



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**Calidad de amaranto reventado mediante dos
métodos el tradicional y el industrial**

T E S I S

PARA OBTENER EL GRADO DE:

INGENIERA EN ALIMENTOS

P R E S E N T A:

DAMIÁN REYES MARÍA GUADALUPE

ASESOR:

DR. ENRIQUE MARTÍNEZ-MANRIQUE

COASESOR:

I.A. VERÓNICA JIMÉNEZ-VERA

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO



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

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.

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

Calidad de amaranto reventado mediante dos métodos el tradicional y el industrial

Que presenta la pasante: **María Guadalupe Damián Reyes**

Con número de cuenta: **307076292** para obtener el Título de la carrera: **Ingeniería en Alimentos**

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

ATENTAMENTE

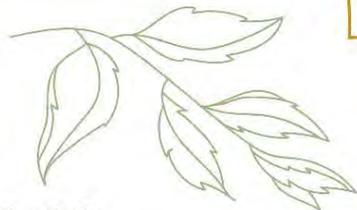
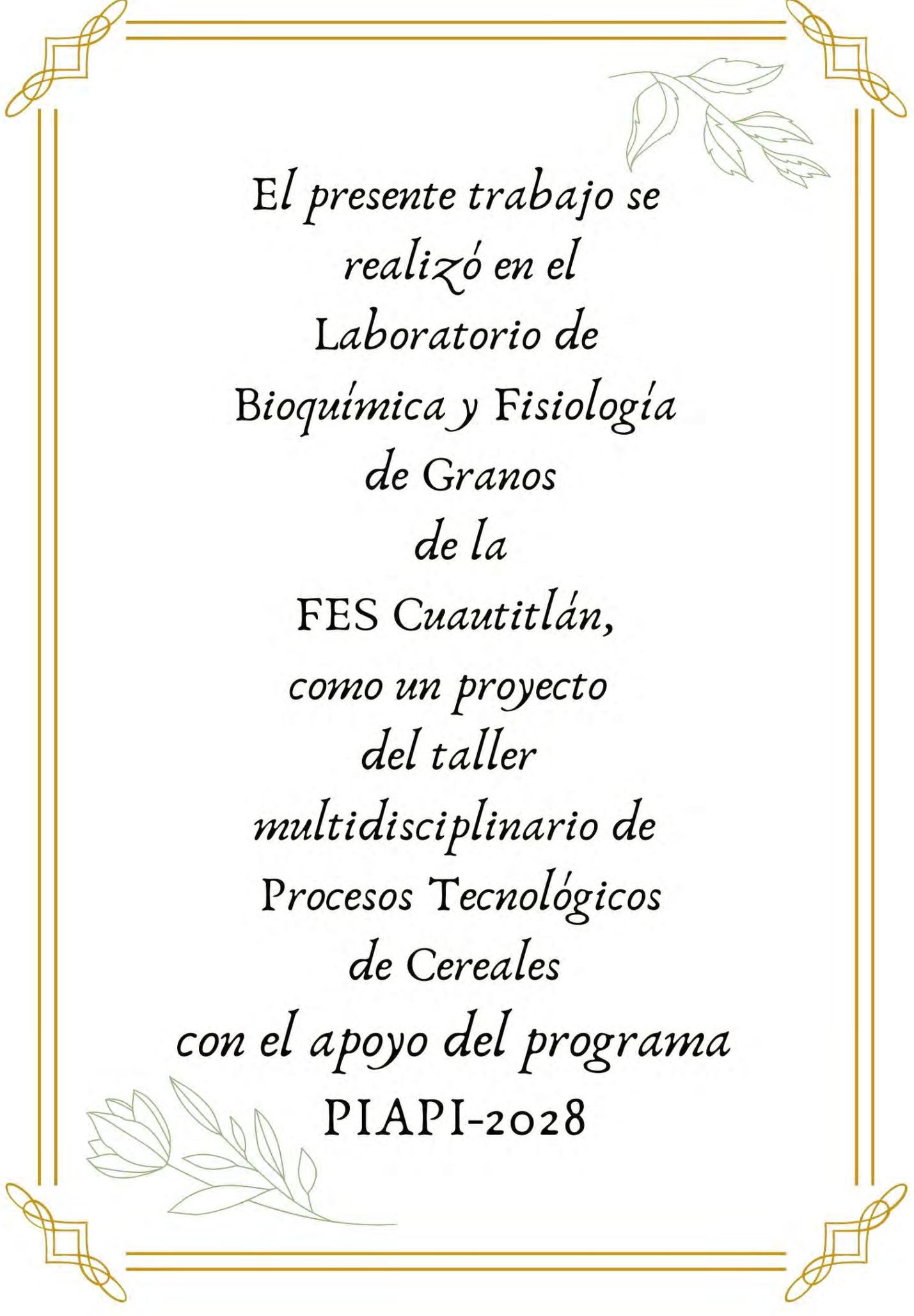
“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 08 de agosto de 2019.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

| | NOMBRE | FIRMA |
|----------------------|---|-------|
| PRESIDENTE | Dra. Elsa Gutiérrez Cortez | |
| VOCAL | M. en C. Tais Nopal Guerrero | |
| SECRETARIO | Dr. Enrique Martínez Manrique | |
| 1er. SUPLENTE | I.A. Miriam Alvarez Velasco | |
| 2do. SUPLENTE | M. en C. E. Sandra Margarita Rueda Enriquez | |

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



*El presente trabajo se
realizó en el
Laboratorio de
Bioquímica y Fisiología
de Granos
de la*

*FES Cuautitlán,
como un proyecto
del taller
multidisciplinario de
Procesos Tecnológicos
de Cereales
con el apoyo del programa
PIAPI-2028*



Dedicatorias

*Con todo mi amor,
a mi madre Alicia
y a Christian.*

AGRADECIMIENTOS



A DIOS

Por ser mi guía y darme la fortuna de concluir esta etapa de mi vida.

A MI MADRE, ALICIA REYES

Por su infinito amor y dedicación a mi persona.

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

Por formarme académicamente y darme el privilegio de estudiar en mi querido CCH Azcapotzalco e inolvidable FES Cuautitlán.

A MI ASESOR,
DR. ENRIQUE MARTÍNEZ-MANRIQUE

Por el tiempo dedicado a este proyecto, por darme la oportunidad de pertenecer a su equipo de trabajo y por los conocimientos transmitidos.

A MI COASESORA,
I.A. VERÓNICA JIMÉNEZ-VERA

Por su apoyo y dedicación en este trabajo.



AGRADECIMIENTOS



A MIS HERMANOS

Isabel, , Rubén y Verónica por su cariño.

A CHRISTIAN MONTIEL

Por tu amor, apoyo y por creer en mí.

AL DR. ENRIQUE FUENTES

Por ser un un excelente profesor, apoyarme con paciencia y brindarme su amistad.

A LA I.Q. LETICIA ZUÑIGA

Por las palabras y el cafesito que me ofrecía cuando las cosas se pusieron difíciles.

A QUITZIA PORTILLO

Por enseñarme lo que es la verdadera amistad.

A MIS AMIGOS

Jose Luis, Noemi y Karem por estar en esta última etapa de la licenciatura.



ÍNDICE

| | |
|---|----|
| RESUMEN | 1 |
| INTRODUCCIÓN | 2 |
| 1. Antecedentes | 4 |
| 1.1 Historia del amaranto | 4 |
| 1.2 El amaranto en la época prehispánica | 4 |
| 1.3 Producción nacional de amaranto | 6 |
| 1.4 Botánica | 7 |
| 1.4.1 Morfología de la semilla de amaranto | 8 |
| 1.5 Composición química del amaranto | 10 |
| 1.5.1 Proteínas | 10 |
| 1.5.2 Carbohidratos | 11 |
| 1.5.3 Lípidos | 12 |
| 1.5.4 Fibra | 12 |
| 1.6 Digestibilidad | 12 |
| 1.7 Factores anti-nutrimientales | 13 |
| 1.8 Reventado del grano de amaranto | 14 |
| 2. DESARROLLO EXPERIMENTAL | 17 |
| 2.1 Objetivos | 17 |
| 2.1.1 Objetivo General | 17 |
| 2.1.2 Objetivos Particulares | 17 |
| 2.2 Cuadro metodológico | 18 |
| 2.3 Metodología | 19 |
| 2.3.1 Material Biológico | 19 |
| 2.3.2 Análisis Químico Proximal | 19 |
| 2.3.3 Reventado del grano de amaranto | 22 |
| 2.3.4 Calidad de Grano Reventado (Separación por formas) | 24 |
| 2.3.5 Análisis Químico Proximal del grano reventado | 24 |
| 2.3.6 Determinación de la calidad nutrimental del grano reventado de amaranto | 24 |
| 2.3.7 Determinación de factores antinutrimientales | 25 |
| 2.3.8 Análisis estadístico | 27 |
| 3. RESULTADOS | 28 |
| 3.1 Análisis Químico Proximal del material biológico | 28 |
| 3.2 Reventado del grano de amaranto | 28 |

| | |
|--|----|
| 3.3 Calidad de Grano Reventado (Separación por formas)..... | 29 |
| 3.4 Análisis Químico Proximal de la mezcla de granos reventados y separados por formas | 30 |
| 3.5 Determinación de la calidad nutricional del grano reventado por formas | 33 |
| 3.6 Determinación de factores antinutricionales..... | 35 |
| 4. CONCLUSIONES | 38 |
| 5. REFERENCIAS | 39 |
| ANEXOS | 43 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Comida principal de los Aztecas..... | 5 |
| Figura 2: Imagen elaborada con amaranto..... | 5 |
| Figura 3: Porcentaje de valor de la producción por entidad federativa..... | 6 |
| Figura 4: Volumen de producción de amaranto en México..... | 7 |
| Figura 5: Diagrama de secciones transversal (a) y longitudinal (b) de semilla de amaranto | 9 |
| Figura 6: Gránulos de almidón de amaranto A) a 2nm y B) a 500 nm de amplificación..... | 12 |
| Figura 7: Reventado tradicional | 15 |
| Figura 8: Prototipo de máquina de reventado..... | 15 |
| Figura 9: Formas de reventado del grano de amaranto..... | 16 |
| Figura 10: Cuadro metodológico | 18 |
| Figura 11: Diagrama de bloques del reventado de amaranto | 22 |
| Figura 12: Resultados del análisis físico de los granos de amaranto reventados por los métodos tradicional e industrial..... | 43 |
| Figura 13: Resultados del análisis físico (formas de reventado) de los granos de amaranto reventados por los métodos tradicional e industrial..... | 43 |
| Figura 14: Resultados del Análisis Químico Proximal (Humedad) de los granos de amaranto reventados por los métodos tradicional e industrial..... | 44 |
| Figura 15: Resultados del Análisis Químico Proximal (Proteína) de los granos de amaranto reventados por los métodos tradicional e industrial..... | 44 |
| Figura 16: Resultados del Análisis Químico Proximal (Grasa) de los granos de amaranto reventados por los métodos tradicional e industrial..... | 45 |
| Figura 17: Resultados del Análisis Químico Proximal (Cenizas) de los granos de amaranto reventados por los métodos tradicional e industrial..... | 45 |
| Figura 18: Resultados del Análisis Químico Proximal (Fibra) de los granos de amaranto reventados por los métodos tradicional e industrial..... | 46 |
| Figura 19: Resultados del Análisis Químico Proximal (Carbohidratos) de los granos de amaranto reventados por los métodos tradicional e industrial..... | 46 |
| Figura 20: Resultados del Análisis de Digestibilidad de los granos de amaranto reventados por los métodos tradicional e industrial..... | 47 |
| Figura 21: Resultados del Análisis de Triptófano de los granos de amaranto reventados por los métodos tradicional e industrial..... | 47 |
| Figura 22: Resultados del análisis de factores antinutrimientales (Taninos) de los granos de amaranto reventados por los métodos tradicional e industrial... .. | 48 |
| Figura 23: Resultados del análisis de factores antinutrimientales (Ácido fítico) de los granos de amaranto reventados por los métodos tradicional e industrial | 48 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Composición Química del grano de amaranto en porcentaje | 10 |
| Tabla 2. Aminoácidos esenciales en el grano de amaranto (g aminoácido/100 g de proteína)..... | 11 |
| Tabla 3. Análisis químico proximal de semilla de amaranto sin reventar. | 28 |
| Tabla 4. Propiedades físicas del grano de amaranto reventado por dos métodos..... | 29 |
| Tabla 5. Formas de reventado de amaranto por los métodos tradicional y el industrial. | 30 |
| Tabla 6. Análisis Químico Proximal de la mezcla de granos de amaranto reventados por los métodos tradicional y el industrial..... | 31 |
| Tabla 7. Análisis Químico Proximal del grano de amaranto reventado en forma de trébol por los métodos tradicional e industrial..... | 31 |
| Tabla 8. Análisis Químico Proximal del grano de amaranto reventado en forma de ochos por los métodos tradicional y el método industrial. | 32 |
| Tabla 9. Análisis Químico Proximal del grano de amaranto reventado en forma esferoidal por los métodos tradicional e industrial..... | 32 |
| Tabla 10. Digestibilidad in vitro y Triptófano de la mezcla de granos de amaranto reventados por los métodos tradicional y el industrial. | 33 |
| Tabla 11. Resultados de las pruebas nutrimentales para la forma de trébol por los métodos tradicional e industrial. | 33 |
| Tabla 12. Resultados de las pruebas nutrimentales para la forma de ocho por los métodos tradicional e industrial. | 34 |
| Tabla 13. Resultados de las pruebas nutrimentales para la forma esferoidal por los métodos tradicional e industrial. | 34 |
| Tabla 14. Resultados del contenido de Factores Antinutrimientales de granos de amaranto reventado por los métodos tradicional e industrial. | 35 |
| Tabla 15. Resultados de las pruebas antinutrimientales en la forma de trébol por los métodos tradicional e industrial. | 35 |
| Tabla 16. Resultados de las pruebas antinutrimientales en figura ocho por el método Tradicional e industrial. | 36 |
| Tabla 17. Resultados de las pruebas antinutrimientales en figura esferoidal por el método Tradicional e Industrial. | 36 |

RESUMEN

El amaranto, considerado uno de los pseudocereales más nutritivos, es usado para el consumo humano de varias maneras; destacando entre ellas la elaboración de dulces con sus semillas reventadas o bebidas a base de harina. En la actualidad es aprovechada casi toda la planta del amaranto: los tallos tiernos se consumen como verdura y sus hojas se guisan, pero la parte más utilizada es la semilla, ingrediente básico en incontables alimentos, principalmente la típica “alegría”, que hasta hoy es elaborada con un proceso similar al que se usaba en tiempos de Moctezuma. El reventado del grano de amaranto confiere al grano mejor sabor, color, aroma e incrementa la calidad de proteína. Esta transformación del grano se realiza mediante dos métodos uno industrial y otro artesanal; en el método industrial el grano se revienta con un sistema de lecho fluidizado con aire caliente, mientras que el método tradicional consiste en reventar el amaranto en un comal de barro previamente calentado a una temperatura aproximada de 260 °C. El reventado industrial es más eficiente que el artesanal, pero no se sabe si daña el grano físicamente o disminuye su calidad química o nutrimental. Es por eso que en este proyecto se planteó el objetivo de evaluar el efecto del reventado de amaranto mediante estos dos métodos (tradicional e industrial) sobre su calidad física, química y nutrimental del grano. Para llevar a cabo esto se realizó el reventado de amaranto en comal y en máquina, y a las muestras se les determinó volumen, rendimiento y forma de reventado además de realizar un Análisis Químico Proximal (humedad, proteína, grasa, cenizas, fibra y carbohidratos), pruebas nutrimentales (digestibilidad *in vitro* y contenido de triptófano) y antinutrientales (ácido fítico, taninos y los inhibidores de tripsina), para comparar los resultados. Se encontró que el método de reventado sí afectó la calidad física, química y nutrimental; así como que las formas que se obtienen por el reventado influyen en la calidad física, química y nutrimental, siendo mejor método de reventado el tradicional ya que presenta mayor porcentaje de reventado en forma de trébol y dicha forma es la de mejor calidad física, química y nutrimental.

INTRODUCCIÓN

El amaranto es un pseudocereal que se cultiva en México desde la época prehispánica. En la época de los Aztecas uno de los cultivos más importantes fue el amaranto (*A. hypochondriacus*), produciendo de 15 000 a 20 000 toneladas por año, cantidad muy importante si se compara con lo que se produce actualmente que es en promedio anual 5000 toneladas (SIAP, 2017). El grano de amaranto es considerado como un pseudocereal ya que comparte algunas características químicas con los cereales, como el poseer cantidades importantes de almidón que se encuentra almacenado en el perispermo, pero botánicamente no lo es (Ventureira, 2010).

El amaranto, es considerado el “alimento del futuro” por su alto valor nutrimental y su facilidad para ser cultivado, ya que la planta es capaz de sobrevivir en condiciones de alta temperatura y poca agua. Además, es un cultivo del que se aprovecha el grano y el follaje para la alimentación humana. Los granos se consumen principalmente después de reventados.

El grano reventado de amaranto se puede clasificar en tres tipos según la forma obtenida (Reynaga & Castelú, 2017):

- Expandido de mayor tamaño, es el que tiene tres lóbulos en forma de trébol.
- Forma de número ocho, expandido de gran tamaño, es el que tiene dos lóbulos.
- Expandido de tamaño regular forma esferoidal (sin lóbulos).

Para reventar los granos de amaranto se utilizan dos tipos de tecnologías. La primera es la artesanal (tradicional) donde se utilizan comales de barro o metálicos calentados con fuego de leña o de gas, con rendimientos de 4.3 Kg/hora. La segunda tecnología es la mecanizada (Industrial) y se emplean máquinas que utilizan aire caliente para reventar el grano. El rendimiento alcanzado por este tipo de máquinas es de 80 a 160 kg/hora (Muñoz *et al.*, 2005). Las condiciones con las que opera el método industrial son estandarizadas, mientras que las condiciones con las que opera el método tradicional son difíciles de mantener.

Con el método tradicional, de acuerdo con el procedimiento seguido para el reventado y debido a que el control de las condiciones estándar es difícil de mantener, se piensa que puede disminuir la calidad nutritiva del grano reventado de amaranto (Reynaga & Castelú, 2017).

Esto puede ser debido a que las variaciones de calor afectan al total del grano de manera no uniforme, ya que mientras los granos más cercanos al centro del comal adquieren mayor cantidad de calor, los que se encuentran en los alrededores del comal tiene menor calor, esta exposición al calor también afecta el tiempo promedio de reventado. Siendo esto así, es posible además que algunos de los elementos nutricionales como proteínas y carbohidratos, principalmente, puedan descomponerse por exceso del calor no controlado.

Hasta hoy no se ha estudiado si el método de reventado tiene un efecto en la forma del grano reventado, su composición química y calidad nutrimental; por lo tanto, se plantea en este trabajo evaluar el efecto de los métodos de reventado (tradicional e industrial) del grano de amaranto, sobre su calidad física, química y nutrimental.

Las condiciones de reventado se generan mediante la aplicación de calor al grano, lo que hace evaporar el agua en su interior y expandir su volumen. En este estudio, las condiciones para el método tradicional serán mantener el amaranto en comal a una temperatura de 260 °C (medida con termómetro digital) por 15 segundos con homogenización manual, y por otro lado, el método industrial, bajo condiciones estándar de la técnica propia de la empresa, la cual no fue proporcionada.

Se determinarán las propiedades físicas (volumen y rendimiento) y las formas de reventado (trébol, ochos, esferoidal) para cada uno de los dos métodos (tradicional e industrial), también se realizará el AQP de acuerdo a lo establecido por la A.O.A.C (2002), humedad, proteínas, cenizas, grasa, fibra y carbohidratos (por diferencia) a los granos reventados, además se evaluará su calidad nutrimental: digestibilidad *in vitro* (Hsu *et al.*, 1977), cuantificación de triptófano (Rama *et al.*, 1974) y factores antinutrimientales: taninos (ISO 9648, 1988), ácido fítico (Haug *et al.*, 1983) e inhibidores de tripsina (Kakade *et al.*, 1974).

1. Antecedentes

1.1 Historia del amaranto

El amaranto se cultiva en América desde hace 5 000 a 7 000 años, probablemente los primeros en utilizarlo como un cultivo altamente productivo fueron los mayas, así como otros pueblos de América, entre ellos los Aztecas y los Incas aprendieron su consumo. Se estima que ellos producían de 15 000 a 20 000 toneladas por año y, además formaba parte de los tributos que cobraban a los pueblos sometidos. El amaranto o *huautli* era uno de los granos más apreciados por los aztecas.

Las semillas más antiguas conocidas de *A. hypochondriacus* como cultivo de grano domesticado tienen procedencia de excavaciones arqueológicas de la cueva de Coxcatlán en Tehuacán, Puebla, México cerca de 1 500 años de antigüedad (Espitia-Rangel *et al.*, 2010).

1.2 El amaranto en la época prehispánica

Los antiguos mexicanos tenían una alimentación cotidiana sencilla pero balanceada, compuesta básicamente de tortillas de maíz, atole de amaranto o de chía, tamales de maíz y de amaranto y frijoles.

Los aztecas hacían dos comidas al día: una a media mañana y una a media tarde, cuando el calor era más fuerte. El amaranto solía ser el primer alimento de la mañana y el último de la tarde. Acostumbraban desayunar un tazón de atole a base de maíz o de amaranto, y antes de dormir se alimentaban con una refrescante y sabrosa bebida preparada con amaranto o chía, similar al agua de horchata. La de la tarde era la comida fuerte, y en ella se consumían maíz, frijol y salsa de chile, acompañándolos con tamales de maíz o panes de amaranto (Figura 1) (Hernández & Herrerías, 1998).



Figura 1: Comida principal de los Aztecas
Fuente: Velasco, 2016

Para poder entender, como es que la producción y consumo del amaranto casi llegan a su extinción, es necesario describir que hubo una similitud entre la fe católica y la religión azteca al grado que los españoles prohibieran su producción y consumo. Esta similitud fue la de amasar imágenes de dioses o divinidades con masa de amaranto y miel “negra” de maguey (Figura 2), cortarlas y consumirlas con sangre al final de la ceremonia religiosa. Esta costumbre tan parecida a la comunión católica horrorizó a los españoles teniendo como resultado la prohibición del grano de amaranto que era de consumo importante para nuestros ancestros (Velasco, 2016).



Figura 2: Imagen donde están ofreciendo productos elaborados con amaranto
Fuente: Velasco, 2016

Así el amaranto fue eliminado de la dieta de indígena por razones religiosas y políticas. Algunos estudios sostienen que se trató de una estrategia militar para mantener a la población débil y conquistarla fácilmente, pues el amaranto era un alimento para los guerreros, ya que les daba fortaleza (Dyner *et al.*, 2007). Afortunadamente en los lugares más apartados de la conquista española se mantuvo su producción.

1.3 Producción nacional de amaranto

Actualmente este grano es producido principalmente en los estados de Tlaxcala, Puebla, Estado de México, Morelos y Ciudad de México, siendo Tlaxcala el mayor productor de amaranto con un 38.68% de la producción total del país.



Figura 3: Porcentaje de valor de la producción por entidad federativa.
Fuente: SIAP, 2017

El volumen de producción de amaranto del 2007- 2016 (Figura 4), tiene un promedio de 5 mil toneladas anuales. A consecuencia de que en Tlaxcala se cultiva menos superficie, en 2016 el volumen de producción de amaranto disminuye 29.2%, comparado con lo registrado en 2015.

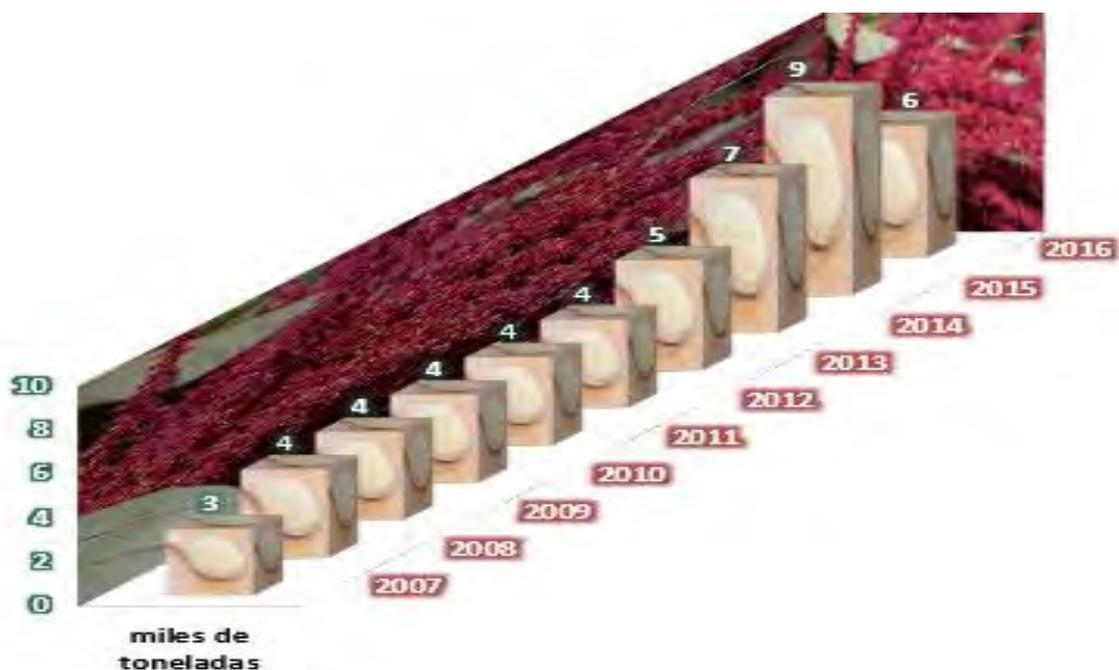


Figura 4: Volumen de producción de amaranto en México.

Fuente: SIAP, 2017

1.4 Botánica

El amaranto es considerado un pseudocereal ya que tiene propiedades químicas similares a las de los cereales, pero botánicamente no pertenece a esta familia. El amaranto es una especie anual, herbácea o arbustiva de diversos colores que van del verde al morado o púrpura con distintas coloraciones intermedias. (Tapia, 1997).

El amaranto es una planta dicotiledónea (contienen dos cotiledones), con resistencia a climas áridos, con poca agua y que puede germinar tanto en zonas frías como calientes. (Ureña, 2016).

Existen entre 50 y 60 géneros y 800 especies de *Amaranthus*. Las más aprovechadas por el ser humano son: *Amaranthus caudatus*, *Amaranthus cruentus* y *Amaranthus hypochondriacus*.

En México, la especie más abundante es el *Amaranthus hypochondriacus*, que produce gran cantidad de semillas y alcanza los dos metros de altura. El cultivo tiene las ventajas de ser resistente a las sequías y suelos salinos aumentando su potencial de cultivo en suelos no aptos para otras especies (Espitia-Rangel *et al.*, 2010).

Su clasificación botánica es la siguiente:

Nombre científico: *Amaranthus hypochondriacus*

Reino: Vegetal

División: Fanerógama

Tipo: Embryophyta siphonogama

Subtipo: Angiosperma

Clase: Dicotiledoneae

Subclase: Archyclamidae

Orden: Centrospermales

Familia: Amaranthaceae

Género: *Amaranthus*

Especie: *Hypochondriacus*

(Zuñiga, 2014)

1.4.1 Morfología de la semilla de amaranto

Los granos de amaranto son semillas pequeñas, de 1.0 mm a 1.35 mm de diámetro, de forma lenticular. El color varía desde el blanco hueso hasta beige, las especies silvestres presentan granos de color negro con el episperma muy duro (García, 2012).

Las principales partes de la estructura del grano de amaranto (Figura 5) son las siguientes (Carpio, 2009):

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

b) Endocarpio (Germen o embrión): El endocarpio circula en el perispermo de uno de sus lados, está formado por dos cotiledones (rica en proteína). Se ha encontrado más nutrientes en el embrión, como grasa, fibra, cenizas, de 2.3 a 2.6 veces más nitrógeno y de 2.4 a 2.5 veces más, minerales, especialmente hierro y cobre que en la semilla entera.

c) Perispermo: Está localizado en el centro de la semilla y consiste en una pared delgada del parénquima celular. Es un tejido de depósito, que alberga en él gránulos de almidón que es el más abundante de los carbohidratos en la semilla.

d) Endospermo: Está compuesto de cuerpos proteicos.

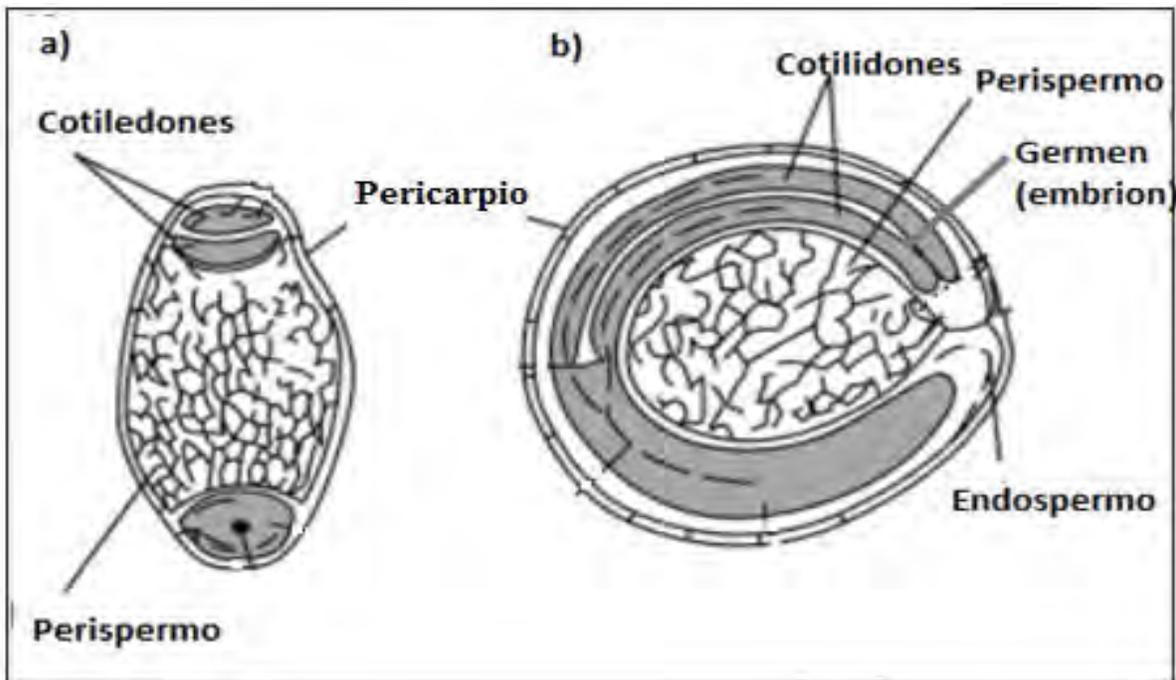


Figura 5: Diagrama de secciones transversal (a) y longitudinal (b) de semilla de amaranto

Fuente: Carpio, 2009

1.5 Composición química del amaranto

El amaranto es uno de los alimentos más completos, pues es una fuente rica en proteínas, lípidos y minerales, vitaminas A, B1, B2, B3, también contiene ácido fólico, niacina, potasio, magnesio, calcio, fosfato, hierro, fibra y lisina, que es uno de los aminoácidos más importantes para una buena nutrición (Recalde & Fierro, 2012).

El grano del amaranto posee aproximadamente un 16% de proteína, valor más alto que otros cereales tradicionales como el maíz con 9,33%, el arroz 8,77%, y el trigo 14,84%, sin embargo, su importancia no radica en la cantidad sino en la calidad de la misma con un excelente balance de aminoácidos (Recalde & Fierro, 2012).

Los datos de la composición química proximal del grano de amaranto (tabla 1) son más altos que otros cereales.

Tabla 1. Composición Química del grano de amaranto en porcentaje

| Componente | <i>A. hypochondriacus</i> |
|------------------------|----------------------------------|
| Humedad | 10.8 |
| Proteína | 15.5 |
| Extracto etéreo | 5.4 |
| Cenizas | 3.6 |
| Fibra cruda | 2.6 |
| Carbohidratos | 62.1 |

Fuente: Bressani, 2006

1.5.1 Proteínas

A diferencia de los cereales, la proteína del grano de amaranto se encuentra dentro del germen (65%) y en la capa de aleurona que rodea al endospermo almidonoso, presentando albuminas y globulinas ricas en lisina y valina, así como prolaminas ricas en fenilalanina y aminoácidos azufrados y glutelinas ricas en leucina, treonina e histidina (Vázquez, 2013). La distribución de las proteínas mayoritarias en el amaranto basadas en su solubilidad es de 20.7% de albuminas, 19.2 % de globulinas, 2.2 % de prolaminas y 49.5% de glutelinas.

El amaranto tiene concentraciones adecuadas de aminoácidos azufrados, lisina y triptófano (tabla 2). El contenido de lisina en el amaranto oscila entre 4.6 y 5.4 en 100 gramos de

proteína y es de 3 a 3.5 veces más alto que el maíz y de 2 a 2.5 veces más alto que el trigo. (Morales *et al.*, 2014). El grano de amaranto contiene cantidades altas de lisina, aminoácido deficiente en los cereales.

Tabla 2. Aminoácidos esenciales en el grano de amaranto (g aminoácido/100 g de proteína)

| Aminoácidos | <i>A.hypochondriacus</i> | FAO/OMS |
|--------------------|---------------------------------|----------------|
| Triptófano | 1.2-1.5 | 1.1 |
| Aromáticos | 4-4.1 | 3.5 |
| Treonina | 2.8-2.9 | 3.4 |
| Isoleucina | 3-3.1 | 2.8 |
| Valina | 3.4-4.6 | 3.5 |
| Lisina | 3.4-4.9 | 5.8 |
| Azufrados | 5.5-6.4 | 6.3 |
| Leucina | 4.7-5.2 | 6.6 |

Fuente: Ramírez, 2011

1.5.2 Carbohidratos

El almidón es el principal componente en la semilla de amaranto se almacena en el perispermo y su concentración oscila en un intervalo de 58 a 66%. Contiene cantidades considerables de amilopectina con baja temperatura de gelatinización y gránulos poligonales en tamaños que varían entre 1 y 3.5 micrómetros de diámetro según la variedad de amaranto además poseen una notable capacidad de hinchamiento. El almidón está constituido por amilopectina y solo 5 - 7% de amilosa (Morales *et al.*, 2014).

La amilosa es el componente que contribuye a las características de gelación y retrogradación, mientras que la amilopectina es la fracción no gelificante que contribuye a la viscosidad (Morales *et al.*, 2014). El gránulo de almidón del amaranto (Figura 6) es uno de los más pequeños de la naturaleza (0.8 - 2.5 μm), y presenta características especiales como una mayor capacidad de hincharse, baja solubilidad, gran capacidad de unión al agua y baja susceptibilidad a la digestión con la enzima α -amilasa. (Huerta-Ocampo *et al.*, 2012).

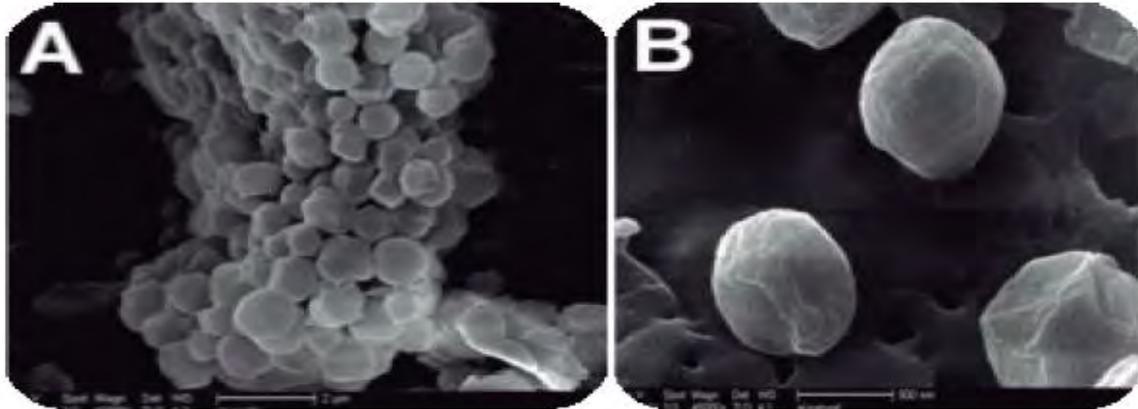


Figura 6. Gránulos de almidón de amaranto A) a 2nm y B) a 500 nm de amplificación.
Fuente: Huerta-Ocampo *et al.*, 2012

1.5.3 Lípidos

El contenido de lípidos es mayor en el amaranto que en los cereales. La mayor parte de los lípidos de amaranto se ubica en la fracción testa-embrión, que representa 25% de peso de la semilla. La fracción de lípidos del amaranto es de aproximadamente 77% de ácidos grasos insaturados, con el ácido linoleico como fracción predominante (Morales *et al.*, 2014).

1.5.4 Fibra

La fibra dietética contiene polisacáridos indigeribles, oligosacáridos, lignina y otras sustancias asociadas a la planta. El contenido de fibra en algunas especies de amaranto varía del 9 a 16%. (Morales *et al.*, 2014).

1.6 Digestibilidad

La digestibilidad de semillas de amaranto crudo varía de 77.6 a 88.5%; valores que son mayores a los de maíz y trigo. Además, el amaranto reventado alcanza niveles de 90% de digestibilidad, por lo que puede competir con otros granos, como los cereales. Se ha

informado que las semillas negras tienen menor digestibilidad en comparación con las semillas amarillas debido a que las primeras tienen grandes cantidades de fibra, también se encontró que la digestibilidad del aceite de amaranto es inferior que el aceite de algodón, sin que esta característica influya en la calidad nutricional de la harina de amaranto (Morales *et al.*, 2014).

1.7 Factores anti-nutricionales

El término anti-nutricional hace referencia a aquellos compuestos presentes de forma natural en un alimento que interfieren negativamente, en mayor o menor grado, en la absorción y metabolismo de sustancias nutritivas (Salgado, 2006). Desde el punto de vista bioquímico estos factores son de naturaleza variada y pueden llegar a ser tóxicos o causar efectos fisiológicos poco deseables como la flatulencia; distensión estomacal, afectaciones pancreáticas, aglutinación de glóbulos rojos, disminución en la asimilación de nutrientes, entre otros; los factores antinutricionales son sustancias naturales no fibrosas, generadas por el metabolismo secundario de las plantas como mecanismo de defensa a situaciones estresantes o contra el ataque de mohos, bacterias, insectos y aves (De Dios *et al.*, 2009).

Ejemplo de estos antinutricionales presentes en el amaranto son:

- **Taninos:** Son compuestos polifenólicos de un amplio peso molecular que habitualmente se dividen en hidrolizables y condensados. Estos son capaces de unirse a enzimas, proteínas, polisacáridos, ácidos nucleicos, esteroides, saponinas, y formar complejos con el hierro del alimento, dificultando la digestión de los nutrientes. Aunque hay diferencias químicas entre ellos, todos son compuestos fenólicos y pueden precipitar la proteína. La capacidad de ligar proteínas por los taninos, se ha considerado como un elemento importante para predecir sus efectos en sistemas biológicos (De Dios *et al.*, 2009).
- **Inhibidores de tripsina:** Estos factores se pueden definir como compuestos termolábiles de naturaleza proteica, que alteran la digestión de las proteínas, inhibiendo la acción de las enzimas digestivas que se enfocan hacia la hidrólisis de las proteínas de

la dieta; Sin embargo, se ha demostrado, que la efectividad de los tratamientos por calor dependen del pH, la temperatura, el tiempo de calentamiento, las condiciones de humedad, el tamaño de partícula y el tipo de semillas; por tanto, es recomendable aplicar métodos combinados para minimizar el daño en la calidad nutricional del alimento y promover una mayor inactivación. No hay evidencia de que los inhibidores de proteasa tengan algún efecto adverso al crecimiento y la salud humana. De hecho, un número creciente de datos sugiere que estos compuestos pueden mejorar la salud humana a través de sus efectos preventivos del cáncer (De Dios *et al.*, 2009).

- **Ácido fítico:** El ácido fítico puede unirse a los minerales en el intestino antes de que estos sean absorbidos e influyan en las enzimas digestivas. Los fitatos también reducen la digestibilidad de los almidones, las proteínas y las grasas. La mayoría del fitato (del 37 al 66 %) se degrada en el estómago y en el intestino delgado. Normalmente, nuestro cuerpo regula bastante bien los niveles de fitato, ajustando la absorción en el intestino y en la excreción hasta que los niveles del cuerpo entran en equilibrio. El estado de la vitamina D en el cuerpo parece influir en la cantidad de fitato que se retiene. Cuanta más vitamina D, más fitato se retiene, cuanta menos vitamina D, menos fitato.

1.8 Reventado del grano de amaranto

El grano de amaranto es procesado con la finalidad de obtener una gran variedad de productos, entre los procesos que comúnmente se realizan son: molienda, germinado y reventado. El más común en nuestro país es el reventado, del cual se elaboran: las famosas alegrías que es un dulce típico mexicano, cereales, granolas, tamales, atoles, pinole, mazapán y otros deliciosos productos; con harina de amaranto molido se elaboran tortillas, galletas, panqués, horchata y bebidas chocolatadas (Ramírez, 2015).

El reventado del grano de amaranto aumenta su volumen y mejora sus propiedades sensoriales y nutricionales además de incrementar la calidad de la proteína en comparación con el grano crudo (Reynaga & Castelú, 2017). El grano expande 5 a 6 veces su volumen

ofreciendo mayor facilidad y funcionalidad para el consumo. Pero también puede disminuir esta calidad si el tiempo de proceso y temperatura no son los óptimos.

Para reventar los granos se utilizan dos tipos de tecnologías (Barrales-Domínguez *et al.*, 1998):

El método tradicional: en el que se utiliza como superficie caliente un comal de barro y una escobita para mover los granos y no se lleguen a quemar. Tiene rendimientos aproximados de 4.3 kg/hora por una jornada de 8 horas (García, 2012).



Figura 7: Reventado tradicional
Fuente: Salinas, 2010

El método industrial: donde se emplea aire caliente y el rendimiento alcanzado es de 80 a 160 kg/hora. Esta tecnología es más cara para los productores y puede beneficiar a los consumidores porque la calidad del grano reventado en aire caliente pudiera ser superior a la tradicional en superficie caliente (Muñoz *et al.*, 2005).



Figura 8: Prototipo de máquina de reventado
Fuente: Trejo, 2018

El reventado se produce de la siguiente manera (Tavitas *et al.*, 2011):

El calor de la superficie caliente o el aire caliente causan la evaporación del agua contenida en la matriz del almidón, lo que incrementa la temperatura y la presión. Este fenómeno disuelve los gránulos de almidón y provoca la ruptura del pericarpio, con lo que se expanden los poros y entonces el endospermo se transforma dentro de la burbujeante matriz, la cual solidifica mediante la evaporación de agua, lo que se traduce en una textura esponjosa. El tamaño y estructura de los poros se relaciona con la capacidad y condiciones del reventado

de grano (Tavitas *et al.*, 2011). Durante el proceso de expandido ocurren cambios en la estructura micro y macromolecular del almidón, se incrementa la relación área superficial/volumen de la fase sólida, hay una modificación de la cristalinidad del almidón por efecto de la gelatinización, gelación y rompimiento de las cadenas de amilosa y amilopectina (Zuñiga, 2014).

Sin embargo, en este proceso el control de las condiciones estándar es difícil de mantener, por lo que de acuerdo con el procedimiento seguido para expandir el grano, si no se tienen cuidado en la temperatura y los tiempos, se disminuye la calidad proteínica y nutritiva del amaranto (Reynaga & Castelú, 2017).

El tamaño y estructura de los poros se relaciona con la capacidad y condiciones del reventado de grano lo que se traduce en las diferentes formas de reventado, ya que el amaranto no revienta adquiriendo siempre la misma forma, existen tres formas particulares en que este pequeño grano revienta (figura 9) las cuales son:



Figura 9: Formas de reventado del grano de amaranto.

Fuente: Tavitas *et al.*, 2011

Basandose en estas formas de reventado y su calidad, se analizarán los dos métodos de reventado mencionados antes. Además se evaluarán las características físicas, químicas y nutrimentales de ambos métodos de reventado.

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo General

Evaluar el efecto del reventado de amaranto mediante dos métodos (tradicional e industrial) sobre su calidad física, química y nutrimental del grano reventado.

2.1.2 Objetivos Particulares

Objetivo particular 1

Determinar las propiedades físicas (volumen, rendimiento y tipo de forma: trébol, ocho y esférico) del grano reventado mediante dos métodos (tradicional e industrial) para saber si afectan su calidad.

Objetivo particular 2

Determinar la composición química de los granos de amaranto reventados mediante dos métodos (tradicional e industrial) realizando un análisis químico proximal para conocer si afectan alguno de sus componentes químicos.

Objetivo particular 3

Evaluar la calidad nutrimental del amaranto reventado mediante dos métodos (tradicional e industrial) por medio de la determinación de triptófano, digestibilidad *in vitro* y factores anti-nutrimientales (taninos, ácido fítico e inhibidores de tripsina) para conocer si hay un efecto del método de reventado.

2.2 Cuadro metodológico

En la Figura 10 se muestra el cuadro metodológico del desarrollo experimental.

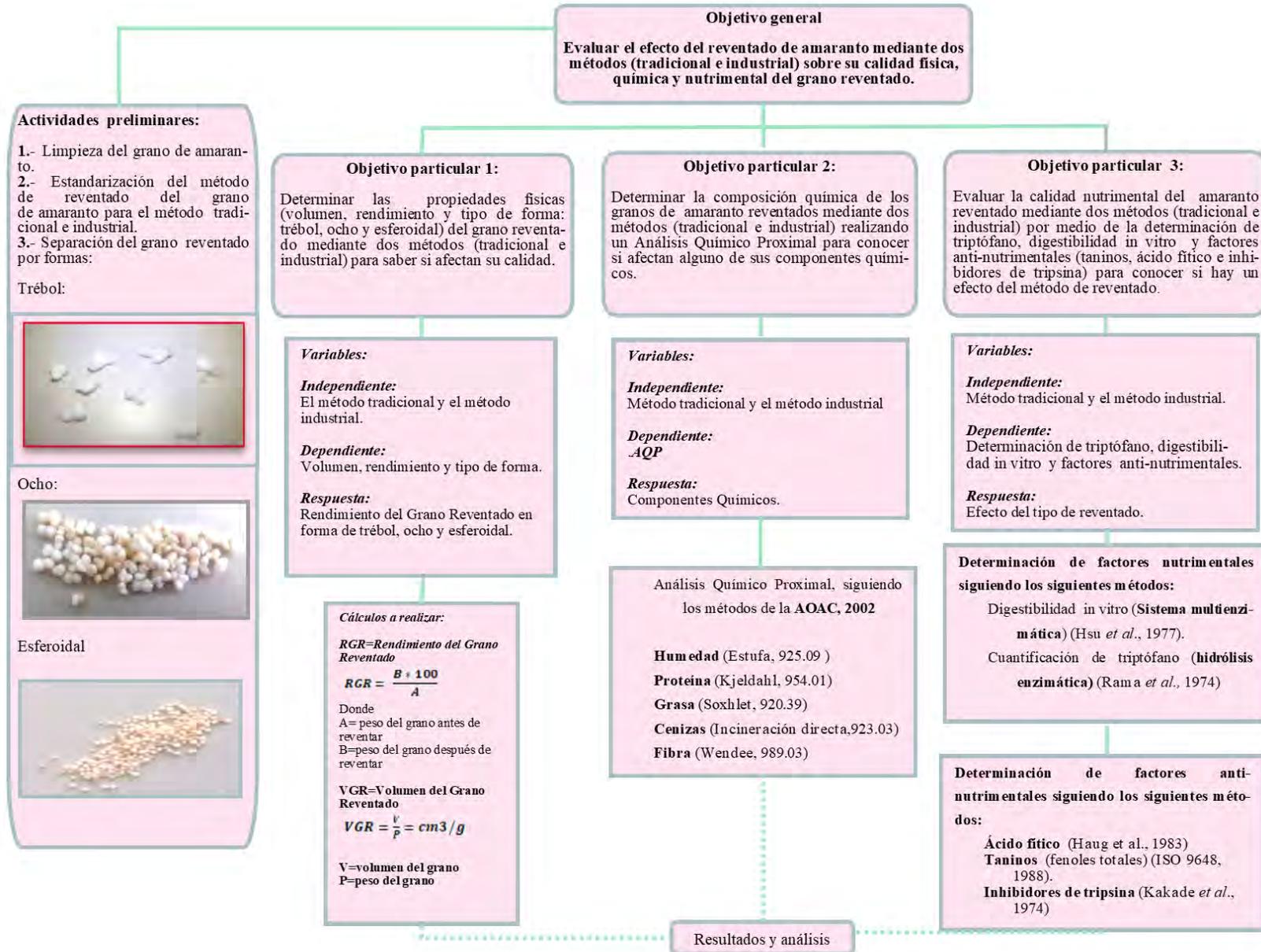


Figura 10: Cuadro metodológico

2.3 Metodología

2.3.1 Material Biológico

Para el desarrollo de este proyecto se utilizó semilla de amaranto de la especie *Amaranthus hypochondriacus L.*, variedad Tulyehualco cosecha 2013. Y amaranto reventado por método industrial (en máquina) de la especie *Amaranthus hypochondriacus L.* variedad Tulyehualco.

2.3.2 Análisis Químico Proximal

Se realizó un análisis químico proximal de este grano de amaranto para conocer su composición química antes de ser reventado. Las pruebas son humedad, grasa, proteínas, cenizas, fibra y carbohidratos por diferencia, siguiendo los métodos de la AOAC, 2002.

2.3.2.1 Determinación de humedad

Secado en estufa (925.09). El contenido de humedad se determinó por el método de secado por estufa, el cual se basa en la eliminación del agua por efecto del calor aplicado a la muestra. Se calculó el contenido de humedad, por la pérdida de peso en la muestra debida a la evaporación del agua por calentamiento a 130 °C hasta peso constante. El resultado se expresó como porcentaje de humedad como se muestra en la Ec (1).

$$\% \text{Humedad} = \left[\frac{W_2 - W_3}{W_1} \right] * 100 \quad \dots \dots \dots \text{Ec. (1)}$$

Dónde:

W₁: Peso de la muestra (g)

W₂: Peso de la muestra húmeda (g)

W₃: Peso de la muestra seca (g)

2.3.2.2 Determinación de extracto etéreo

Soxhlet (920.39). El contenido de grasa se determinó por el método de Soxhlet; se lleva a cabo mediante la extracción continua con éter etílico, obteniéndose el total de grasa tras la evaporación del solvente. El resultado se expresó como porcentaje de grasa como se muestra en la Ec (2).

$$\% \text{Grasa extraíble} = \left[\frac{W_3 - W_2}{W_1} \right] * 100 \dots \text{Ec. (2)}$$

Dónde:

W₁: Peso de la muestra (g)

W₂: Peso del matraz sin grasa (g)

W₃: Peso del matraz con grasa (g)

2.3.2.3 Determinación de proteína

Micro Kjeldahl (954.01). El contenido de proteína se determinó por el método micro Kjeldahl; el cual se basa en la combustión húmeda de la muestra, el producto se digiere con ácido sulfúrico concentrado en presencia de catalizadores metálicos para convertir el nitrógeno orgánico en iones de amonio. A la solución de la digestión se le añade álcali y se destila hacia una solución de ácido bórico. El destilado se titula con ácido clorhídrico. El resultado se expresó como porcentaje de proteína como se muestra en la Ec. (3).

$$\% \text{Proteína cruda} = \text{Nitrogeno total} * (F)$$

$$\text{Nitrogeno total} = [(V_2 - V_1)(N)(0.014)/W] * 100 \dots \text{Ec.(3)}$$

Dónde:

V₁: Volumen de HCl gastado en la muestra (mL)

V₂: Volumen de HCl gastado en el blanco (mL)

N: Normalidad del HCl (0.1)

W: Peso de la muestra (g)

F: Factor de conversión de nitrógeno a proteína (amaranto 5.87)

2.3.2.4 Determinación de cenizas

Incineración directa (923.03). El contenido de cenizas se determinó por el método de incineración directa; el cual se basa en la obtención de la materia orgánica, la cual se quema a la temperatura más baja posible y la materia inorgánica remanente se enfría y pesa. El calentamiento se realiza en etapas primero para eliminar el agua, a continuación, para carbonizar el producto totalmente y finalmente, para incinerar en horno de mufla a 550 °C. El resultado se expresó como porcentaje de cenizas totales como se muestra en la Ec. (4).

$$\% \text{Cenizas totales} = \left[\frac{W_3 - W_2}{W_1} \right] * 100 \dots\dots\dots \text{Ec. (4)}$$

Dónde:

W₁: Peso de la muestra (g)

W₂: Peso del crisol sin muestra (g)

W₃: Peso del crisol con cenizas (g)

2.3.2.5 Determinación de fibra cruda

Weende (989.03). El método consiste en someter la muestra seca y desengrasada a una primera digestión ácida, posteriormente a una segunda alcalina obteniéndose un residuo de fibra cruda y sales que con calcinación posterior se determina la fibra cruda. El resultado se expresó como porcentaje de fibra cruda como se muestra en la Ec. (5).

$$\% \text{Fibra cruda} = [(W_2 - W_1) - (W_4 - W_3) / W_S] * 100 \dots\dots\dots \text{Ec. (5)}$$

Dónde:

W₁: Peso del papel filtro (g)

W₂: Peso del papel filtro con residuos secos (g)

W₃: Peso del crisol vacío (g)

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

W_s: Peso de la muestra previamente desengrasada (g)

2.3.2.6 Determinación de Carbohidratos

El contenido de carbohidratos se determinó por diferencia de los demás componentes como muestra la ecuación 6.

$$\% \text{Carbohidratos} = 100 - (\text{Proteínas} + \text{Humedad} + \text{Grasas} + \text{Fibra} + \text{Cenizas}) \dots \text{Ec. (6)}$$

2.3.3 Reventado del grano de amaranto

El grano de amaranto se sometió a un tratamiento térmico (reventado) siguiendo el siguiente diagrama de proceso:

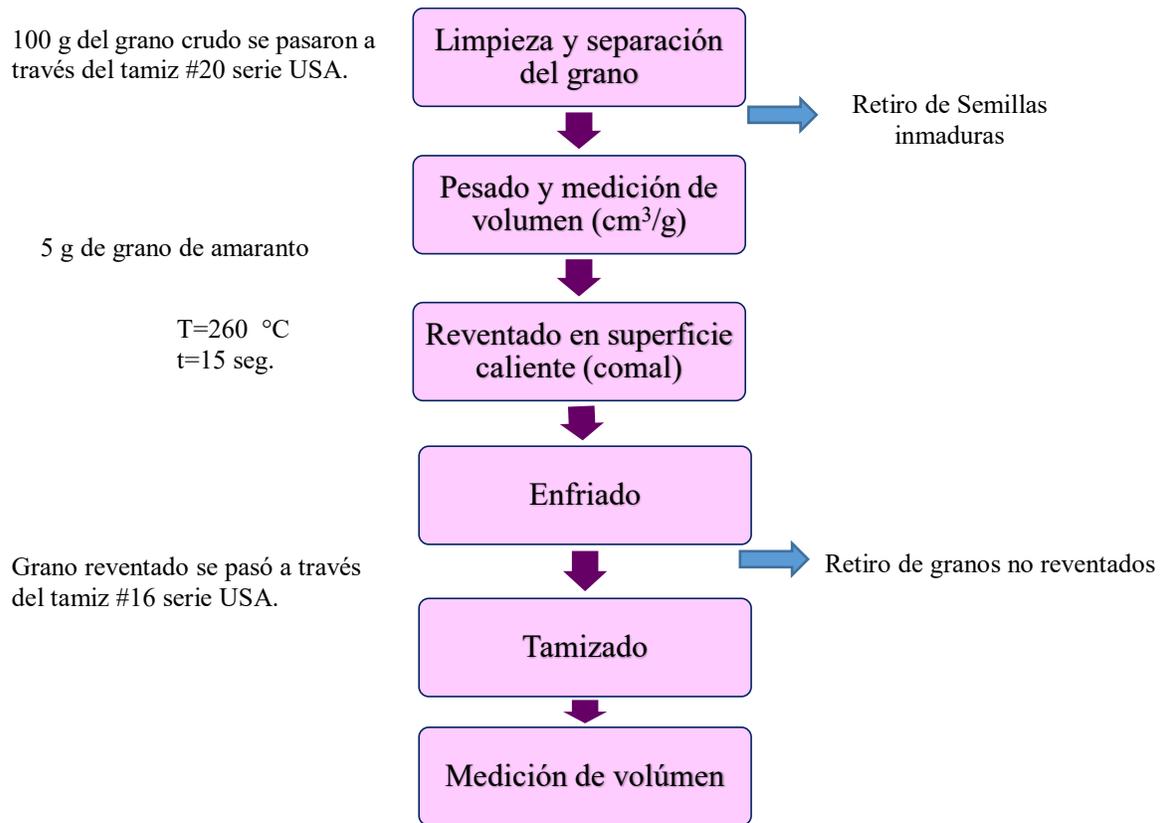


Figura 11: Diagrama de bloques del reventado de amaranto.

Descripción del proceso de reventado

- ❖ **Limpieza y separación del grano (tamizado):** Se pesan cantidades de 100 g y con ayuda de un tamiz No.20 USA se lleva a cabo la limpieza y separación del grano, en el tamiz se retendrán las semillas maduras y se eliminarán las semillas inmaduras (pequeñas). Posteriormente se vuelve a pesar el grano tanto el que se retuvo como el que paso la malla.
- ❖ **Pesado y medición de volumen:** De este grano limpio, se pesa la cantidad de amaranto que se reventará y se mide en una probeta, para conocer su volumen en cm³/g.

- ❖ **Reventado en superficie caliente:** Se coloca un comal de barro precalentado a una temperatura de 260 ° C (se mide con el termómetro infrarrojo) y se colocan en medio los granos de amaranto crudos, se comienzan a mover con una escobilla especial formando un abanico, aplastando las semillas y moviéndolos en el sentido de las manecillas del reloj, evitando que se quemen; el tiempo de reventado es aprox. de 15 segundos.
- ❖ **Enfriado:** Se vacían los granos reventados en una charola, moviéndolos constantemente para que se enfríen y evitar que se humedezcan por el calor contenido en el centro.
- ❖ **Tamizado:** Posteriormente se tamizan por malla No.16 USA y el grano retenido es el grano reventado adecuadamente, para conocer el porcentaje de grano reventado, y también se pesa el grano que pasó la malla 16, ya que es el que no reventó.
- ❖ **Medición de volumen:** El grano retenido en malla No.16 se pasa a una probeta y se mide el volumen del grano reventado.
- ❖ Se calcula el Rendimiento del Grano Reventado con la ec. (7) y el Volumen del grano reventado con la ec. (8):

Rendimiento Grano Reventado (RGR)

$$\text{RGR} = \frac{B * 100}{A} \dots\dots\dots \text{ec. (7)}$$

Dónde:

A= Peso del grano antes de reventar

B= Peso del grano reventado

Volumen del Grano Reventado (VGR)

$$\text{VGR} = \frac{V}{P} = \text{cm}^3/\text{g} \dots\dots\dots \text{ec. (8)}$$

Dónde:

V= Volumen del grano

P= Peso del grano

2.3.4 Calidad de Grano Reventado (Separación por formas)

Con el amaranto reventado se realiza la prueba de Calidad de Grano Reventado, ya que con esta propiedad se puede re-orientar el destino de la materia prima para la fabricación de ciertos alimentos e incrementar su valor agregado.

- Se pesan 10 g del amaranto que se reventó y se tamizó por malla 16, se comienzan a separar por las diferentes formas observables que existen (trébol, ocho y esferoidal).
- Se pesan todas las formas por separado y se sacó el porcentaje de cada forma, considerando que el total que se pesó 10 g es el 100%, este proceso se realiza por triplicado.

2.3.5 Análisis Químico Proximal del grano reventado

Se realizó un Análisis Químico Proximal a los granos reventados en general (mezclados) por medio de los dos métodos (el tradicional y el industrial), así como también a cada una de las formas de reventado del amaranto (trébol, ocho y esferoidal) para conocer la composición química de la mezcla y de cada una de las formas.

El análisis químico se realizó de acuerdo a los métodos propuestos por el AOAC (2002) y que ya mencionaron en el punto 2.3.2.

2.3.6 Determinación de la calidad nutrimental del grano reventado de amaranto.

2.3.6.1 Determinación de triptófano

Es el único aminoácido que no se puede cuantificar junto con los demás aminoácidos resultantes de la hidrólisis ácida en equipos como autoanalizador o HPLC, por lo que las técnicas colorimétricas para su cuantificación son múltiples. En este caso se realizó una hidrólisis enzimática y se desarrolló color p-dimetilamino benzaldehído (DMAB) y nitrato de sodio como contraste (Rama *et al.*, 1974).

Procedimiento:

- a) Pesar 0.5 g de muestra.

- b) Agregar 5 mL de pepsina; agitar e incubar por 3 horas a temperatura ambiente.
- c) Adicionarle 5 mL de NaOH 0.1N y 5 mL de pancreatina, incubar por 24 horas.
- d) Aforar a 25 mL con agua destilada y filtrar.
- e) Tomar 2 mL, adicionarle 3.75 ml de HCL y de DMAB, así como 0.25 ml de NaNO₂ y reposar 15 min.
- f) Leer a $\lambda=590$ nm.

2.3.6.2 Digestibilidad *in vitro*

La digestibilidad *in vitro* se lleva a cabo utilizando un sistema multienzimática para determinar la digestibilidad de proteínas. El sistema multienzimática está compuesto por tripsina, quimotripsina, peptidasa y proteasa. Se encontró que el pH de una proteína en suspensión, inmediatamente después de los 20 minutos de digestión, con la solución multienzimática; tiene una gran correlación con la digestibilidad *in vivo* de ratas. El coeficiente de correlación entre el pH a los 20 minutos y la digestibilidad aparente *in vitro* es de 0.90, con un margen de error estimado de 2.23 (Hsu *et al.*, 1977).

La ecuación de la regresión obtenida experimentalmente es la ec. (9):

$$\%D = 234.84 - 22.56 (x) \dots \dots \dots \text{ec. (9)}$$

Dónde: x: es el pH de la suspensión de proteína registrado después de la digestión.

2.3.7 Determinación de factores antinutrimientales

2.3.7.1 Taninos

Para la determinación de taninos se basó en la extracción de los taninos hidrolizables y condensados (fenoles totales) mediante dimetilformamida al 75% y la posterior reducción del ion férrico debido a los iones polifenoles con la subsiguiente formación de un complejo colorido en condiciones alcalinas, cuantificado espectrofotométricamente a 525 nm (ISO 9648, 1988).

Procedimiento:

- a) Pesar 1 g de muestra.
- b) Adicionar DMF al 75%.
- c) Agitar durante 1 hora, y centrifugar a 5000 rpm durante 20 minutos.
- d) Tomar 1 mL del sobrenadante, ajustar el volumen a 6 mL con agua destilada, 1 mL de citrato férrico (17-20%), 1 mL de amoniaco.
- e) Leer la absorbancia a 525 nm.

2.3.7.2 Ácido fítico

Para la determinación de ácido fítico, el extracto de la muestra se calienta con una solución de ácido férrico para conocer el contenido de hierro. La disminución del hierro (determinada colorimétricamente con 2,2-bipiridina) en el sobrenadante es la medida del contenido de ácido fítico (Haug *et al.*, 1983).

Procedimiento:

- a) Pesar 0.1 g de muestra y adicionar 20 ml de HCl 0.2 N, agitar durante 20 minutos.
- b) Tomar 0.5 mL del extracto y colocarlo en un tubo de ensaye.
- c) Adicionar 1 mL de sulfato férrico de amonio 0.2%.
- d) Tapar el tubo y calentarlo a 95 +/- 2°C durante 30 minutos.
- e) Enfriar los tubos de ensaye.
- f) Adicionar 2 mL de 2,2-Bipiridina a cada tubo.
- g) Leer la absorbancia a 519 nm.

$$\frac{P * 100\%}{\text{muestra/mL HCl}} \dots \dots \dots \text{ec. (10)}$$

Dónde: $P = \frac{(x \bullet E)}{T} \dots \dots \dots \text{ec. (11)}$

2.3.7.3 Inhibidores de tripsina

Para la determinación de inhibidores de tripsina se utilizó la técnica que se basa en poner en contacto el extracto acuoso de una muestra con una solución estándar de tripsina, posteriormente se determina la actividad proteolítica remanente utilizando un sustrato sintético (bezoil-arginina-p-nitroanilide) (BAPNA), el cual producirá coloración, que es inversamente proporcional al contenido de inhibidores de tripsina y que se lee en el espectrofotómetro a una $\lambda = 410 \text{ nm}$ (Kakade *et al.*, 1974).

Procedimiento

- a) A 1 g de muestra, adicionarle NaOH 0.01N; se ajusta el pH a 9.6, agitar por un tiempo de 2 horas con 30 min a 300 rpm. Centrifugar 5 minutos a 5000 rpm.
- b) Se toman porciones de 0, 0.6, 1, 1.4, y 1.8 mL del extracto anterior ajustando el volumen a 2.0 mL con agua destilada.
- c) Adicionar 2 mL de solución estándar de tripsina y agitar. Se mantiene en contacto inhibidor de tripsina-tripsina a 37 °C.
- d) Adicionar solución BAPNA a cada uno de los cinco tubos. Se mantiene por 10 minutos.
- e) Adicionar 1 mL de ácido Acético al 30%.
- f) Leer a 410 nm.

$$B * \text{Factor} * \frac{\text{Vol. aforado muestra}}{\text{mg de muestra}} = \frac{\text{UTI}}{\text{mg de muestra}} \dots \dots \dots \text{ec. (11)}$$

Dónde:

B: Ordenada al origen

Factor: Factor de dilución

2.3.8 Análisis estadístico

Las pruebas se realizaron por triplicado; calculando su media, desviación estándar y coeficiente de variación. Se analizaron las medias con la prueba de rango múltiple t-student con un nivel de significación de 0.05 utilizando el programa estadístico Origin V. 4.0.

3. RESULTADOS

3.1 Análisis Químico Proximal del material biológico

Se determinó la composición química de la semilla de amaranto sin reventar. Como se observa en la tabla 3, contiene un alto porcentaje de proteína en comparación con otros cereales como el arroz y el trigo entero, los cuales contienen 6.5 g y 12.6 g respectivamente por cada 100 g (Latham, 2002), además de mejor calidad, ya que se ha reportado que contiene más lisina y aminoácidos azufrados que los cereales (Collazos, 1975). También contiene mayor contenido de grasa respecto a cereales como el sorgo y el trigo entero, conteniendo 3.2 g el primero y 1.8 g el segundo, y también son de mejor calidad ya que son ácidos grasos insaturados y especialmente rico en ácido linoleico y ácido oleico (Murray *et al.*, 2005). Por último, el contenido de fibra del amaranto se encuentra en una proporción moderada respecto a otros cereales como el maíz amarillo con 7.3 g por cada 100 g de peso (USDA, 2019).

Tabla 3. Análisis químico proximal de semilla de amaranto sin reventar.

| Muestra | % | | | | | |
|-----------------------------|------------|------------|----------|-----------|-----------|---------------|
| | Humedad | Proteína | Cenizas | Grasa | Fibra | Carbohidratos |
| Semillas de Amaranto | 10.89±0.06 | 14.03±0.26 | 2.6±0.02 | 6.33±0.02 | 6.45±0.21 | 59.7 |

3.2 Reventado del grano de amaranto

El grano de amaranto se reventó por el método artesanal siguiendo el procedimiento antes mencionado e ilustrado en el diagrama de bloques del reventado de amaranto (Figura 12).

Para el grano reventado por el método industrial, se utilizó la misma variedad y cosecha, pero se reventó en una máquina de aire caliente que se encuentra en Tulyehualco, Xochimilco, la marca y modelo no pudieron ser compartidos por políticas del lugar.

Al amaranto reventado por ambos métodos se les determinó rendimiento y volumen, y los resultados se muestran en la tabla 4.

Se puede observar que el volumen de reventado y el rendimiento se ven afectados por el tipo de método que se utiliza. Se muestra (Tabla 4) que hay un mayor volumen para el grano reventado por el método industrial, así como un rendimiento mayor, esto puede ser debido al mejor control en las condiciones de reventado, porque al mantener la temperatura y tiempos de calentamiento del grano constantes permite una mayor eficiencia de reventado de los granos de amaranto por la homogeneidad de calor suministrado por área. La humedad del grano tendría que estar relacionada tanto con la eficiencia como con el volumen del grano reventado. Para lograr el reventado de grano de amaranto, es necesario someterlo a calentamiento de modo que la humedad contenida en la semilla sea convertida en vapor que genera la expansión al fundir los gránulos de almidón y romper el pericarpio (Moreno *et al.*, 2015).

Tabla 4. Propiedades físicas del grano de amaranto reventado por dos métodos el tradicional y el industrial

| Muestra | Volumen crudo (cm³/g) | Volumen reventado (cm³/g) | Rendimiento % |
|--------------------|---|---|-------------------------|
| Tradicional | 1.23±0.003 ^a | 5.09±0.2 ^a | 88.88±3.89 ^a |
| Industrial | 1.23±0.003 ^a | 8.98±0.2 ^b | 95.12±2.45 ^b |

*Letras diferentes entre filas indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$).

3.3 Calidad de Grano Reventado (Separación por formas)

Como ya se mencionó anteriormente el reventado de amaranto se da en diversas formas. El porcentaje de formas obtenidas por el reventado tuvo variación estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) con respecto al método de reventado (tabla 5), donde se puede apreciar que el método industrial tuvo un mayor porcentaje de formas esferoidales, pero menos de formas de trébol y ochos comparado con el método tradicional. Lo que muestra que el método sí influye en la forma de reventado del grano.

Tabla 5. Formas de reventado de amaranto por los métodos tradicional y el industrial.

| | TRÉBOL | OCHOS | ESFEROIDAL |
|--------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| TRADICIONAL | 13.46±0.73 ^a | 52.95±0.36 ^a | 33.61±0.47 ^a |
| INDUSTRIAL | 5.64±1.05 ^b | 23.27±4.53 ^b | 71.1±5.53 ^b |

*Letras diferentes entre columnas indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$).

La forma de trébol es la forma que presenta un mayor volumen de expansión, por esta razón se considera de mayor calidad física (Tavitas, 2011), por lo tanto, se puede decir que con el método tradicional se obtuvo una mejor calidad física de los granos.

Estos resultados se pueden atribuir a que en el método industrial el proceso de reventado es más rápido, lo que evita la pérdida de agua, por lo que el amaranto reventado contiene mayor humedad, mientras que en el método tradicional se afecta el contenido de humedad en la semilla al ser un proceso más lento, disminuyéndola, lo que causa como consecuencia que la expansión de la matriz gelatinizada ocupe un menor volumen, como se encontró en los resultados, mientras que, a mayor humedad, suaviza la matriz gelatinizada del almidón y esto permite un mayor volumen de expansión (Moreno *et al.*, 2015).

3.4 Análisis Químico Proximal de la mezcla de granos reventados y separados por formas

Se determinó el Análisis Químico Proximal del grano reventado antes de ser separado por formas. Observando que el grano reventado en forma Industrial tuvo mayor cantidad de humedad, cenizas y similar contenido de proteína y grasa que el reventado por el método tradicional. En la tabla 6 se muestra que hubo diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) entre los componentes: humedad, cenizas y fibra. En cuanto a la cantidad de fibra esta fue menor en el método industrial; esto se debe posiblemente a que el reventado es más violento y espontáneo, ya que el tiempo de reventado es menor, ocasionando que el grano estalle y pierda mayor cantidad de pericarpio. Estos resultados indican que el método de reventado afectó poco en la composición química del amaranto reventado.

Tabla 6. Análisis Químico Proximal de la mezcla de granos de amaranto reventados por los métodos tradicional y el industrial

| Método de reventado | % | | | | | |
|---------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|
| | Humedad | Proteína | Cenizas | Grasa | Fibra | Carbohidratos |
| Tradicional | 3.60±0.14 ^a | 16.25±0.17 ^a | 2.64±0.08 ^a | 5.27±0.05 ^a | 5.45±0.28 ^a | 66.79 ^a |
| Industrial | 5.79±0.19 ^b | 16.34±0.01 ^a | 3.32±0.28 ^b | 5.32±0.11 ^a | 3.82±0.10 ^b | 65.41 ^a |

*Letras diferentes entre columnas indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$).

Por otra parte, el amaranto reventado fue separado por formas (trébol, ochos, y esferoidal) de cada uno de los métodos (tradicional e industrial) y se realizó el Análisis Químico Proximal a cada una de estas formas.

Al comparar el efecto del método de reventado en las formas de trébol (Tabla 7) se observó que no hubo diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) entre ningún componente químico evaluado, es decir, al parecer el método de reventado no tuvo ningún efecto en su composición química.

Tabla 7. Análisis Químico Proximal del grano de amaranto reventado en forma de trébol por los métodos tradicional e industrial.

| ANÁLISIS | TRÉBOL | |
|----------|------------------------|--------------------------|
| | TRADICIONAL | INDUSTRIAL |
| HUMEDAD | 9.06±0.07 ^a | 10.17±0.04 ^a |
| PROTEINA | 14.2±0.47 ^a | 14.76±0.005 ^a |
| GRASA | 4.38±0.18 ^a | 4.06±0.22 ^a |
| CENIZAS | 2.22±0.04 ^a | 2.39±0.04 ^a |
| FIBRA | 3.78±0.1 ^a | 3.71±0.08 ^a |
| CHO'S | 66.4 ^a | 64.91 ^a |

*Letras diferentes entre columnas indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$).

También, al evaluar los granos reventados en forma de ochos (tabla 8) y las formas esferoidales (tabla 9) tampoco se observaron cambios en su composición química por efecto del método de reventado. Esto significa que no afecta la composición química, sin embargo, se observa un porcentaje mayor de humedad en el amaranto reventado por el método industrial, lo que puede deberse a que el tiempo de exposición al calor es menor al del método tradicional.

Tabla 8. Análisis Químico Proximal del grano de amaranto reventado en forma de ochos por los métodos tradicional y el método industrial.

| ANALISIS | OCHOS | |
|----------|-------------------------|--------------------------|
| | TRADICIONAL | INDUSTRIAL |
| HUMEDAD | 11.9±0.11 ^a | 11.24±0.045 ^a |
| PROTEINA | 12.3±0.005 ^a | 12.84±0.46 ^a |
| GRASA | 3.18±0.11 ^a | 3.58±0.09 ^a |
| CENIZAS | 2.34±0.09 ^a | 2.3±0.16 ^a |
| FIBRA | 4.15±0.14 ^a | 4.05±0.09 ^a |
| CHO'S | 66.2 ^a | 65.99 ^a |

*Letras diferentes entre columnas indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$).

Por otra parte, sí se observaron diferencias en la composición química al comparar los diferentes tipos de reventado. La forma de trébol se considera que es la de mayor calidad física por su mayor volumen (Tavitas, 2011), y tiene el mayor porcentaje de proteína que las otras dos formas, el mayor valor en porcentaje de grasas, valores muy cercanos de cenizas comparado con la forma esferoideal, un porcentaje menor en fibra respecto a las otras dos figuras y valores de carbohidratos similares a las figuras de ocho.

Dada la alta cantidad de proteínas presentes en el amaranto, es importante mantener la mayor proporción de estas, de acuerdo a estos resultados se considera que las formas de trébol tienen una mejor calidad química que la forma de ochos y esferoideal.

Tabla 9. Análisis Químico Proximal del grano de amaranto reventado en forma esferoideal por los métodos tradicional e industrial.

| ANALISIS | ESFEROIDAL | |
|----------|------------------------|-------------------------|
| | TRADICIONAL | INDUSTRIAL |
| HUMEDAD | 9.67±0.42 ^a | 9.78±0.09 ^a |
| PROTEINA | 8.47±0.46 ^a | 9.56±0.47 ^a |
| GRASA | 3.66±0.06 ^a | 3.78±0.09 ^a |
| CENIZAS | 2.26±0.08 ^a | 2.39±0.017 ^a |
| FIBRA | 5.14±0.18 ^a | 4.68±0.42 ^a |
| CHO'S | 70.8 ^a | 69.9 ^a |

*Letras diferentes entre columnas indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$).

3.5 Determinación de la calidad nutrimental del grano reventado por formas

Se determinó Digestibilidad *in vitro* y contenido de Triptófano al amaranto reventado antes de ser separado por formas (tabla 10), observando que la digestibilidad no tuvo diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) entre los dos métodos (tradicional e industrial), sin embargo, el triptófano sí tuvo diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) entre los dos métodos, esto podría deberse a que el grano, en el método industrial, pasa menor tiempo (5 a 10 segundos) en contacto con el calor comparado con el método tradicional que pasa 15 segundos en el comal, por lo que la degradación de triptófano es menor que en el método tradicional, pues se sabe que el triptófano es un aminoácido sensible al calor (Díaz, 2014).

Tabla 10. Digestibilidad *in vitro* y Triptófano de la mezcla de granos de amaranto reventados por los métodos tradicional y el industrial.

| Método de reventado | Digestibilidad <i>in vitro</i> (%) | Triptófano (g Trp/100g mta) |
|---------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| Tradicional | 93.44±0.24 ^a | 0.74±0.16 ^a |
| Industrial | 94.73±0.59 ^a | 0.90±0.04 ^b |

*Letras diferentes entre filas indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$)

También se realizó la determinación a cada una de las formas (trébol, ocho y esferoideal) reventadas por cada método (el tradicional y el industrial), observando que no hubo diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) entre los métodos para las formas de trébol (tabla 11), ochos (tabla 12) y esferoideal (tabla 13).

Tabla 11. Resultados de las pruebas nutrimentales para la forma de trébol por los métodos tradicional e industrial.

| ANÁLISIS | TRÉBOL | |
|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | TRADICIONAL | INDUSTRIAL |
| DIGESTIBILIDAD (%) | 91.92±1.11 ^a | 90.56±0.16 ^a |
| TRIPTÓFANO (gTrp/100g mtra) | 0.62±0.01 ^a | 0.72±0.014 ^a |

*Letras diferentes entre columnas indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$).

El grano de amaranto presenta una elevada digestibilidad *in vitro* de sus proteínas, algo esperado debido al tratamiento térmico para el reventado del grano, lo cual implica que las proteínas pueden ser mejor aprovechadas por los consumidores. Al comparar la digestibilidad y el contenido de triptófano entre las diferentes formas de reventado del grano se encontró que; la figura de trébol obtuvo mayor porcentaje de digestibilidad que las otras dos formas, esto se puede deber a que esta figura alcanza mayor temperatura y presión, por lo que se presenta una desnaturalización de proteínas dando como resultado mejor porcentaje de digestibilidad para ambos métodos de reventado. Pero el contenido de triptófano en las formas de trébol fue el menor para ambos métodos, esto debido a las altas temperaturas.

Tabla 12. Resultados de las pruebas nutrimentales para la forma de ocho por los métodos tradicional e industrial.

| ANÁLISIS | OCHOS | |
|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | TRADICIONAL | INDUSTRIAL |
| DIGESTIBILIDAD (%) | 90.34±0.48 ^a | 91.69±0.48 ^a |
| TRIPTÓFANO (gTrp/100g mtra) | 1.21±0.014 ^a | 1.12±0.007 ^a |

*Letras diferentes entre columnas indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$).

Los resultados de la figura esferoidal en digestibilidad presentaron los valores más bajos entre las tres figuras, mientras que el triptófano presentó los valores más altos, pero por la baja digestibilidad su aprovechamiento podría ser bajo; por lo que se puede concluir que el mejor aprovechamiento de la proteína se daría en la forma de trébol, aún con el menor contenido de triptófano.

Tabla 13. Resultados de las pruebas nutrimentales para la forma esferoidal por los métodos tradicional e industrial.

| ANÁLISIS | ESFEROIDAL | |
|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | TRADICIONAL | INDUSTRIAL |
| DIGESTIBILIDAD (%) | 89.7±0.95 ^a | 89.94±2.04 ^a |
| TRIPTÓFANO (gTrp/100g mtra) | 1.38±0.042 ^a | 1.22±0.02 ^a |

*Letras diferentes entre columnas indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$).

3.6 Determinación de factores antinutrimientales

Los granos de amaranto fueron reventados a una temperatura de 260 °C por lo que los factores antinutrimientales como los inhibidores de tripsina se esperaba que fueran inactivados en el reventado debido a su naturaleza proteica que sufre desnaturalización con la temperatura elevada (De Dios *et al.*, 2009), y al parecer así sucedió, pues no se detectaron en ninguna de las muestras (tabla 14, 15 16 y 17). El ácido fítico y los taninos fueron detectados, pero en porcentajes bajos, que no ponen en riesgo la salud de quien consuma este amaranto (tabla 14).

Tabla 14. Resultados del contenido de Factores Antinutrimientales de granos de amaranto reventado por los métodos tradicional e industrial.

| Amaranto reventado mezcla | Taninos (%) | Ácido fítico (%) | Inhibidores de tripsina (UTI/mg de muestra) |
|---------------------------|-------------------------|------------------------|---|
| Tradicional | 0.13±0.02 ^a | 0.84±0.05 ^a | ND |
| Industrial | 0.18±0.004 ^a | 1.04±0.02 ^a | ND |

*Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$). ND= No Detectado

En estas pruebas no hubo diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) entre los métodos sin embargo el método de tradicional tiene valores inferiores de estos compuestos y puede deberse al mayor calor al que es sometido el grano en el comal disminuyendo los valores de dichos compuestos.

Tabla 15. Resultados de las pruebas antinutrimientales en la forma de trébol por los métodos tradicional e industrial.

| ANALISIS | TRÉBOL | |
|---|--------------------------|---------------------------|
| | TRADICIONAL | INDUSTRIAL |
| TANINOS (%) | 0.186±0.004 ^a | 0.212±0.0014 ^a |
| ACIDO FITICO (%) | 1.09±0.007 ^a | 1.05±0.03 ^a |
| INHIBIDORES DE TRIPSINA (UTI/mg de muestra) | ND | ND |

*Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$).

Cuando se analizan los resultados de factores antinutrimientales de las formas obtenidas por el reventado, se observa que prácticamente tienen los mismos valores, es decir la forma del grano reventado no influyó en los porcentajes factores antinutrimientales obtenidos, lo que nos indica que ambos tratamientos térmicos fueron afectados de manera similar (tablas 15, 16 y 17).

Tabla 16. Resultados de las pruebas antinutrimientales en figura ocho por el método Tradicional e industrial.

| ANALISIS | OCHOS | |
|---|--------------------------|---------------------------|
| | TRADICIONAL | INDUSTRIAL |
| TANINOS (%) | 0.165±0.012 ^a | 0.187±0.0028 ^a |
| ACIDO FITICO (%) | 1.11±0.007 ^a | 1.05±0.02 ^a |
| INHIBIDORES DE TRIPSINA (UTI/mg de muestra) | ND | ND |

*Letras diferentes entre columnas indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$).

Los resultados obtenidos en las diferentes pruebas físicas, químicas, nutrimentales y antinutrimientales de los granos de amaranto reventado por los dos métodos descritos, se muestran en los anexos.

Tabla 17. Resultados de las pruebas antinutrimientales en figura esferoidal por el método Tradicional e Industrial.

| ANALISIS | ESFEROIDAL | |
|---|---------------------------|--------------------------|
| | TRADICIONAL | INDUSTRIAL |
| TANINOS (%) | 0.176±0.0007 ^a | 0.194±0.007 ^a |
| ACIDO FITICO (%) | 1.05±0.007 ^a | 1.24±0.04 ^a |
| INHIBIDORES DE TRIPSINA (UTI/mg de muestra) | ND | ND |

*Letras diferentes entre columnas indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$).

Con base en los resultados presentados se puede decir que; el método de reventado si afecta las propiedades físicas (volumen, rendimiento, y tipo de forma) y la composición química del grano de amaranto. En cambio, los métodos de reventado no afectan (al menos no de manera significativa), la composición química, la calidad nutrimental ni el contenido de factores antinutrimientales.

Por otra parte, las formas obtenidas por el reventado tienen diferentes propiedades físicas, composición química y nutrimentales, en especial su contenido de proteínas y triptófano, así como su digestibilidad, pero no difieren en sus factores antinutrimientales.

4. CONCLUSIONES

Con el método industrial de reventado del grano de amaranto se obtiene un mayor volumen y rendimiento que en el método tradicional.

La composición química del amaranto reventado por el método tradicional fue mejor que la obtenida por el método industrial, mientras que en la calidad nutrimental y contenido de factores antinutrimientales no hubo diferencia entre los dos métodos.

El método de reventado sí tuvo influencia en el tipo de formas obtenidas, siendo el tradicional donde se obtuvo mayor porcentaje de formas de trébol que se consideran las mejores por su mayor volumen.

De los tres tipos de formas de reventado de los granos de amaranto la que tiene mejor calidad química y nutrimental es la forma de trébol, mientras que el contenido de factores antinutrimientales es similar.

Por lo tanto, se puede concluir que es mejor método de reventado el tradicional ya que presenta mayor porcentaje de formas de trébol y dicha forma es la de mejor calidad física, química y nutrimental.

5. REFERENCIAS

- A.O.A.C. (2002). Official methods of Analysis of Asociation of Official Analytical Chemists, Cunnif, Published by AOAC International Edition, USA.
- Barrales-Domínguez, J., & Torres-Hernández, L. (1998). Capacidad de reventado del grano de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus L.*) producido en dos ambientes de temporal. *Chapingo Serie Horticultura*, Vol. 4 N.1, pag 63.
- Bresani, R. (2006). Estudios sobre la industrialización del grano de amaranto, caracterización química y nutricional de productos intermedios y finales del procesamiento . Guatemala: PROYECTO FODECYD No. 23-2002.
- Calzetta, R., & Nilda, A. (1999). Almidón de amaranto : Obtención y evaluación de sus características fisicoquímicas. Tesis de maestria, Universidad de Buenos Aires. Argentina.
- Carpio, J. M. (2009). Estudio de factibilidad tecnica para la produccion de harina de amaranto (*Amaranthus spp.*). Tesis de licenciatura, Universidad del Salvador, El Salvador.
- Collazos, C. (1975) La composición de los alimentos peruanos: Ministerio de Salud, 5ta. Edición. Lima.
- De Dios, A., Porrilla, Y., & Chaparro, D. (2009). Factores antinutricionales en semillas. Grupo de Investigación Innovaciones Agroindustriales con Proyección Social, Facultad de Ciencias Agropecuarias, 46.
- Díaz, A., (2014). Desarrollo de una formulación para elaborar una dona de trigo horneada complementada con amaranto. Tesis de licenciatura, FES-Cuautitlán, UNAM.
- Dyner L., Drago S., Piñeiro A., Sánchez H., González R., Villaamil E., Valencia M., (2007). Composición y aporte potencial de hierro, calcio y zinc de panes y fideos elaborados con harina de trigo y amaranto. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. Vol. 57 N. 1, 69,70.

- Espitia-Rangel, E., Mapes-Sánc, E. C., Núñez-Colín, C. A., Escobedo-López, D. (2010). Distribución geográfica de las especies cultivadas de *Amaranthus* y de sus parientes silvestres en Mexico. *Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Vol.1 Núm 3, 429.
- Flores, C. (2011). Amaranto conocimientos alimenticios, agronomos y tecnológicos al inicio del siglo XXI . México: Tesis de licenciatura. FES-Cuautitlán, UNAM.
- García, L. (2012). Variedades de amaranto y fechas de siembra para rendimiento de grano y forraje en San Luis Potosí. Tesis de licenciatura. Universidad Autonoma de San Luis Potosi, México.
- Haug, W., & Lantzsch, H. (1983). Sensitive method for the rapid determination of phytate in cereals and products. *J. Sci. Food Agric* , 34: 14232-14261.
- Hernández G., & Herrerías G. (1998). Amaranto historia y promesa. Tehuacán: Horizonte del Tiempo Vol. 1, 7-8.
- Huerta-Ocampo, J., Maldonado C., E., & Barba, A. (2012). Amaranto: Ciencia y Tecnología, propiedades benéficas para la salud. San Luis Potosi: Amaranto: Ciencia y Tecnología Libro Científico No. 2 INIFAP/SINAREFI, pp. 297,304, 305.
- Hsu, H., Vavak, D.L., Satterlee L. D. & Miller, G. A. (1977). A multienzyme technique for estimating protein digestibility. *Journal Food Science and Technology*, 42 (5), 1269-1273.
- Kakade, M.L., Rackis, J. J., Mc Ghee J. E. Puski G. (1974). Determination of trypsin inhibitor activity of soy product: A collaborative analysis of an improved procedure. *Cereal Chem.* 51:376-381.
- Latham, M., (2002). Nutrición Humana en el mundo en desarrollo. Colección FAO: Alimentación y nutrición N° 29, Italia
- Matías, G., Hernández, B., Peña, V., Torres, N., Espinoza, V. & Ramírez, P. (2018). Método para evaluar reventado de grano en amaranto. *Mexicana de Ciencias Agrícolas* No.3 Vol. 9.

- Morales, J., Vázquez N., & Ricardo B, (2014). El amaranto características y aporte nutricional. México. Trillas.
- Moreno, M., Herrera T. (2015). Comparación entre el uso de caliente y microondas sobre la capacidad de reventado de semilla en cuatro variedades de Amaranto (*Amaranthus sp*). *Ingeniantes* No.1 Vol.2.
- Muñoz , F., Gaytán, J., Lugo, M., Martínez, J., & Flores , E. (2005). Fabricación de una máquina para reventar granos de amaranto. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*. Vol. 14, No. 4.
- Rama, R. M., Tara, R., Krishnan, C. (1974). Colorimetric estimation of tryptophan content of pulses. *Journal Food Science and Technology*. 11, 213-216.
- Ramírez F. (2015). Elaboración de una granola nutricional a base de amaranto. Tesina de licenciatura. Universidad Dr. José Matias Delgado, San Salvador.
- Recalde F., & Fierro, E. (2012). El amaranto como alternativa alimentaria para el mejoramiento del adulto/a mayor de la asociación de jubilados del IESS de la Ciudad de Otavalo. Universidad Tecnica del Norte. Ibarra-Ecuador.
- Reynaga, A. & Castelú, P. (2017). Diseño y construcción de un prototipo expansor continuo fluidizado para granos de amaranto (*Amaranthus caudatus*). *Tecnológica*. V.13 No.19. La Paz.
- Salinas, (2018). Preparación del Amaranto. Fecha de consulta 27 de agosto 2018.
Disponible en: <https://www.flickr.com/photos/aureasalinas/4358560058>
- Salgado T. (2006). Purificación y caracterización bioquímica y fisicoquímica de lecitinas de frijol y amaranto cultivados en el Estado de Hidalgo. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- (SIAP), Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2017). Atlas Agroalimentario. México., Fecha de consulta: 16 de octubre de 2017.
Disponible en: https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap_pag/2017/AtlasAgroalimentario-2017

- Tapia , M. (1997). Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. Santiago, Chile: FAO, Oficina Regional para America Latina y el Caribe.
- Tavitas , L., Valle , M., & Hernández, L. (2011). Determinación de la calidad del grano reventado y contenido de aceite en cinco variedades de amaranto. Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agropecuario.
- Trejo, I., Inflador o reventador para amaranto (26 de junio 2018). Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=m-MglXJ045E>
- United States Department of Agriculture, Research Service Nutrient Database.(19 de mayo de 2019) Disponible en <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/>
- Ureña, J. (2016). La ciencia detrás del amaranto. Agencia informativa CONACYT.
- Vázquez, J. A. (2013). Desarrollo de tortillas de maíz fortificadas con fuentes de proteína y fibra y su efecto biológico en un modelo animal. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- Velasco, A. (2016). Los cuerpos divinos. El amaranto: comida ritual y cotidiana. Arqueología Mexicana Núm. 138, pp. 26-33.
- Ventureira, J. (2010). Propiedades estructurales y funcionales de preparados proteicos de amaranto modificados y soja-amaranto. Tesis doctoral. Universidad Nacional de la Plata.
- Zuñiga C. (2014). Efecto de la temperatura de expandido sobre la concentración de aminoácidos esenciales en granos de *Amaranthus caudatus* (kiwicha), variedad Oscar Blanco. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional José María Arguedas, Peru.



Figura 12: Resultados del análisis físico de los granos de amaranto reventados por los métodos tradicional e industrial.



Figura 13: Resultados del análisis físico (formas de reventado) de los granos de amaranto reventados por los métodos tradicional e industrial.



Figura 14: Resultados del Análisis Químico Proximal (Humedad) de los granos de amaranto reventados por los métodos tradicional e industrial.

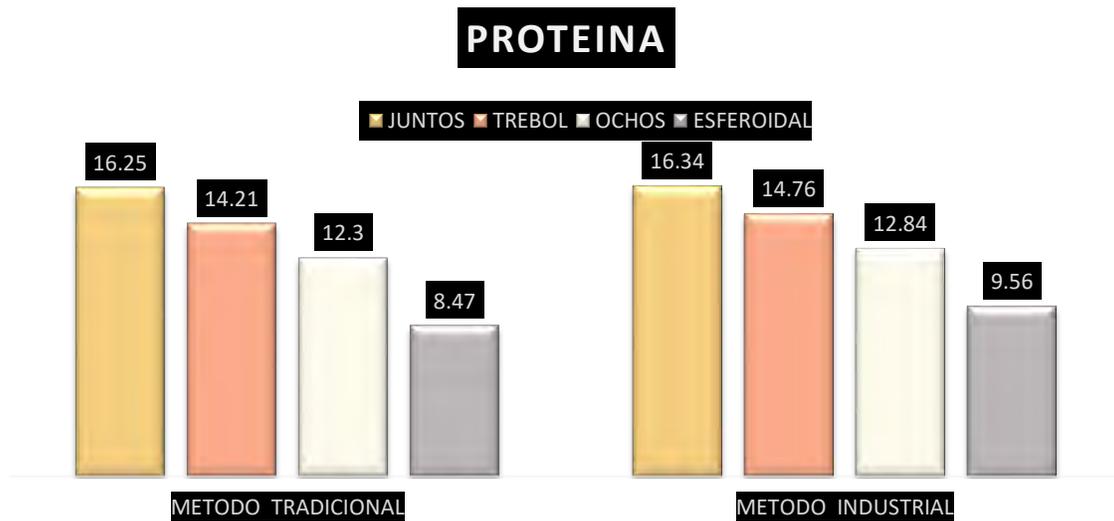


Figura 15: Resultados del Análisis Químico Proximal (Proteína) de los granos de amaranto reventados por los métodos tradicional e industrial.

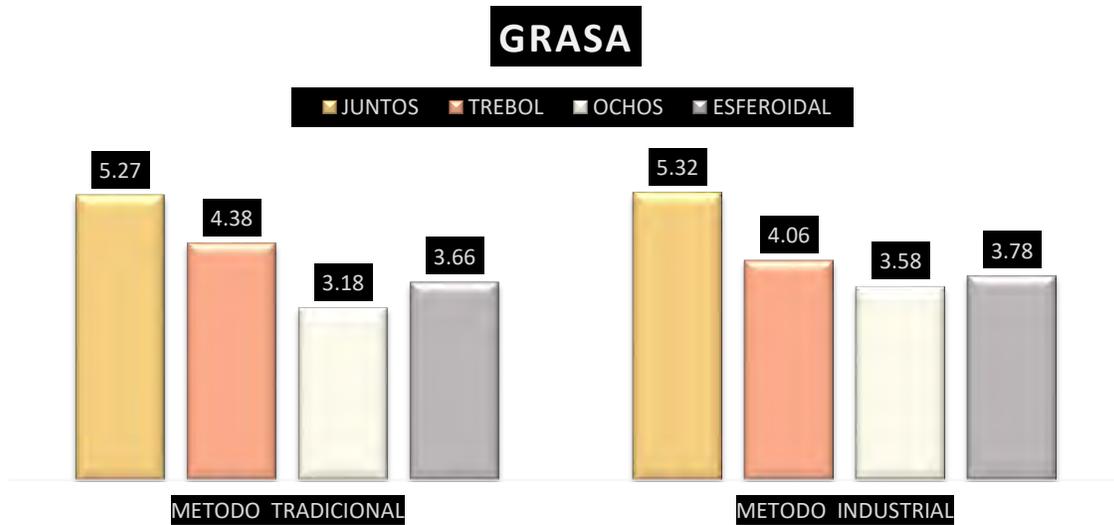


Figura 16: Resultados del Análisis Químico Proximal (Grasa) de los granos de amaranto reventados por los métodos tradicional e industrial.



Figura 17: Resultados del Análisis Químico Proximal (Cenizas) de los granos de amaranto reventados por los métodos tradicional e industrial.



Figura 18: Resultados del Análisis Químico Proximal (Fibra) de los granos de amaranto reventados por los métodos tradicional e industrial.

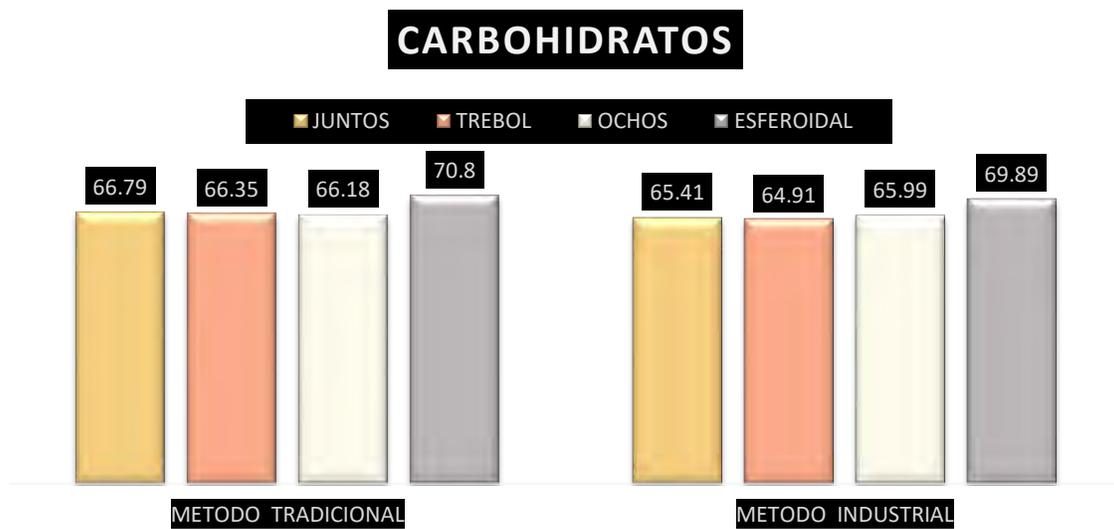


Figura 19: Resultados del Análisis Químico Proximal (Carbohidratos) de los granos de amaranto reventados por los métodos tradicional e industrial.



Figura 20: Resultados del Análisis de Digestibilidad de los granos de amaranto reventados por los métodos tradicional e industrial.

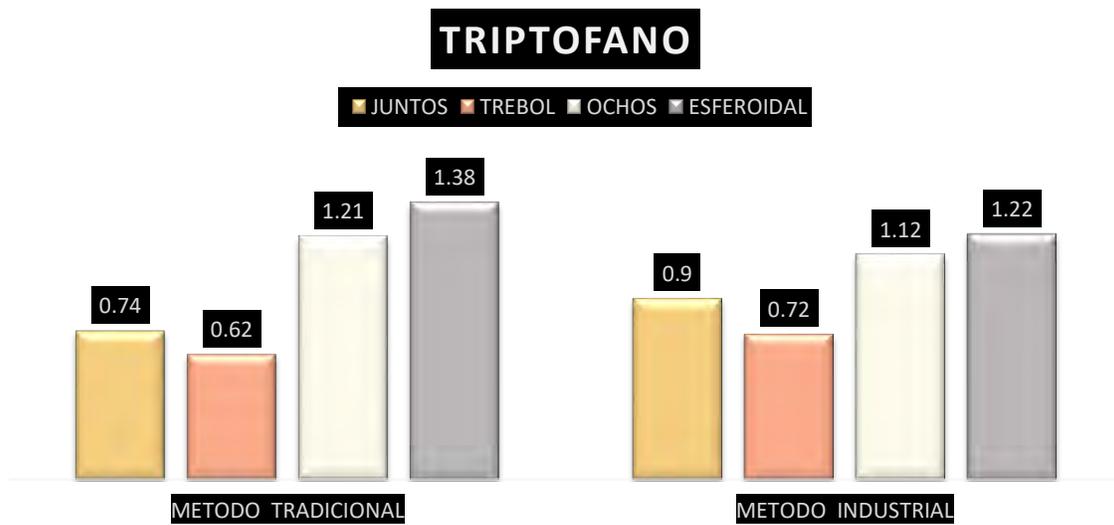


Figura 21: Resultados del Análisis de Triptófano de los granos de amaranto reventados por los métodos tradicional e industrial.



Figura 22: Resultados del análisis de factores antinutrimientales (Taninos) de los granos de amaranto reventados por los métodos tradicional e industrial.

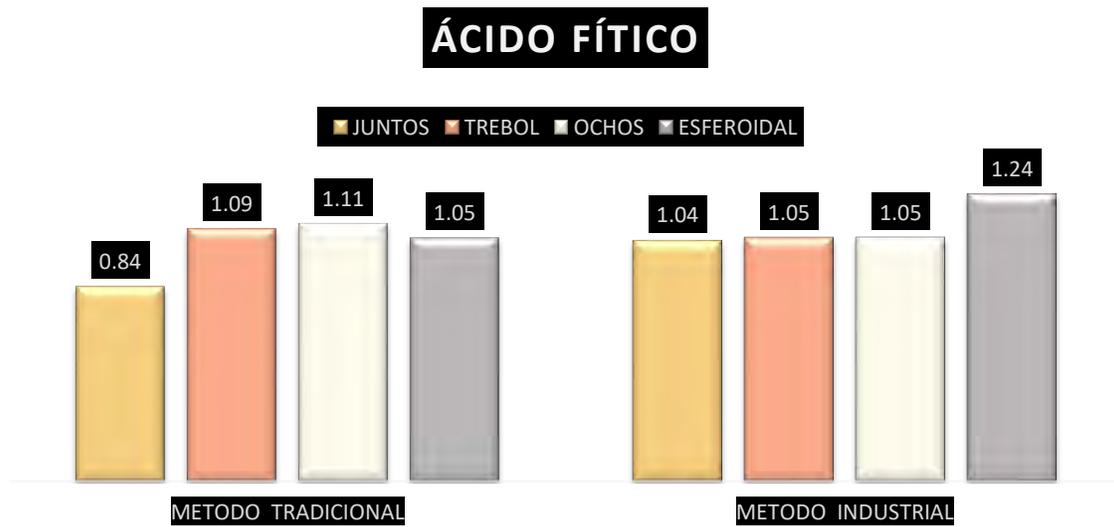


Figura 23: Resultados del análisis de factores antinutrimientales (Ácido fítico) de los granos de amaranto reventados por los métodos tradicional e industrial.