo comparado con la forma tradicional. (Tavitas y Hernández., 2010, Tavitas *et al.*, 2013, y Tavitas *et al.*, 2017)

Las unidades agroindustriales de amaranto en México han evolucionado, pasando de la individualidad productiva a la organización de unidades económicas y que, a diferencia de la producción agrícola de subsistencia y de aquella realizada para la maximización de los beneficios, encuentran en el rescate y la revalorización del amaranto un incentivo suficiente para emprender la actividad productiva. Los esfuerzos de estos actores han estado dirigidos a revalorizar al cultivo del amaranto impulsando y fortaleciendo la cadena productiva. Lo anterior realizando actividades de transferencia tecnológica e innovación agroindustrial; crean relaciones y alianzas estratégicas entre los eslabones de la cadena productiva e implementando prácticas de conservación y cuidado de las áreas verdes protegidas y dedicadas al amaranto (Escalante, 2010).

5.6.4 Nutritivo.

Los géneros *A. hypochondriacus L.* y *A. cruentus*. son las especies utilizadas para producir semillas comestibles, las cuales contienen proteínas de alta calidad (ricas en aminoácidos esenciales) y compuestos nutraceuticos como péptidos con diversas actividades como antihipertensivo y preventivo del cáncer (Silva-Sánchez *et al.*, 2008 ; Barba de la Rosa *et al.*, 2010). Las semillas también contienen polifenoles como rutina y nicotiflorina (Barba de la Rosa *et al.*, 2009). Algunos cultivares de *A. hypochondriacus* tienen hojas con un color rojo brillante, esas hojas son ricas en betacianinas, compuestos que tienen un alto potencial como colorantes alimentarios naturales y antioxidantes (Cai *et al.*, 2006), pero existen algunos cultivares que presentan hojas verdes y hasta el momento no se ha reportado información sobre la composición de flavonoides y ácido fenólico de esos cultivares, ni la influencia en su acumulación por estrés ambiental

Como parte de la dieta humana, se afirma que los flavonoides ejercen efectos protectores contra enfermedades como las cardiovasculares y el cáncer, entre otras

enfermedades. Tienen varios modos de acción (antioxidante, antiproliferativo, antiinflamatorio o antibacteriano) (Harborne y Williams, 2000 ; Cheynier *et al.*, 2013). Los ácidos fenólicos se consideran captadores de radicales libres y sus propiedades antioxidantes dependen de su estructura química (Jordão *et al.*, 2010). El uso de plantas como fuente de fitoquímicos ha aumentado en la popularidad de los medicamentos a base de plantas, lo que ha llevado a un nuevo segmento en la producción de cultivos hortícolas y la agricultura para producir estos compuestos (Dillard y German, 2000 ; Parr y Bolwell, 2000 ; Pinhatti *et al.* , 2010).

Las proteínas de las semillas pueden clasificarse de diferentes maneras. Con base en su localización, se agrupan en proteínas de endospermo, embrión y perispermo; con relación a sus funciones biológicas se clasifican como proteínas con actividad enzimática, regulatorias, las proteínas de amaranto se han caracterizado con base en la clasificación de Osborne, 1994 aun en la actualidad existe discrepancia sobre cuál es la fracción mayoritaria, esto principalmente debido a los diferentes métodos y solventes de extracción empleados por los diferentes autores. En general el contenido de albuminas varia del 19 al 45%, el de globulinas (11s y 7 s), del 16 al 35 %, el de prolaminas de 0.7 al 1.3 %, y el de glutelinas de 22 al 41% (Barba de la rosa *et al.*, 1992a)

Osborne (1994) clasifico a las proteínas de granos con base en su solubilidad en diferentes solventes. Las albuminas son proteínas solubles en agua. Las globulinas solubles en soluciones salinas, las prolaminas solubles en soluciones alcohólicas y las glutelinas solubles en soluciones acidas o básicas.

5.6.5 Proteína cruda

Lo mejor del amaranto es su proteína, ya que es el segundo componente más abundante del grano. La proteína del amaranto ha mostrado a través de estudios científicos, poseer mejores características alimenticias que otras semillas como la del trigo, cebada, soya, maíz; estos estudios han sido desarrollados y avalados por instituciones como la FAO/WHO, RAS, entre otras (Cortés, 2008). Las proteínas del amaranto se encuentran principalmente en el embrión (65%), a diferencia de los cereales -como maíz y arroz- o leguminosas- como la soya-, que contienen 80% de sus proteínas pero en el endospermo (Bresanni, 1989).

Cuadro 2. Composición de amaranto y los principales cereales.

Componente	Amaranto	Maíz	Arroz	Trigo
Humedad	11.1	13.8	11.7	12.5
Proteína	17.9	10.3	8.5	14.0
Grasa	7.7	4.5	2.1	2.1
Fibra	2.2	2.3	0.9	2.6
Cenizas	4.1	1.4	1.4	1.9
Carbohidratos	57.0	67.7	75.4	66.9

Cuadro 3. Composición de amino ácidos esenciales (g/ 100 g de proteína).

Amino acido	<i>Amaranthus</i>			Requerimiento estimado FAO/WHO	
	<i>caudatus</i>	<i>cruentus</i>	<i>hypochondriacus</i>		
Cisteína	2.3	2.9	3.0		
Isoleucina	2.8	5.2	3.3	1.3	4.6
Leucina	6.1	5.3	5.4	1.9	9.3
Lisina	6.1	5.3	4.6	1.6	6.6
Metionia	2.9	1.7	1.4		
Fenilalanina	3.7	3.8	4.1		
Treonina	3.8	5.3	3.4	0.9	4.3
Triptófano	1.1	Nd	2.5	0.5	1.7
Tirosina	2.8	3.2	3.5		
Valina	4.4	4.1	3.7	1.3	5.5
Met +Cys1	4.7	4.6	4.1	1.7	4.2
Phe + Tys2	6.2	7.1	7.7	1.9	7.2

5.6.6 Composición de la fracción albuminas.

En amaranto las albuminas representan una fracción importante de las proteínas de reserva. De esta fracción se han aislado proteínas de alto valor nutricional como las proteínas ricas en metionina. Una proteína de 35 KDa conocida como AmA1, así como péptidos con actividad antimicrobiana, inhibidores de proteasas, inhibidores de alfa amilasa y lectinas.

5.6.7 Proteínas ricas en metionina

En la fracción 2s de albuminas de amaranto se encuentran un grupo de proteínas de aproximadamente 18 KDa conocido como proteínas ricas en metionina (2SMRPs). Se han aislado dos tipos MRP-1 y MRP-12 con 18.6 y 16.6% de metionina, respectivamente y también altos contenidos de lisina, 6.4 y 6.1% (segura- nieto et al., 1994)

Un gen de albumina de amaranto (*A. hypochondriacus L.*) que codifica para una proteína de 35 KDa con altas cantidades de amino ácidos esenciales, denominada como AmA1 ha sido empleado para transformar el trigo panadero y la papa, incrementando significativamente el contenido de proteína y aminoácidos esenciales en esas cosechas

5.6.8 Péptidos antimicrobianos

Péptidos antimicrobianos han sido aislados de *A. caudatus L.* y *A. retroflexus L.*

Los cuales fueron denominados como Ac-AMP y Ar-AMP, respectivamente. Ambos péptidos representan alta homología con la súper familia de proteínas que enlazan-quitina caracterizadas por tener un dominio de enlace a quitina rico en cisteína/glicina (Broekaert et al., 1992)

Globulinas

Las globulinas son proteínas oligoméricas que se pueden disociar a pH alcalino. Se han obtenido relaciones de nitrógeno no proteico (soluble ácido tricloroacético) de 3:7 y de globulina/albúmina de 2:1 (Konishi *et al.*, 1985).

La globulina 11S, principal proteína de almacenamiento en el grano, es rica en lisina soluble en sales; de hecho, en buena parte de las propiedades nutricias del grano de amaranto han sido atribuidas a esta proteína. De acuerdo con Marcone (1999^a), esta proteína tiene un peso molecular de 343 mil daltons.

A su vez, la globulina 7S está compuesta por moléculas unitarias similares a los hexámeros 11S y grandes polímeros. Esta proteína tiene un peso molecular de 186 mil daltons, y está compuesta por ocho subunidades con pesos moleculares en el intervalo de 15 a 90 kilodaltons; por lo tanto se puede clasificar como un heterooligómero (Marcone, 1999^c).

Aminoácidos

El amaranto contiene concentraciones adecuadas de aminoácidos azufrados, lisina y triptófano. El contenido de lisina en el amaranto oscila entre 4.6 y 5.4 gramos en 100 gramos de proteína y es de 3 a 3.5 veces más alto que en el maíz y de 2 a 2.5 veces más alto que en el trigo (Svirskis, 2003).

Betschart y sus colaboradores (1981) señalaron que el contenido de aminoácidos del perispermo de *A. cruentus* es diferente al del germen. En tanto, Barba de la Rosa y sus colaboradores (1992); Fidantsi y Doxastakis (2001), y Paredes y colaboradores (1990), informaron que la composición de las proteínas constituyentes del grano de amaranto es la siguiente: albúmina rica en lisina (7.5-8.4%), triptófano, treonina y valina; globulina rica en leucina (7-7.1%) y treonina (4.7-5.5%) y, por último, glutelinas ricas en leucina, triptófano, treonina e histidina. En particular, las glutelinas exhiben la mayor proporción de aminoácidos indispensables y presentan el menor contenido de metionina (0.6-1%).

En términos generales, la cantidad de aminoácidos indispensables es superior a las fracciones de globulinas y prolaminas y corresponde al rango de 41 a 44% del total de aminoácidos. Se considera que es posible incrementar la concentración del aminoácido limitante -leucina- por medio del mejoramiento genético de estos elementos.

Se analizó el efecto de la suplementación de aminoácidos de harina de amaranto donde se confirmó que las semillas claras tienen mejor calidad de proteína que las semillas oscuras, y se informó que la treonina es el primer aminoácido limitante en las semillas de amaranto. Sin embargo, parece ser que las proteínas de amaranto cumplen satisfactoriamente con los requerimientos de aminoácidos esenciales, según los estándares para adultos establecidos en 1985 en el informe conjunto de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés), la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Universidad de Naciones Unidas (UNU) (FAO/OMS/UNU, 1985).

Así pues, el balance de aminoácidos en el grano de amaranto está cercano al que se requiere para la nutrición humana, y uno de los aminoácidos limitantes, la leucina, tiene un valor de 70% o más con respecto al patrón de la caseína (en algunas especies como *A.caudatus*, puede llegar a 79%), lo cual permite que la proteína se absorba y utilice hasta en ese porcentaje.

Por lo anterior, diversos estudios se han enfocado a evaluar y estudiar la capacidad del amaranto para complementar la calidad de las proteínas de otros granos, como las del maíz, trigo y frijol, como se muestra en la tabla 7. Lo anterior, sugiere la posibilidad de lograr una excelente complementación con las proteínas de maíz, arroz, y trigo. En el maíz, en combinación con 12.7% en peso con harina de amaranto tostado, constituye una fuente de proteínas que puede satisfacer los requerimientos de niños y adolescentes, y cubrir aproximadamente el 70% de las necesidades de una dieta normal.

Una combinación de arroz y amaranto en una proporción de 1:1 se aproxima a las especificaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para estos grupos de edad adulta (Paredes, Guevara y Bello, 2006). Otras combinaciones de proteínas son: alimentos para infantes a base de amaranto y mezclas de trigo-soya, pastas para sopa a base de mezclas de amaranto-trigo y amaranto-soya, elaboración de una papilla infantil por extrusión a base de amaranto, galletas comerciales con mezclas de harina de trigo y amaranto, productos en polvo para lactantes con mezclas de harina de amaranto integral - soya-maíz, barras troqueladas con base en mezclas amaranto-avena-ajonjolí-cacahuete (Rico, Morales y Doria, 1988).

5.6.9 INHIBIDORES DE PROTEASAS.

Los inhibidores de proteasas son de particular interés en cereales, leguminosas y papa debido a sus posibles efectos negativos sobre la nutrición animal y humana, así como por su posible papel en la defensa contra ataques de insectos y microbios (Ryan, 1990). En amaranto, se han descrito al menos 13 inhibidores de tripsina altamente termoestables reteniendo el 20% de su actividad original después de ser tratados durante 7 h a 100°C (Koeppel *et al.*, 1985) el inhibidor de tripsina de amaranto, con un peso molecular de 7.4 KDa y un pI cercano a 7.5 es un inhibidor del tipo serina-proteasas que reconoce quimotripsina y tripsina, además inhiben las proteasas tipo- tripsina, extraídas de la larva del insecto *prosthephanus truncatus* (Valdes-Rodriges *et al.*, 1993).

5.6.10 LECTINAS

Las lectinas son glicoproteínas sin actividad catalítica que se unen con alta afinidad a carbohidratos. Se emplean en inmunología, biología celular y en investigación en cáncer debido a sus efectos biológicos tales como inmunosupresión, mitogenicidad y citotoxicidad.

5.7. Amaranto: propiedades benéficas para la salud

5.7.1 Digestibilidad y valor biológico

La digestibilidad de las semillas crudas de amaranto varía de 77.6 a 88.5%, la cual es inferior a los valores para el maíz y el trigo. Es pertinente mencionar que el amaranto tostado alcanza grados de 90% de digestibilidad, que lo hace competitivo con otros granos, como los cereales (Oke, 1965; National Academy, 1984; García, Alfaro y Bressani, 1987). Se ha reportado que las semillas negras se caracterizan porque su digestibilidad es más reducida que las semillas amarillas; esto se atribuye que las primeras tienen grandes contenidos de fibra (Duarte-Correa, Jokl y Carlsson, 1986^b; Peterson, Kalinowski y Eggum, 1987).

5.7.2 Relación de eficiencia proteínica

Este método evalúa la proteína del alimento y es capaz de producir crecimiento e involucra animales de laboratorio. Algunos investigadores han obtenido valores de REP de 1.6 a 2.2 en semillas de amaranto enteras sin tratamiento térmico (Betschart *et al.*, 1979). La REP se mejora si el grano de amaranto se somete a un tratamiento térmico. Esta mejora hace del amaranto un alimento muy competitivo en relación con otros granos de amplio consumo, como algunos cereales y leguminosos.

Es interesante que tanto la harina sin desgrasar como la desgrasada han mostrado valores similares de REP.

5.7.3 Propiedades anti-tumorales.

El amaranto también se le ha atribuido propiedades inhibitorias de la proliferación celular cancerosa. Las hojas de *amaranthus tricolor* contienen compuestos capaces de inhibir la proliferación celular cancerosa (Jayaprakasam *et al.*, 2004) en todas las fracciones de las proteínas de reserva de la semilla de *A hypochondriacus L.* se detectó la presencia de una Proteína de aproximadamente 20 KDa que es reconocida por un anticuerpo anti-lunasin de soya (Silvia-Sánchez *et al.*, 2008).

El lunasin es un péptido de 43 aminoácidos, cuyas propiedades cancerpreventivas han sido demostradas en cultivos de células de mamífero y en modelos animales como el ratón.

El lunasin es eficiente en la protección de células contra químicos carcinogénicos, oncogenes (genes descontrolados que indican cáncer), e inactivadores de las proteínas supresoras de tumores (De lumen, 2005)

En el caso de amaranto, la fracción proteínica de las glutelinas muestra tener una alta concentración de lunasin (De 1.39 a 1.98 mg de lunasin por gramo de proteína extraída)

La proteína tipo lunasin del amaranto se produce en las etapas tempranas de la maduración del grano y no es afectada por el tratamiento térmico necesarios para reventar el grano.

Los fitoquímicos son un grupo heterogéneo de compuestos bioactivos; pertenecen a una clase de metabolitos secundarios vegetales con estructura polifenólica (Panche *et al.*, 2016). Los más estudiados son los flavonoides, alcaloides, glucósidos, esteroides, taninos y terpenoides (Cheynier *et al.*, 2013). Los fitoquímicos tienen varias funciones en las plantas; actúan como material de soporte de la pared celular (Neutelings, 2011), como atrayentes coloridos para aves e insectos *que ayudan a la dispersión y polinización de las semillas*. También son importantes en la defensa de las plantas contra diferentes condiciones de estrés ambiental como heridas, infecciones y luz excesiva o irradiación ultravioleta (Berger *et al.*, 2007 ; Bergquist *et al.*, 2007 ; Altemimi *et al.*, 2017).

5.7.4 Calidad de las proteínas

5.7.4.1 Calificación química

El perfil de aminoácidos expresado en relación con alguna proteína estándar es un buen indicador de la calidad de la proteína. Se basa en el análisis de aminoácidos que contiene la proteína y su composición con el patrón de aminoácidos de organismos oficiales, como la FAO, el cual es el patrón de aminoácidos ideal de una proteína.

La calificación química de la proteína de amaranto varía de 81 a 90, cuyos valores son similares a los de la proteína animal (Paredes *et al.*, 1990). En *A. hypochondriacus* es de 86%, y de 87% en *A. cruentus*.

Por ello, la calificación de aminoácidos para el grano de amaranto es de alrededor 67 (Duarte-Correa, Jokl y Carlsson, 1986^a), se han reportado valores de hasta 75 para el trigo y 68 para la soya (Liener, 1980; Duarte-Correa, Jokl y Carlsson, 1986^b; García, Alfaro y Bressani, 1987; Pedersen, Kalinowski y Eggum, 1987). La combinación de harina de amaranto y de trigo se aproxima a una calificación de 100

5.7.4.2 Hidratos de carbono

El almidón es el principal componente en la semilla de amaranto; se almacena en el perispermo y su concentración oscila de 48 a 69%. En forma natural, contiene cantidades considerables de amilopectina con baja temperatura de gelatinización y gránulos poligonales en tamaños variables y poseen una notable capacidad de hinchamiento (Tosi *et al.*, 2001).

Los hidratos de carbono actúan como moléculas de señalización, fuentes de energía principal y componentes estructurales del organismo. La quinua y el amaranto poseen un contenido similar de hidratos de carbono complejos como el almidón compuesto por amilosa, amilopectina y α -glucano (99 % del peso total del grano), que son absorbidos

lentamente a nivel intestinal, elevando la glucemia de forma gradual por un periodo más prolongado provocando la sensación de saciedad. Del total de hidratos de carbono, la quinua y el amaranto poseen 53 - 60 % de oligosacáridos, como fructo-oligosacáridos y galacto-oligosacáridos que son hidratos de carbono no digeribles, con función prebiótica (desarrollo de la flora intestinal) y con otros beneficios para la salud previniendo el riesgo de padecer obesidad, diabetes y enfermedades cardiovasculares (Bodi *et al.*, 2007). Los polisacáridos presentes en la quinua tienen también propiedades antioxidantes (Yao, Shi, & Ren, 2014).

Según Repo y colaboradores (2011), la quinua el amaranto y el tarwi poseen un contenido de fibra de alrededor de 3 - 7 %, sin embargo los resultados del análisis fisicoquímico realizado por INLASA indican que el porcentaje de fibra presente en los productos en estudio son relativamente inferiores (2 - 3,5 %). La fibra dietética incluye componentes solubles e insolubles como polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias vegetales asociadas (AACC, 2001). Los componentes solubles promueven efectos fisiológicos beneficiosos, atenuando los niveles de colesterol y glucosa en la sangre, previniendo problemas cardiovasculares y diabetes. La fibra insoluble tiene efectos positivos en la prevención del cáncer y de la regulación intestinal. La quinua es una excelente fuente de fibra dietética que comprende del 10,4 al 11,5 % del peso total del grano (del cual 6,1 - 7,4 % corresponde a fibra soluble y 3,2 - 5,3 % a fibra insoluble). El amaranto posee un contenido total de fibra dietaria de 10,9 - 11,3 % del peso total del grano; aproximadamente el 8,5 a 9,3 % de su contenido en fibra es insoluble y 1,9 a 2,4 % soluble. (Lamothe, *et al* 2015)

5.7.4.3 Ácidos grasos

Los ácidos grasos (lípidos) constituyen principales componentes funcionales y estructurales, presentes en las membranas, hormonas, transportadores, etc. Además, en la dieta influyen en la fisiología del organismo disminuyendo el envejecimiento. Podemos clasificar a los ácidos grasos presentes en estos granos andinos como monoinsaturados (oleico, linoleico y

linolénico). Estos ácidos grasos son esenciales, pues nuestro organismo no puede sintetizarlos y se deben adquirir en la dieta. Un estudio informa que la presencia de alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados puede ser beneficioso en la disminución del nivel de colesterol total que está asociada con la baja incidencia de enfermedad cardiaca coronaria (Cintra *et al.*, 2006). El ácido linoleico aumenta las defensas y disminuye la presión arterial; mientras que el ácido oleico reduce los riesgos de sufrir enfermedades cardiovasculares y tiene efecto antitumoral. Ambos ácidos grasos cumplen funciones antiinflamatorias (Carrillo, Cavia, & Alonso-Torre, 2012). El contenido de lípidos total en el amaranto es del 6,1 - 8,0 %, donde la proporción de ácidos grasos esenciales es del 2,5 % correspondiente al ácido linoleico, el 1,26 % al ácido oleico y el 0,05 % al ácido α -linolénico, para la Quinoa es del 5,6 - 6,7 %, 2,6 % correspondiente al ácido linoleico, el 1,7 % al ácido oleico y el 0,27 % al ácido α -linolénico (Ligarda-Samanez *et al.*, 2012; R. A. M. Repo-Carrasco-Valencia & Serna, 2011; Rosell, Cortez, & Repo-Carrasco, 2009; Sundarrajan, 2014). Las semillas de tarwi también presentan ácidos grasos esenciales como el ácido oleico, linoleico y α -linolénico que representan el 40,4; 37,1 y 2,9 % del total, respectivamente. (Borek, Pukacka, Michalski, & Ratajczak, 2009)

Los principales ácidos grasos encontrados en el aceite de amaranto son el palmítico (16:0) en un porcentaje promedio de 18%, el ácido oleico (18:1 n-9) que juntamente con el ácido linoleico (18:2 n-6) hacen un total de 75% del total de ácidos grasos, y el ácido linoleico (18:3 n-3) presente en un 3% del total de ácidos grasos. Puede advertirse que la diferencia entre genotipos es mínima en cuanto al porcentaje de ácidos grasos, sin embargo, es significativa entre los procesos de cocción húmeda y expandido en los que se observa una diferencia de un 10% menos en el ácido linoleico, no siendo así para el proceso de nixtamalización.

El aceite de amaranto puede ser considerado como una fuente vegetal alternativa en la obtención de escualeno (8 – 12 g/100 g). Este porcentaje varía en proporción a la cantidad de insaponificables aislados durante la extracción. Los datos mostraron diferencias de escualeno entre variedades. Con la excepción del proceso de laminado del grano, los procesos de cocción en agua, la cocción alcalina, el de expansión y malteo dieron valores

más altos de escualeno que los valores en la muestra cruda. Puede ser considerado también como fuente importante en la obtención de ácidos grasos esenciales como el linoleico y linolénico. (B.Rodas, r.Bressani *et al* 2009)

5.7.4.4 Almidón

El almidón es un polímero altamente funcional que se puede modificar química o enzimáticamente para obtener propiedades adecuadas en productos específicos. El almidón del amaranto es de tipo glutinoso o ceroso y está compuesto por una fracción lineal, amilosa (2-5%), formada por 500 a 2000 unidades de alfa-D glucosa unidas por enlaces alfa-1,4, y por una fracción ramificada, amilopectina (95-98%), constituida por una cadena lineal de 25 a 30 unidades de alfa-D glucosa, distancia donde se presentan ramificaciones unidas por enlaces alfa-1,6.

La amilosa es el componente que contribuye a las características de gelación o retrogradación, mientras que la amilopectina es la fracción no gelificante que contribuye a la viscosidad, lo que da consistencia a los alimentos preparados con amaranto debido a su gran solubilidad (Greenwood, 1976).

De acuerdo con el contenido de amilosa/amilopectina, el almidón se clasifica en dos tipos:

- a) Glutinoso, opaco y ceroso. Está formado principalmente por amilopectina, con menos de 1% de amilosa; los gránulos se tiñen de ámbar o púrpura en presencia de yodo.
- b) No ceroso, traslúcido o normal. El contenido de amilosa es mayor a 5%; los gránulos dan una coloración azul cuando se tiñen con yodo.

Algunas variedades de amaranto contienen los dos tipos de almidón: ceroso y normal (Morales *et al.*, 2009).

El amaranto contiene de 5 a 8% de amilosa, mientras que el trigo posee tres veces más; por ello, las propiedades fisicoquímicas del almidón del amaranto son diferentes, pues no muestran gluten en el grano (Baker y Rayas-Duarte, 1998). De esta manera, no es una materia, *per se*, apta para la panificación, y su capacidad de hincharse cuando se mezcla con agua es mucho más baja que la del trigo.

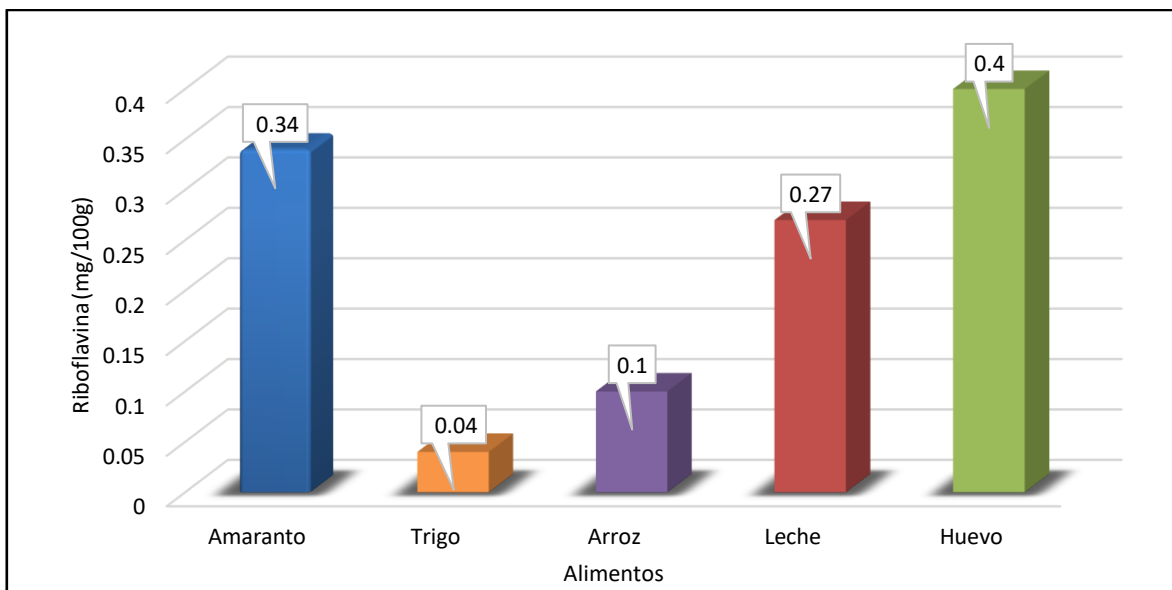
Se ha observado que el almidón del amaranto es similar al almidón ceroso del maíz en cuanto a la capacidad de hinchamiento. El almidón de amaranto se almacena en el perispermo, mientras que en los cereales se almacena en el endospermo (Paredes *et al.*, 1990).

Los almidones de amaranto tienen temperaturas de gelatinización de entre 62 y 68 grados centígrados. Los almidones de maíz, trigo y arroz poseen temperaturas de gelatinización más altas que las de amaranto; esto en parte, se puede atribuir a diferencias en el contenido de amilosa y al tamaño del gránulo.

5.7.4.5 Vitaminas y nutrimentos orgánicos

Los nutrimentos inorgánicos del grano de amaranto se hallan en el perispermo, el endospermo y el embrión. El contenido de calcio, magnesio, boro, hierro y aluminio es mayor que en las semillas de otros cereales.

Entre las vitaminas que contiene el grano de amaranto, la riboflavina se encuentra en mayor proporción que en otros alimentos, como los cereales e incluso que en la leche, y sólo es menor que en el huevo, como se observa en la Gráfica 1 (Morales *et al.*, 2009).



Gráfica 1. Contenido de riboflavina en el grano de amaranto, en comparación con otros alimentos, mg/100 g de producto Fuente: FAO, 1990

De acuerdo al cuadro 4, se puede observar que el grano de amaranto también posee otras vitaminas como son tiamina, niacina y ácido ascórbico.

Cuadro 4. Contenido de vitaminas del grano de amaranto

Vitamina	Contenido mg/100 g
Tiamina	0.14
Riboflavina	0.34
Niacina	0.5
Ácido Ascórbico	4.5

Fuente: FAO, 1990

5.7.4.6 Usos del amaranto

El amaranto constituye una excelente fuente de alimento debido al alto valor nutricional de sus hojas y semillas. Las semillas contienen un alto grado de proteínas y estas poseen un mejor balance de aminoácidos esenciales que la mayoría de los cereales y leguminosas (Barba de la Rosa *et al.* 1992; Shnnetzern y Breene, 1994). En México con las semillas “tostadas”, molidas o enteras, se prepara el conocido plato denominado “atole” y “pinole”, que es una especie de mazamorra; del mismo modo se elaboran los tamales con harina de maíz, tallos y hojas de amaranto picadas, potaje conocido en México desde la época prehispánica con los nombres de “vauquilitl”, “hoauhquilitl” (Jiménez y Cordero, 1986).

El aceite de amaranto tiene un gran valor debido a su elevada cantidad de escualeno (Johnson y Henderson, 2002). Como se muestra en la Figura 7, el amaranto se ha integrado en varios alimentos industrializados, como productos de repostería (panes, pasteles y galletas), productos de extrusión (hojuelas de cereal, tortillas y pastas) (Schnetzler y Breen, 1994; Tapia-Blacido *et al.*, 2009).

6. Materiales y métodos

6.1. Materia prima.

Fueron utilizadas cinco líneas puras seleccionadas en el Campo Experimental Zacatepec por sus características agronómicas sobresalientes Cuadro 5.

Cuadro 5. Líneas puras de amaranto seleccionadas para la evaluación preliminar de calidad de grano "reventado".

No. de línea	Genealogías
III-47	ZAC 8-14-0ma-14B-28B-20-2-9ma
III-55	ZAC 8-14-0ma-14B-28B-21-1-9ma
IV-117	ZAC 9-14-0ma-14B-26B-21-1-14ma
IV-122	ZAC 9-14-0ma-14B-26B-21-6-13ma
IV-123	ZAC 9-14-0ma-14B-26B-21-7-16ma
V-21	ZAC 10-14-0ma-42B-23B-6-2-20ma

6.2. Métodos.

Esta investigación sobre la determinación de la calidad del grano reventado, contenido de aceite y proteína se realizó en el Laboratorio de Calidad de Arroz del Campo Experimental de Zacatepec, Morelos. En donde se efectuaron las siguientes actividades:

6.2. 1Proceso para desgrane de panoja

6.2.1 Inmediatamente después de la cosecha de las panojas se expusieron directo al sol para reducir la humedad esto se realizó durante una semana (Figura 7).



Fig.7 panojas
expuestas al sol

6.2.2 Cuando las panojas estuvieron completamente deshidratadas se retiró el tallo de la panoja y se procedió al desgrane Figura 8.



Figura.8. Desgrane de la panoja y separación del grano y tamo

6.2.3 Se separó el grano, tamo y basura (residuos de raquis, base de la panoja, hojas, etc.); posteriormente utilizando unos tamices de apertura de 2 mm y 50 0Um se separó el grano y se pesó. Figuras 9 y 10.



fig.9 separado del grano



fig.10 pesado del grano.

6.3 Proceso para el reventado del grano.

6.3.1 Selección del grano crudo:

Consistió en utilizar muestras de 30 gramos de grano crudo por cada variedad. Como SE realizó la limpieza del grano eliminando el material extraño como hojas, basura, tallos, tierra, piedras, etc.; la separación se efectuó por medio de un tamiz con malla no. 14; y pinzas de punta (Figura 11). Una vez limpia la muestra de material retenido en la malla, se procedió a colocarla en frascos de vidrio (Figura 12).



Fig.11 limpieza del grano

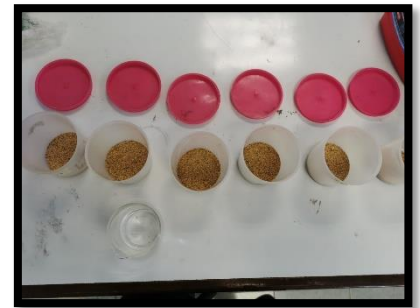


Fig. 12 frascos de vidrio

6.3.2 Remojo del grano.

Se agregaron 2 ml de agua destilada en 30 gramos de grano crudo previamente limpio, dejándolo remojar durante un tiempo de 24 horas, cuyo propósito es la eliminación de polvo o tierra que pudiera contener y para un mayor rendimiento en el reventado del grano. Figura 13 y Figura 14

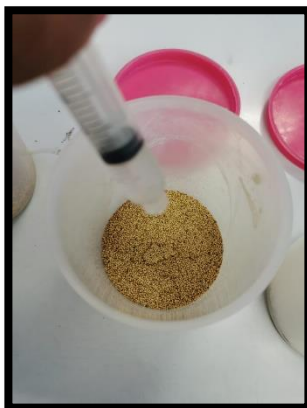


Fig.13 remojo de amaranto



Fig.14 adición de 1ml de agua

6.3.3 Reventado del grano

En seguida el grano remojado se llevó a una maquina reventadora. En donde se depositó el grano, por donde se hace fluir a través de un tubo de acero con aire caliente en donde posteriormente la avienta reventándolos. Los cambios se apreciaron cuando las temperaturas alcanzan los 130°C durante un tiempo



Fig. 15 Maquina reventadora de grano

de 1 minuto con 5 segundos, momento en que los gránulos se hinchan aumentando el volumen debido a una absorción de agua. (Figura 15).

6.4 Proceso para el análisis de la calidad del grano reventado de amaranto.

Determinación del grano reventado.

6.4.1 Selección del grano

reventado: Se tomaron 30 g de amaranto reventado previamente homogenizado y se tamizó en una malla no.16 (y pinzas de punta)



Fig. 16 Selección del grano reventado.

para separar el grano reventado del no reventado (Figura 16).

Una vez separada la muestra de material retenido en la malla, se procedió a colocarla en frascos (Figura 17).



Fig. 17 Recepción del grano reventado de amaranto.

Posteriormente de la separación de los granos, se pesaron y se reportaron los pesos en gramos (Figura 18); a partir de esto se calculó la merma (perdida en el lapso del proceso). A partir de la siguiente fórmula:

Peso del merma

$$= \text{Peso del grano crudo} - (\text{Peso del grano reventado} + \text{Peso del grano no reventado})$$

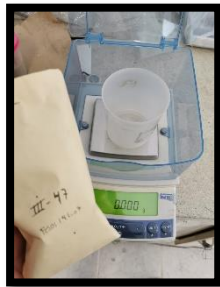


Fig.18 Pesaje del grano reventado y no reventado de amaranto.

Por lo que se refiere al porcentaje de reventado, del no reventado y de la merma se utilizaron las siguientes formulas:

$$\% \text{ de reventado} = \frac{\text{Peso del grano reventado (g)}}{\text{Peso del grano crudo (g)}} \times 100$$

$$\% \text{ del no reventado} = \frac{\text{Peso del grano no reventado (g)}}{\text{Peso del grano crudo (g)}} \times 100$$

$$\% \text{ del merma} = \frac{\text{Peso del merma (g)}}{\text{Peso del grano crudo (g)}} \times 100$$

6.4.2 Análisis sensorial.

Se evaluó el sabor y el aroma del grano de amaranto y se reportó de acuerdo a tres clasificaciones: fuerte, moderado y débil. (Fuente: investigación propia). figura 19



Fig.19 análisis sensorial de amaranto reventado

6.4.3 Determinación de humedad del grano reventado

Para la determinación de la humedad de granos existen varios métodos los cuales se pueden clasificar en directos e indirectos. Los métodos directos se basan en medir, de manera directa, la cantidad de agua que tiene el producto. Entre este tipo de método se encuentra el método de estufa, el de destilación y el método Karl Fischer. Los métodos indirectos se basan en la medición de alguna propiedad del grano o semilla que es afectada por el contenido de humedad, a partir de la cual se predice el porcentaje de humedad de la muestra.

Principio.

La humedad de la muestra se pierde por volatilización a causa del calor.

Metodología.

En una capsula de aluminio que se le determino el peso constante se le añaden 2gr. De muestra y se le coloca en estufa a una temperatura de 95-100°C, hasta obtener el peso constante.

Nota

Las muestras que contienen grasa y se puede perder por volatilización se secan a 80°C, esta temperatura también se aplica a muestras que presentan alto contenido de azúcares y alto contenido de materia orgánica.

Cálculos:

$$\% \text{ humedad} = \frac{\text{peso de la capsula+muestra}-\text{peso de la capsula}}{\text{peso de la muestra seca}} \times 100$$



Fig.20 secado

6.4.4 Determinación de proteína

Principio.

El nitrógeno de las proteínas y otros compuestos se transforma a sulfato de amonio por medio de la digestión con ácido sulfúrico en ebullición.

El residuo se enfría, se diluye con agua y se le agrega hidróxido de sodio. El amonio presente se desprende y a la vez se destila y se recibe en una solución de ácido bórico que luego es titulada con ácido sulfúrico estandarizado.

Equipo.

1. Aparato de digestión y destilación macro-Kjendahl.
2. Matraces de Kjendahl de 800 ml.
3. Frascos Erlenmeyer de 500 ml.
4. Dos buretas.

Reactivos

1. Solución indicadora (0.05% rojo de metilo y 0.01% de verde de bromocresol), disolver en 100 ml de alcohol al 95%.
2. Solución estandarizada de HCL o h2so4 0.1 N esta solución se estandariza con NA2CO3 usando rojo de metilo como indicador.
3. Ácido sulfúrico concentrado de 93 a 98% (grado reactivo).
4. Mezcla catalizadora (proporción 20:1).

K2so4- 4g por muestra

Cuso4 – 0.2g

5. Zinc granular (lentejas)
6. Solución de hidróxido de sodio libre de nitrógeno al 45% (450 g de NaOH/1to. De agua destilada).
7. Solución de ácido bórico al 4%. 40 g de H₃BO₃/1to. De agua destilada.

Procedimiento

Digestión

1. Pesar una muestra de alimento seco (estufa) de 1.5 g.

Nota: dependiendo del material se incluye o no el papel donde se pesó, el papel no debe presentar nitrógeno, es conveniente hacer un blanco con cada serie de determinaciones.

2. Pesada la muestra colóquenla en un matraz Kjendahl y añadir 1 cuchara de mezcla catalítica. (sulfato de potasio + sulfito de cobre).
3. Añadir 25 ml de H_2SO_4 concentrado (98%) por las paredes del matraz. Para muestras con bajo contenido de nitrógeno o gran cantidad de materia orgánica añadir 10 ml por cada gramo adicional de muestra
4. Introducir unas perlas de vidrio al matraz Kjeldahl y colocar este en el aparato digestor Kjendahl para poner a ebullición, la temperatura no debe ser mayor a $300^{\circ}C$, porque se perdería nitrógeno.
5. La digestión se terminó cuando el líquido este claro, apagar las parrillas, dejar enfriar y antes de la solidificación de la sal, agregar 250 ml de agua destilada. Si se solidifico
6. el material disolver la sal totalmente.



Fig. 21 digestiones

Destilación.

1. Preparar matraces Erlenmeyer de 500ml y añadir 50 ml de H_3BO_3 al 4%, añadir colorante mixto (3-5 gotas).



Fig. 22 Matraz Erlenmeyer

2. Colocar los matraces bajo los condensadores, introduciendo los tubos dentro de los mismos para recibir el destilado y coleccionar 250 o 300 ml de volumen (Figura 23).



Fig. 23 Destilación

3. A los matraces de Kjeldahl dirigidos y con agua añadir, 110 ml de NaOH al 45%, y unos gránulos de zinc (catalizador), conectar el destilador rápidamente. Una vez ajustando el tapón del condensador, mezcle el contenido del balón rotándolo suavemente, prenda las parrillas y destile el volumen suficiente.

4. Titulación el amonio recogido con H_2SO_4 estandarizado (0.1N) o HCl (0.1), hasta que desaparezca el color verde (Figura 24 y 25).

Tener cuidado en el punto de equivalencia que consiste en un equilibrio entre la parte acida y la parte básica, por ello en la titulación se debe tomar en cuenta el primer cambio de color.



fig.24 Equipo para titulación



Fig. 25. Muestra resultante de la titulación

Cálculos.

$$\% \text{ de nitrógeno} = \frac{(\text{ml de ácido})(N_{ac}) - (\text{ML bco})(N_{bco}) \times 0.014}{g \text{ de muestra}} \times 100$$

$$\text{Proteína} = \% \text{ N} \times 6.25^*$$

*factores que cambian con el tipo de material.

Nota: 0.014 son los meq/g de nitrógeno.

Se puede utilizar menor cantidad de muestra en la determinación siempre y cuando se tenga el aparato micro kjeldahl (más preciso) y se ahorran reactivos.

6.5 Extracto etéreo.

Extracción química.

El equipo de extracción tipo Soxhlet se utiliza para realizar procesos de extracción sólido-líquida, la cual consiste en la una extracción semicontinua con un disolvente orgánico. En este método el disolvente se calienta, se volatiliza y condensa goteando sobre la muestra la cual queda sumergida en el disolvente; posteriormente éste es circulado por la tubería al matraz de calentamiento para empezar de nuevo el proceso. Este método determina la cantidad de ácidos grasos contenida en un alimento sólido mediante la extracción con hexano (éter de petróleo). Terminada la extracción, por medio de destilación se recuperó el solvente mediante arrastre de vapor con el propósito de obtener un producto purificado.

Principio

El éter (solvente) se evapora y se condensa continuamente, y al pasar a través de la muestra, extrae materiales solubles, el extracto se recoge en un matraz de extracción y cuando el proceso se completa, el éter se destila y se recolecta en otro recipiente la grasa queda en el matraz, se seca y se pesa.

Procedimiento

1. Secar la muestra a 80°C durante la noche.
2. Los matraces para extracción se ponen con perlas de vidrio en la estufa a 100°C durante toda la noche, al día siguiente se colocan en un desecador, se dejan enfriar por 30 min y se pesan, se vuelven a introducir en la estufa para checar el peso.
3. Las muestras se sacan y se dejan enfriar en un desecador, este proceso se repite hasta obtener el peso constante del matraz.

4. Pesar 4 gramos de muestra y colocarlos en un dedal limpio e identificado y taparlo con algodón.
5. Colocar el dedal con la muestra en el sifón y fijarlo bajo el condensador del aparato de extracción (refrigerante).
6. Al matraz de extracción se le agregan 200 ml de solvente (hexano o éter de petróleo) y colocarlo bajo el sifón y sobre la manta de calentamiento asegurándose que quede bien fijo. Abrir la llave del agua que enfría los refrigerantes y prender las mantas de calentamiento asegurándose que quede bien fijo. Abrir la llave del agua que enfría los refrigeradores y prender las mantas de calentamiento La extracción puede dejarse sola y solo realizar observaciones periódicas. La extracción es de 16 horas (tiempo suficiente para evitar errores en los resultados), con goteo de 2-3 gotas por segundo.
7. Después de completar la extracción sacar el dedal del sifón y guardar la muestra para fibra cruda; recuperar el solvente y poco antes de que se evapore a sequedad sacar los matraces y terminar de evaporar a temperatura del laboratorio, apagar las mantas y cerrar el agua, (conexiones del aparatos Soxhlet).
8. Poner los matraces en la estufa a 80° por toda la noche, al día siguiente colocarlos en un desecador y dejarlos enfriar por 30 minutos, pesar y volver a introducirlos en la estufa para checar el peso (Figura 26.)

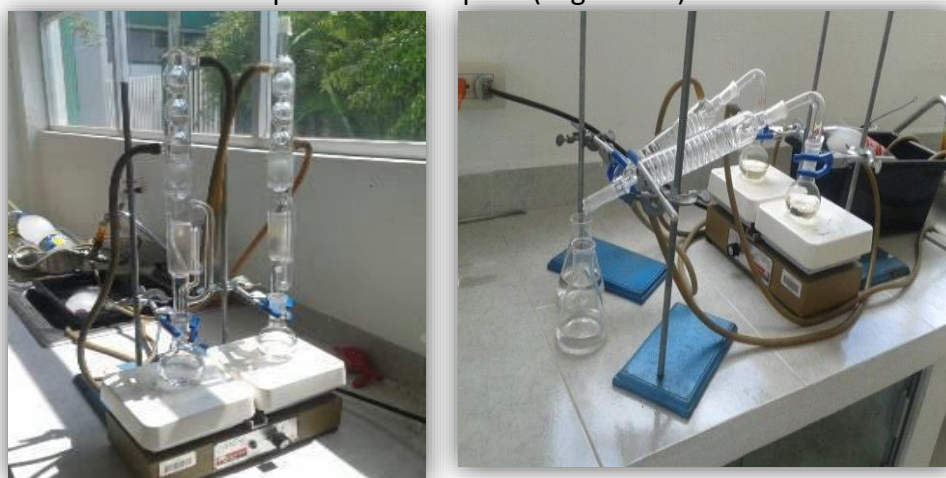


Fig. 26 Equipo tipo Soxhlet para la extracción y destilación de aceite

Cálculos.

$$\% \text{ de grasa} = \frac{\text{peso Cte. (matraz+grsa)} - \text{peso Cte. del matraz solo}}{\text{gramos de muestra}} \times 100$$

7. Resultados y discusión

El grano de amaranto se procesa con la finalidad de obtener una gran variedad de productos; entre los procesos que comúnmente se realizan al grano, entre otros, se tienen: reventado, tostado, harina, germinado y nixtamalizado (Morales *et al*, 2009). De estos procesos el más común es el grano reventado el cual es utilizado en la preparación de palanquetas; a través de este proceso el grano de amaranto aumenta su volumen y mejora sus propiedades sensoriales y nutricionales. Por otro lado, se menciona que el grano reventado incrementa la calidad de la proteína, en comparación con la que contiene el grano crudo (Morales *et al*, 2009).

7.1 Rendimiento de grano reventado

De acuerdo a los resultados obtenidos en relación a la variable rendimiento de grano reventado en el la cuadro 6 se puede observar los rendimientos del grano reventado, del no reventado y de la merma (pérdida) cuyo promedio da el 100% de las seis líneas puras. De acuerdo a lo anterior la línea (III-47) ZAC-8-14- OMA- 14B-28B-20-2-9M fue la que presento el mejor resultado o rendimiento con el 79.34% de grano reventado, le siguió la línea (IV-122) ZAC-9-14-OMA- 14B-26B-21-6-13M con 78.83 y la (III-55) ZAC 8-14-0ma-14B-28B-21-1-9ma con 77.74%, en las líneas restantes los porcentajes de reventado también se consideran buenas ya que reportaron más del 50% de grano reventado. En la Gráfica no. 1 se pueden apreciar las diferencias obtenidas entre el grano reventado, del no reventado y merma encontrándose que en cinco líneas se obtienen los valores más altos, por cual se consideran de buena calidad.

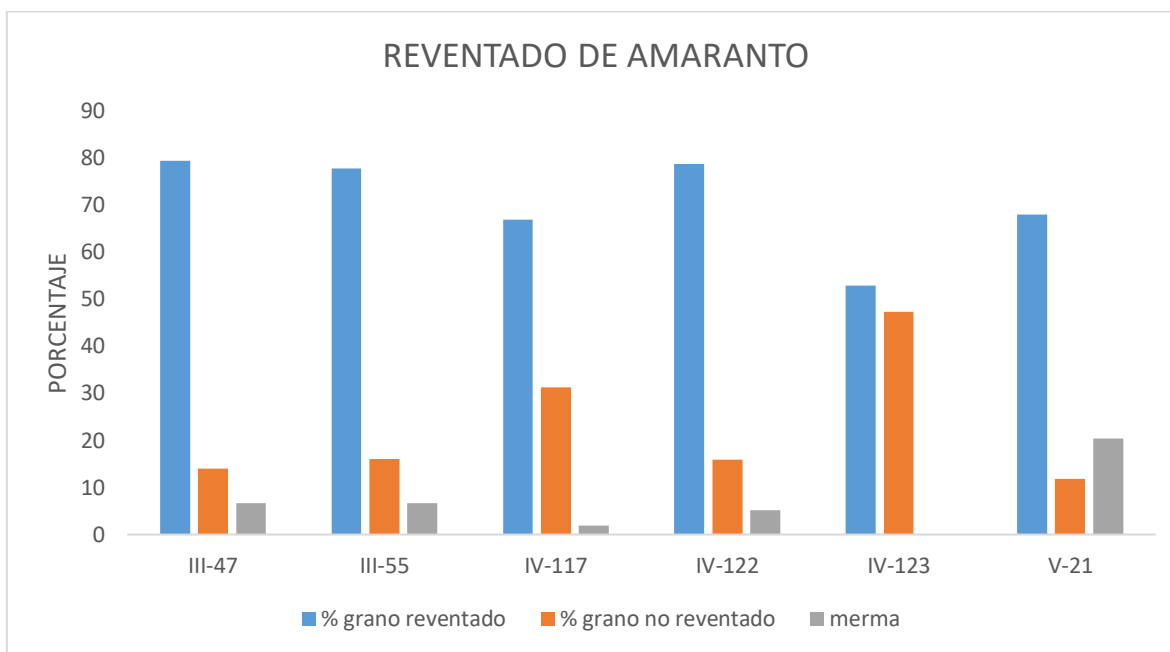
Con respecto a las variables de sabor y aroma del grano reventado, las seis líneas presentaron ambos caracteres, desde fuerte, moderado y débil, esta característica no está considerada dentro de la calidad, pero es importante en la industria para determinar el producto a industrializar de acuerdo al gusto de los consumidores.

Estas características se deberán confirmar a través de nuevas pruebas de grano reventado a nivel semi-comercial, cuando sean evaluadas a través de ensayos rendimiento.

A nivel comercial para el proceso térmico al que se somete el grano de amaranto para producir la expansión de los almidones presentes en el mismo debe utilizarse grano que cumpla con las especificaciones de la NMX-FF-116-SCFI-2010 del grano 8/23 SECRETARÍA DE ECONOMÍA y la otra NMX que cumpla con las especificaciones de la NMX-FF-114-SCFI-2009 9/23 de grano reventado de amaranto (véase 2, Referencias). Se puede llevar a cabo por contacto directo o por lecho fluidizado a través de una corriente de aire. (Ramos, Gómez 1999).

Cuadro 6. Resultados de los rendimientos del grano reventado de amaranto de seis líneas de amaranto.

No. muestra	Genealogía	% De grano	% De grano no reventado	% Merma	Sabor	Aroma
III- 47	ZAC-8-14- OMA-14B-28B-20-2-9M	79.34	14	6.64	Fuerte	Fuerte
III-55	ZAC-8-14- OMA-14B-28B-21-1-9M	77.74	15.97	6.64	Débil	Moderado
IV- 117	ZAC 9-14-Oma-14B-26B-21-1-14ma	66.76	31.28	1.96	Débil	Moderado
IV-122	ZAC 9-14-Oma-14B-26B-21-6-13ma	78.83	15.95	5.21	Fuerte	Fuerte
IV-123	ZAC-9-14-OMA-14B-26B-21-7-16M	52.87	47.26	0	Débil	Moderado
V-21	ZAC-10-14-OMA- 42B-23B-6-2-20M	67.86	11.83	20.30	Moderado	Fuerte



Grafica 2. Resultados de los análisis del grano reventado en forma descendente de las 6 líneas uniformes de amaranto realizadas en el laboratorio de calidad del grano del Campo Experimental Zacatepec.

7.2 Morfología o forma del grano reventado

En relación con la característica de la morfología del grano reventado en donde se considera el aspecto físico del grano, en la cuadro 7 se observa, que las seis líneas reportaron la forma de ocho (Figuras de la 27 a la 32), y de acuerdo con la clasificación de la calidad del grano es considerado de una calidad media, aunque la forma del grano de amaranto reventado es un factor que no ha sido incluido dentro de la Norma NMX-F-116-SCFI-2010, sin embargo mediante el conocimiento de esta propiedad se puede re-orientar el destino de la materia prima para la fabricación de ciertos alimentos y así incrementar su valor agregado. De acuerdo a Muñoz *et al.*, 2005 y Tavitas *et al.*, 2009 Las formas de grano reventado se clasifican en tres la de trébol, ocho y esfera.

Como ya se mencionó esta variable no es considerada dentro de la NMX-FF-114-SCFI-2009 9/23 ya que existen variedades y/o criollos que presentan sólo la forma de trébol, ocho o esfera, o en forma combinada con diferentes porcentajes, esto es subjetivo, y se toma en cuenta para la industrialización ya que el grano en forma de trébol es más rendidor y se utilizaría para hacer palanquetas, que requieren un mayor volumen aunque también se utiliza la de la forma en ocho considerada de calidad media y la de esfera que comercialmente es de menor calidad, preferentemente se usa para hacer harina.

Cuadro 7. Resultados de la calidad del grano de las 6 líneas uniformes de amaranto reventado realizadas en el laboratorio de calidad del grano del Campo Experimental Zacatepec

Amaranto		Morfología (%)			Calidad
No. muestra	Nomenclatura	Trébol	Ocho	Esfera	
III-47	ZAC-8-14- OMA- 14B- 28B-20-2-9M	0	100	0	Media
III-55	ZAC-8-14- OMA- 14B- 28B-21-1-9M	0	100	0	Media
IV-117	ZAC 9-14- Oma-14B- 26B-21-1- 14ma	0	100	0	Media
IV-122	ZAC-9-14- OMA- 14B- 26B-21-6- 13M	0	100	0	Media
IV-123	ZAC-9-14- OMA- 14B- 26B-21-7- 16M	0	100	0	Media
V-21	ZAC-10-14- OMA- 42B- 23B-6-2-20M	0	100	0	Media

Los resultados de la prueba culinaria y apariencia del grano reventado de las 6 líneas uniformes de amaranto se presentan a continuación:

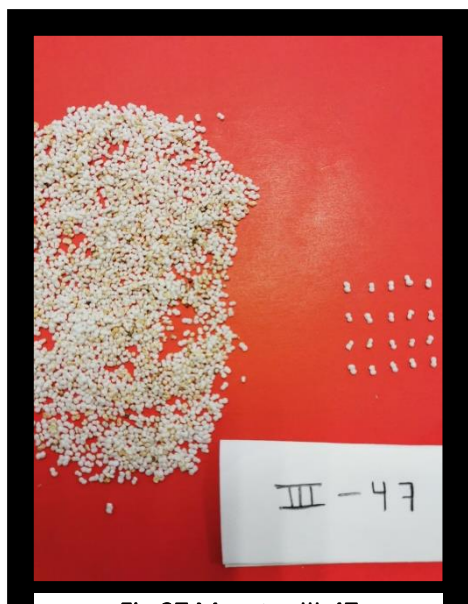


Fig.27 Muestra III-47

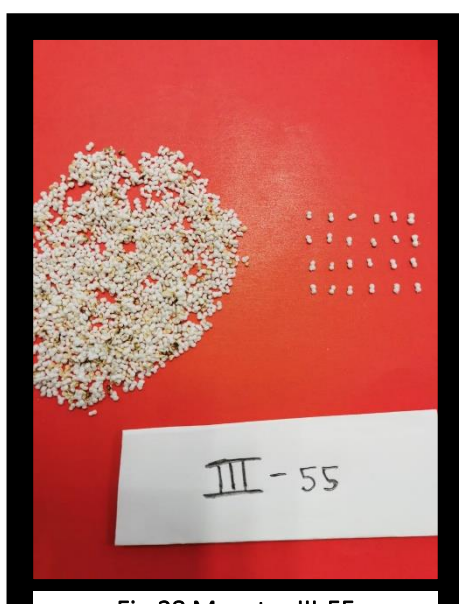


Fig.28 Muestra III-55

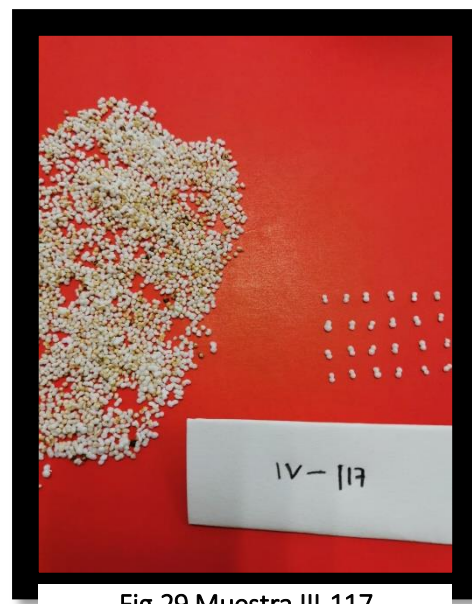


Fig.29 Muestra III-117

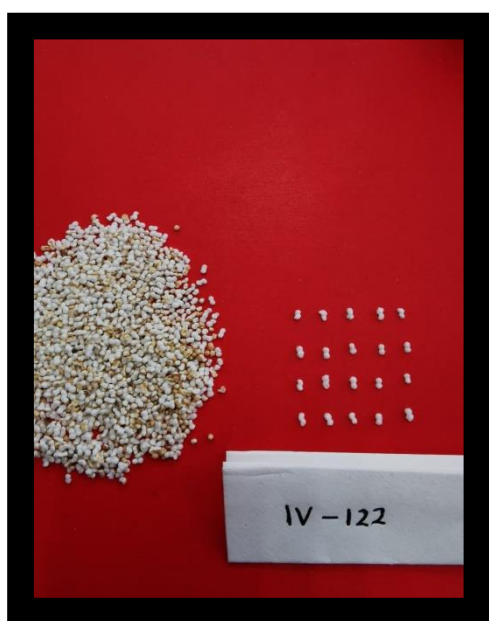


Fig.30 Muestra IV-122

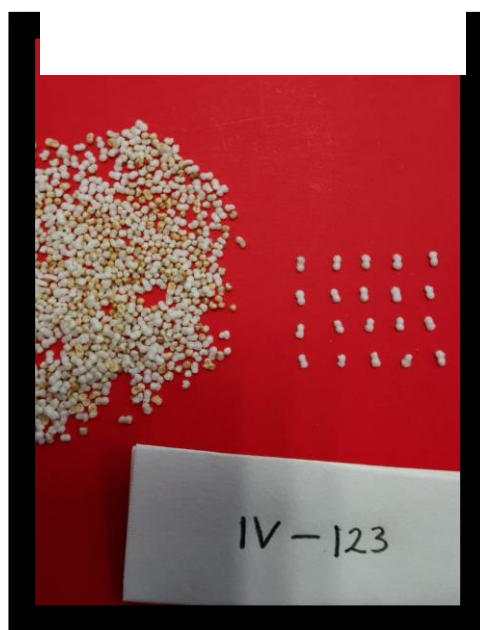


Fig.31 Muestra IV-123

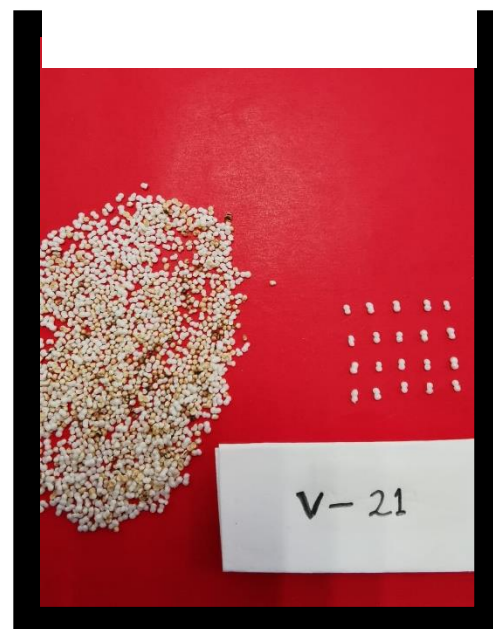


Fig.32 Muestra V-21

Figuras, 27, 28, 29, 30,31 y 32. Apariencia del grano de amaranto reventado de las 6 líneas uniformes realizadas en el laboratorio de calidad del grano del Campo Experimental Zacatepec.

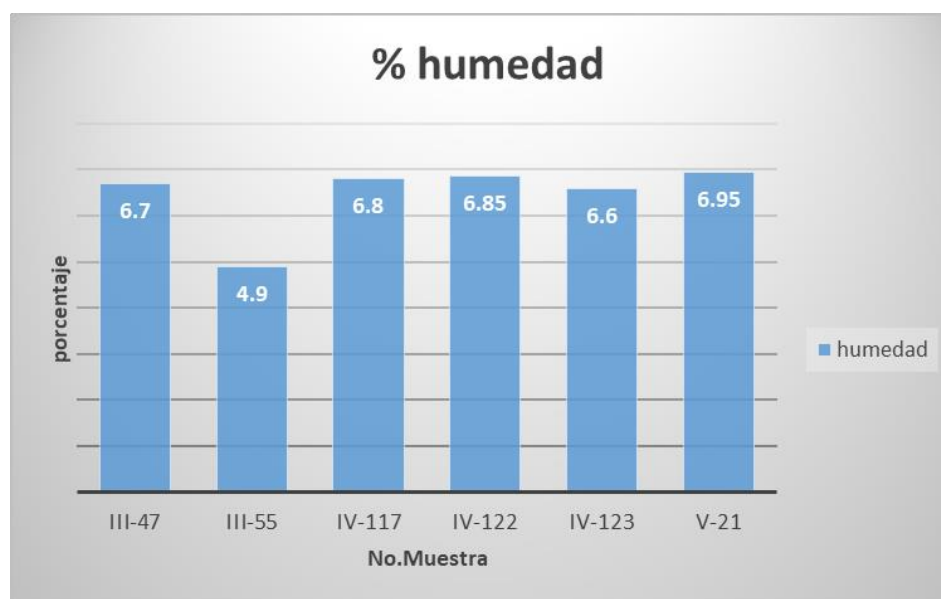
El análisis proximal consiste en las determinaciones que se realizan para conocer la composición de los alimentos las más frecuentes son: la determinación de humedad, cenizas, extracto etéreo (grasa cruda), proteína total, fibra y carbohidratos asimilables (Manual de Análisis de Alimentos, Fundamentos y Técnicas/ UNAM); sin embargo en esta investigación se presentan los resultados del contenido de humedad, extracto etéreo(grasa cruda) y proteínas, los cuales nos darán una idea del contenido nutrimental de las seis líneas experimentales de amaranto obtenidas en el proceso de mejoramiento Genético.

7.3 Contenido de humedad del grano reventado

- a) Como se observa en la cuadro 8 en relación con el contenido de humedad en la harina de grano reventado se muestra que la línea (III-55) ZAC 8-14-0ma-14B-28B-21-1-9ma fue la que obtuvo un porcentaje de humedad menor y la de mayor humedad fue la (V-21) ZAC 10-14-Oma-42B-23B-6-2-20ma. La harina con menor humedad se podría hacer un suplemento alimenticio ya que es una variedad que retiene poca cantidad de humedad; mientras que con los de mayor humedad reportan un mejor reventado la cual se podría utilizar para la fabricación de algunos dulces típicos. Aunque otros autores mencionan que la determinación del contenido en agua representa una vía sencilla para el control de la concentración en las distintas etapas de la fabricación de alimentos (Manual de Análisis de Alimentos, Fundamentos y Técnicas/ UNAM). En el cuadro 8 -- se ilustran los contenidos de humedad.

Cuadro 8. Contenido de humedad en la harina del grano reventado de seis líneas uniformes de amaranto.

No. Muestra	genealogía	% Humedad
III- 47	ZAC-8-14- OMA- 14B-28B-20-2-9M	6.7
III- 55	ZAC-8-14- OMA- 14B-28B-21-1-9M	4.9
IV-117	ZAC-8-14- OMA- 14B-26B-21-1-13M	6.8
IV-122	ZAC-9-14-OMA- 14B-26B-21-6-13M	6.85
IV-123	ZAC-9-14-OMA- 14B-26B-21-7-16M	6.6
V-21	ZAC-10-14-OMA- 42B-23B-6-2-20M	6.95



Grafica 3. Contenido de humedad de la harina del grano reventado de seis líneas uniformes de amaranto.

7.4 Contenido de aceite

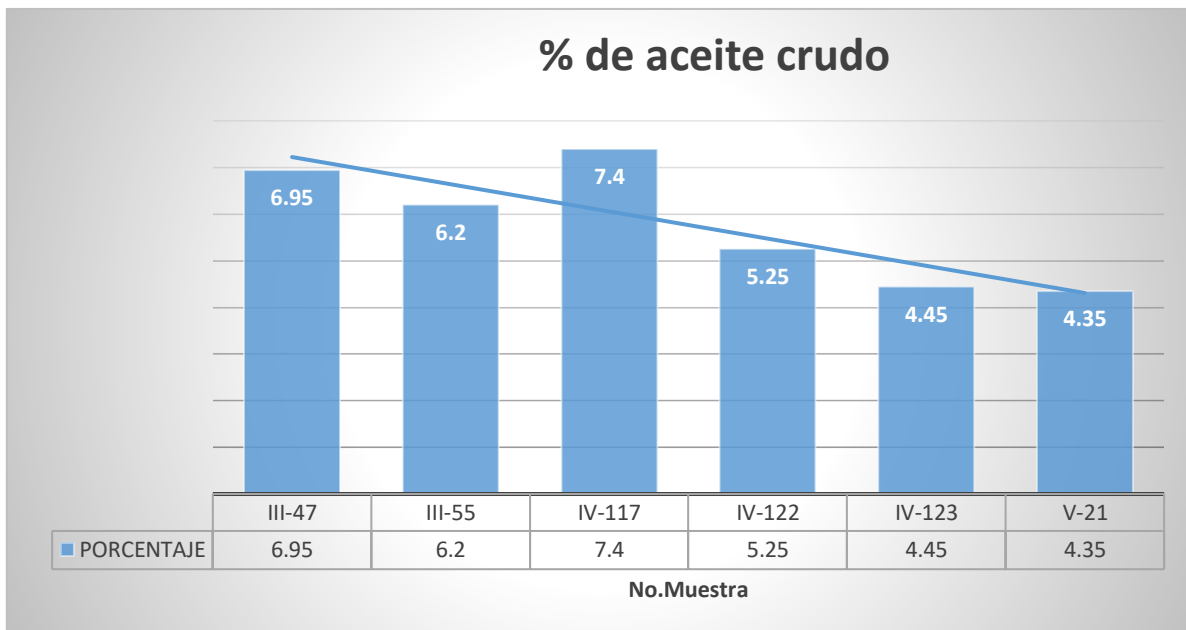
Por lo que se refiere a la variable del contenido de aceite en el grano reventado en la Tabla 9 se puede observar que la línea (IV-117) ZAC-8-14- OMA- 14B-26B-21-1-13M reporto el más alto contenido con 7.4%, le siguió la (III-47) ZAC-8-14- OMA- 14B-28B-20-2-9M con 6.95% y la (III-55) ZAC-8-14- OMA- 14B-28B-21-1-9M con 6.2% y por ultimo con 5.25% la (IV-122) ZAC-9-14-OMA- 14B-26B-21-6-13M son las que se consideran con buen contenido de aceite de acuerdo con (Lyon y Becker, 1987) mencionan que el grano de amaranto contiene de 5 a 8% de grasa (extracto etéreo) y su aceite es reconocido como la fuente vegetal con mayor concentración de escualeno en aproximadamente 6%. Los principales ácidos grasos presentes en el aceite de amaranto, son el oleico y el linoléico con 29.3 y 44.0 (g/g100), respectivamente (Casillas, 1986). El grano de amaranto contiene tres elementos nutritivos principales, que son: proteínas, grasas e hidratos de carbono. De estos tres elementos, las grasas son las que tienen mayor valor energético (Trevejo, 2002).

En la gráfica 3. Se puede observar que la muestra IV-117 fue la que registro el porcentaje más alto de contenido de aceite, lo que es grasa saludable (lípidos) porque es de fácil asimilación por el organismo que ayuda a disminuir el colesterol malo, El aceite de amaranto es superior en calidad al del maíz, ya que contiene altos niveles de ácido linoleico esencial para el organismo humano y con fuertes propiedades antiinflamatorias que reducen el riesgo de trombosis y otras enfermedades cardiovasculares (vitónica 2008)

Cuadro 9 Contenido de aceite de seis líneas uniformes de amaranto.

No. muestra	genealogía	% aceite
III- 47	ZAC-8-14- OMA- 14B-28B- 20-2-9M	6.95
III- 55	ZAC-8-14- OMA- 14B-28B- 21-1-9M	6.2
IV-117	ZAC-8-14- OMA- 14B-26B- 21-1-13M	7.4
IV-122	ZAC-9-14-OMA- 14B-26B- 21-6-13M	5.25
IV-123	ZAC-9-14-OMA- 14B-26B- 21-7-16M	4.45
V-21	ZAC-10-14-OMA- 42B-23B- 6-2-20M	4.35

Los resultados finales de los mejores porcentajes de aceite crudo se muestran en forma descendente en la Gráfica 3.y posteriormente se dan a conocer los resultados de los porcentajes de proteína en forma descendente en la Gráfica 3 se observa una seria de diferencias entre los mejores y utilizarlos en futuro productos alimenticios.



Gráfica 4. Contenido de aceite crudo de seis líneas uniformes de amaranto

7.5 Contenido de proteínas

Por lo que respecta a la variable contenido de proteínas en la Tabla 10 indica que la línea que registro el mayor porcentaje de proteína fue la (III-47) ZAC-8-14- OMA- 14B-28B-20-2-9M con 17.10%, esta línea en un futuro serviría para hacer alimentos con mucho valor nutritivo al igual que obtuvo un porcentaje bueno en aceite lo que contienen ácidos grasos esenciales, sin embargo las cinco líneas restantes también se consideran de alto contenido de proteínas, Lo mejor del amaranto es su proteína, ya que es el segundo componente más abundante del grano. La proteína del amaranto ha mostrado a través de estudios científicos, poseer mejores características alimenticias que otras semillas como la del trigo, cebada, soya, maíz; estos estudios han sido desarrollados y avalados por instituciones como la FAO/WHO, RAS, entre otras (Cortés, 2008). Las proteínas del amaranto se encuentran principalmente en el embrión (65%), a diferencia de los cereales -como maíz y arroz- o leguminosas- como la soya-, que contienen 80% de sus proteínas pero en el endospermo (Bresanni, 1989).

Cuadro 10 .Resultadas finales de la evaluación del grano reventado de las 6 líneas uniformes de amaranto realizadas en el laboratorio del campo experimental Zacatepec, INIFAP.

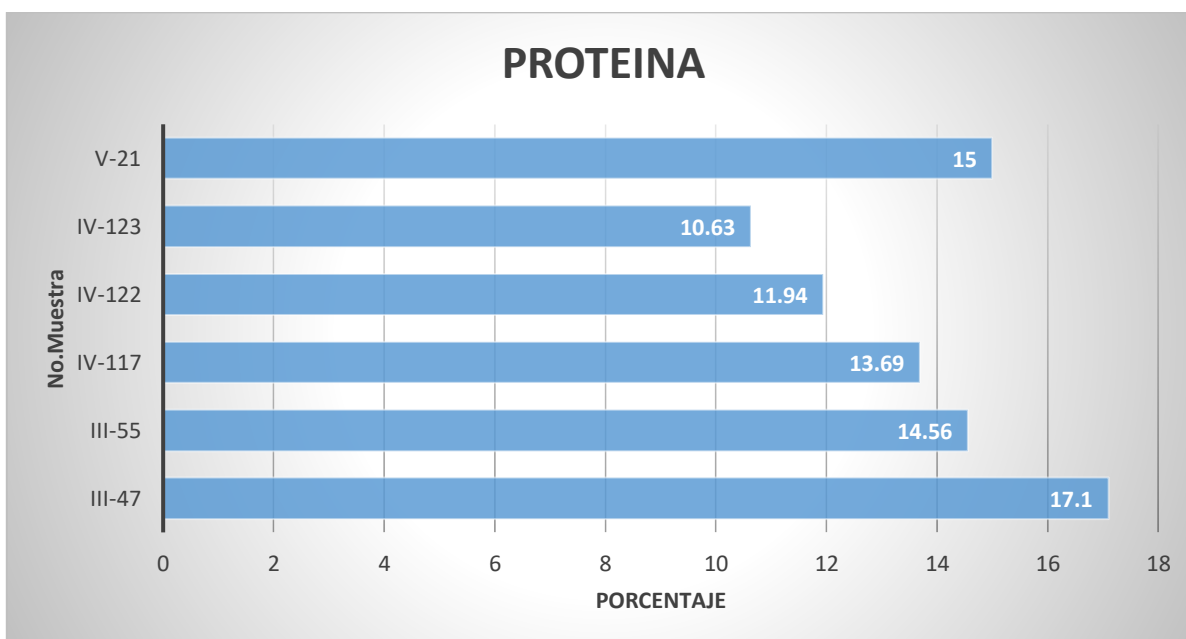
No. muestra	genealogía	%proteína
III- 47	ZAC-8-14- OMA- 14B-28B-20-2-9M	17.10
III- 55	ZAC-8-14- OMA- 14B-28B-21-1-9M	14.56
IV-117	ZAC-8-14- OMA- 14B-26B-21-1-13M	13.69
IV-122	ZAC-9-14-OMA- 14B-26B-21-6-13M	11.94
IV-123	ZAC-9-14-OMA- 14B-26B-21-7-16M	10.63
V-21	ZAC-10-14-OMA- 42B-23B-6-2-20M	15.00

El grano de amaranto contiene proteínas con alto valor nutricional (de 13 a 19%), un mejor balance en la composición de aminoácidos en comparación con los granos de maíz y arroz, y un alto nivel del aminoácidos esenciales como lisina (6.1%), sin embargo es limitante en leucina (isoleucina y valina). Las principales fracciones de proteína que se han identificado en el grano de amaranto son: albúmina, globulina y glutelina, por lo que su contenido de propiedades nutricionales es casi completo (FAO, 1997; Morales *et al*, 2009). Un estudio realizado, en 1975, por la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos y por la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO) de las Naciones Unidas (ONU) para conocer los vegetales poco explotados pero con gran potencial, mostró que el amaranto es uno de los 36 cultivos más prometedores del mundo; por esta razón la misma Academia lo describió como “El mejor alimento de origen vegetal para consumo humano” (Cortés, 2008).

Entre los aspectos del grano de amaranto más estudiados están la identificación y cuantificación de los aminoácidos y las proteínas. En donde hacen hincapiés que los granos

contienen alrededor de 13 a 18% de proteínas crudas, aunque algunos autores han encontrado valores que oscilan de 15 a 22% de proteínas (Tosi *et al.*, 2001).

En la Gráfica 5 se muestran los resultados de los porcentajes de proteína en forma descendente, observando una serie de diferencias entre líneas; sin embargo todas se podrían utilizar en futuros productos alimenticios ya que sus porcentajes oscilan de 11 a 17% los cuales se consideran buenos para la nutrición.



Gráfica 5. Contenido de proteína en forma descendente del grano reventado de 6 líneas uniformes de amaranto.

8. Conclusiones.

1. De las seis líneas uniformes de amaranto que se analizaron se encontró que las más sobresalientes en rendimiento de grano reventado fue (III-47) con genealogía ZAC-8-14-OMA-14B-28B-20-2-9M con 79.34%, la (IV-122) ZAC-9-14-OMA-14B-26B-21-6-13M con 78.83%, y la (III-55) ZAC-8-14-OMA-14B-28B-21-1-9M con 77.74% de grano las tres muestras restantes tienen un porcentaje entre 52.87% a 67.86%.
2. La apariencia del grano que obtuvimos en las 6 muestras su forma de reventado fue en forma de ocho al 100% dando así una calidad media ya que ha considerado la de mejor calidad es la de forma de trébol.
3. Respecto al sabor y aroma las muestras III-47 y IV-122 en las dos variables fueron fuertes fuerte, esto se obtuvo a la hora del reventado y dejando reposar la muestra. Respecto a las otras muestras fue de débil a moderado y moderado a fuerte.
4. En relación al contenido de aceite en el grano, las muestras III-47 y IV-117 fueron las más destacadas obteniendo 6.95 y 7.4% de aceite estas variedades contienen ácidos grasos esenciales el cual contiene Omega 6, ácido graso esencial para nuestro organismo igualmente, los hábitos dietéticos de la población tienden a un exceso de este tipo de grasa por lo que los beneficios del uso equilibrado de amaranto se deben principalmente a su contenido escualeno.
5. Respecto al contenido de proteínas en el grano reventado las muestras con más altos porcentajes fueron III-47 con 17.10%, III-55 con 14.56 y V-21 con 15% de proteína, estos resultados indican que son de buena calidad. La importancia es que la diferencia de esta proteína con la de otros vegetales es su alto contenido de lisina, similar a la de la leche.

6. Cuando estas líneas se evalúen en ensayos de rendimientos en diferentes localidades, se realizarán nuevamente estos análisis de calidad de grano reventado

BIBLIOGRAFÍA

- Academia Nacional de Ciencias.** 1984. Amaranato: perspectivas modernas para una cosecha antigua; Prensa de la Academia Nacional: Washington DC. 5p
- Academia nacional,** 1984. Amaranth: modern prospects for an ancient crop. National academy press, waschintong, DC.p:80
- Alfaro M. A., Martínez A., Ramírez R. y Bressani R.** (1987). Rendimiento y composición química de las partes vegetativas del amaranto (*Amaranthus hypochondriacus L.*) en diferentes etapas fisiológicas. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, vol. 37, núm. 1, p.p. 108-121.
- Amaranto:** distribución y diversidad morfológica del recurso genético en partes de la región Maya (sureste de México, Guatemala y Honduras). Sciel, 11–95
- Barba De La Rosa, A. P., & de León-Rodríguez, A.** (2020, 24 marzo). Influencia de las condiciones de crecimiento sobre la acumulación de flavonoides y ácidos fenólicos en hojas de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus L.*). scielo, 37(4). <https://doi.org/10.28940/terra.v37i4.541>
- Belton, P. J R N Taylor** (2002) pseudocereales and lees common cereals. Springer- verlag. Berlin, heidebereg, Alemania, 261 p.
- Betschart A A., W. Irving D., D. Shepherd A. and M. Saunders R.** 1984. Amaranthus cruentus: milling characteristics, distribution of nutrient within seed components, and the effects of temperature on nutritional quality. *Journal of Food Science*, Vol. 46, No. 4. 1181 p.
- Bravo, H. H., Sánchez- Mejorada, H.** 1991. Las cactáceas de México. Vol. 3. Mexico D.F., National Autonomous University of México. Universidad Nacional Autónoma de México 8p.

Brickell, C.D., Alexander, C., David, J.C., Hetterscheid, W.L.A., Leslie, A.C., Malecot, V., Jin, X. & Cubey, J.J., eds. 2009. International code of nomenclature for cultivated plants. Ed. 8. *Scr. Hortic.* 10: 1–184.

Bressani R. 1986. El amaranto también es un gran vegetal. En: *El amaranto y su potencial.* Guatemala, Archivos Latinoamericanos de Nutrición, Boletín. 3 p.

Broekaert, W. F. ; Mariën, W. ; Terras, F. R. G. ; DeBolle, M. F. C. ; Proost, P. ; VanDamme, J. ; Dillen, L. ; Claeys, M. ; Ress, S. ; Vanderleyden, J. ; Cammue, B. P. A. (1992) Péptidos antimicrobianos de Semillas de *Amaranthus caudatus* con homología de secuencia con dominio rico en cisteína / glicina de proteínas de unión a quitina. *Bioquímica*, 31 (17), 4308–4314

Contenido de aceite, ácidos grasos y escualeno en variedades crudas y procesadas de grano de amaranto. (2009). Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 5(2). http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222009000100013#tab3

Costea m., Sanders, A. and waines, G. 2001. Preliminary results toward a revisión of the *amaranthus hybridus* species complex (*amaranthaceae*). *SIDA* 19:931-974

Chipana M, Stuva C. 2005. Kiwicha producto de exportación en el Perú. Artículo Ministerio de la Producción, Perú

De Lumen B O (2005) Lunasin: a cáncer preventive soy peptide. *Nutrition reviews* 63:16-21

Duarte-Correa, A.; Jokl, L. ; Carlsson, R. (1986), Componente químico in vitro digestibilidad proteica y presencia de sustancias antinutricionales en granos de amaranto. *Arco. Latinoam. Nutr.* 36 (2), 319–326.

Espitia R E., 1986. Caracterización y evaluación preliminar de germoplasma de amaranto. En: T. reyna Trujillo, G. Suarez ramón y j.m. cervantes sanchez (Eds.) *memorias del coloquio nacional de amaranto queretaro, mexico.* P. 113-126.

Evaluación del aporte nutricional del amaranto (*amaranthus caudatus* linnaeus), quinoa (*chenopodium quinoa* willd) y tarwi (*lupinus mutabilis* sweet) en el desayuno. (2017). *con- ciencia*, 5(2). http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2310-02652017000200003&script=sci_arttext

- Griffiths, D.** 1912. The thornless prickly pears. *Farmers' Bull. USDA*, 483: 1–20.
- Grubben GJH. And H.sloten D.** 1981. Genetic resources of amaranths: a global plan of action. AGP: IBPGR 80/2. INPGR.FAO, ROMA, Italia 57 p.
- Hoffmann, W.** 1995. Ethnobotany. In G. Barbera, P. Inglese & E. Pimienta Barrios, eds. *Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear*, pp. 12–19. *FAO Plant Production and Protection Paper No. 132*.
- Kauffman C S.** 1979. Grain amaranth research: an approach to the development of a new crop. In: *Proceedings of the Second Amaranth Conference*. Emmaus, Pennsylvania, EUA, Rodale Press Inc. 81p
- Kauffman c s. And C. Reider,** 1984. *Rodale amaranth germplasm collection*. Rodale press, in., emmaus, Pennsylvania USA 160-165 pp
- Koepe S J, J H Rupnow, C E Walker A Davis** (1985) isolation and heat stability of trypsin inhibition in amaranth (*amaranthus hypochondriacus*). *Journal of food science* 50:1519-1521.
- Konoshi Y, Y Fmumita, ikedo K, okuno K, Fuwa H** (1985) isolation and characterization of globulin from seeds of *amaranthus hypochondriacus* L. *Agricultural and Biological chemistry* 49:1453-1459
- López Mejía,** (2014). O.A.capacidad de subproductos de semillas de amaranto (*amaranthus hypochondriacus*) en archivos latinoamericanos de nutrición issn: 0004-0622 (64)
- Man , S , A. Păucean , S. Muste , M.-S. Chiş, A. Pop I.** (2017) DC IanoşEvaluación de la utilización de harina de amaranto en la producción y calidad de galletasJ. *Agroaliment. Proceso. Technol.* , 23, pp. 97 – 103
- Martínez S. L.** (2016), seguridad alimentaria, autosuficiencia y disponibilidad del amaranto en México Volume 47, Issue 186, July–September Pages 107-132
- Martínez Salvador, L.** (2016, septiembre). Seguridad Alimentaria, autosuficiencia Y DISPONIBILIDAD DEL AMARANTO En México. *science direct*, 47(186), 107–132. <https://doi.org/10.1016/j.rpd.2016.08.004>

- Morales G J C., N. Vázquez M y R. Bressani C.** 2009. El amaranto. Características físicas, químicas, toxicológicas, funcionales y aporte nutricional. Primera edición. Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Subirán, vasco de Quiroga 15, Tlalpan, 14000, México D.F. pp: 131-156.
- Mujica A., BERTi M e izquierdo J** (1997) el cultivo de amaranto (*amaranthus spp.*) producción, mejoramiento genético y utilización. Peru, universidad nacional del altiplano, peru- universidad de concepción, chile – oficina regional de la FAO para america latina y el caribe.
- Ortiz-Torres, E., Argumedo-Macías, A., García-Perea, H., & Meza-Varela, R.** (2020, 30 septiembre). Rendimiento y volumen de expansión de grano de variedades mejoradas de amaranto para valles altos de Puebla. *scielo*, 41(3). <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.3.291-300>
- Paredes – lopez O, A P barbara de la rosa, D Hernandez- lopez, A Carébez- trejo** (1990) food proteins from emerging seed sources. In new and developing sources of food proteins; Hudson, b.j.f., ed.; Chapman and Hall: London, 1994; pp 240-279. Pharmacia LKB. Separation technique file no. 100.
- Pinkava, D.J., Baker, M.A., Parfitt, B.D., Mohlenbrock, M.W. & Worthington, R.D.** 1985. Chromosome numbers in some cacti of North America V. *Syst. Bot.*, 10: 471–483.
- Ramírez-Pérez, A., Ortiz-Torres, E., de la O-Olán, M., & Ocampo-Fletes, I.** (2018, mayo). Método para evaluar reventado de grano en amaranto. *Scielo*, 9(3). <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i3.1224>
- Reynolds, S.G. & Arias, E.** 2001. Introduction. In C. Mondragón Jacobo & S. Pérez González, eds. *Cactus (Opuntia spp.) as forage*, pp. 1–36. FAO Plant Production and Protection Paper No. 169. Rome, Italy. 146 pp
- Ryan C A** (1990) protease inhibitors in plants: genes for improving defenses against insects and pathogens. *Annual review of phytopathology* 28: 425-449.
- Sauser j.** 1967. The grain amaranth and their relatives: a revised taxonomic and geographic survey, *Annals Missouri Botanical Garden* (2): 103- 137.

Schnetzler, K. A; Breen, W. M. (1994); Usos alimentarios y productos de amaranto Investigación: una revisión completa. En *Amaranto. Biología, Química y Tecnología*, 1ª ed.; Paredes-López, O., Ed .; CRC Prensa: Boca Raton, FL, Capítulo 9, págs. 155-184

Silvia- sanchez C, A P Barba de la rosa, M F león- galvan, B O de lumen, A De león – rodrigues, E Gonzalez de mejia (2008) Bioactive peptides in amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) seed. *Journal of agricultural and food chemistry* 56: 1233 – 1240.

Stallknecht G F and JR. Schütz-Scheffer. 1993. Amaranth rediscovered. In: Janick J. y Simon J.E., Eds. *New crops*. Nueva York, John Wiley and Sons, 211 p.

Tavitas, F.L., Hernández, A.L.2022.Informe Técnico. Generación de variedades modernas de amaranto para impulsar su producción en México. INIFAP. Campo Experimental Zacatepec .14p.

Tosi E A., H. Lucero H and R. Masciarelli. 2001. Dietary fiber obtained from amaranth (*Amaranthuscruentus* L.) grain by differential milling. *FoodChemistry*, Vol. 73, Núm. 4. pp: 441-443.

Valdes- rodrigues S, M Segura- nieto, A Chagolla- lopez, A Verver y Vargas-cortina, N Martinez- Gallardo,A Blanco- labra (1993) purification, characterization, and complete amino acid sequence of a trypsin inhibitor from amaranth (*amaranthus hypochondryacus*) seed. *Plant physiology* 103: 1407-1412.