



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS CÓRDOBA

POSTGRADO EN INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA SUSTENTABLE

ADAPTACIÓN DE ÍNDICE DE FLOTACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE REVENTADO DE AMARANTO POR AIRE CALIENTE Y MICROONDAS

DORIS NÚÑEZ LIMÓN

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE**

MAESTRA EN CIENCIAS

AMATLÁN DE LOS REYES, VERACRUZ, MÉXICO

2018

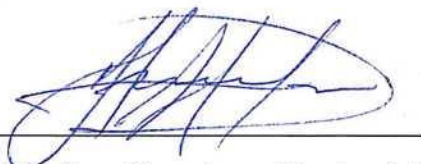
CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el (la) que suscribe Doris Núñez Limón, Alumno(a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del (la) Dr. José Andrés Herrera Corredor, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis Adaptación de índice de flotación para la determinación de la calidad de reventado de amaranto por aire caliente y microondas.

Y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, el Profesor Consejero(a) o Director (a) de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.



Firma



Vo.Bo. del Profesor Consejero o Director de Tesis

La presente tesis, titulada: ADAPTACIÓN DE INDICE DE FLOTACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE REVENTADO DE AMARANTO POR AERE CALIENTE Y MICROONDAS, realizada por la alumna: Doris Núñez Limón, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS

INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA SUSTENTABLE

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:  _____

DR. JOSÉ ANDRÉS HERRERA CORREDOR

ASESOR:  _____

DR. ENRIQUE ORTÍZ TORRES

ASESOR:  _____

M.C. MIRNA LÓPEZ ESPÍNDOLA

ASESOR:  _____

DR. JOSAFHAT SALINAS RUIZ

Amatlán de los Reyes, Veracruz, México, marzo 2018.

ADAPTACIÓN DE ÍNDICE DE FLOTACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE REVENTADO DE AMARANTO POR AIRE CALIENTE Y MICROONDAS

Doris Núñez Limón, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2018

RESUMEN

Se comparó el Índice de Flotación (IF) en las dos variedades de grano (Laura y Nutrisol) con dos niveles de humedad (11 y 13 %), dos solutos (nitrato de sodio y azúcar) y tres densidades de la solución (1.25, 1.30 y 1.35 g/cm³). Así mismo, se evaluó la calidad de reventado de las dos variedades de amaranto clasificadas por medio de IF y el efecto del contenido de almidón, proteína y las propiedades de la formación de pasta (pasting), y se compararon dos métodos de reventado (aire caliente y microondas). Al ajustar la humedad en la variedad Laura, la densidad incrementó 0.22 g/cm³ al ajustar su humedad de 9 a 11% y 0.1 g/cm³ al ajustar de 9 a 13%. En la variedad Nutrisol no se encontró modificación significativa en la densidad al justar su contenido de humedad. La densidad seleccionada para IF fue la de 1.30 g/cm³. No se encontró impacto significativo de los solutos en el IF. El IF puede ser una herramienta útil para su clasificación de los granos de amaranto y puede ser implementado con azúcar como soluto. Las variedades no arrojaron diferencias significativas en el contenido de almidón total. La variedad Nutrisol tuvo un 16% de proteína, Laura un 12%. El contenido de almidón y proteína tuvieron un efecto en la capacidad de reventado. Las propiedades de pasta mostraron que la variedad Nutrisol es más estable que la variedad Laura. El reventado por aire caliente resulto tener mayor capacidad de reventado respecto al reventado por microondas. La variedad Nutrisol resulto tener mayor

capacidad de reventado. Las características fisicoquímicas del grano juegan un papel importante en la calidad de reventado.

Palabras clave: Amaranto, Densidad, Proteína, Almidón, Proceso térmico.

FLOTATION INDEX ADJUSTMENT TO DETERMINE THE POPPING QUALITY OF AMARANTH BY HOT AIR AND MICROWAVE

Doris Núñez Limón, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2018

ABSTRACT

The Flotation Index (IF) was compared in grain varieties (Laura and Nutrisol) with two moisture levels (11 and 13%), two solutes (sodium nitrate and sugar) and three densities of the solution (1.25, 1.30 and 1.35 g / cm³). Likewise, the popping quality of amaranth varieties classified by means of IF was evaluated, as well as the effect of starch content, protein and paste formation properties, and was replicated in popping methods (hot air and microwaves). When adjusting the humidity in the Laura variety, the density increased 0.22 g / cm³ when adjusting its humidity from 9 to 11% and 0.1 g / cm³ when adjusting from 9 to 13%. In the Nutrisol variety, the density selection has not been modified by adjusting its moisture content. The density selected for IF was 1.30 g / cm³. No significant impact of the solutes was found in the IF. The IF can be a useful tool for its classification of amaranth grains and can be implemented with sugar as a solute. The varieties did not show significant differences in the total content of starch. The Nutrisol variety had 16% protein, Laura 12%. The starch content and the protein had an effect on the trapping capacity. The properties of the pasta that the Nutrisol variety is more stable than the Laura variety. The hot air popping has a greater revealing power to the microwaved popping. The Nutrisol variety was found to have greater popping capacity. The physicochemical characteristics of the grain play an important role in the quality of popping.

Keywords: Amaranth, Density, Protein, Starch, Thermal process.

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado a:

A mis padres Irene Limón Romero y V. Hugo Núñez Issusi por su apoyo incondicional y comprensión hasta el último momento.

A mis hermanas y mi sobrina, Estrella, Iris y Sofía por ser mi apoyo en los momentos más difíciles, por sus consejos para dar lo mejor y por ser ese motor para seguir adelante.

A Amilkar Yair por siempre sostener mi mano y animarme y alentarme a cada momento.

Al Dr. Andrés Herrera por todo su apoyo y consejos durante este camino.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme llegar hasta este momento. Por darme la oportunidad de vivir esta etapa.

A mi consejo particular, Dr. Andrés Herrera Corredor, M.C. Mirna López Espíndola, Dr. Enrique Ortíz Torres y Dr. Josafhat Salinas Ruiz por el apoyo brindado durante la investigación y por sus conocimientos compartidos.

Al Dr. Luis Arturo Bello Pérez y el personal del Laboratorio de Análisis de Carbohidratos del Centro de Productos Bióticos – Instituto Politécnico Nacional ubicado en San Isidro, Morelos.

Al Dr. Adrián Argumedo Macías por el apoyo para realizar las pruebas de reventado de las variedades de amaranto en las instalaciones del Colegio de Postgraduados Campus Puebla, ubicado en la Ciudad de Puebla.

Al M.C. José de Jesús y a la Ing. Paulina encargados del Laboratorio de Extractos Vegetales y Laboratorio de Alimentos, por su apoyo durante la etapa de experimentación de esta investigación.

A mis antiguos amigos, compañeros de generación y cursos, a los doctores catedráticos que tuve el privilegio de conocer durante la maestría por los conocimientos brindados, los momentos compartidos y el apoyo.

Al Colegio de Postgraduados por brindarme los conocimientos necesarios y el apoyo otorgado en esta investigación.

Por último, un enorme agradecimiento a CONACYT por la beca otorgada para continuar mis estudios de maestría.

CONTENIDO

RESUMEN	iv
ABSTRACT.....	vi
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1 Justificación.....	2
1.2 Problema de investigación	3
1.3 Hipótesis.....	4
1.4 Objetivos	5
1.4.1 Objetivo general	5
1.4.2 Objetivos particulares	5
1.5 REFERENCIAS	6
CAPITULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1 Amaranto.....	7
2.2 Origen.....	7
2.3 Morfología.....	9
2.3.1 Planta	9
2.3.2 Granos.....	11
2.4 Valor nutricional	12
2.4.1 Proteína.....	12
2.4.2 Vitaminas y minerales	14

2.4.3 Ácidos grasos.....	17
2.4.4 Carbohidratos y almidón	17
2.5 Agentes anti nutricionales	18
2.6 Producción del amaranto.....	19
2.7 Usos del Amaranto	20
2.8 Ajuste de humedad en el grano de amaranto.....	21
2.9 REFERENCIAS	22
CAPITULO III. IMPACTO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD Y SOLUTO EN LA SEPARACIÓN POR INDICE DE FLOTACION DE DOS VARIEDADES DE AMARANTO	25
RESUMEN	26
ABSTRACT.....	27
3.1 INTRODUCCIÓN	28
3.2 MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.2.1 Variedades de Amaranto	30
3.2.2 Solutos	30
3.2.3 Análisis	30
3.2.4 Caracterización de la materia prima (granos de amaranto)	31
3.2.5 Análisis estadístico	37
3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
3.3.1 Caracterización de las variedades de amaranto.	38

3.3.2 Variaciones en la densidad del grano a diferentes humedades.....	41
3.3.3 Efecto de los solutos.....	44
3.3.4 Elección de una densidad óptima para la solución utilizada en el índice de flotación del amaranto	46
3.4 CONCLUSIONES	48
3.5 REFERENCIAS	48
CAPITULO IV. CALIDAD DE REVENTADO POR AIRE CALIENTE Y MICROONDAS DE DOS VARIEDADES DE AMARANTO CON DIFERENTE DENSIDAD DE GRANO	54
RESUMEN	55
ABSTRACT.....	56
4.1 INTRODUCCIÓN	57
4.2 MATERIALES Y MÉTODOS	59
4.2.1 Variedades de amaranto.....	59
4.2.2 Análisis	59
4.2.3 Caracterización de los granos de amaranto	60
4.2.4 Análisis estadístico	66
4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	67
4.3.1 Caracterización de las variedades de amaranto	67
4.3.2 Efecto de la variedad, posición y soluto en el contenido de proteína.....	67
4.3.3 Efecto de la variedad, posición y soluto respecto al contenido de almidón total.	70

4.3.4 Efecto de la variedad, posición y soluto en las propiedades de pasta (Análisis Rápido de la Viscosidad-ARV).	71
4.3.5 Efecto de la variedad, posición, soluto y método de reventado en la calidad de reventado de los granos de amaranto (Laura y Nutrisol).	75
4.4 CONCLUSIONES	83
4.5 REFERENCIAS	84
CONCLUSIONES GENERALES.....	88
ANEXOS	89

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición y requerimiento de aminoácidos esenciales.	13
Tabla 2. Composición química del grano del grano de amaranto.....	16
Tabla 3. Contenido promedio de grasa de cereales.....	17
Tabla 4. Composición de soluciones para IF.	36
Tabla 5. Características físicas de los granos (Nutrisol y Laura).	40
Tabla 6. Índice de flotación por variedad y contenido de humedad de los granos de amaranto. .	43
Tabla 7. Porcentajes de granos flotantes en diferentes solutos.	45
Tabla 8. Resultado de índice de flotación en diferentes densidades.	47
Tabla 9. Composición química de los granos de amaranto.	67
Tabla 10. Propiedades de formación de pasta de almidón de las variedades de amaranto Laura y Nutrisol.....	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Plantación de amarantos de Temoac, Morelos.	10
Figura 2. Calzetta-Resio, A. (1999). Morfología del grano de amaranto. Te: tegumento, Pr: procámium, E: embrión, Co: cotiledones, Pe: perisperma.....	11
Figura 3. Diagrama de flujo de la metodología de investigación.	31
Figura 4. Efecto de la humedad respecto a la densidad de los granos de amaranto (variedad Laura y Nutrisol).	42
Figura 5. Relación de la humedad con las variedades de amaranto.....	44
Figura 6. Granos flotantes en las diferentes soluciones.....	46
Figura 7. Comportamiento de las muestras y las diferentes densidades ajustadas.	47
Figura 8. Diagrama de flujo de la metodología de investigación.	60
Figura 9. Contenido de proteína respecto al soluto.....	69
Figura 10. Contenido de proteína respecto a la posición.....	69
Figura 11. Comparación de la posición y solutos.	70
Figura 12. Efecto del soluto y variedad en el contenido de almidón de la variedad Laura y Nutrisol.	71
Figura 13. Volumen de Expansión respecto a variedad y posición.	76
Figura 14. Relación entre Volumen de reventado, variedad y métodos de reventado.....	76
Figura 15. Volumen de expansión de los granos de amaranto por efecto de la posición y método de reventado).....	77
Figura 16. Porcentaje de granos no reventados respecto a la variedad y su posición.....	78
Figura 17. Relación variedad-método de reventado.	79
Figura 18. Relación posición de los granos-método de reventado.	80

Figura 19. Rendimiento de grano reventado de las variedades Laura y Nutrisol.	81
Figura 20. Rendimiento del reventado, relación variedad-método de reventado.	82
Figura 21. Rendimiento de reventado, relación posición-método de reventado.....	82

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

El amaranto es una planta herbácea considerada una fuente de alto valor nutritivo, por su alta calidad biológica de proteínas (Espitia Rangel E. et al., 2010). El contenido de aminoácidos esenciales que contiene son los más adecuados para la nutrición según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) (AMA, 2016). Así mismo, es considerado un cultivo sustentable, pues cuenta con algunas ventajas agronómicas, resistencia y tolerancia a condiciones extremas, suelos pobres y una amplia adaptación a diversos ambientes, como también es capaz de adaptarse a sequías (Lui y Stu Atzel, 2002; Sudarshan et al., 2017). Todas estas características permiten utilizarlo como un cultivo alternativo en áreas agrícolas con suelos pobres de zonas en desarrollo. Lo que permite colocarlo como un cultivo sustentable y potencial para atender problemas alimenticios y de desnutrición (Paredes-López *et al.*, 1994; Mazza, G., 1998).

El amaranto es reconocido por su versatilidad, pues sus componentes permiten una amplia gama de usos dentro de la industria alimentaria, la medicina y en la industria de la maquinaria (Espitia Rangel E. *et al.*, 2010). Sin embargo, en México es más conocido por su uso en la elaboración de barras con melaza y miel llamadas “Alegrías”. Respecto al consumo humano, estudios anteriores han determinado que el grano de amaranto debe ser sometido a un proceso térmico para inactivar o destruir los factores anti nutricionales que contiene. Tales como inhibidores de proteasas, ácido fítico, ácido oxálico, taninos, nitratos, glucósidos cianogénicos, saponinas y lectinas (Cruz-Aguilar *et al.*, 2005; Gómez-Ponce, 2013). En México, el proceso más utilizado por las industrias amaranteras es el reventado por aire caliente. El reventado consiste en hacer pasar el grano de amaranto por una corriente de aire caliente a una temperatura cercana a los 200°C que ocasiona un inflado del grano y lo hace adecuado para el consumo humano. Sin embargo, las diferentes

características fisicoquímicas del grano ocasionan diferentes rendimientos en el reventado, donde un porcentaje de granos no revientan. Este puede representar una pérdida que varía entre 10-30% de materia prima (grano de amaranto).

Por ello, el objetivo actual es identificar cuáles son los factores que afectan la capacidad de reventado de grano y desarrollar alternativas que disminuyan las pérdidas generadas actualmente. Contribuyendo al desarrollo de la industria dedicada al amaranto.

1.1 Justificación

En la actualidad, el principal problema de salud pública en México son la obesidad y el sobrepeso. Debido al estilo de vida de las personas y a una alimentación poco saludable e inactividad física, propiciando mayor incidencia en enfermedades crónicas como lo son la diabetes y enfermedades cardiovasculares. Actualmente consumo de comida “chatarra” (frituras, comida rápida, bebidas azucaradas), representa un 75% de daño a la salud (SEDESA, 2016). Por esta razón la industria alimentaria se ha enfocado a producir alimentos más saludables y con alto contenido proteico.

Es así como en la búsqueda de alimentos más saludables, algunos estudios han identificado al amaranto como fuente de biopéptidos con actividad antidepresiva, anticancerígeno e hipotensa (Silva-Sánchez *et al.*, 2008) y también una fuente importante de escualeno que reduce los niveles de colesterol y triglicéridos, además de un contenido vasto de omega 3 (Martirosyan *et al.*, 2007). Solo por mencionar algunos de los beneficios que aporta el amaranto a nuestro organismo.

De esta manera el cultivo de amaranto en México se ha revalorado en las últimas décadas (UAM, 2013). Gracias a las investigaciones realizadas ha sido catalogado como un producto funcional por los diversos beneficios que aporta a la salud, ya que es uno de los alimentos que contiene casi todos los aminoácidos no esenciales en una cantidad idónea (FAO, 2014). Así como los diferentes

usos dentro de las ramas de la industria. Esto ha logrado que su producción incremente, según los datos estadísticos realizados por el Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2014), del 2007 al 2014 se ha incrementado de 2,000 hectáreas a 6,000 hectáreas respectivamente.

Para el consumo humano el amaranto debe de ser sometido a un tratamiento térmico para su consumo humano. Antes de someterse a dicho tratamiento el contenido de humedad del grano debe ser ajustado para una mayor calidad de reventado. Aún no existe una técnica estandarizada para el ajuste de humedad. Convencionalmente el grano es colocado dentro de mezcladoras y se agregan pequeñas cantidades de agua. Cabe mencionar que no existe una cantidad exacta de agua para agregar. Los productores realizan pruebas de ajuste de humedad a pequeña escala y después de reventado para posteriormente llevarlo a mayor escala.

Por lo anterior, la presente investigación tiene por objetivo identificar cuáles son los factores que afectan la etapa de reventado de amaranto, así como desarrollar una nueva alternativa para la selección de granos a través de diversas técnicas y determinaciones con el fin de reducir las pérdidas en el proceso de reventado.

1.2 Problema de investigación

Para el consumo humano, el amaranto debe ser sometido a un proceso térmico que ocasiona diferentes cambios físicos y nutricionales en el grano. Durante este proceso el grano revienta, se desnaturalizan las proteínas con lo que se mejora la relación de eficiencia proteica, y se destruyen factores anti nutricionales contenidos en el grano mejorando así su digestibilidad.

Los factores antinutricionales que afectan la digestibilidad de las proteínas que se encuentran en los granos de amaranto en forma de inhibidores de proteasas, ácido fítico, ácido oxálico, taninos,

nitratos, glucósidos cianogénicos, saponinas y lectinas (Cruz-Aguilar *et al.*, 2005; Gómez-Ponce, 2013).

En la etapa previa al reventado de amaranto yace una problemática que afecta de manera importante la calidad de reventado del grano y por consiguiente su volumen de reventado. Debido a esto, es sustancial identificar cuales factores son los que afectan en la etapa del reventado de los granos. Cabe mencionar que en este punto influyen muchas variables. Si el cultivo fue en temporal o riego, cuál fue el proceso de cosecha y de almacenamiento, ya que los granos de amaranto pueden almacenarse hasta por 5 o 6 años (después de la cosecha) conservando su potencial nutritivo, pero adaptándose a la humedad del medio ambiente al que se expone.

Para los productores y la industria dedicada al amaranto es primordial conocer cuáles son los factores que afectan el reventado del grano. Ya que actualmente el amaranto es uno de los cultivos más rentables del mercado en comparación con ciertos cultivos tradicionales (maíz, frijol) sembrados en México. El amaranto conserva un valor de mercado muy importante. En Europa, Estados Unidos y Japón existe una gran demanda de este producto. Motivo por el cual los productores se encuentran interesados en su exportación a otros países. Derivado a esto, los productores buscan alternativas con las cuales puedan disminuir las pérdidas que se crean en el proceso de reventado del grano de amaranto. Pérdidas que van desde un 10% hasta un 30% del total de producción (Productores TEMOAC, 2016).

1.3 Hipótesis

- El contenido de humedad en el grano de amaranto afecta a la densidad del grano.
- El Índice de Flotación permite clasificar adecuadamente de los granos de amaranto con base en su densidad.

- La evaluación de granos de amaranto utilizando soluciones de nitrato de sodio y azúcar reportan valores similares de índice de flotación.
- La separación por densidad del grano de amaranto permite identificar su potencial en la calidad de reventado.
- La calidad de reventado de granos de amaranto con microondas es similar al reventado por lecho fluidizado con aire caliente.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Identificar los factores que afectan al reventado de grano de amaranto, por medio de la adaptación de la técnica de índice de flotación para su selección. Así mismo, comparar el efecto de dos métodos de reventado (reventado por lecho fluidizado con aire caliente y por microondas) en dos variedades de grano de amaranto.

1.4.2 Objetivos particulares

- Determinar el efecto de la humedad en la densidad del grano de amaranto.
- Identificar la densidad de la solución adecuada para la determinación del índice de flotación.
- Comparar el desempeño del índice de flotación con dos solutos: nitrato de sodio y azúcar refinada
- Comparar el efecto del reventado por el método convencional (lecho fluidizado con aire caliente) y por medio de horno microondas.

1.5 REFERENCIAS

Cruz-Aguilar, M., Valadez-Vega, M. C., Cuellar-Cruz, M. (2005). Identificación de Compuestos Anti nutricionales en Amaranto (Integro y Reventado) Cultivado en algunas Regiones del Centro del País. VII Congreso Nacional de Ciencia de los Alimentos y III Foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Guanajuato, Gto. p: 306-311.

Espitia-Rangel, E., Mapes-Sánchez, C., Escobedo-López, D., De la O-Olán, M., Rivas-Valencia, P., Martínez-Trejo, G., Cortés-Espinóza, L., Hernández-Casillas, J. M. (2010). Conservación y Uso de los Recursos Genéticos de Amaranto en México. SINAREFI-INIFAP-UNAM, Centro de Investigación Regional Centro. Celaya, Guanajuato, México. 201 p.

Gómez-Ponce, A. D. (2013). Selección de un Proceso de Transformación para la Disminución de Compuestos Anti nutricionales en el Grano y Hojas de Amaranto (*Amaranthus Hybridus L.*). Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador. 218 p.

Mazza, G. (1998). Funtional Foods: Biochemical and Processing Aspects. TPC (Technomic Publishing Company). Canadá. 480 p.

Soriano-Santos, J., (2013). Proteína del Amaranto Posee Propiedades Antihipertensivas y Antitrombóticas. UAM, Seminario de la UAM, Vol. XX, Núm. 6. Estado de México, México. p. 4-5.

Sudarshan-Nadathur, J., Wanasundara, P. D., Scanlin, L. (2017). Sustainable Protein Sources. Editorial Elsevier. p: 239-255; 257-264.

Servicio de Información Agroalimentario y Pesquera (SIAP). (Año de actualización: 2014).

Disponible en línea en: <http://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>, consultado: julio 20, 2016.

CAPITULO II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Amaranto

El amaranto es una planta herbácea dicotiledónea ya que sus hojas son anchas y produce pequeños granos comestibles y es considerado un pseudocereal (Sudarshan *et al.*, 2017; Bye y Linares, 2000). Pertenece al género *Amaranthus spp.*, este género está compuesto por 70 géneros y 85 especies distribuidas en América, Australia, África, Asia y Europa; de las cuales 40 especies son pertenecientes de América (Santacruz De León, 2011; Espitia *et al.*, 2010; Becerra, 2000; Juan Bautista Pomar, 1975). De las cuales *Amaranthus cruentus*, *Amaranthus hypochondriacus* y *Amaranthus caudatus* son las tres especies más importantes para la producción de granos.

Según la Academia Nacional de Ciencias de E.U.A. (NAS), la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Amaranto es una planta prometedora para el desarrollo económico, debido a sus características agrícolas y nutricionales ya que es un alimento con un alto valor nutricional, pues cuenta con una proteína de alta calidad y permite sustituir las proteínas de origen animal. Gracias a ello el amaranto se postula como un cultivo potencial para aliviar problemas alimenticios y de desnutrición (Paredes-López *et al.*, 1994).

2.2 Origen

El amaranto es un cultivo ancestral que fue parte de la alimentación básica de civilizaciones como los mayas, incas, y aztecas principalmente. Las excavaciones realizadas por Richard Stockton MacNeish en 1964 en el valle de Tehuacán, Puebla. Indicaron que el amaranto era cultivado durante la fase Coxcatlán (5200 a 3400 años a.C.). Por lo que refiere que el amaranto fue domesticado simultáneamente que el maíz (Mapes-Sánchez, 2015; Espitia-Rangel *et al.*, 2010). Los primeros restos de amaranto (inflorescencias y semillas desecadas) encontrados pertenecen a

la especie de *A. cruentus*. La especie es nativa del Sur de México y la región central de Guatemala y los restos encontrados tiene una antigüedad de 6000 años. Así mismo, otro ejemplar hallado fue la especie de *A. hypochondriacus*, originaria de los Andes, cultivándose en México aproximadamente hace 1500 años (Surdashan *et al.*, 2017; McClung de Tapia, 2016; Mapes-Sánchez, 2015). McClung de Tapia (2016), habla sobre la identificación de otra variedad, que posterior a su estudio se consideró que se debía a una posible hibridación de *A. hypochondriacus*.

Algunas crónicas de los conquistadores hablan sobre la importancia del amaranto en las antiguas culturas. El amaranto fue uno de los tres cultivos más importantes para estas civilizaciones de la misma importancia del maíz y el frijol. Un grupo de Frailes se dio a la tarea de recuperar la historia, costumbres y secretos de la cultura indígena, recurriendo a hablar con los “Tlaminime” (sabios) y destacan la importancia del amaranto en la civilización y los diferentes usos que tenía (Velasco, 2016; Garciadiego y Herrerías, 1998). El cultivo de amaranto era considerado un alimento con alto valor nutritivo e incluso tenía un valor místico. Era aprovechado completamente pues tanto las hojas como los granos eran utilizados. Como alimento, el amaranto solía ser el primer alimento de la mañana y el último por la tarde (Garciadiego y Herrerías, 1998). Era utilizado en bebidas, salsas mezcladas, en la elaboración de tortillas y tamales combinados con maíz, tratamientos medicinales (sus hojas) y también era utilizado en prácticas religiosas (Surdashan *et al.*, 2017).

El uso del amaranto en las prácticas religiosas fue una de las causas que lo llevó a su declive, así como a su “prohibición” por parte de los españoles, principalmente por parte de los religiosos, señalando a Fray Bernardino de Sahagún y a Ruiz de Alarcón como los responsables de dicha prohibición. La prohibición fue debido al uso que se le daba en los diferentes rituales que se llevaban a cabo en esa época. Con los granos de amaranto se elaboraba una mezcla con miel

“negra” de maguey o miel de abeja silvestre, como resultado se obtenía una masa con la que se moldeaban figuras.

Diversas fuentes señalan que los granos eran mezclados con sangre de sacrificios de niños, doncellas o adultos (Morán-Bañuelos *et al.*, 2012; Garciadiego y Herrerías, 1998). El nombre de la masa obtenida era “Tzoalli” con la que se realizaban figuras amorfas, figurillas de sus deidades y era utilizadas durante sus rituales y posteriormente ingeridas por los fieles. Estas prácticas fueron mal vistas e incluso despreciadas por los nuevos visitantes. Así fue como su cultivo y consumo se mantuvieron durante mucho tiempo a pequeña escala, gracias al arraigo de las costumbres de sus pueblos conservando la tradición.

Fue hasta los años 70’s, después de las excavaciones realizadas por MacNeish (1964) y la caracterización de las variedades halladas, que el interés por la planta de amaranto aumentó y se dio a conocer algunos de los nutrientes con los que contaba. Principalmente la proteína del grano que se divulgó como una proteína de alta calidad y es hasta ahora el protagonista de diversas investigaciones (Surdashan *et al.*, 2017).

2.3 Morfología

2.3.1 Planta

El amaranto es una planta herbácea dicotiledónea C4 (Surdashan *et al.*, 2017). Se caracteriza por ser una planta resistente y adaptable a diversas condiciones climáticas, suelos pobres, suelos salinos y con poca agua. Posee una raíz axonomorfa pues su crecimiento es en línea recta que facilita la absorción de los nutrientes (Escandón, 2012; Mujica y Berti, 1997). La planta puede llegar a medir de 1.2 a 1.8 metros dependiendo de la variedad. Los tallos de la planta son de forma cilíndrica y angulosa con estrías gruesas lo que los hace acanalados (Escandón, 2012). Los colores de los tallos pueden variar pues van desde verdes y la protuberancia de los canales color púrpura,

verdes completamente, rojo o púrpura y dorados (M. de la O Olán *et al.*, 2012). El color de los tallos es habitualmente del mismo color de la florescencia o panoja. Dentro de las variedades comestibles de amaranto se encuentran diversos colores en la hoja, el tallo y la florescencia.



Figura 1. Plantación de amarantos de Temoac, Morelos.

Las hojas de la planta de amaranto pueden ser de forma elíptica, ovalada o de forma rómbica con nervaduras prominentes en el envés, lisas y/o poco pubescentes (Escandón, 2012; M. de la O Olán *et al.*, 2012). Las hojas al igual que los tallos de amaranto son considerados hierbas comestibles ya que son parte de las familias dicotiledónea (familia amaranthaceae). La especie de *Amaranthus* es mejor conocida como “Quintoniles” (Bye y Linares, 2000).

La inflorescencia o panoja del amaranto pueden llegar a medir de 50 a 90 centímetros. Pueden ser erguidas, erectas o semierectas, con formas compactas (racimos) o laxas, cuando son alargados y el eje central tiene numerosas ramas secundarias y terciarias y en ellas se agrupan las flores formando masas bastante flojas. Estas ramas llevan conjuntos de flores llamados “dicasio”, esas ramificaciones pueden ser cortas y largas (Escandón, 2012). Al igual que los tallos, la florescencia

también presenta variabilidad en sus colores. Los colores se distinguen por las variedades, estos pueden variar entre verde, rojo o púrpura, dorado o payasita (mezcla de todos colores mencionados) (M. de la O Olán *et al.*, 2012). El Fruto del amaranto se encuentra dentro de los dicasios, es una pequeña capsula llamada “pixilo unilocular”. Dentro de esta pequeña cápsula se halla el grano de amaranto que al madurar presenta una abertura transversal dejando caer la parte superior del pixilo, facilitando la salida de la semilla. (Nieto, 1990; Sánchez, 1980).

2.3.2 Granos

El grano de amaranto es uno de los más pequeños que existen, sus características dependen de su variedad. Su forma puede ser ovoidea o circular con un diámetro entre 0.87 a 1.5 milímetros. Lo mismo sucede con los colores de los granos, pueden ser blancos, color crema, dorados, rojos, púrpuras y negros en caso de los granos silvestres.

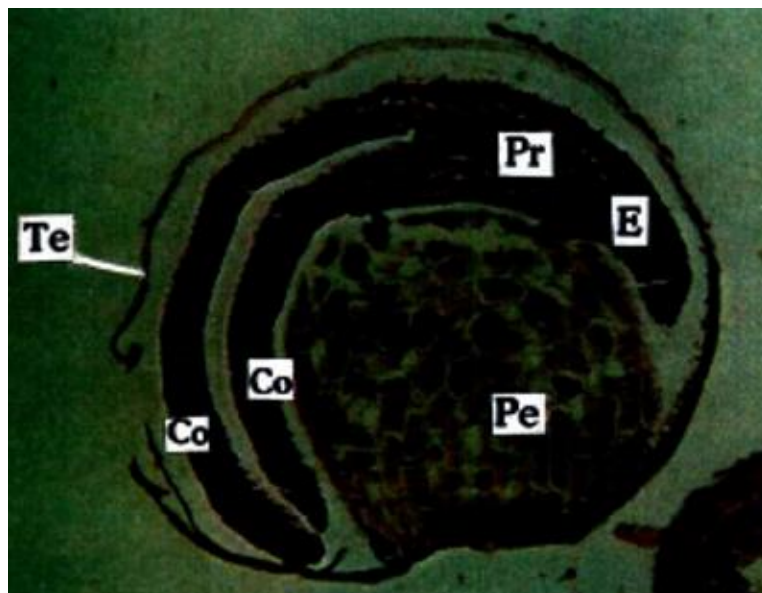


Figura 2. Calzetta-Resio, A. (1999). Morfología del grano de amaranto. Te: tegumento, Pr: procámbium, E: embrión, Co: cotiledones, Pe: perisperma.

El tegumento es la cubierta de la semilla, una capa de células muy finas que contiene el pigmento de coloración del grano la cual también es conocida como episperma. Los cotiledones forman el embrión del grano, se sitúan en la segunda capa llamada endospermo y es la parte más rica en proteínas en el grano de amaranto. El procámbium es el tejido meristemático el cual se encarga del crecimiento de la planta en un sentido longitudinal y diametral que aparece tempranamente en el embrión. El perisperma es la estructura interna del grano la cual contiene el almidón (Escandón, 2012; Calzzetta Resio, 1999; Nieto, 1990) (Figura 2).

2.4 Valor nutricional

En general la planta de amaranto cuenta con muchos nutrientes que aportan un gran beneficio para la salud. La composición nutrimental del amaranto es una de las más completas, por lo tanto, incluye grandes ventajas aprovecharlo como verdura (tallo y hojas), grano (siembra y alimentación) y forraje (Becerra, 2002).

2.4.1 Proteína

Dentro de los nutrientes contenidos del amaranto destaca su alto contenido de proteína ya que cuenta con 13 a 19% de proteína en el grano de amaranto, mientras tanto la planta contiene de un 14 a 33% de proteína (Mapes-Sánchez, 2015; Gómez, 2013). La proteína contenida en el grano de amaranto es de gran calidad, su composición de aminoácidos esenciales (Tabla 1) presenta un perfil sobresaliente debido a su balance cercano al óptimo requerido en la dieta humana según la FAO (FAO/ WHO, 1973).

Tabla 1. Composición y requerimiento de aminoácidos esenciales.

Aminoácidos esenciales	Contenido 100g de amaranto (g)	Requerimiento FAO/WHO (Adultos-Niños)	
Cisteína	2.3 – 3.0		
Isoleucina	3.3 – 3.8	1.3	4.6
Leucina	5.3 – 6.1	1.9	9.3
Lisina	6.1 – 4.6	1.6	6.6
Metionina	1.4 – 2.9		
Fenilalanina	3.7 – 4.1		
Treonina	3.4 – 5.3	0.9	4.3
Triptófano	2.5	0.5	1.7
Tirosina	2.8 – 3.5		
Valina	3.7 – 4.4	1.3	5.5
Metionina + Cisteína	4.1 – 4.7	1.7	4.2
Fenilalanina + Tirosina	6.2 – 7.7	1.9	7.2

Fuente: Huerta-Ocampo, J. y Barba de la Rosa, A. (2012).

La proteína contenida en el amaranto son principalmente macromoléculas de almacenamiento que se clasifican de diferentes maneras. Su clasificación puede ser con base a la localización de la proteína, si se encuentra agrupada en el endospermo, embrión y perisperma. Con base a sus funciones biológicas como proteínas con actividad enzimática, regulatorias, estructurales y ribosomales. Por último, por medio de su composición química, si son *simples*, si son constituidas exclusivamente por una o varias cadenas de aminoácidos o *conjugadas*, si contienen otros grupos

químicos unidos a la o las cadenas de los aminoácidos (Huerta-Ocampo y Barba de la Rosa, 2012). Las proteínas del grano también son clasificadas según su solubilidad: como albúminas solubles en agua, globulinas solubles en altas concentraciones de sal, prolaminas solubles en alcohol y glutelinas solubles en soluciones ácidas y alcalinas (Sudarshan *et al.*, 2017; Osborne, 1924). Las globulinas y las glutelinas son las principales fracciones de proteína que comprenden más del 50% de proteínas totales de la semilla, seguidas por las albúminas y prolaminas (Sudarshan *et al.*, 2017; Paredes-López *et al.*, 1988; Vasco-Méndez y Paredes-López, 1994). Estas proteínas (globulina, glutelina, albúmina y prolamina) tienen péptidos bioactivos importantes que actúan como moduladores de metabolismo, entre otras actividades biológicas beneficios para la salud del ser humano.

2.4.2 Vitaminas y minerales

Los granos de amaranto son una excelente fuente de nutrientes, debido a su alto valor nutricional. No solo tienen un alto contenido de proteína sino también de vitaminas y minerales. La composición química del amaranto presenta un perfil sobresaliente. (Tabla 2). El contenido de vitaminas y minerales podemos encontrar vitaminas liposolubles como la vitamina A y E, así como hidrosolubles como lo es la vitamina C, B, B1, B2, B3 y B9. Los minerales que se encuentran en el grano de amaranto son calcio, magnesio, fósforo, potasio, hierro, zinc y manganeso. Dichos micronutrientes de encuentran en cantidades superiores a comparación de otros cereales, sobre todo en contenido de minerales. La ingesta diaria del grano de amaranto consumido como único alimento puede proveer gran parte de la dosis diaria recomendada de proteína y micronutrientes, aunque una monodieta no es recomendable pues se trata de dietas desequilibradas. Es importante añadirlo a la dieta, inclusive como sustitución de la proteína principal (carne). Ya que el consumo de una barra de granos de amaranto nos aporta la misma cantidad de proteína y micronutrientes,

satisfaciendo gran parte de la ración recomendada de proteínas para niños y mujeres embarazadas principalmente. Aportando aproximadamente el 70% de energía de la dieta (Recalde y Fierro, 2012).

Tabla 2. Composición química del grano del grano de amaranto.

Nutrientes	Contenido 100g de amaranto (<i>mg</i>)
Vitamina A	2 IU
Vitamina E	1.03
Vitamina C	1.5 – 4.2
Vitamina B1	0.07 – 0.30
Vitamina B2	0.19 – 0.29
Vitamina B3	0.40 – 1.45
Vitamina B6	0.6
Vitamina B9	50 μ g
Calcio	130 – 300
Magnesio	266 – 344
Fósforo	455 – 600
Potasio	366 – 800
Hierro	5.3 – 10
Zinc	3.18
Manganeso	2.26
Lípidos	0.33 – 6.51 (5 – 8.1%)

Fuente: Surdarshan *et al.* (2017); Fierro, E. y Recalde, F. (2014);

Calzetta-Resio, A. (1999).

2.4.3 Ácidos grasos

La cantidad de lípidos en el grano de amaranto es destacada, ya que al compararlo con algunos cereales presenta mayor índice (Tabla 3) y contiene ácidos grasos esenciales (AGEs), que son fundamentales para la salud y se obtiene por medio de los alimentos. Dentro de las grasas halladas en el grano podemos encontrar ácidos grasos saturados, insaturados, monoinsaturados y polinsaturados. Como los son el ácido linolénico (Omega-3), linoleico (Omega-6), oleico y palmítico. Además, el grano de amaranto es una gran fuente de escualeno (6%), el cual normalmente proviene de especies marinas. Lo cual reafirma que el grano de amaranto es totalmente funcional y su uso es promisorio como fuente de dicho componente (Recalde y Fierro, 2013; Calzetta-Resio, 1999).

Tabla 3. Contenido promedio de grasa de cereales.

Cereales	Grasa (%)
Amaranto	5.7
Trigo	1.8
Maíz	3.9
Cebada	2.0
Centeno	1.7

Fuente: Calzetta-Resio, A. (1999).

2.4.4 Carbohidratos y almidón

Dentro de la clasificación de los hidratos de carbono, en el grano de amaranto podemos encontrar principalmente la sacarosa, rafinosa, estaquiosa y en una menor cantidad la maltosa e inositol. Son los componentes más abundantes en el almidón contenido en el grano. Los gránulos de forma

irregular y pequeño tamaño se aglutinan entre sí para formar corpúsculos globulares, los cuales se hallan cementados por la parte amorfa del almidón (Calzetta-Resio, 1999).

El almidón es el componente principal del grano, representa entre el 50-70% de su peso. Su diámetro oscila entre 1-3 micrones, es la molécula de almidón más pequeña y fina encontrada actualmente. En algunas variedades del género *Amaranthus* se han identificado tres tipos de almidón basados en el contenido de amilosa: normal (19.4-27.8%), glutinoso (waxy - granos opacos) (0-1%) y no glutinoso (no waxy – granos translucidos) (6.6-12.6%) (Konishi-Arno y Calixto, 2006). Algunas otras variedades tienen un contenido rico en amilopectina, por lo tanto, el almidón se clasifica como ceroso.

2.5 Agentes anti nutricionales

Los agentes anti-nutricionales son sustancias que alteran la digestión de las proteínas, ya sea a nivel digestivo o metabólico. Tienen como objetivo proteger contra ataques de insectos y microbios (Huerta y Barba de la Rosa, 2012; Ryan, 1990). Inhiben la acción de las enzimas digestivas enfocadas en la hidrólisis de las proteínas. Uno de los efectos más importante de los agentes anti-nutricionales es la inhibición del crecimiento. Algunas de estas sustancias tienen la capacidad de formar complejos con minerales esenciales, lo cual disminuye su absorción para el ser humano (Salgado y Valdez, 2006).

En las diferentes variedades del grano de amaranto se ha encontrado la presencia de inhibidores de proteasas (de los cuales se han descrito al menos 73 inhibidores de tripsina, según Huerta y Barba de la Rosa (2012)), ácido fítico, ácido oxálico, taninos, nitratos, glucósidos cianogénicos, saponinas y lectinas. Cabe mencionar que el contenido varía dependiendo de la variedad, la zona de cultivo y el suelo donde fue cultivado (Gómez-Ponce, 2013; Cruz-Aguilar *et al.*, 2005). Existen

variedades que carecen de algunos agentes anti-nutricionales mencionados, pero se compensan con una elevada cantidad de los que sí contiene.

Existen factores anti-nutricionales termolábiles y termoestables. Los cuales pueden ser inactivados o destruidos por medio de la cocción, escaldado, tostado y extrusión, en el caso de los termolábiles. En el caso de los termoestables, son eliminados mediante la germinación, remojo, fermentación, cocción y escaldado (Portilla y Chaparro, 2009). Los tratamientos de inhibición y eliminación permiten que mejoren las propiedades de los alimentos, desnaturalizando las proteínas contenidas. En el caso del amaranto la inhibición de los factores anti-nutricionales es por medio de tratamientos térmicos; tratamientos que permiten mejorar la digestibilidad hasta un 80% después del tratamiento térmico (Cruz, Valadez y Cuellar, 2005), mejorando también sus propiedades organolépticas como el sabor, olor y textura (Portilla y Chaparro, 2009).

2.6 Producción del amaranto

En las últimas décadas, el cultivo del amaranto se ha difundido a nivel mundial, cultivándose en los cinco continentes. Entre los principales países productores se encuentra la India, México, Perú, China, Bolivia, Pakistán, Nepal, Argentina y Estados Unidos (Morales Guerrero *et al.*, 2009).

En México, la producción se encuentra principalmente en los estados de Puebla, Morelos, Tlaxcala, Oaxaca, San Luis Potosí y el Distrito Federal (CDMX) (SIAP-SAGARPA, 2014). Entre el año 2007 y el 2014 la producción de amaranto aumentó de 2,000 ha. A 6,000 ha (SIAP, 2014). Dentro de los estados productores, Puebla ocupa el primer lugar aportando el 50% del total nacional. El grano de amaranto tiene un valor de mercado muy importante para el productor a diferencia de otros cereales tradicionales. En Europa, Estados Unidos y Japón existe una gran demanda de este producto. Pagando alrededor de 1,400 dólares (precio internacional) por tonelada. Como la mayoría de los productos agrícolas el amaranto también presenta oscilaciones en los

precios del mercado, esto generalmente durante la época de la cosecha y cuando comienza a escasear el grano, por lo que resulta difícil fijar los precios de los productos para todo el año. Esto es una desventaja para los industriales de amaranto pues reduce la competitividad, pues la cotización de sus productos está determinada por el precio y disponibilidad del amaranto (Rivera y Rivera, 2017). Durante la época de cosecha, los precios del grano de amaranto se encuentran en su índice más bajo, el cual se paga al productor hasta 3.5 pesos el kilogramo de grano puesto en campo, pero luego el precio empieza a recuperarse hasta alcanzar los 12 o 14 pesos el kilogramo, dependiendo de la disponibilidad del producto (Comunicación personal con productores: Temoac, Morelos, 2016). Hay que rescatar que el grano de amaranto conserva un valor de mercado muy importante para el productor a diferencia de otros cereales tradicionales. Para lograr resultados óptimos en los cultivos de amaranto es necesario planificar estos procesos para reducir las fluctuaciones del precio del producto, pues esto logra afectar tanto al productor como al procesador y al industrial de amaranto (Rivera y Rivera, 2017).

2.7 Usos del Amaranto

El amaranto es muy versátil para su transformación, tiene múltiples usos tanto en la alimentación humana y animal como en la industria, medicina y en la ornamentación. La planta en estado fresco hasta la formación de la inflorescencia se utiliza como forrajera para la alimentación del ganado sobre todo para combinar con otras especies forrajeras. Además, el amaranto puede ser utilizado para la producción de concentrados proteicos foliares debido a su alto rendimiento de biomasa verde. En la industria se utiliza el amaranto para obtener colorantes vegetales principalmente amarantina que se utiliza para la coloración de alimentos dando colores sumamente vistosos y agradables a la vista y de sabor característico (Tapia, 1997). Por los colores vistosos y formas

caprichosas y variadas que presenta la inflorescencia del amaranto, se utiliza como planta ornamental en jardines y parques de las ciudades y el campo.

En cuanto a la alimentación humana se usa el grano entero o molido en forma de harinas, ya sea tostada, reventada o hervida. Las hojas tiernas reemplazan a las hortalizas de hoja, y las plántulas (hasta la fase fenológica de ramificación) se consumen en forma de hortalizas. El grano de amaranto puede utilizarse para elaborar productos como las alegrías, mazapanes, cereal reventado, granolas y harinas. También se logran productos industrializados como cereales enriquecidos, bebidas, concentrados, extruidos, almidones, aceites y colorantes derivados del amaranto. Estos sirven como insumos para otras industrias de alimentos y bebidas para elaborar productos de amaranto, o bien, como materia prima de sectores industriales.

2.8 Ajuste de humedad en el grano de amaranto

El proceso de reventado de amaranto se realiza con el objetivo de destruir e inhibir los agentes anti-nutricionales contenidos en los granos de amaranto, así como mejorar sus particularidades organolépticas y aumentar su volumen, característica que es muy importante dentro de la industria del amaranto.

Durante el ajuste de la humedad del grano se pueden inhibir los contenidos de saponinas, ácido fítico, nitratos e inhibidores de tripsina ya que estos agentes anti-nutricionales son solubles en el agua. Mientras que en el reventado se destruyen los inhibidores de proteasas y las lectinas, principalmente (Gómez-Ponce, 2013; Admassu y Kamur, 2007).

Después de la cosecha y limpieza de los granos se somete a un secado para evitar que la semilla se pudra y obtenga sabores u olores extraños por la humedad. El grano es colocado en mantas o lonas, protegido de la lluvia y los animales en un lugar seco, fresco y con ventilación durante dos

o tres días. La humedad recomendable para el almacenamiento es de un 10 - 12 % de humedad, sin sobrepasar el límite ya que puede generar la descomposición de toda la cosecha (Espitia *et al.*, 2010).

Los granos en general son higroscópicos, pues intercambian humedad con el ambiente. Por lo tanto, durante el almacenamiento el contenido de humedad del grano varía constantemente. La humedad relativa es la razón por la cual el contenido de humedad varía. Entre más elevada sea la humedad relativa, mayor será el contenido de humedad del grano (FAO, 1985).

Actualmente las industrias amaranteras adquieren los granos de amaranto reventados y son los productores quienes se encargan de esa etapa. Los productores han establecido estrategias para el ajuste de humedad y llevar a cabo el reventado. Realizan pruebas de reventado a pequeña escala añadiendo agua a cierta cantidad de granos y posteriormente lo llevan a pruebas de mayor escala.

2.9 REFERENCIAS

Becerra, R. (2000). El Amaranto: nuevas tecnologías para un antiguo cultivo. CONABIO: Biodiversitas. México. p. 1-6.

Bye, R. y Linares, E. (2000). Los quelites: plantas comestibles de México, una reflexión sobre intercambio de cultura. CONABIO. Biodiversitas. México. p. 11-14.

Espitia-Rangel, E., Mapes-Sánchez, C., Escobedo-López, D., De la O-Olán, M., Rivas-Valencia, P., Martínez-Trejo, G., Cortés-Espinoza, L., Hernández-Casillas, J. M. (2010). Conservación y Uso de los Recursos Genéticos de Amaranto en México. SINAREFI-INIFAP-UNAM, Centro de Investigación Regional Centro. Celaya, Guanajuato, México. 201 p.

Garciadiego-Hernández, R; Herrerias-Guerra, G. (1998). Amaranto: historia y promesa. Tehuacán: horizonte de tiempo. Vol. 1. 529 p.

Konishi, Yotaro;S., Arnao, I. y C., Calixto M.R. (2006). Caracterización del almidón de *Amaranthus caudatus* por barrido calorimétrico diferencial. Rev. Soc. Quím. Perú, vol.72, No.1, p. 12-18.

Mapes-Sánchez, E.C. (2010). El amaranto (*Amaranthus spp.*) planta originaria de México. Academia, Ciencia y Cultura. AAPAUNAM, 4. Ciudad de México, México. p. 217-222.

Mapes-Sánchez, E.C. (2015). Uso de plantas mexicanas: el amaranto. Academia Mexicana de Ciencias. Revista Ciencia. Vol. 66. N° 3. p. 8-15.

McClung de Tapia, E. (2016). El amaranto desde el punto de vista arqueológico. Arqueología mexicana: amaranto fuente de alegría. Vol. 23. N° 138. México. p. 22-25.

Montúfar-López, A. (2012). Amaranto (*Amaranthus spp.*), planta ritual mesoamericana. In. Espitia-Rangel, E. (ed). Amaranto: Ciencia y tecnología. Libro científico. N° 2. INIFAP/SINEREFI. México. p. 3-13.

Morán-Bañuelos, S.H.; Cortés-Espinoza, L.; Espitia-Rangel, E.; Sangerman-Jarquín, D.M. (2012). Tzoalli, de cuerpo de dioses a alegría de mortales. In: Espitia-Rangel, E. (ed). Amaranto: Ciencia y tecnología. Libro científico. N° 2. INIFAP/SINEREFI. México. p. 15-27.

Puente a la Salud Comunitaria A. C. (2014). Manual para la producción de Amaranto: cultivo, cosecha y postcosecha. Puente México. 20 p.

Rivera-Galeana, M.A. y Rivera-Zúñiga, R.I. (2017). Evaluación económica de la expansión de una empresa productora de barras de amaranto con chocolate. IPN- upiicsa. Ciudad de México, México. 108 p.

Santacruz De León, E.E. (2011). La producción de amaranto en el estado de México. Observatorio de la Economía Latinoamericana. Revista Académica de Economía. N° 157. España. 12 p.

Sudarshan-Nadathur, J., Wanasundara, P.D., Scanlin, L. (2017). Sustainable Protein Sources. Editorial Elsevier. p: 239-255; 257-264.

Velasco-Lozano, A.M. (2016). Los cuerpos divinos: el amaranto, comida ritual y cotidiana. Amaranto fuente de la alegría. Arqueología Mexicana. Vol. 23. N° 138. México. p. 26-33.

Tapia, M. (1997). Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. Ed. 2. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. 205 p. Disponible en línea en: http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/prodalim/prodveg/cdro/m/contenido/libro10/reconoc.htm Consultado: julio 22, 2017.

CAPITULO III. IMPACTO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD Y SOLUTO EN LA SEPARACIÓN POR INDICE DE FLOTACION DE DOS VARIEDADES DE AMARANTO

Doris Nuñez-Limón¹, Enrique Ortiz-Torres², Mirna López-Espíndola¹, Josafhat Salinas-Ruiz¹, José Andrés Herrera-Corredor^{1*}

¹Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba, Postgrado en Innovación Agroalimentaria Sustentable. Km 348 Carretera Córdoba-Veracruz. 94946, Amatlán de los Reyes, Veracruz. México, C.P. 94946

²Colegio de Postgraduados, Campus Puebla. Km.125.5 Carretera Federal México-Puebla, Santiago Momoxpan, municipio de San Pedro Cholula, Puebla. México, C. P. 72760.

* Autor de correspondencia: Dr. José Andrés Herrera Corredor

e-mail: jandreshc@colpos.mx

Teléfono: 52 (271) 716-6000

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar la técnica de índice de flotación para clasificar dos variedades de amaranto con respecto a sus densidades en diferentes condiciones de medición. Se determinó la densidad, Índice de Absorción de Agua (IAA) con Índice de Solubilidad (IS-I), Capacidad de Hinchamiento (CH) con Índice de Solubilidad (IS-II), peso de mil granos, cenizas y pH. Se comparó el Índice de Flotación (IF) en dos variedades de grano de amaranto (Laura y Nutrisol) con dos niveles de humedad (11 y 13 %), dos solutos (nitrato de sodio y azúcar) y tres densidades de la solución (1.25, 1.30 y 1.35 g/cm³). Al ajustar la humedad de los granos la densidad tuvo un comportamiento variable. En la variedad Laura, la densidad incrementó 0.22 g/cm³ al ajustar su humedad de 9 a 11% y 0.1 g/cm³ al ajustar de 9 a 13%. En la variedad Nutrisol no se encontró modificación significativa en la densidad al justar su contenido de humedad. La densidad seleccionada para IF fue la de 1.30 g/cm³. No se encontró impacto significativo de los solutos en el IF. El contenido de humedad (11 y 13%) tuvo un efecto en el IF de la variedad Laura (89.05 y 94.9% respectivamente). En la variedad Nutrisol no se encontró efecto de la humedad en el IF. El IF tuvo una relación inversa con la densidad. El IF puede ser una herramienta útil para su clasificación de los granos de amaranto y puede ser implementado con azúcar cómo soluto dado que la diferencia con el nitrato de sodio no fue significativa.

PALABRAS CLAVE: amaranto, calidad, densidad, clasificación, solutos.

ABSTRACT

The objective of the study was the evaluation of the flotation index to classify the amaranth varieties with respect to their densities under different measurement conditions. The density, Water Absorption Index (IAA) with Solubility Index (IS-I) was determined, Swelling Capacity (CH) with Solubility Index (IS-II), weight of a thousand grains, ash and pH. The Flotation Index (IF) was compared in two varieties of amaranth grain (Laura and Nutrisol) with two moisture levels (11 and 13%), two solutes (sodium nitrate and sugar) and three densities of the solution (1.25, 1.30 and 1.35 g/cm³). When adjusting the humidity of the grains the density had a variable behavior. In the Laura variety, the density increased 0.22 g/cm³ by adjusting its humidity from 9 to 11% and 0.1 g/cm³ when adjusting from 9 to 13%. In the Nutrisol variety, the density selection has not been modified by adjusting its moisture content. The density selected for IF was 1.30 g/cm³. No significant impact of the solutes was found on the IF. The moisture content (11 and 13%) had an effect on the IF of the variety Laura (89.05 and 94.9% respectively). In the Nutrisol variety, no effect of moisture was found in the IF. The IF had an inverse relationship with density. The IF can be a useful tool for the classification of amaranth grains and can be implemented with the same format that the difference with sodium nitrate was not significant.

PALABRAS CLAVE: amaranth, quality, density, classification, solutes.

3.1 INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años el grano de amaranto ha tomado un papel importante dentro de la alimentación debido a sus cualidades nutricionales. Actualmente el amaranto es cultivado en países como la India, México, Perú, China, Bolivia, Pakistán, Nepal, Argentina y Estados Unidos (Morales-Guerrero *et al.*, 2009). Recientemente China, Kenia, Rusia y varios países de Europa del Este (Brenner, 2000) han adoptado el cultivo. En México las principales entidades productoras de amaranto son: Puebla, Tlaxcala, Estado de México, Distrito Federal, Morelos, Oaxaca y San Luis Potosí según el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (SAGARPA, 2016). Es importante mencionar que otros países solo son consumidores de amaranto como es el caso de Italia, Bulgaria y España (principalmente), o bien como el caso de Estados Unidos la especie de amaranto que cultiva está destinada a otros usos que no es el de consumo humano. México es el principal país que cultiva los granos de amaranto para la industria alimenticia y exporta a otros países (SAGARPA, 2015). Un problema que destaca en la producción de amaranto es la clasificación o selección de granos dirigidos a la industria alimentaria. Las escasas técnicas existentes para clasificar los granos no son suficientes o eficientes. Esta actividad sólo se realiza por la experiencia del productor y medios empíricos tales como: inspección visual (tamaño, forma, color (opaco o cristalino), mordiéndolo con los dientes (textura suave o dura) y realizando pruebas de reventado en pequeña escala (rendimiento de grano). Esto ocasiona que al final del proceso de reventado exista una cantidad de grano que no se revienta y genera una merma. La norma NMX-FF-114-SCFI-2009 no incluye una metodología establecida para clasificar los granos con respecto a su densidad para la determinación de su potencial para usos específicos en la industria. Por lo tanto, la adaptación de técnicas utilizadas en otros granos puede auxiliar en el desarrollo de mejoras para el proceso de clasificación de los granos de amaranto.

El Amaranto se compone de proteínas, vitaminas, minerales, fibra dietética, escualeno, tocoferoles, compuestos fenólicos, lípidos y carbohidratos. Uno de los nutrientes más destacado en los granos de amaranto es la proteína; los granos son una excelente fuente de proteína vegetal, su contenido es superior al de otros granos que son parte de nuestra alimentación básica (14-18% de proteína dependiendo de la variedad y los medios ambientales donde se desarrolló la planta) (Venskutonis y Kraujalis, 2013). Por ello, los granos de amaranto tienen múltiples posibilidades de usos en la industria alimentaria elaborando harinas para diversos productos de panadería, snacks, producción de películas y revestimientos comestible, y una gama de diversos productos desarrollados a partir de la misma, grano reventado consumido como cereal, barras energéticas combinadas con diversos frutos, bebidas (licuados, atoles, sustitutos de leche) (Mapes, 2015; Tapia-Blacido *et al.*, 2013); y en la industria farmacéutica en la elaboración de cosméticos a base del escualeno (Matusová, 2008), entre otros.

Los productores de amaranto han dirigido todos sus esfuerzos en el desarrollo de nuevas técnicas para mejorar el proceso de producción de granos de amaranto y han descuidado el uso de técnicas como la del índice de flotación utilizada en otros cereales (avena, maíz, entre otros) para determinar la aptitud del grano para usos específicos. En el caso de la avena la técnica de índice de flotación es utilizada para determinar rápidamente su densidad y la calidad de molienda del grano (Serdan-Saldivar, 2012). En el maíz, el índice de flotación se correlaciona con el índice de dureza y tiempos de nixtamalización. Los granos que se sumergen son de mayor densidad y se clasifican en granos duros, mientras los granos flotantes son de menor densidad (NMX-FF.034/1-SCFI-2002). En sentido, la técnica de índice de flotación, que se basa en la densidad del grano y puede ser una opción viable para la clasificación de granos de amaranto con respecto a su densidad.

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar la técnica de índice de flotación para clasificar dos variedades de amaranto con respecto a sus densidades en diferentes condiciones de medición: contenido de humedad, variedad, y densidad de la solución.

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1 Variedades de Amaranto

Las variedades de amaranto Laura y Nutrisol que fueron utilizadas en esta investigación pertenecen a la especie de *Amaranthus hypochondriacus* (conocida también como *Amaranthus leucocarpus* S, Wats y *Amaranthus flavus*). La variedad Laura fue generada en el Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala (ITAT), y se cosechó en el año 2015 en el mismo estado. La variedad Nutrisol registrada por el Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), fue tomada de un lote de producción comercial en el municipio de Calpan, Puebla en el año 2016.

3.2.2 Solutos

Se utilizaron dos solutos: nitrato de sodio marca J.T. Baker® y azúcar refinada marca Zulca®.

3.2.3 Análisis

Los análisis fisicoquímicos se realizaron en granos en estado natural y en granos sometidos al método (tratamiento) de selección de grano por medio de Índice de Flotación (IF) con 5 repeticiones. El estudio se llevó a cabo en la Planta Piloto de Cereales, el Laboratorio de Alimentos y el Laboratorio de Extractos Vegetales del Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, ubicado en Amatlán de los Reyes, Veracruz. La estrategia de análisis se presenta en la Figura 3.

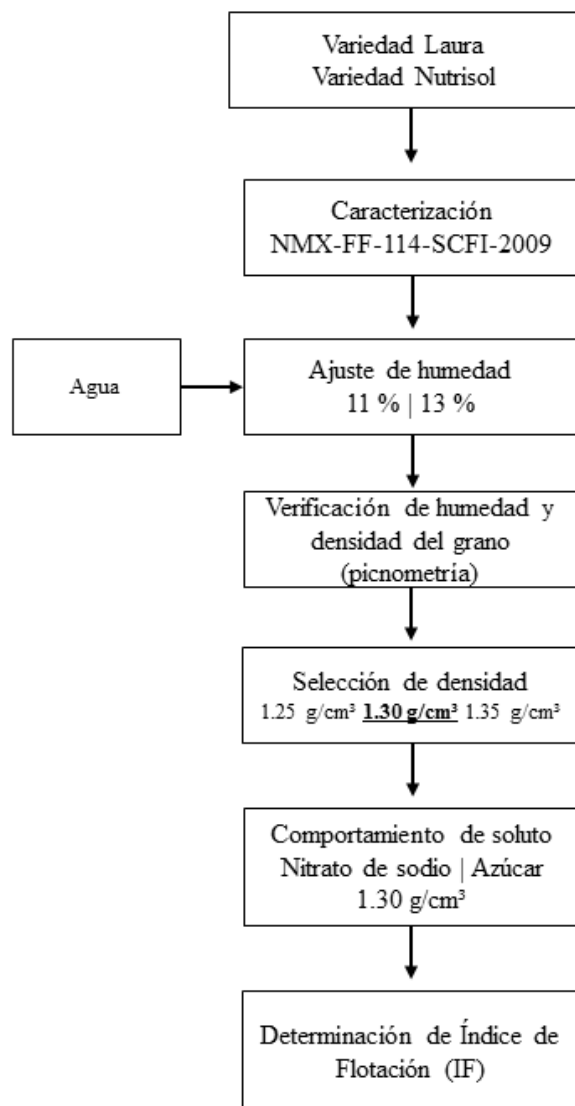


Figura 3. Diagrama de flujo de la metodología de investigación.

3.2.4 Caracterización de la materia prima (granos de amaranto)

3.2.4.1 Determinación de cenizas

La determinación de cenizas se llevó a cabo por la norma mexicana, NMX-F-066-S-1978. Para la determinación de cenizas en los granos, se colocaron 3 gramos de muestra en un crisol a peso constante previamente pesado en una balanza analítica (Balanza Analítica. Ohaus Pioneer, PA 214C.). El crisol con la muestra se colocó sobre la parrilla y la muestra se calcinó lentamente hasta

que ya no desprendió humo. Posteriormente se llevó a la mufla (Carbolite CWF 11/5 Tmax: 1500°C, Verder Scientific Division) para obtener la calcinación completa, se dejó enfriar en la mufla y se colocó en un desecador para su completo enfriamiento, seguido de su pesaje. Finalmente se realizaron los siguientes cálculos: % Cenizas= ((Masa de crisol con las cenizas – Masa de crisol) x 100) / Masa de la muestra.

3.2.4.2 Capacidad de Hinchamiento (CH) e Índice de Solubilidad (IS-I)

La técnica se realizó de acuerdo lo descrito por Leach *et al.* (1959). Una cantidad de 2 g de muestra previamente pesada en una balanza analítica (Ohaus Pioneer, PA 214C), se colocó dentro de los tubos para centrífuga marca Corning™ con una capacidad de 50 ml. Se agregaron 40 ml de agua destilada a una temperatura de 80°C. Los tubos se colocaron en baño maría con el fin de mantener la temperatura deseada (80 °C). La suspensión se mantuvo durante 30 minutos con agitación y temperatura constante. Después de este tiempo los tubos se colocaron dentro de la centrífuga (DAMON/IEC DIVISION, HNS, 300SECOND AVE., NEEDAM HTS., MASS. 02194) y se centrifugaron a 3000 rpm durante 10 minutos a temperatura ambiente. Los tubos se retiraron de la centrífuga, separando el sobrenadante y pesándolo al igual que se pesó el tubo con el precipitado. El sobrenadante se colocó en charolas de metal y se evaporó a 105°C en un horno de secado Terlab (TE-H80DM), hasta peso constante. Las charolas se colocaron dentro de un desecador durante 30 minutos para su enfriamiento y evitar que ganaran humedad y al final se obtuvo el peso del residuo. A continuación, se realizaron los siguientes cálculos: CH = Peso de sedimento de la centrifugación / Peso seco de la muestra.

El índice de solubilidad en agua (IS-I) se expresó como una relación entre el residuo de la evaporación y el peso seco de la muestra según la siguiente fórmula: IS = (Peso de residuo de la evaporación / Peso seco de la muestra) x 100.

3.2.4.3 Índice de Absorción de Agua (IAA) e Índice de Solubilidad (IS)

En una balanza analítica (Ohaus Pioneer, PA 214C) se pesaron 2.5 gramos de muestra y se colocaron dentro de un tubo de plástico para centrifuga marca Corning™ con una capacidad de 50 mL. Dentro de cada tubo se agregaron 40 mL de agua destilada a temperatura ambiente. La suspensión se mantuvo con agitación intermitente durante 30 minutos. Enseguida se colocó el tubo con la muestra en el equipo de centrifugación (DAMON/IEC DIVISION, HNS, 300SECOND AVE., NEEDAM HTS., MASS. 02194) a 3000 rpm por 10 minutos a temperatura ambiente. Posteriormente el sobrenadante de cada muestra se vertió en una charola de aluminio y se colocó en un horno de secado marca Terlab (TE-H80DM), a 105 °C hasta que el agua se evaporó. Se procedió a sacar las charolas del horno y se colocaron en un desecador para su enfriamiento. Cada una de las charolas se pesaron en la balanza analítica, al igual que el tubo con el precipitado y se reportaron los datos.

El IAA, se expresó como una relación entre el peso de residuo después de la centrifugación y el peso seco de la muestra, al cual se le resto el peso del residuo de la evaporación. El IAA se calculó con la siguiente fórmula: $IAA = \text{Peso del residuo de la centrifugación} / \text{Peso seco de la muestra}$.

El IS-II en agua, se expresó como una relación entre el residuo de la evaporación y el peso seco de la muestra según la siguiente fórmula: $IS = (\text{Peso del residuo de la evaporación} / \text{Peso seco de la muestra}) \times 100$.

3.2.4.4 Peso de mil granos

Se contaron 100 granos de amaranto de cada muestra. Los 100 granos se pesaron en una balanza analítica con precisión de 0.01 MG (Ohaus Pioneer, PA 214C). Se reportaron los resultados y se realizó el siguiente cálculo: $\text{Peso de mil granos} = \text{Peso de 100 granos} \times 10$.

3.2.4.5 Determinación de pH

El pH se determinó de acuerdo con la metodología 14.002 del AOAC (1984). Se pesaron 10 g de cada una de las muestras y se colocaron dentro de vasos de precipitado (Pyrex®) con una capacidad de 250 mL. Se agregaron 100 ml de agua destilada a temperatura ambiente al vaso de precipitado y se agitó durante 5 minutos. Después de la agitación la muestra se dejó reposar 5 minutos, posteriormente se realizó la lectura con el potenciómetro (Thermo Scientific Orion 3-star benchtop, 115/220 VAC), introduciendo el electrodo en el sobrenadante. Previamente el potenciómetro se ajustó con un buffer de referencia de pH 7 a una temperatura de 25 °C ($\pm 1^\circ\text{C}$).

3.2.4.6 Determinación de Humedad

La humedad de los granos de amaranto se determinó mediante el método establecido por Zapotocizn (2006) que consiste en someter los granos enteros a una temperatura de 130 °C durante 2 horas. Se pesaron 2 gramos de muestra en charolas de aluminio desechable. Previamente las charolas de aluminio fueron sometidas a peso constante en el horno de secado Terlab (TE-H80DM), y pesadas en la balanza analítica con precisión de 0.01 MG (Ohaus Pioneer, PA 214C). Las charolas de aluminio se colocaron dentro del horno de secado a 130 °C durante 2 horas, pasando el tiempo se enfriaron en un desecador de cristal (Kimax®) durante 30 minutos y se registraron los pesos y así poder determinar el contenido de humedad: % Humedad = (Peso agua evaporada / peso de la muestra) x 100

3.2.4.7 Densidad Absoluta (por picnometría)

La densidad absoluta se determinó colocando 8 gramos de muestra dentro del picnómetro (BRAND®). Previamente el picnómetro se pesó y se registró el dato. Posteriormente se agregó la muestra dentro del picnómetro y se pesó en la balanza analítica con precisión de 0.01 MG (Ohaus Pioneer, PA 214C), y se registró el dato obtenido. Se agregó alcohol etílico al 99.9 % (J. T. Baker

®) dentro del picnómetro que contenía los granos de amaranto con el fin de llenar el espacio de aire entre cada grano hasta llenar el picnómetro y se pesó en la balanza analítica. El cálculo de densidad del grano de amaranto se realizó con la fórmula: Densidad del amaranto: $((\text{Peso del picnómetro con el amaranto} - \text{Peso del picnómetro vacío}) / (\text{Peso del alcohol etílico al } 99.9\% - ((\text{Peso del picnómetro con el amaranto y el alcohol} - \text{Peso del picnómetro con el amaranto}) / \text{Densidad del alcohol})))$.

3.2.4.8 Adaptación del Método de Índice de Flotación (IF)

La determinación del IF se basó en la metodología de la Norma Mexicana NMX-FF.034/1-SCFI-2002 – Productos alimenticios no industrializados para el consumo humano – Cereales- Parte 1: Maíz blando para proceso alcalino para tortillas de maíz y producto de maíz nixtamalizado. El método se basa en que los granos duros son de mayor densidad por lo tanto se sumergen al fondo de una solución de nitrato de sodio que se utiliza en la determinación, y los granos de menor densidad flotan en la superficie. Por lo tanto, se aplicó el mismo principio a la muestra de los granos de amaranto utilizando nitrato de sodio y azúcar refinada. El azúcar refinado se utilizó con el fin de aplicar el método con una sustancia que no dañase a la estructura química de los granos que permita realizar más determinaciones (contenido de proteína), así como las pruebas de reventado.

La solución de nitrato de sodio (J. T. Baker®) y azúcar refinada (Zulka®) que se utilizó se ajustó a tres densidades con el objetivo de seleccionar una de ellas y así determinar cuál era la idónea para determinar IF de los granos de amaranto. Las densidades que se manejaron fueron 1.25 g/cm^3 , 1.30 g/cm^3 y 1.35 g/cm^3 . Controlando una temperatura ambiente de $24 \text{ }^\circ\text{C}$ (+/- 1). Las cantidades de las soluciones se presentan en la Tabla 4. Para la preparación de cada soluto se pesaron las cantidades y volúmenes de agua destilada (HYCEL ®) indicadas. Posteriormente el agua se vertió

en vasos de precipitado (PYREX®) con capacidad de 250 mL. El soluto se agregó lentamente y se agitó hasta disolverse perfectamente. Este procedimiento se repitió para cada una de las soluciones preparadas. Posteriormente se verificó la densidad de la solución por el método de picnometría.

Tabla 4. Composición de soluciones para IF.

	Soluto (g)	Agua Destilada (mL)
	45	100
Nitrato de sodio	60	100
	75	100
	110	100
Azúcar refinada	250	150
	355	150

*Todos los valores corresponden a promedios de cinco mediciones \pm error estándar. Medias con la misma letra en hilera no son significativamente diferentes.

Para la medición del IF en las variedades, se realizó el conteo de 100 granos de amaranto y se vertió en los vasos de precipitado que contenía la solución preparada. Se agitaron por 10 segundos y se dejaron reposar durante 1 minuto. Al final se contabilizaron y registraron los granos de amaranto ubicados en la parte inferior y la parte superior (IF) del vaso de precipitado.

3.2.4.9 Ajuste de Humedad

Conociendo la humedad inicial de los granos de amaranto de cada variedad, se ajustó su humedad a 11 % y 13 %. La cantidad de agua a agregar se calculó mediante la siguiente operación: Agua requerida (g) = (Materia seca del grano / Materia seca esperada) x % Humedad requerida en granos.

La cantidad de 1 kg de granos de amaranto se coló en una batidora semi industrial (Kitchen Aid, KSM8990), manteniendo los granos en movimiento constante y agregando la cantidad de agua (obtenida en el cálculo) por medio de un atomizador para tener homogeneidad. La agitación permaneció durante un tiempo de 5 minutos. Posteriormente los granos se empaquetaron en bolsas (FoodSaver®) para sistemas de empaque al vacío (sin aplicar vacío), se sellaron y se estableció un tiempo de adaptación de humedad de 36 horas. Al pasar el tiempo de adaptación, se corroboró que lo granos tuvieran la humedad deseada (11 y 13 % de humedad), por medio del método de humedad anteriormente mencionado.

3.2.5 Análisis estadístico

El análisis de las variables (IF) y factores (variedad, humedad, densidad y soluto) evaluados en esta investigación se realizó bajo el procedimiento de glimmix de SAS (Statistical Analysis System, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. Version 9.4). Un diseño experimental en parcelas sub-subdivididas (Steel y Torrie, 1995; Kempthorne, 1975) fue utilizado como a continuación se describe:

$$\begin{aligned}
 Y_{ijklm} = & \mu + \alpha_i + rep(\alpha)_{im} + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + rep(\alpha\beta)_{mij} + \gamma_k + (\alpha\gamma)_{ik} + \omega_l + (\alpha\gamma)_{ik} \\
 & + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + (\omega\alpha)_{il} + (\omega\beta)_{jl} + (\omega\gamma)_{kl} + (\alpha\gamma\omega)_{ikl} + (\beta\gamma\omega)_{jkl} \\
 & + (\alpha\beta\gamma\omega)_{ijkl} + \varepsilon_{ijklm}
 \end{aligned}$$

$$\alpha = \text{Variedad} \quad \beta = \text{Tipo de solución} \quad \gamma = \text{Densidad de solución} \quad \omega = \text{Humedad}$$

Dónde Y_{ijklm} es el índice de flotación observado en la variedad i - tipo de solución j - densidad de solución k - humedad l en la repetición m ; μ es la media general; α_i es el efecto fijo debido a la variedad i ; $rep(\alpha)_{im}$ es el efecto aleatorio de repetición m dentro de variedad i ; β_j es el efecto fijo debido al tipo de solución j utilizado en la flotación; $(\alpha\beta)_{ij}$ es el efecto de la interacción entre

variedad i y la solución j ; $rep(\alpha\beta)_{mij}$ es el efecto aleatorio de la interacción variedad-tipo de solución con repetición; γ_k es el efecto fijo debido a la densidad de solución j ; ω_l es el efecto fijo debido a la humedad ajustada; $(\alpha\gamma)_{ik}$; $(\beta\gamma)_{jk}$; $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$; $(\omega\alpha)_{il}$; $(\omega\beta)_{jl}$; $(\omega\gamma)_{kl}$; $(\alpha\gamma\omega)_{ikl}$; $(\beta\gamma\omega)_{jkl}$; $(\alpha\beta\gamma\omega)_{ijkl}$ como efectos fijos debido a interacción; e_{ijklm} es el error experimental. Asumiendo $rep(\alpha) \sim N(0, \sigma_{rep(\alpha)}^2)$, $rep(\alpha\beta)_{mij} \sim N(0, \sigma_{rep(\alpha\beta)}^2)$ y $e_{ijklm} \sim N(0, \sigma^2)$. El procedimiento utilizado fue GLIMMIX del programa SAS® versión 9.4 (SAS, 2017), con una significancia estadística establecida de $P \leq 0.05$.

3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1 Caracterización de las variedades de amaranto.

En la Tabla 5, se muestran los valores promedios de contenido de humedad, densidad, Índice de Absorción de Agua (IAA) con su Índice de Solubilidad (IS-I), Capacidad de Hinchamiento (CH) con su índice de solubilidad (IS-II), peso de mil granos, pH y cenizas de las variedades de amaranto. Las variedades estudiadas mostraron diferencias significativas entre cada una de las características físicas de los granos de amaranto. Con respecto a la humedad, la variedad Nutrisol tuvo una humedad inicial mayor que la variedad Laura en aproximadamente 1.5%. Esta diferencia puede estar relacionada con las condiciones de almacenamiento, año de cosecha y manejo agronómico en general (Sudarshan *et al.*, 2017; Lui y Stu Atzel, 2002). Respecto a la densidad, los resultados indican que los granos más densos fueron los de la variedad Nutrisol, comparados con la variedad Laura. La densidad del grano de amaranto puede verse afectada por factores de crecimiento de la planta, los tipos de suelo donde fueron cultivados, el clima (temporal o riego), entre otros factores exclusivos del crecimiento y el desarrollo de la planta. Principalmente por las

características de sus gránulos de almidón que son afectadas por estos factores responsables de brindar a los granos características fisicoquímicas únicas, como el contenido de nutrientes, contenido de almidón y el tamaño, forma de sus gránulos, etc. (Sudarshan *et al.*, 2017; Lui y Stu Atzel, 2002). El índice de absorción de agua (IAA – IS-I) y capacidad de hinchamiento (CH – IS II), son parámetros usados como indicadores de la retención del agua en los gránulos de almidón, mientras que el índice de solubilidad indica la degradación de la estructura molecular de los polímeros presentes en el almidón. En cuanto al IAA los resultados indican que entre las variedades estudiadas existió una diferencia significativa. El IAA de la variedad Nutrisol los resultados indicaron que los gránulos de almidón de los granos tuvieron una menor capacidad de retención de agua en comparación con la variedad Laura, con una diferencia de 0.6 g. Este resultado se relaciona con los valores de densidad de los granos, pues la variedad Nutrisol mostró una mayor densidad a comparación de Laura. Algunos investigadores (Hevia *et al.*, 2002; Radosavljevic *et al.*, 1998; Baker y Rayas-Duarte, 1998; Zhao y Whistler, 1994) indican que los granos de amaranto están conformados de un 48 a 69 % de almidón el cual se encuentra en el perisperma y los gránulos de almidón están conformados de un 5 a 8 % de amilosa (tres veces menos que otros granos), y con un porcentaje elevado de amilopectina. Lo que sugiere que se trata de un almidón tipo ceroso o waxy (almidones con alto contenido de amilopectina). Estas características hacen que los granos de amaranto tengan propiedades fisicoquímicas particulares. Los resultados obtenidos eran los esperados pues los gránulos de almidón que presentan daños tienden a registrar un IAA más elevado que los gránulos que no tienen ningún daño (Calzetta-Resio, 1999; Stevens y Elton, 1971), y en el caso específico de la variedad Laura se esperaba que tuviera un mayor IAA en comparación a la variedad Nutrisol, ya que la variedad Laura presentó un comportamiento muy variable, comparado al de la variedad Nutrisol (García y Meza, 2015).

La CH de las harinas de los granos de amaranto, al igual que el IAA muestran una diferencia significativa entre variedades y que a su vez concuerda con los resultados del IS. La variedad Nutrisol mostró una mayor capacidad de hinchamiento de las partículas de harina en relación con la variedad Laura, con una diferencia de 1.15g entre las variedades. Este efecto pudo ser debido al predominio del contenido de amilopectina en los gránulos de almidón de los granos de amaranto. Pues a mayor contenido de amilopectina, mayor es la capacidad de hinchamiento de los gránulos de almidón y a menor contenido de amilosa menor es su IS (Lara-Valdez, 1999). El índice de solubilidad depende del contenido amilosa en los granos, este componente es el que se solubiliza con mayor facilidad en el almidón (Paredes López *et al.*, 1989).

Tabla 5. Características físicas de los granos (Nutrisol y Laura).

Característica	Nutrisol	Laura
Humedad inicial (%)	10.87 ± 0.01	9.29 ± 0.01
Densidad inicial (g/cm^3)	1.35 ± 0.006	1.1 ± 0.006
Índice de Absorción de Agua (g)	2.54 ± 0.04 B	3.14 ± 0.04 A
Índice de Solubilidad I (%)	10.72 ± 0.47 B	12.60 ± 0.47 A
Capacidad de Hinchamiento (g)	3.91 ± 0.21 A	2.76 ± 0.21 B
Índice de Solubilidad II (%)	44.33 ± 2.35 B	53.24 ± 2.35 A
pH	6.82 ± 0.006 B	7.18 ± 0.006 A
Cenizas (%)	2.60 ± 0.24 A	2.88 ± 0.24 A
Peso de mil granos (g)	0.76 ± 0.01 A	0.51 ± 0.01 B

*Todos los valores corresponden a promedios de cinco mediciones ± error estándar.

Medias con la misma letra en hileras no son significativamente diferentes.

En cuanto al pH, las variedades mostraron una diferencia significativa de 0.36% entre sí. El grano de la variedad Nutrisol tuvo un pH menor que el de la variedad Laura. Este resultado se correlaciona con los obtenidos en los IS. Pues en cuanto a la harina de amaranto, puede indicar que tan solubles y cuál es su viscosidad relativa ya que a un pH máximo de 10 y mínimos de 4, la solubilidad de la proteína es alta y su viscosidad relativa se ve más elevada (Mahajan y Dua 2002). Del mismo modo las diferencias de los resultados encontrados en cada variedad pueden deberse al manejo del cultivo.

El contenido de cenizas en las variedades de granos de amaranto estudiadas no tuvo una diferencia significativa entre cada una. Sin embargo, los resultados obtenidos basándonos en que el contenido mínimo de cenizas según el INEN (2012), indica que se debe encontrar por encima de un 3%. En las variedades analizadas podemos observar que tanto la variedad Laura como la variedad Nutrisol se encuentran por debajo del rango establecido. Sin embargo, su contenido de cenizas es más elevado en comparación con otros granos ya que según Betschart (1981), tiene un mayor contenido de calcio, magnesio, zinc y hierro que otras harinas, sobre todo con las harinas de trigo.

Respecto al peso de mil granos, las mostraron una diferencia significativa en el peso promedio de 0.25g. Presentando los valores más altos la variedad Nutrisol en comparación con la variedad Laura. El peso de los granos depende del ambiente de producción, entre mayor peso tengan los granos, significa que el ambiente de fue el idóneo para la variedad (Pérez-Mendoza *et al.*, 2006).

3.3.2 Variaciones en la densidad del grano a diferentes humedades.

Después del ajuste de humedad se determinó nuevamente la densidad de los granos con el fin de verificar una posible modificación en la densidad causada por la adición de agua al grano. El efecto de los contenidos de humedad fue significativo en las densidades de los granos (Figura 4). En la variedad Laura, la densidad incrementó 0.22 g/cm³ al ajustar su humedad de 9 a 11% y 0.1 g/cm³

al ajustar de 9 a 13%. En la variedad Nutrisol no varió significativamente la densidad al justar su contenido de humedad.

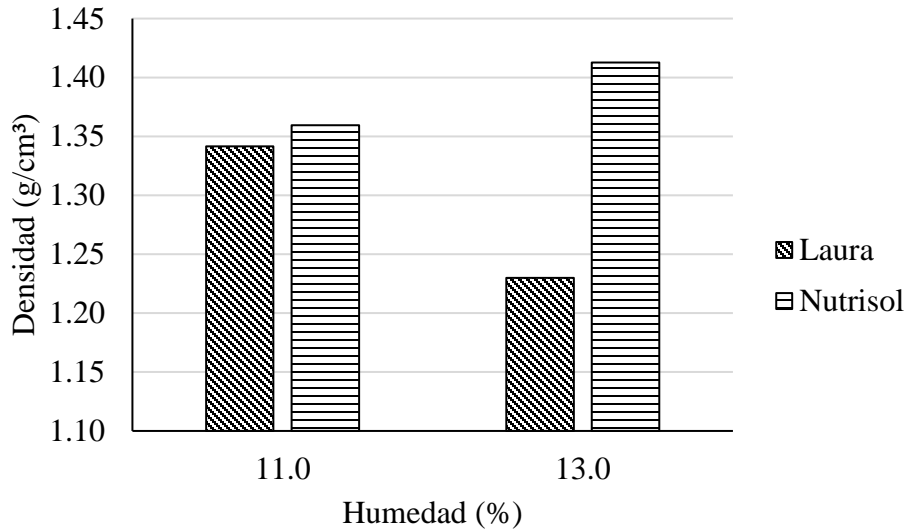


Figura 4. Efecto de la humedad respecto a la densidad de los granos de amaranto (variedad Laura y Nutrisol).

Según García y Vázquez (2016), la dureza del grano presenta una relación directa con la densidad. La dureza es un indicador de la composición del endospermo. La unión estructural entre la proteína y los gránulos de almidón hace completamente duro al grano y en comparación con otros granos. El endospermo del grano de amaranto está constituido por el 35 % de proteína total del grano y la cáscara más el germen forman el 65 % del 100 % de la proteína del amaranto (Bressani, 1988). La densidad de diversas semillas y granos decrecen conforme aumenta la humedad, tales como semilla de Guna, Okra, cacao, granos de amaranto, lentejas, maíz palomero, entre otros. García y Vázquez (2016), también encontraron que durante el ajuste de humedad algunos granos y semillas llegan a un punto máximo dónde aumenta y después decrece. Este mismo patrón se encontró en los granos de la variedad Laura durante el estudio. Con un ajuste de humedad de 11 % la densidad

aumentó, llegando a un punto máximo y al ajustar el grano de amaranto su densidad decreció considerablemente. Este efecto puede deberse que la densidad decrece en semillas completas, mientras que ésta se incrementa en semillas sin tegumento, cuando se incrementa la humedad (Rojas, 2010; Suthar y Das, 1996).

En la Tabla 6 se enlista el valor de IF y los diferentes porcentajes de granos flotantes entre cada una de las humedades evaluadas. Se encontró una diferencia significativa de aproximadamente 63.09 unidades de porcentaje entre variedades. Los granos de la variedad Nutrisol fueron más densos comparados con la variedad Laura, ya que se tuvo un menor porcentaje de granos flotantes. Respecto a la variable humedad, también se observó una diferencia significativa entre variedades.

Tabla 6. Índice de flotación por variedad y contenido de humedad de los granos de amaranto.

Variedad	Índice de Flotación (%)
Laura	92.00 ± 2.86 A
Nutrisol	28.91 ± 2.86 B
Humedad	Índice de Flotación
(%)	(%)
11	58.72 ± 2.15 B
13	62.19 ± 2.15 A

*Todos los valores corresponden a promedios de cinco mediciones ± error estándar. Medias con la misma letra en hilera no son significativamente diferentes.

En la comparación de variedades y humedades, los resultados obtenidos indicaron que con mayor contenido de humedad los granos flotan más para el caso de la variedad Laura ya que a una humedad de 13% la cantidad de granos flotantes es mayor (94.94%) en comparación con una humedad de 11% (89.05). A mayor cantidad de agua adicionada, la humedad aumentó y en consecuencia el índice de flotación aumentó (Figura 5). El efecto de la humedad se relaciona con la densidad de los granos. Entre menos densidad tenga el grano, más será su IF (CIMMYT, 2016). Lo que confirma los resultados observados en la variedad Laura, pues entre más agua se agregó su densidad decreció. Para la variedad Nutrisol la humedad no tuvo efecto significativo.

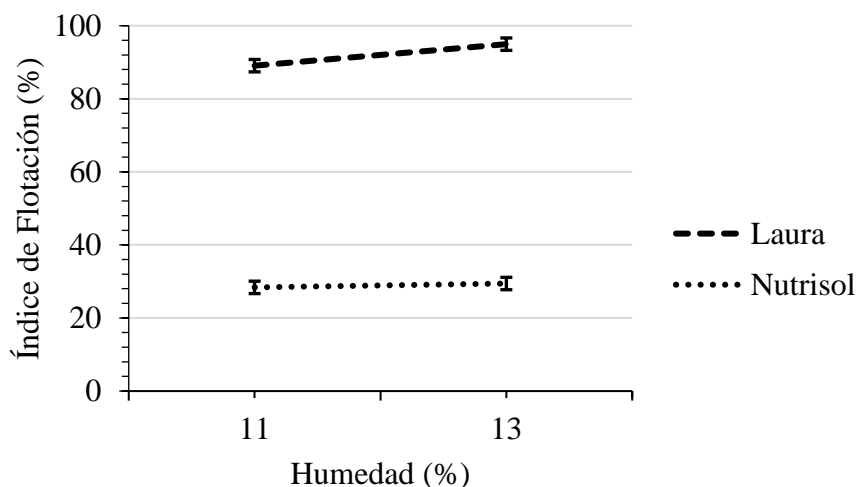


Figura 5. Relación de la humedad con las variedades de amaranto.

3.3.3 Efecto de los solutos

La comparación entre solutos (nitrato de sodio y azúcar refinada) utilizados para preparar la solución requerida para el proceso de separación de los granos por medio del índice de flotación los resultados indicaron que no hubo diferencia significativa entre variedades (Tabla 7). La sustitución de nitrato de sodio por azúcar refinada ya ha sido estudiada y es una técnica utilizada para determinar la dureza del grano de maíz (CIMMYT, 2016). Esto es, la cantidad de granos flotantes en una solución con densidad de 1.3 g/cm³ no se modificó significativamente entre los

dos solutos. Esto representa ventajas al sustituir nitrato de sodio con azúcar refinada que van desde la reducción de costo del reactivo hasta la disminución en la generación de desechos químicos de laboratorio. Adicionalmente esto hace posible implementar este análisis en condiciones de campo o de bodega de almacenamiento.

Tabla 7. Porcentajes de granos flotantes en diferentes solutos.

Soluto	Índice de Flotación (%)
Azúcar	$60.52 \pm 2.16 A$
Nitrato	$60.38 \pm 2.16 A$

*± error estándar. Medias con la misma letra en

hilera no son significativamente diferentes.

En cuanto a la comparación de variedad y tipo de soluto, no se encontró interacción entre estos factores. Solo se encontró una diferencia significativa entre las variedades (Figura 6), pero no entre el porcentaje de granos flotantes en los diferentes solutos. Para la variedad Laura los granos flotantes en las dos soluciones no presentaron una diferencia significativa ya que los granos flotantes se aproximan (Nitrato: 90.05%, Azúcar: 93.94%). Para el caso de la variedad Nutrisol, los resultados estadísticos tampoco presentaron una diferencia significativa entre cada una de las soluciones (Nitrato: 30.72%, Azúcar: 27.11%).

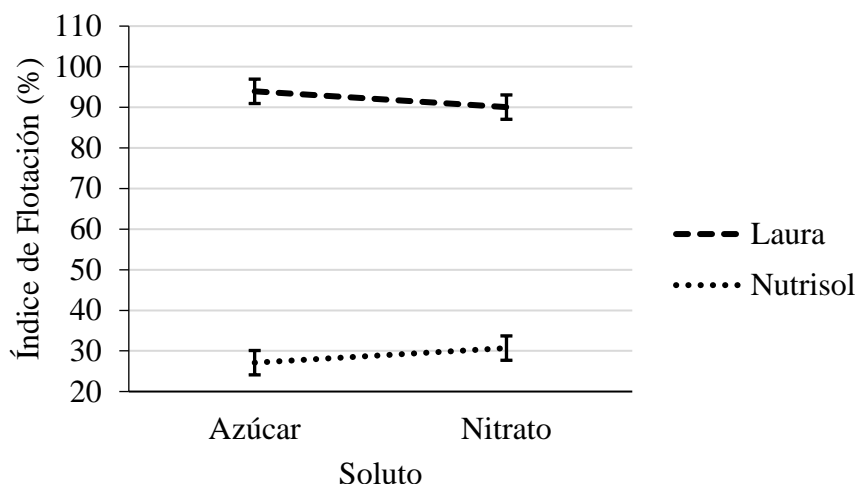


Figura 6. Granos flotantes en las diferentes soluciones.

Basado en la metodología de la norma mexicana NMX-FF-034/1-SCFI-2002, el índice de flotación es una técnica para determinar la dureza de los granos de maíz y posteriormente seleccionar el destino de estos para determinados usos. El principio de la técnica se basa en la densidad de los granos con respecto a la densidad de la solución de nitrato o azúcar, por lo que entre más denso (duro) sea el grano menor será el valor de índice de flotación (CIMMYT, 2016). Esto nos sugiere que los granos de la variedad Laura, son granos ligeros por lo tanto el índice de flotación es más elevado, mientras que la variedad de Nutrisol, presentó granos más pesados, con un menor índice de granos flotantes.

3.3.4 Elección de una densidad óptima para la solución utilizada en el índice de flotación del amaranto

Para realizar las pruebas experimentales de índice de flotación se seleccionaron tres densidades: 1.25 g/cm³, 1.30 g/cm³ y 1.35 g/cm³. En cuanto a la selección de la densidad óptima los resultados de IF mostraron diferencias significativas entre las densidades 1.25 y 1.3 g/cm³. Sin embargo, entre las densidades 1.3 y 1.35 g/cm³ la diferencia no fue significativa (Tabla 8).

Tabla 8. Resultado de índice de flotación en diferentes densidades.

Densidad de soluto (g/cm^3)	Granos flotantes (%)
1.25	58.12 ± 2.28 B
1.3	60.16 ± 2.28 BA
1.35	63.08 ± 2.28 A

* \pm Error estándar. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Para el caso de la variedad Laura, el IF medido con una densidad de 1.25 g/cm³ presenta diferencia significativa en comparación con el medido en densidades 1.30 y 1.35 g/cm³. El IF medido en estas dos últimas densidades no presentó diferencia significativa. Para la variedad Nutrisol el IF medido en las densidades utilizadas (1.25, 1.30 y 1.35 g/cm³) no tuvieron diferencias significativas. En general, se observaron diferencias en el IF en ambas variedades. Este comportamiento tiene relación con las características particulares de las variedades de amaranto, tanto físicas y químicas, así como agronómicas.

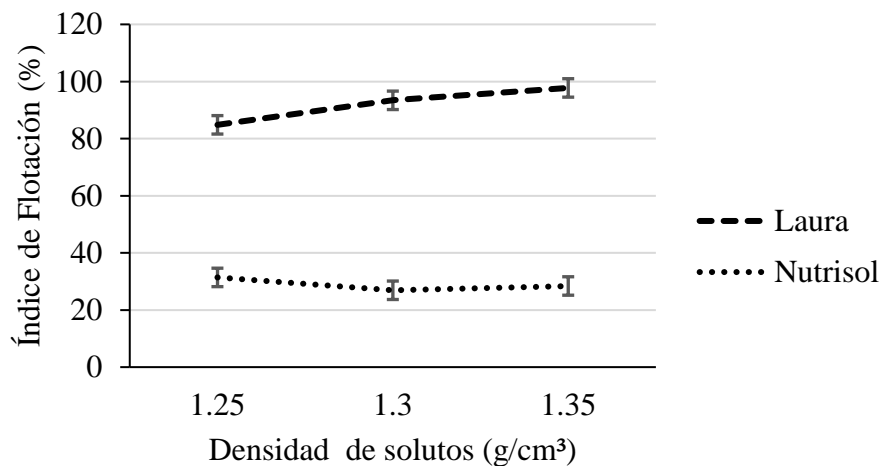


Figura 7. Comportamiento de las muestras y las diferentes densidades ajustadas.

3.4 CONCLUSIONES

Las variedades de amaranto (Laura y Nutrisol) mostraron diferentes valores en IAA, CH, IS, pH y densidad. La variedad Nutrisol presentó granos más grandes y homogéneos. La variedad Laura presentó un tamaño de grano más pequeño y heterogéneo. La implementación de la técnica de índice de flotación con azúcar como soluto para la selección de grano fue viable y representa una alternativa útil y económica para la clasificación del grano de amaranto por densidad. El contenido de humedad del grano tuvo efecto en la densidad y en el IF. La solución con densidad de 1.3 g/cm^3 fue adecuada para la determinación del IF en amaranto. El IF puede ser una herramienta útil para la evaluación de la calidad y selección de granos de amaranto para diferentes usos en la industria de alimentos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), al Colegio de Postgraduados Campus Córdoba y Puebla, y a la LGAC2: Innovación y Desarrollo de Procesos Agroalimentarios para el Bienestar Social de la Maestría en Innovación Agroalimentaria Sustentable.

3.5 REFERENCIAS

Baker, L.A. y P. Rayas-Duarte. (1998). Retrogradation of amaranth starch at different storage temperatures and the effects of salt and sugar. *Cereal Chem.* Vol. 75(3). P: 308-314.

Betschart, A. A., Irving, D. W., Shepherd A. D. *et al.* (1981) *Amaranthus cruentus*: milling characteristics, distribution of nutrients within seed components and the effects of temperature on nutritional quality. *J Food Sci* 46:1181–1187.

Brenner, D. M., Baltensperger, D. D., KulaKow, P. A., Lehmann, J. W., Myers, R.L., Slabbert, M. M. y Sleugh, B. B. (2000). Genetic resources and breeding of amaranthus. *Plant breeding reviews*, Vol. 19 ISBN 0-471-38787-8. Iowa, E.U.A. P. 227-285.

Bressani, R. (1988). Las proteínas del grano de amaranto. Investigaciones recientes sobre amaranto. Primera edición. UNAM. ISBN 968-837-420-2. México, D.F. P. 25-44.

Calzetta-Resio, A.N. (1999). Almidón de amaranto: Obtención y evaluación de sus características fisicoquímicas. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.

Disponible en línea en:
http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_3242_CalzettaResio.pdf, consultado:
noviembre 05, 2017.

CIMMYT. (2016). Calidad de Grano para Técnicos Postcosecha. Laboratorio de Calidad Nutricional de Maíz. México D.F. P. 52.

García, P. H., y Meza, V. R. (2015). Evaluación de variedades mejoradas y reventado del grano de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus L.*) en tres localidades de Puebla. Secretaria de Educación Pública Tecnológico Nacional de México: Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala. Xocoyucan, Tlaxcala. P. 134.

García, J. A., y Vázquez, C. L. (2016). Masa y harina de maíz nixtamalizado. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Vol. 1, No. 2. Iztapalapa, México. P. 78-82.

Hevia H., F, Berti D., M., Wilckens E., R., y Yévenesl, C. (2002). Contenido de proteína y algunas características del almidón en semillas de amaranto (*Amaranthus spp.*) cultivado en chillan, Chile. *Agro sur*, vol.30, no.1, p.24-31. ISSN 0304-8802.

Kempthorne, O. (1975). *The Design and Analysis of Experiments*. 2nd Ed. Robert E. Krieger Publishing Company. New York, E.U.A. P. 631.

Lara-Valdez, N. V. (1999). Estudio del efecto de la expansión por aire caliente en las propiedades físico-químicas, nutricionales y sensoriales de las semillas de amaranto (*Amaranthus caudatus*). Escuela Politécnica Nacional, Instituto de Investigación Tecnológica. Quito, Ecuador.

Liu, F., y Stützel, H. (2004). Biomass partitioning, specific leaf area and water use efficiency of vegetable amaranth (*Amaranthus spp.*) in response to drought stress. *Scientia Horticulturae*, P. 102 (15-27).

Mahajan, A. y Dua, S. (2002). Salts and pH induced changes in functional properties of amaranth (*Amaranthus tricolor L.*) seed meal. Department of Botany, Panjab University. *Cereal Chemistry Journal*, November/December, Vol. 79, No. 6, Chandigarh, India. P. (834-837). DOI: 10.1094/CCHEM.2002.79.6.834

Mapes-Sánchez, E. C. (2015). Uso de plantas mexicanas: el amaranto. *Academia Mexicana de Ciencias. Revista Ciencia*. Vol. 66. No. 3. P. (8-15).

Matušová, K. (2008). The different utilization of amaranth in industry. Amaranth – Plant for the future, 5th. International Symposium of the European Amaranth Association. Slovak Republic. SBN978-80-89088-70-6. P. (22-26).

Morales-Guerrero, J. C., Vázquez-Mata, N., y Bressani, C. R. (2009). El Amaranto, características físicas, químicas, taxológicas y funcionales y aporte nutricional. Primera Edición. Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubiran. México, D.F.

NMX-FF.034/1-SCFI-2002. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano - cereales – Parte I: Maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado - Especificaciones y métodos de prueba.

NTE INEN 2646. (2012). Granos y Cereales. Grano de Amaranto. Requisitos e Inspección. Primera edición. Registro Oficial No. 743.

Paredes-López, O., Schevenin M.L., Hernández -López, D., Cárabez-Trejo, A. (1989). Amaranth starch-isolation and partial characterization, *Starch/Stärke*. Vol. 41:6. P. 207. Disponible en línea en: <http://dx.doi.org/10.1002/star.19890410602>, consultado: noviembre 15, 2017.

Pérez-Mendoza, C., Hernández, L. A., González, C. F.V., García de los Santos, G., Carballo, A., Vásquez, R. T. R., y Tovar, G. M.R. (2006). Tamaño de semilla y relación con su calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje. *Agricultura Técnica en México* Vol. 32 No. 3. P. (341-352).

RADOSAVLJEVIC, M., Jane, J. y JOHNSON, L.A. (1998). Isolation of amaranth starch by diluted alkaline-protease treatment. *Cereal Chem. The American Association of Cereal Chemists, Inc.* Vol. 72:6. P. 212-216. Disponible en línea en: <http://dx.doi.org/10.1094/CCHEM.1998.75.2.212>, consultado: noviembre 15, 2017.

Rojas-Barahona, A.F. (2010). Caracterización físico-mecánica de la semilla de vitabosa (*Mucuna deeringiana*). Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Facultad de Ciencias

Agropecuarias. Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos. Postgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Medellín, Colombia. P.129.

Ruiz, C. J.A., Medina G., González, A. I.J., Flores, L. H.E., Ramírez, O.G., Ortiz, T., Byerly, M. K.F., y Martínez, P. R.A. (2013). Requerimientos agroecológicos de cultivos. Segunda Edición. Libro Técnico No. 3. INIFAP: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. P. 564.

SAGARPA. (2016). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. En: Boletines, Amaranto, conquista países de América Europa. Disponible en línea en: <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/zacatecas/boletines/Paginas/2016B277M.aspx>, consultado: noviembre 20, 2017.

Serna-Saldivar, S.O. (2012). Cereal grains: Laboratory Reference and Procedures Manual, Food Preservation Technology. CRC Prees, Taylor & Francis Group. ISBN 1439855668, 9781439855669. P. 394.

Stevens, D.J. y Elton, G.A.H. (1971). Thermal properties of the starch -water systems, Staerke, Vol. 23:1, P. 8-11.

Sudarshan-Nadathur, J., Wanasundara, P. D., Scanlin, L. (2017). Sustainable Protein Sources. Editorial Elsevier. P. (239-255; 257-264).

Suthar, S. H., y Das, S. K. (1996). Some physical properties of karingda seeds. Journal of Agricultural Engineering Research. P. 65 (15–22).

Steel, R., y Torrie, J. (1995). Bioestadística. Principios y Procedimientos. México, D.F. Mc Graw-Hill. P. 622.

Tapia-Blácido, D.R., Amaral-Sobral, P.J. y Menegalli, F.C. (2013). Effect of drying conditions and plasticizer type on some physical and mechanical properties of amaranth flour films. LWT - Food Science and Technology. P. 392-400. DOI: 10.1016/j.lwt.2012.09.008.

Venskutonis, P. R. y Kraujalis, P. (2013). Nutritional components of amaranth seeds and vegetables: a review on composition, properties, and uses. Institute of Food Technologists. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, Vol. 12, No. 4. Chicago, E.U.A. P. (381-412).

Zhao, J., y Whistler, L., (1994). Isolation and characterization of starch from amaranth flour. Cereal Chem. Vol. 71(4). P: 392-393.

**CAPITULO IV. CALIDAD DE REVENTADO POR AIRE CALIENTE Y MICROONDAS
DE DOS VARIEDADES DE AMARANTO CON DIFERENTE DENSIDAD DE GRANO**

Doris Nuñez-Limón¹, Luis Arturo Bello Pérez³, Enrique Ortiz-Torres², Mirna López-Espíndola¹, Josafhat Salinas-Ruiz¹, José Andrés Herrera-Corredor^{1*}

¹Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba, Postgrado en Innovación Agroalimentaria Sustentable. Km 348 Carretera Córdoba-Veracruz. 94946, Amatlán de los Reyes, Veracruz. México, C.P. 94946

²Colegio de Postgraduados, Campus Puebla. Km. 125.5 Carretera Federal México-Puebla (actualmente Boulevard Forjadores de Puebla), C.P. 72760, Puebla, Puebla, México.

³Centro de Desarrollo de Productos Bióticos – Instituto Politécnico Nacional. Carretera Yautepec-Jojutla, Km. 6, calle CEPROBI No. 8, Col. San Isidro, Yautepec, Morelos, México. C.P. 62731.

* Autor de correspondencia: Dr. José Andrés Herrera Corredor

e-mail: jandreshc@colpos.mx

Teléfono: 52 (271) 716-6000

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad de reventado de dos variedades de amaranto (Laura y Nutrisol), clasificadas por medio de Índice de Flotación (IF) y el efecto del contenido de almidón, proteína de los granos de amaranto y las propiedades de la formación de pasta (pasting). Se determinó el contenido de almidón total, proteína y pasting, y se compararon dos métodos de reventado (aire caliente y microondas). Las variedades no arrojaron diferencias significativas en el contenido de almidón total. La variedad Nutrisol tuvo un 16% de proteína, Laura un 12%. El contenido de almidón y proteína tuvieron un efecto en la capacidad de reventado. Las propiedades de pasta mostraron que la variedad Nutrisol es más estable que la variedad Laura. Los métodos de reventado tuvieron una diferencia significativa. El reventado por aire caliente mostró mayor capacidad de reventado respecto al reventado por microondas. La variedad Nutrisol resulto tener mayor capacidad de reventado. Las características fisicoquímicas del grano juegan un papel importante en la calidad de reventado.

PALABRAS CLAVE: Amaranto, almidón, proteína, propiedades de pasta, calidad de reventado.

ABSTRACT

The objective of this investigation was to evaluate the popping quality of two varieties of amaranth (Laura and Nutrisol), classified by means of Flotation Index (IF) and the effect of starch content, protein of amaranth grains and the properties of the formation of pasta (pasting). The content of total starch, protein and pasting was determined, and two methods of burst (hot air and microwaves) were compared. The varieties did not show significant differences in the total starch content. The Nutrisol variety had 16% protein, Laura 12%. The content of starch and protein had an effect on the trapping capacity. The pasta properties showed that the Nutrisol variety is more stable than the Laura variety. The methods of burst had a significant difference. The hot air burst proved to have a higher bursting capacity compared to microwave bursting. The Nutrisol variety turned out to have a greater capacity for burst. The physicochemical characteristics of the grain play an important role in the quality of burst.

KEY WORDS: Amaranth, starch, protein, pasta properties, burst quality.

4.1 INTRODUCCIÓN

Actualmente el desarrollo de productos a base de grano de amaranto se encuentra en una etapa de impulso. El desarrollo de nuevos productos alimenticios se orienta a utilizar materias primas naturales con un alto contenido de nutrientes, particularmente con un alto porcentaje de proteína vegetal. El amaranto es un grano donde se han encontrado diversos beneficios a la salud como antidepresivo, anticancerígeno, prevención la diabetes mellitus, prevención de osteoporosis, reduce niveles de colesterol y triglicéridos, y es un gran aliado para prevenir la obesidad y desnutrición (Silva-Sánchez *et al.*, 2008; Martirosyan *et al.*, 2007). La forma más común de consumo de amaranto es aquella donde el grano se revienta por aire caliente. El grano reventado usualmente se utiliza para la preparación de dulces tradicionales, aunque recientemente se comercializa como ingrediente para la preparación de licuados, cocteles de frutas, desayunos, entre otros. Una de las desventajas de este proceso, es la limitada vida de anaquel del amaranto reventado (1-2 meses) y que tiene relación la rancidez que se genera por la exposición de sus compuestos lipídicos después del proceso de reventado (Mejía-Cárdenas, 2003). Esta rancidez genera rechazo por el consumidor y limita el comercio de este producto a nivel nacional e internacional. Una opción al aire caliente es el horno de microondas para reventar del grano a nivel casero permitiendo extender la vida de anaquel y consumir grano recién reventado. La evaluación de la calidad del reventado por horno de microondas puede permitir identificar el potencial de este horno para el reventado de amaranto, así como las condiciones del grano que se requieran para implementar este proceso en el desarrollo de nuevos productos de amaranto.

Los beneficios del consumo de amaranto están en relación con su composición, pero principalmente a su contenido de proteína vegetal, ya que su porcentaje se compara favorablemente con granos de consumo básico tales como trigo, maíz, frijol y arroz. Basándose en

los patrones establecidos por la FAO y la OMS, los granos de amaranto son un alimento con un elevado valor alimenticio para el ser humano gracias que cuenta con 8 de los 10 aminoácidos esenciales que necesitamos en nuestro día a día (FAO/OMS, 1973).

Actualmente el grano de amaranto es sometido a distintos procesamientos para la elaboración de productos que van desde dulces, hasta pastas, frituras, confitería etc. Sin embargo, para el procesamiento y consumo de este grano el amaranto debe de ser sometido a un tratamiento térmico con una superficie caliente o en cámaras con aire a temperaturas altas con el objetivo de inactivar algunos agentes anti nutricionales que dificultan la asimilación de la proteína en el ser humano (Barrales-Domínguez, 1998). Los granos de amaranto sometidos a este tratamiento forman pequeños granos reventados equivalentes a las rosetas de maíz. El proceso ocasiona que el agua en la matriz de almidón del grano se caliente hasta evaporarse, el vapor llena los poros de los granos de almidón, lo cual incrementa la temperatura y la presión interna lo que hace que crezca el pericarpio hasta el punto reventado. En este proceso los granos de almidón se disuelven y los poros se expanden; después con la ruptura de pericarpio y la salida de vapor el almidón se solidifica y resulta en una matriz esponjosa (Morales et al., 2014; Castro-Giraldez *et al.*, 2012; Cangás-Realpe, 2004).

El proceso de reventado no solo es importante para el consumo humano, sino también es de carácter muy importante para la industria del amaranto. Los granos de amaranto deben de cumplir con la calidad de reventado. La calidad de reventado se puede describir cómo la capacidad de reventado de los granos de amaranto. El reventado de amaranto causa un aumento del volumen del grano cuando se somete a altas temperaturas (método artesanal con comal de metal o barro y por aire caliente (lecho fluidizado). La calidad del reventado es afectada principalmente por tres factores. Uno es el ambiente de cultivo, otro por la presencia de perispermo en la semilla que está

formado por moléculas de almidón y por la influencia del contenido de humedad de los granos (Barrales-Domínguez, 1998).

El objetivo de la investigación fue comparar la calidad de reventado por aire caliente con el reventado por horno de microondas en dos variedades de amaranto con diferencias en su densidad y el impacto de la densidad del grano en la calidad de reventado en términos de rendimiento.

4.2 MATERIALES Y MÉTODOS

4.2.1 Variedades de amaranto

Las variedades de amaranto Laura y Nutrisol que fueron utilizadas en esta investigación pertenecen a la especie de *Amaranthus hypochondriacus* (conocida también como *Amaranthus leucocarpus* S, Wats y *Amaranthus flavus*). La variedad Laura fue generada en el Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala (ITAT), y se cosechó en el año 2015 en el mismo estado. La variedad Nutrisol registrada por el Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), fue tomada de un lote de producción comercial en el municipio de Calpan, Puebla en el año 2016.

4.2.2 Análisis

Los análisis fisicoquímicos se llevaron a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Análisis de Carbohidratos del Centro de Productos Bióticos – Instituto Politécnico Nacional ubicado en San Isidro, Morelos y las pruebas de reventado en las instalaciones del Colegio de Postgraduados Campus Puebla, ubicado en la Ciudad de Puebla.

Para realizar las pruebas de reventado las muestras utilizadas fueron en granos entero. Los granos fueron sometidos al método (tratamiento) de selección de grano por medio de Índice de Flotación (IF) con 5 repeticiones y posteriormente se llevaron a cabo las pruebas de reventado. Así mismo,

las muestras utilizadas en los análisis fisicoquímicos fueron sometidas al método de selección de grano. Luego de la selección cada muestra fue pulverizada hasta obtener una harina fina y se llevaron a cabo los análisis fisicoquímicos. La estrategia de análisis se presenta en la Figura 8.

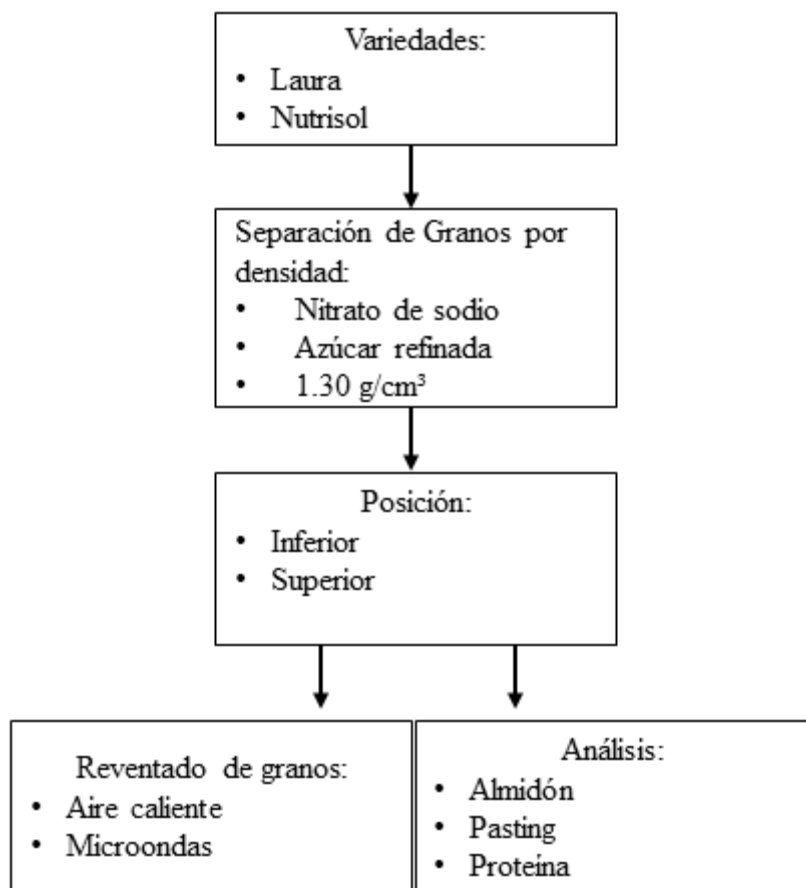


Figura 8. Diagrama de flujo de la metodología de investigación.

4.2.3 Caracterización de los granos de amaranto

4.2.3.1 Determinación de humedad

Después de la clasificación de los granos de amaranto se comprobó el contenido de humedad de las muestras para verificar que se encontraran a una humedad óptima para realizar las pruebas de reventado. El contenido de humedad de los granos de amaranto se determinó mediante el método

establecido por Zapotocizn (2006), sometiendo los granos enteros a una temperatura de 130 °C durante 2 horas. Se pesaron 2 gramos de muestra en charolas de aluminio desechable. Previamente las charolas de aluminio fueron sometidas a peso constante en el horno de secado Terlab (TE-H80DM), y pesadas en la balanza analítica con precisión de 0.01 MG (Ohaus Pioneer, PA 214C). Las charolas de aluminio se colocaron dentro del horno de secado a 130 °C durante 2 horas, pasando el tiempo se enfriaron en un desecador de cristal (Kimax®) durante 30 minutos y se procedió a registrar los pesos y realizar las siguientes operaciones. Posteriormente las muestras obtenidas de la clasificación se molieron y se comprobó la humedad de las harinas obtenidas. Esta determinación se tomó como una medida preliminar ya que los resultados son importantes para los posteriores análisis que se realizaron. La humedad de los granos de amaranto se determinó bajo la norma NMX-F-083-1986 (Determinación de humedad en productos alimenticios). Las muestras fueron sometidas a una temperatura de 105 °C durante 5 horas. Se pesaron 5 gramos de muestra en charolas de aluminio desechable. Previamente las charolas de aluminio fueron sometidas a peso constante en el horno de secado Terlab (TE-H80DM), y pesadas en la balanza analítica con precisión de 0.01 MG (Ohaus Pioneer, PA 214C). Las muestras se colocaron dentro del horno de secado a 105 °C durante 5 horas, pasando el tiempo se enfriaron en un desecador de cristal (Kimax®) durante 30 minutos y se procedió a registrar los pesos y realizar la siguiente operación:

$$\% \text{ Humedad} = (\text{Peso de agua evaporada} / \text{Muestra}) \times 100$$

4.2.3.2 Almidón total por MEGAZYME® (Amiloglucosidasa/ α -Amilasa)

La determinación de almidón total se llevó a cabo por medio del procedimiento de ensayo K-TSTA-50^a/K-TSTA-100^a 06/17 descrito por la AOAC 996.11 y AACC 76-13.01 (y mejoras). Se pesaron 100 miligramos de harina de los granos de amaranto y se colocaron en un tubo de centrífuga (por duplicado). Así mismo, se pesaron 100 miligramos de almidón al 93% (kit) para

control (por duplicado). Ya que la muestra era harina obtenida de los granos de amaranto sometidos al proceso de separación por medio de IF, las muestras se “lavaron” agregando 5 mililitros de etanol a 80%. Dicho paso se realizó para evitar que otros componentes (como los azúcares) intervinieran en los resultados del análisis. Los tubos con la muestra y el etanol al 80% se agitaron en un vortex (Ika® VORTEX 1- 4049200) durante 20 segundos, posteriormente se colocaron dentro de una centrífuga (Hermle LaborTechnik GmbH® - Z 383 K Universal High speed centrifuge) a 1800 G por 10 min. Una vez terminado el tiempo de la centrífuga se retiró cuidadosamente el etanol y se realizó un segundo enjuague siguiendo los mismos pasos. Una vez enjuagada la muestra se colocan agitadores magnéticos (5x15mm) dentro de los tubos y se agregan 2 mL de KOH 2M (preparado al momento) a cada tubo, posteriormente se agitó por 20 minutos a 4°C (los tubos se adaptaron dentro de vasos de precipitado con agua a una temperatura de 4° C y se colocaron sobre agitadoras magnéticas (Thermo Scientific® SP142020-33Q). Una vez pasado el tiempo establecido se agregaron 8 mL de regulador de acetato de sodio 1.2M a un pH de 3.8 a cada tubo (con agitación inmediata), y se agregaron 0.1 mL de α -Amilasa (kit-Bote 1) y 0.1 mL de amilogucosidasa (kit-Bote 2). Se mezcló perfectamente y se colocaron los tubos en un baño maría a 50°C durante 35 minutos con agitación intermitente. Posteriormente el contenido de los tubos se aforó a 100 mL y se tomó una alícuota de 10 mL colocándola dentro de tubos de centrifugación de 50 mL. Nuevamente los tubos se llevaron a la centrífuga a 1800 G por 10 minutos. Una vez pasado el tiempo se tomaron 0.05 mL del sobrenadante de los tubos y se colocaron en tubos de vidrio, se le agregan 1.5 mL de GO POD (Kit). Del mismo modo se realizó un patrón de glucosa (0.05 mL de glucosa (kit) más 1.5 mL de GO POD) y un blanco (0.05 mL de agua destilada más 1.5 mL de GO POD), cada uno por duplicado. Todas las muestras (incluyendo el almidón al 93%, el patrón y la glucosa) se llevaron nuevamente a baño maría (para reacción de

GO POD) a 50 °C durante 20 minutos. Pasado el tiempo las muestras se leyeron en un espectrofotómetro (Spectronic ® Genesys 5 Spectrophotometer) a una absorbancia de 510 nm. Posteriormente se realizan los cálculos necesarios, tomando en cuenta los datos obtenidos de la lectura de la muestra del blanco, glucosa (estándar) y almidón al 93%. (Ver Anexo)

4.2.3.3 Análisis de Proteínas

El análisis de proteína se realizó mediante el sistema kjedahl básico Büchi® con sistema de extracción Büchi® Scrubber (B-414). Se tomó 1 gramo de muestra y se colocó dentro de los tubos del equipo Kjehahl. Del mismo modo se pesaron 10 gramos de sulfato de potasio, 1 gramo de sulfato cúprico (para cada tubo) y se colocaron dentro del tubo, agregando finalmente a la muestra 15 mL de ácido sulfúrico concentrado. Una vez preparadas las muestras se colocaron en el equipo de digestión Büchi® (Unit K-424) y se encendió. Las muestras se mantuvieron en el equipo hasta que dejaron de soltar gases y no tenían residuos. Así mismo se tornaron a una coloración turquesa muy claro. Posteriormente se apagó el equipo, dejando enfriar las muestras y se le agregan 70 mL de hidróxido de sodio al 32%. Las muestras con el hidróxido de sodio se colocaron en el equipo de destilación Büchi® (Unit K-350) del mismo modo, en la salida del equipo de destilación se colocó un matraz con 50 mL de ácido bórico al 4 % y a este reactivo se le agregaron 10 gotas de indicador Wesslow, a continuación, se encendió el equipo e inicio el destilado en un tiempo establecido de 5 minutos. En seguida se retiró el matraz con el ácido bórico y se realizó la titulación con ácido clorhídrico 0.1 N hasta obtener un cambio de coloración. Se registraron los mililitros de ácido bórico gastado y se realizaron los cálculos pertinentes. (Ver Anexo)

4.2.3.4 Análisis Rápido de Viscosidad (ARV)

Las propiedades de formación de pasta fueron analizadas usando el equipo ARV (RVA-4, Newport Scientific, Sydney, Australia). Se preparó una suspensión de la harina al 12% p/p, se pesaron de

3.35 g a 3.9 g de la harina de amaranto, las muestras fueron colocadas en tubos de centrífuga y se agregaron 26 mL de agua destilada aproximadamente a cada tubo. La suspensión de harina se mezcló perfectamente y se colocó dentro del recipiente del equipo ARV; se encendió el equipo y la suspensión fue equilibrada a 30 °C por un minuto y calentada a una velocidad de 6 °C por minuto hasta llegar a los 95 °C. Posteriormente se mantuvo a esa temperatura por 5.5 minutos, pasando el tiempo se enfrió hasta los 50 °C a una velocidad de 6.6 °C por minuto. La velocidad de rotación utilizada fue de 160 rpm durante todo el análisis.

4.2.3.5 Pruebas de reventado

4.2.3.5.1 Separación de granos por densidad.

Los granos se separaron utilizando dos tipos de solución: azúcar y nitrato de sodio. Se utilizó un litro de cada soluto. La solución de cada soluto fue de 1.3 g/cm³. Para el soluto azúcar se pesaron 1750g de azúcar refinada marca (Zulka®) y se midieron 1050 mL de agua destilada marca (HYCEL®). El azúcar se agregó lentamente al agua destilada (El agua se mantuvo en constante movimiento). La solución de nitrato de sodio (J. T. Baker®) se preparó con el mismo procedimiento. Se pesaron 600 g de nitrato de sodio y se midieron 1000mL de agua destilada. Se pesó 500 g de grano de amaranto y se colocaron en la solución de cada soluto. Se agitó con una varilla de vidrio y se dejó reposar por 2 0 3 minutos hasta que los granos se estabilizaron. Los granos se separaron con una coladera y se clasificaron según su posición en la solución como SUPERIOR (granos que quedaron en la superficie de la solución) e INFERIOR (granos en la parte inferior de la solución). Posteriormente los granos fueron sometidos a un proceso de secado con una centrifuga manual para ensaladas para retirar el exceso de agua y posteriormente se dejaron secar al ambiente por dos días para completar su proceso de secado. Se determinó la humedad para verificar que los granos tuvieran una humedad adecuada para las pruebas de reventado.

4.2.3.5.2 Reventado por lecho fluidizado con aire caliente

Para el reventado se pesaron 15 g de muestra (SUPERIOR e INFERIOR de ambos solutos y ambas variedades). En total fueron 8 muestras con 5 repeticiones (40 muestras). La humedad del grano al momento del reventado fue de 11%. Los granos se procesaron en una reventadora de amaranto de lecho fluidizado con aire caliente a una temperatura entre los 235°C a 240 °C.

4.2.3.5.3 Reventado por microondas

Del mismo modo se pesaron 15 g de muestra (SUPERIOR e INFERIOR de ambos solutos y ambas variedades). En total fueron 8 muestras con 5 repeticiones (40 muestras). La humedad del grano al momento del reventado fue de 11%. Los granos se colocaron en vasos de precipitado de 100 ml y se procesaron por 30 s en un horno de microondas LG® (Mod MS-0745V), a una frecuencia de 2,450 MHz en modo de potencia máxima.

4.2.3.5.4 Rendimiento de reventado

Para obtener los datos el grano sometido al proceso térmico pasó por tres diferentes tamices MONT INOX marca IND REG (tamiz número 8 (abertura libre de tamiz: 0.0937pulgadas, 105.30 mm), 10 (abertura libre de tamiz: 0.0787pulgadas, 80.00 mm) y 16 (abertura libre de tamiz: 0.0468, 539.22 mm)), para determinar las siguientes variables: Peso de grano reventado, peso de grano no reventado, volumen de expansión total de grano reventado, volumen de grano no reventado, volumen de expansión de grano reventado, rendimiento de grano reventado, porcentaje de grano no reventado.

Posteriormente se determinaron los rendimientos por cada número de tamiz (rendimiento de grano reventado grande (Tamiz N°8); rendimiento de grano reventado mediano (Tamiz N°10) y el rendimiento de grano reventado chico (Tamiz N°16) (Ver Anexo).

4.2.4 Análisis estadístico

El análisis de la variable (pruebas de reventado) y factores (variedad, soluto, posición y tipo de reventado) evaluados en esta investigación se realizó bajo el procedimiento de GLIMMIX de SAS (Statistical Analysis System, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. Version 9.4). Un diseño experimental en parcelas sub-subdivididas (Steel y Torrie, 1995; Kempthorne, 1975) fue utilizado como a continuación se describe:

$$\begin{aligned}
 Y_{ijklm} = & \mu + \alpha_i + \beta_j + \mathbf{rep}(\alpha)_{im} + (\alpha\beta)_{ij} + \mathbf{rep}(\alpha\beta)_{mij} + \gamma_k + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} \\
 & + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \tau_l + (\alpha\tau)_{il} + (\beta\tau)_{jl} + (\alpha\beta\tau)_{ijl} + (\gamma\tau)_{kl} + (\alpha\gamma\tau)_{ikl} \\
 & + (\beta\gamma\tau)_{jkl} + (\alpha\beta\gamma\tau)_{ijkl} + e_{ijklm}
 \end{aligned}$$

$$\alpha = \text{Variedad} \quad \beta = \text{Soluto} \quad \gamma = \text{Posición} \quad \tau = \text{Tipo de reventado}$$

Dónde Y_{ijklm} son las pruebas de reventado observadas en la variedad i - soluto j - posición k - tipo de reventado l en la repetición m ; μ es la media general; α_i es el efecto fijo debido a la variedad i ; β_j es el efecto fijo debido al soluto utilizado en la separación; $\mathbf{rep}(\alpha)_{im}$ es el efecto aleatorio de repetición dentro de variedad; $(\alpha\beta)_{ij}$ es el efecto de la interacción entre variedad y el soluto; $\mathbf{rep}(\alpha\beta)_{mij}$ es el efecto aleatorio de la interacción variedad-soluto con repetición; γ_k es el efecto fijo debido a la posición de los granos j ; $(\alpha\gamma)_{ik}$; $(\beta\gamma)_{jk}$; $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$; τ_l es el efecto fijo debido al tipo de reventado (microondas o aire caliente); $(\alpha\tau)_{il}$; $(\beta\tau)_{jl}$; $(\alpha\beta\tau)_{ijl}$; $(\gamma\tau)_{kl}$; $(\alpha\gamma\tau)_{ikl}$; $(\beta\gamma\tau)_{jkl}$; $(\alpha\beta\gamma\tau)_{ijkl}$ como efectos fijos debido a interacción; e_{ijklm} es el error experimental.

Asumiendo $e_{ijklm} \sim N(0, \sigma^2)$, $\mathbf{rep}(\alpha)_{im} \sim N(0, \alpha_{rep(\alpha)}^2)$, y $\mathbf{rep}(\alpha\beta)_{mij} \sim N(0, \alpha_{rep(\alpha\beta)}^2)$.

4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.3.1 Caracterización de las variedades de amaranto

El contenido de humedad no fue significativamente diferente entre variedades tanto para granos como en harinas. Con respecto a las harinas, la variedad Nutrisol presentó resultados en un rango entre un 6.9 a 7.4% de humedad, mientras que la variedad Laura presentó resultados entre los 6.8 a 6.9% de humedad. En cuanto a la humedad en los granos, las variedades tuvieron contenido de humedad de 11 y 11.53% para Laura y Nutrisol respectivamente. A pesar de que el porcentaje de humedad es diferente en grano entero que la harina, tal diferencia fue consistente entre las variedades. El resultado de esta determinación indica que, para las determinaciones del estudio, se partió de una humedad homogénea en los granos.

Tabla 9. Composición química de los granos de amaranto.

Característica	Nutrisol	Laura
Humedad granos (%)	11.53	11
Humedad harina (%)	7.4 ± 0.15 A	6.8 ± 0.15 A
Proteína (%)	16.006 ± 0.14 A	11.95 ± 0.14 B
Almidón total (%)	75.58 ± 3.7 A	76.94 ± 3.7 A

*Todos los valores corresponden a promedios de 3 mediciones, ± error estándar. Las letras en hilera iguales indican que no existe diferencia significativa ($p < 0.05$).

4.3.2 Efecto de la variedad, posición y soluto en el contenido de proteína

Los resultados obtenidos del contenido de proteína en cuanto a la variable variedad, mostraron que hubo una diferencia significativa de 4.05% entre las variedades analizadas. En general el contenido de proteína en los granos de amaranto se reporta entre un 12 – 18 % (Huerta-Ocampo y Barba de

la Rosa, 2012). La variedad Nutrisol es considerada una buena fuente de proteína, con una media de 16 según Hernández, Tujab y Rivera (1988; 1987; 1987), coincidiendo con los resultados obtenidos en esta investigación. En cuanto a la variedad Laura, esta ha sido poco estudiada en cuanto al contenido de proteína. Sin embargo, los resultados de esta investigación coinciden con los resultados de Abdoulamir y Amir (2017), pues en su investigación como resultado de la caracterización de dicha variedad obtuvieron un contenido de proteína del 12%.

Respecto al efecto del soluto en el contenido de proteína (Tabla 9) de las variedades se encontraron diferencias significativas de 1.08% entre solutos, siendo mayor el contenido de proteína cuando los granos se separaron utilizando nitrato de sodio. Los resultados obtenidos son relacionados con el contenido de nitrógeno en el nitrato de sodio (Antón y Lizaso, 2001), ya que al realizar la clasificación los granos se impregnaron de dicha sustancia afectando los resultados obtenidos de las muestras. De este modo los resultados más confiables fueron los obtenidos de las muestras de granos sumergidos en la solución de azúcar, pues este soluto no interfiere en el análisis de proteína.

La interacción variedad y soluto (Figura 9) indicó que la separación con nitrato de sodio afectó en mayor magnitud al contenido de proteína de la variedad Laura, incrementando el resultado en 1.75% mientras que la diferencia en contenido de proteína en la variedad Nutrisol no fue significativamente diferente. Esto puede deberse a que la variedad Laura es un grano más pequeño, variable en sus características químicas, con menor densidad y posiblemente absorbió más nitrato de sodio durante la separación que la variedad Nutrisol.

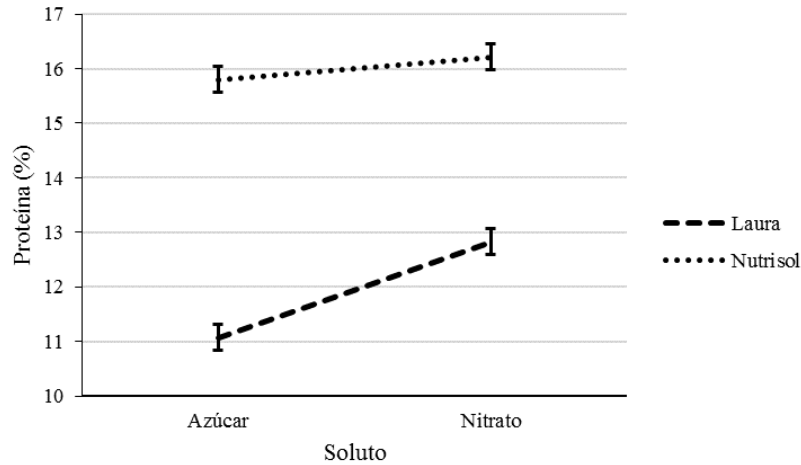


Figura 9. Contenido de proteína respecto al soluto.

En el caso de la variable posición del grano durante la separación, se encontró una diferencia significativa del contenido de proteína entre las dos posiciones (superior e inferior). El efecto de la posición indica que los granos con mayor porcentaje de proteína fueron los de la posición inferior (Figura 10).

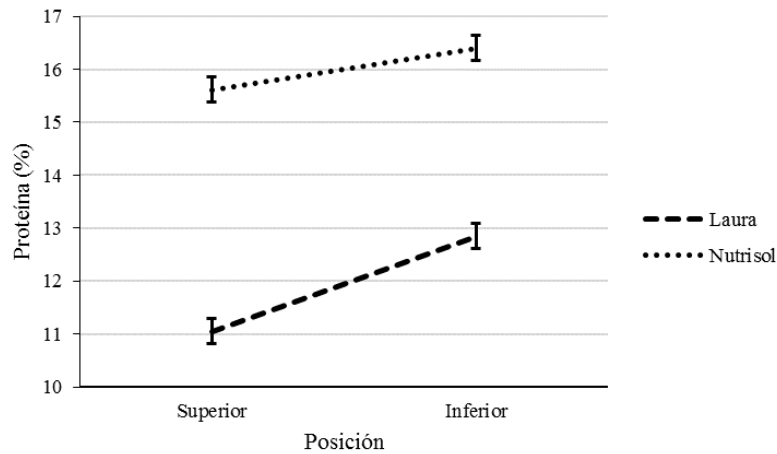


Figura 10. Contenido de proteína respecto a la posición.

Comparando la variedad y posición, las variedades mostraron una diferencia significativa entre variedades. Para la posición los granos con mayor contenido de proteínas fue la variedad Nutrisol

en la posición inferior. Los granos más densos son los que se posicionaron en la parte INFERIOR de la solución. Este puede deberse al contenido de almidón de los granos, pero también al contenido de proteína pues gran parte del contenido de proteína se ubica en el endospermo (35%) y perisperma almidonoso contenido de las sustancias de reserva en granos y semillas (Calzetta-Resio, 1999; Bressani, 1988).

En general, entre solutos (nitrato y azúcar) y posición (SUPERIOR e INFERIOR), se encontró una diferencia significativa en cuanto al contenido de proteína pues la mayor cantidad se muestra en los granos en la posición inferior mientras que los granos en la posición superior es menor el porcentaje (Figura 11). Los resultados anteriores se correlacionan con la densidad de los granos. El contenido de proteína se relacionó con la posición. Los granos con mayor contenido de proteína fueron los más densos, mientras que los granos con menor contenido de proteína fueron los menos densos.

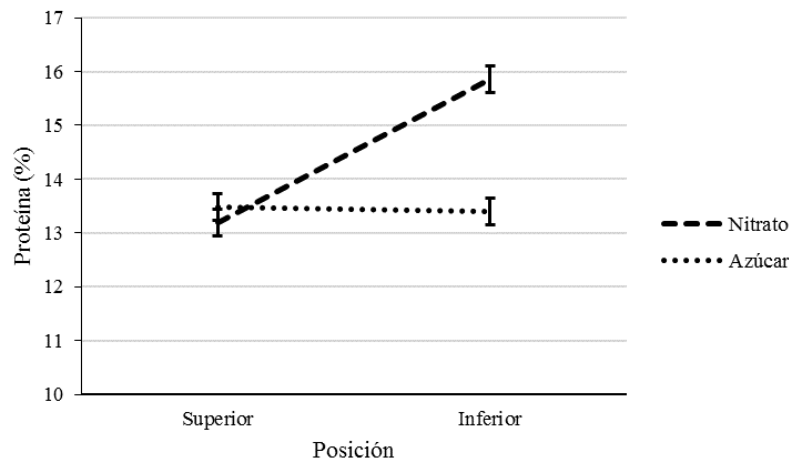


Figura 11. Comparación de la posición y solutos.

4.3.3 Efecto de la variedad, posición y soluto respecto al contenido de almidón total.

El contenido de almidón total en las variedades Nutrisol y Laura no se encontró diferencia significativa (Tabla 9). El general el contenido de almidón total no mostró diferencias

significativas en cada uno de los “factores” (variedad, posición y soluto). No mostró ningún efecto en la calidad del grano.

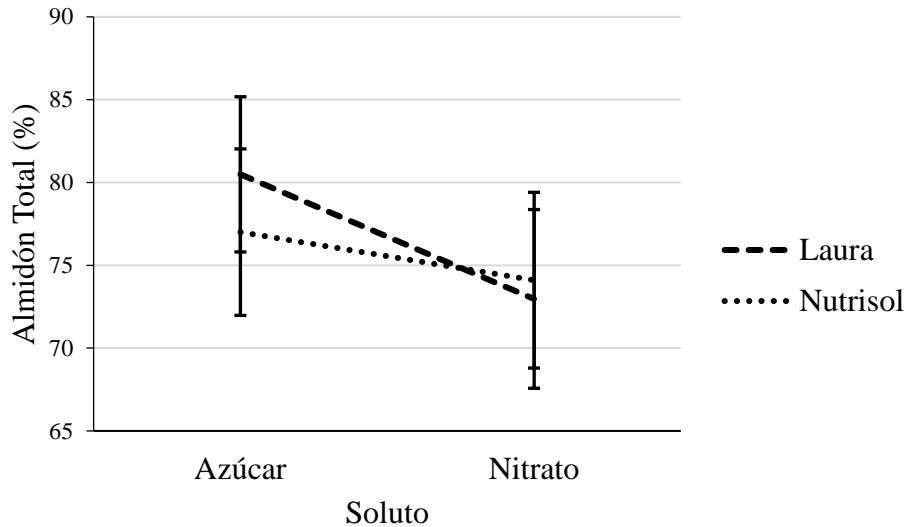


Figura 12. Efecto del soluto y variedad en el contenido de almidón de la variedad Laura y Nutrisol.

4.3.4 Efecto de la variedad, posición y soluto en las propiedades de pasta (Análisis Rápido de la Viscosidad-ARV).

Los valores de viscosidad se muestran en la Tabla 10. Las temperaturas de inicio de gelatinización fueron muy similares para las dos variedades. Sin embargo, el análisis estadístico mostró una diferencia significativa de 0.73. En la variedad Laura la gelatinización inició a una temperatura ligeramente más elevada que la variedad Nutrisol. La gelatinización del almidón depende de su concentración, el tipo de gránulo y su estructura (García-Rodríguez, 2011). El almidón está constituido por amilosa y amilopectina y cada una tiene una función. Las cadenas de amilopectina contribuyen con el hinchamiento de los gránulos de almidón absorbiendo el agua disponible en el medio y las cadenas de amilosa se lixivian en la fase acuosa granular, inhibe el hinchamiento e

incrementan la viscosidad (Tester y Morrison, 1990; Rosell *et al.*, 2007). Los gránulos de almidón del amaranto están conformados de un 5 a 8% de amilosa y un porcentaje elevado de amilopectina (75-99%) (García-Rodríguez, 2011; Hevia *et al.*, 2002; Baker y Rayas-Duarte, 1998; Radosavljevic *et al.*, 1998 y Zhao y Whistler, 1994).

Tabla 10. Propiedades de formación de pasta de almidón de las variedades de amaranto

Laura y Nutrisol.

Variedad	Temperatura inicial de empastado (PT) (°C)	Pico de viscosidad (PV) (mPa.s)	Estabilidad (Breakdown) (mPa.s)	Retrogradación (Setback) (mPa.s)
Laura	73.8 ± 0.06 A	62.24 ± 0.38 B	11.97 ± 0.38 B	10.23 ± 0.5 B
Nutrisol	73.06 ± 0.06 B	69.7 ± 0.38 A	17.38 ± 0.38 A	13.57 ± 0.5 A

*Todos los valores corresponden a promedios de 3 mediciones, ± error estándar. Las letras en hilera iguales indican que no existe diferencia significativa (P<0.05).

Respecto a la temperatura inicial del empastado (PT) los resultados de las muestras sumergidas en los diferentes solutos (nitrato y azúcar), no presentaron una diferencia significativa. Las temperaturas fueron de 73.7 y 73.16°C, para Azúcar y nitrato respectivamente. La diferencia entre los granos de cada soluto fue de apenas 0.5°C. En comparación a las variedades Opa y Trans de la especie *Amaranthus caudatus L.*, las temperaturas son menos elevadas que Nutrisol y Laura (Lui y Stu Atzel, 2002; Sudarshan *et al.*, 2017). Sin embargo, la temperatura a la cual el almidón sufre cambios depende de acuerdo con la fuente almidón y al tamaño de su partícula.

Para la variable posición el comportamiento fue diferente, presentando una diferencia significativa. Los granos de la parte INFERIOR necesitaron más temperatura inicial que los granos de la parte

superior. Esto se refiere a que los granos más densos requieren más temperatura para iniciar la gelatinización. El método de IF se basa en que los granos más densos son los que se encuentran en la parte INFERIOR. Esto depende de las características de sus gránulos de almidón (Lui y Stu Atzel, 2002; Sudarshan et al., 2017).

Respecto al punto de viscosidad (PV) las variedades muestran una diferencia significativa de 7.45 mPa.s. El pico de viscosidad o punto máximo de viscosidad se le llama a la ruptura de los puentes de hidrógeno en las áreas amorfas (amilosa) y la fusión de la amilopectina del granulo de almidón, mediante la aplicación de calor, lo que provoca un hinchamiento de los gránulos de almidón durante el calentamiento (Pardo *et al.*, 2013; Montoyal *et al.*, 2012; Espinoza-Solís, 2008). La variedad Nutrisol presentó una viscosidad de 69.7 mPa.s y la variedad Laura una viscosidad de 62.24 mPa.s.

En cuanto a la variable soluto, los resultados demuestran que si hubo un efecto significativo del soluto. Para el nitrato de sodio se obtuvo una viscosidad de 67.54 mPa.s y para el Azúcar refinada una viscosidad de 64.4 mPa.s. La variable posición también presentó una diferencia significativa, esta fue de 5.001 mPa.s. Los granos de la posición inferior tuvieron una viscosidad de 68.5738 mPa.s y los granos de la posición superior 63.4725 mPa.s. Este resultado se puede relacionar con el contenido de proteína y almidón. El porcentaje de proteínas resultó ser más elevado en las muestras de la posición inferior.

Respecto a la estabilidad del almidón la variedad Nutrisol resulto tener una estabilidad térmica de 17.38 mPa.s y la variedad Laura una estabilidad térmica de 11.97 mPa.s. Lo que indica una diferencia significativa de 5.407 mPa.s. La estabilidad o breakdown se refiere a la rotura y la baja de viscosidad de los gránulos de almidón. Este efecto se debe al rompimiento de los gránulos de almidón hinchados, la disociación de la amilosa y que la solubilización continua (Espinoza-Solís,

2008). Los gránulos de almidón de los granos de la variedad Nutrisol fueron más estables que la variedad Laura. Dicho efecto se pudo ser debido a las características que tienen los granos de la variedad Laura (granos amorfos, almidón tipo ceroso y gránulos de almidón amorfos o dañados).

La variable soluto presentó una diferencia significativa de 1.03 mPa.s. Los granos sumergidos en nitrato presentaron una estabilidad térmica de 15.19 mPa.s y los granos sumergidos en azúcar presentaron una estabilidad térmica de 14.16 mPa.s. Al realizar una comparación del efecto del soluto en cada punto de medición se observó que las muestras separadas con nitrato presentaron diferencias significativas, lo que indica que el nitrato de sodio interfirió en las mediciones realizadas. La variable posición presentó diferencias significativas. Los granos en la posición inferior presentan más estabilidad térmica que los granos de la posición superior. Al igual que la variable soluto, al realizar una comparación con los resultados obtenidos con anterioridad podemos observar que los granos con más viscosidad fueron los más densos.

Retrogradación sucede después de la gelatinización. Las moléculas de almidón se presentan de forma amorfa y gradualmente se asocian nuevamente formando cristales, compuestos por las dobles hélices del almidón. La velocidad de la retrogradación depende de diversos factores como la longitud de las cadenas de amilopectina, concentración de lípidos, monoesteres y fosfatos (Srichuwong y Jane, 2007). Ambas muestras presentan una diferencia significativa (Laura-10.23B y Nutrisol-13.57A) de 3.33. La variedad Nutrisol requirió más temperatura de gelatinización por lo tanto el tiempo de retrogradación fue más alto. El soluto utilizado para la clasificación no tuvo un efecto en la retrogradación. Lo que asegura que el método de clasificación no es un factor que intervenga en las propiedades de pasta. Al igual que la variedad, la posición de los granos de amaranto tuvo una diferencia significativa (Posición: INFERIOR-13.60A SUPERIOR-10.21B).

Este resultado se relaciona con los resultados de proteína y almidón total. Los granos en la posición inferior muestran valores más altos.

4.3.5 Efecto de la variedad, posición, soluto y método de reventado en la calidad de reventado de los granos de amaranto (Laura y Nutrisol).

4.3.5.1 Efecto del Volumen de Expansión (VE)

Entre variedades se encontró una diferencia significativa de 2.36 mL. La variedad Nutrisol tuvo mayor volumen de expansión. Al igual que la variedad, los solutos utilizados en la clasificación mostraron una diferencia significativa de 0.24 mL. Durante la etapa de reventado pueden interferir factores que impiden el reventado de los granos. Las características de los granos son una de las principales causas (estructura del grano, contenido de humedad, etc.). Una de las principales es el contenido de humedad de los granos, la humedad debe de ser adaptada para el reventado (12-14%), sin embargo, algunos granos no tienen la humedad necesaria (Moreno-Contreras, 2015; Lara y Ruales, 2002).

Los granos separados con la solución de azúcar (4.03 A) mostraron una VE ligeramente más alto respecto a los granos separados con nitrato de sodio (3.78 B). Los granos de la posición INFERIOR mostraron mayor VE (0.8595 mL) respecto a los granos de la posición SUPERIOR (Figura 13). La variedad Nutrisol mostró mayor VE respecto a la variedad Laura. Podemos observar que los granos más densos son los que tuvieron mayor VE. Esto puede ser debido a las características que presentaron los granos de la posición INFERIOR. Durante el proceso de reventado el agua de la matriz de almidón se calienta, el almidón se disuelve y los poros se expanden. Al incrementar la temperatura, aumenta la presión interna y el pericarpio crece, la salida de vapor del almidón se solidifica y resulta en una matriz esponjosa (Morales *et al.*, 2014; Castro-Giraldez *et al.*, 2012; Cangás- Realpe, 2004).

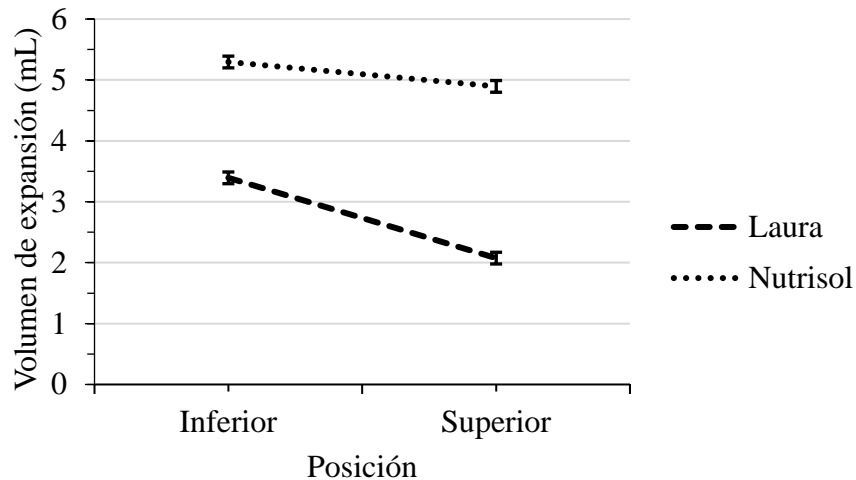


Figura 13. Volumen de Expansión respecto a variedad y posición.

Se encontró una diferencia significativa en el VE respecto al método de reventado de 5.33 mL. El método de reventado con mayor VE fue el procesado por medio de aire caliente (Figura 14).

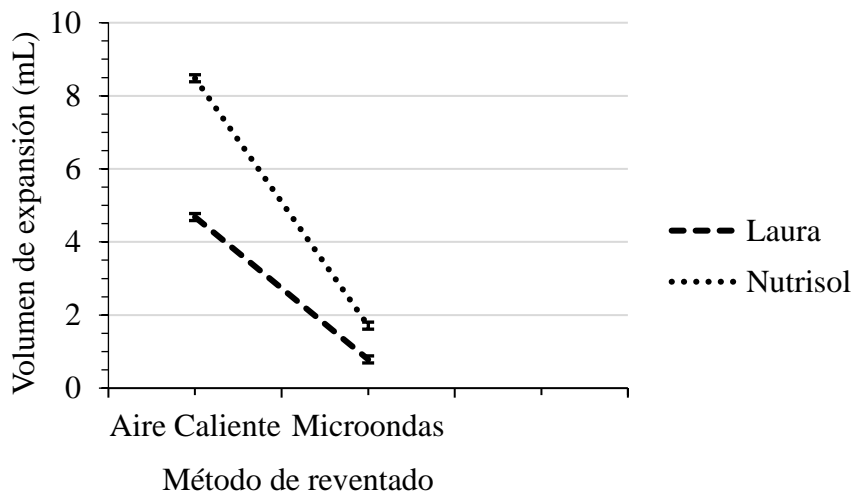


Figura 14. Relación entre Volumen de reventado, variedad y métodos de reventado.

La relación posición-reventado arrojó una diferencia significativa entre posición y reventado. Los granos en la posición INFERIOR tuvieron el mayor VE. El método de reventado por lecho fluidizado con aire caliente tuvo mayor VE en comparación al método de reventado por

microondas (Figura 15). Las condiciones del método de aire caliente fueron las idóneas durante el proceso. Las condiciones de calefacción, la velocidad de la alimentación de aire y la temperatura fueron condiciones estrictamente cuidadas. Mientras que el reventado por microondas solo se pudo establecer el tiempo de reventado al que se sometieron las muestras. El reventado de granos de amaranto por microondas debe ser estudiado más afondo y establecer las variables que afectan al proceso (Inoue *et al.*, 2009).

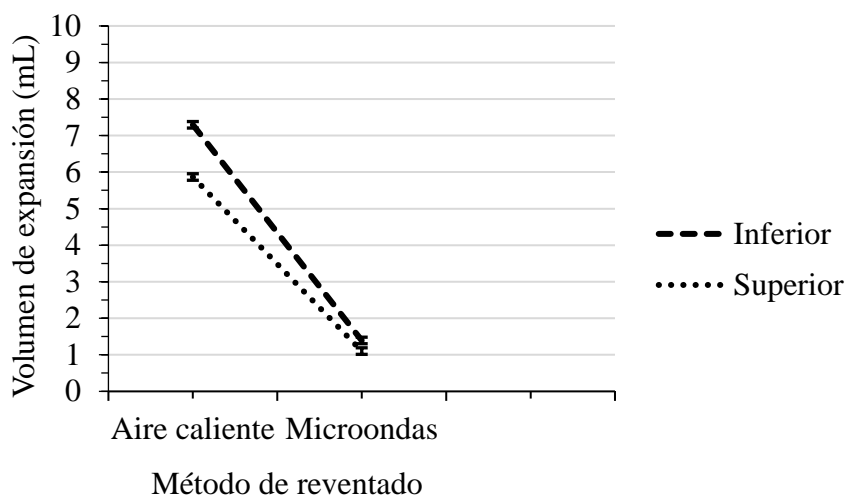


Figura 15. Volumen de expansión de los granos de amaranto por efecto de la posición y método de reventado).

4.3.5.2 Porcentaje de granos no reventados (PNR)

Se encontraron diferencias en el porcentaje de granos no reventados para las diferentes variedades (Figura 16). La variedad Laura mostró un porcentaje mayor de granos no reventados (56.61 %) en comparación a la variedad Nutrisol (34.25 %). Este resultado se debió a las condiciones de los granos de la variedad Laura. Según sus características de la variedad y los resultados obtenidos en el VE. Al igual que el VE las condiciones de los granos, humedad, matriz del granulo de almidón

y equipo son factores que intervienen en el PNR (Mishra *et al.*, 2014; Cangás- Realpe, 2004; Lara-Ruales, 2002; Álvarez *et al.*, 1997).

Los granos de amaranto ubicados en la posición SUPERIOR tuvieron un mayor PNR (Figura 16). El análisis estadístico muestra una diferencia significativa de 10.55% con respecto a la posición INFERIOR. Respecto a la relación variedad-posición, la variedad Laura mostró una diferencia significativa en ambas posiciones. Los granos de la posición SUPERIOR tuvieron mayor PNR. Por otro lado, la variedad Nutrisol no presentó diferencias significativas respecto a las posiciones de los granos. Nutrisol tuvo el grano más “duro”, pues pocos granos flotaron y la variedad Laura tuvo un comportamiento inverso.

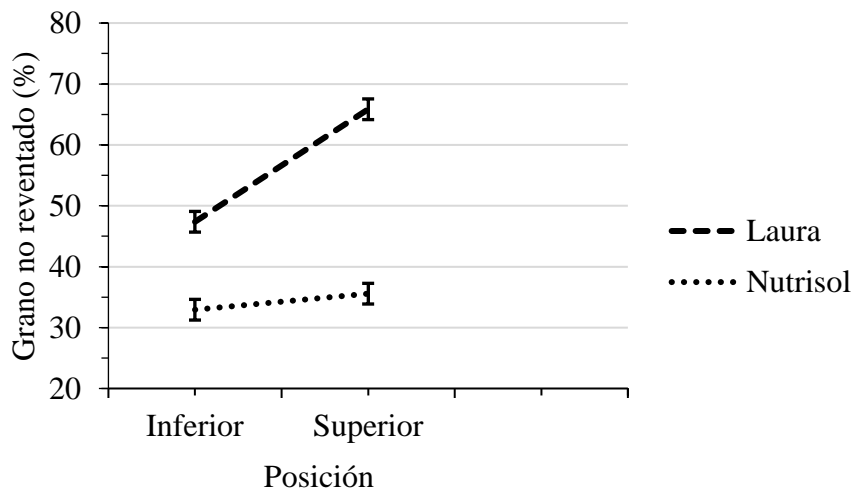


Figura 16. Porcentaje de granos no reventados respecto a la variedad y su posición.

El PNR entre los métodos de reventado mostraron una diferencia significativa de 43.44%. El método de reventado por medio de microondas tuvo mayor PNR respecto al método por aire caliente. Las variedades respecto al método de reventado mostraron diferencias significativas entre

sí. La variedad Laura tuvo un alto PNR en los dos métodos aplicados. Nutrisol tuvo mayor PNR por el método de reventado por microondas.

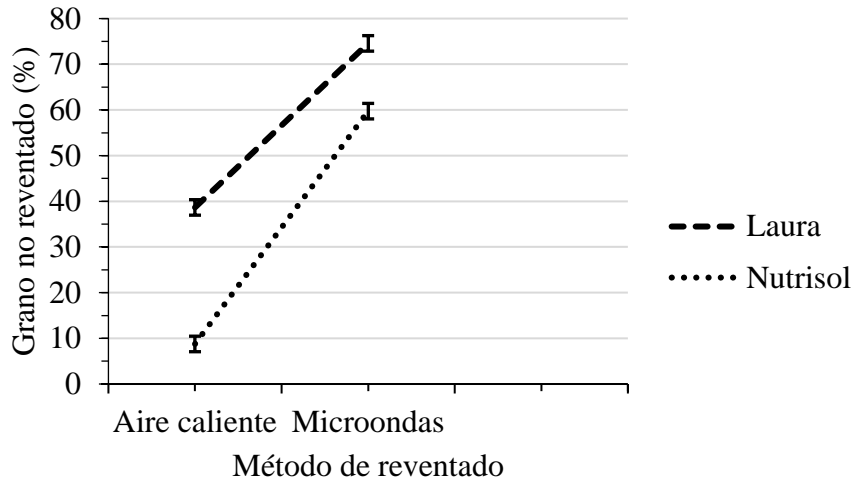


Figura 17. Relación variedad-método de reventado.

La relación de la posición de los granos y el método de reventado muestra una diferencia significativa. Los resultados estadísticos indicaron que el método de reventado por aire caliente o lecho fluidizado tiene menos PNR. Sin embargo, la posición INFERIOR se identificó como la posición con menor PNR tanto para el método de reventado por microondas como para aire caliente (Figura 18).

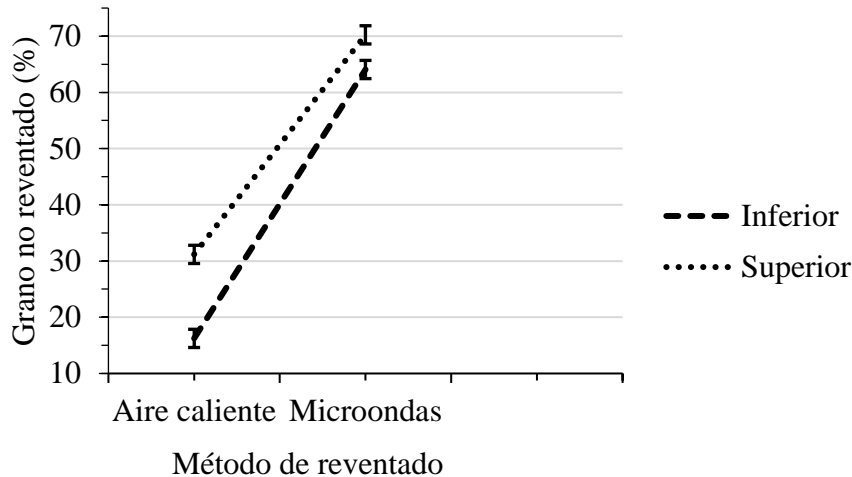


Figura 18. Relación posición de los granos-método de reventado.

4.3.5.3 Efecto del rendimiento de los granos reventados (RR).

En el factor variedad, los resultados de rendimiento mostraron una diferencia significativa de 23.86% (Figura 19). La variedad Nutrisol tuvo un mayor RR respecto a la variedad Laura. Los granos de la variedad Nutrisol presentaron mayor porcentaje de contenido de proteína y de almidón total.

La posición de los granos arrojó una diferencia significativa entre las posiciones. Los granos en la posición INFERIOR muestran mejor RR. Respecto a la relación variedad-posición, la variedad Nutrisol no mostró diferencia significativa entre cada posición. La variedad Laura muestra una diferencia significativa, pues los granos en la posición INFERIOR presentaron mayor rendimiento (Figura 19).

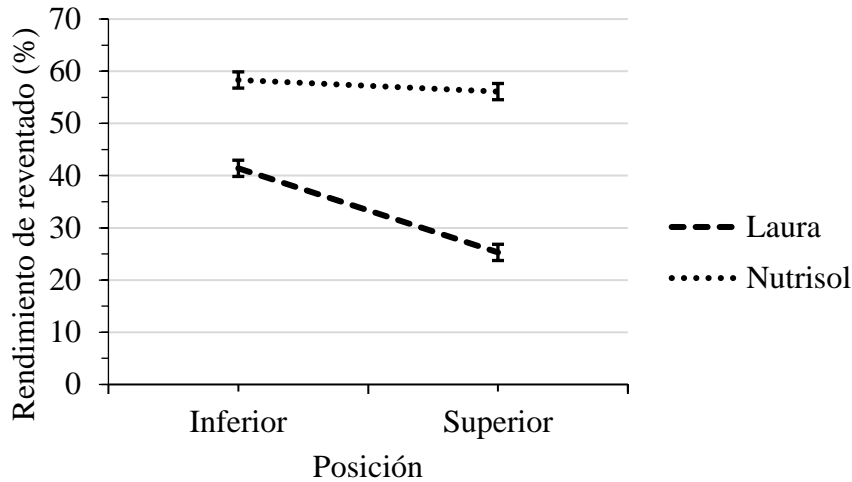


Figura 19. Rendimiento de grano reventado de las variedades Laura y Nutrisol.

En la Figura 20, se observa que el método de reventado mostró una diferencia significativa. El método de reventado con mayor RR fue el que utilizó método de aire caliente o lecho fluidizado. El método de reventado por medio de contacto con una superficie caliente o aire caliente son métodos estandarizados. El método de reventado por aire caliente resultó tener mejores RR para las dos variedades.

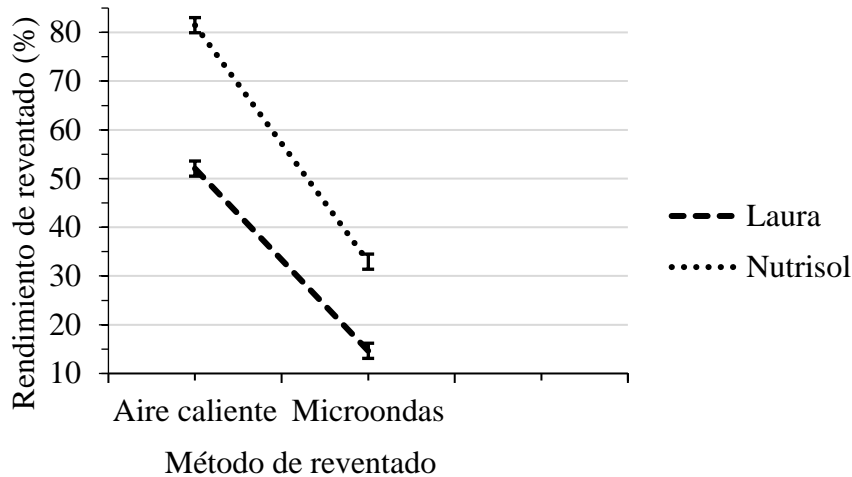


Figura 20. Rendimiento del reventado, relación variedad-método de reventado.

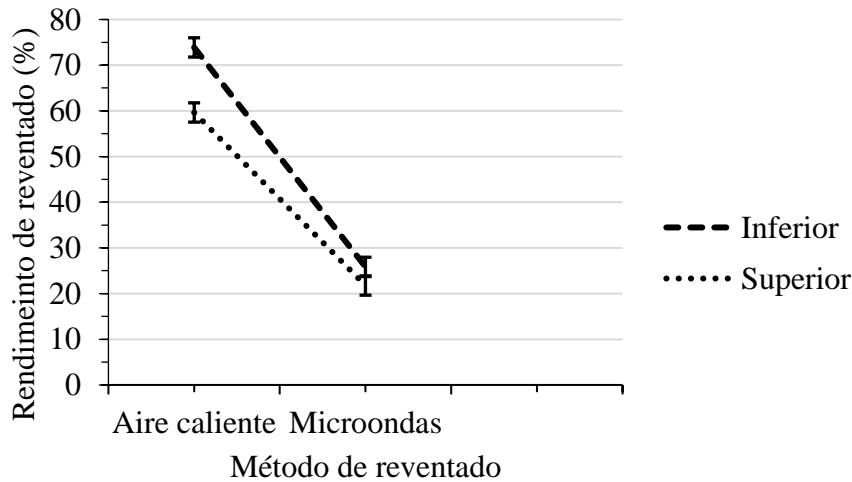


Figura 21. Rendimiento de reventado, relación posición-método de reventado.

En la Figura 21, se observa el porcentaje de RR respecto a los métodos de reventado y la posición de los granos durante la separación. Entre estos factores hubo una diferencia significativa. Los granos de la posición INFERIOR tuvieron mayor rendimiento en comparación con los granos de la posición SUPERIOR. Sin embargo, el método de reventado por lecho fluidizado (aire caliente) mostro mayor RR en las dos posiciones (SUPERIOR e INFERIOR). Este efecto es debido a que los granos son más densos gracias al mayor contenido de almidón y proteína que se presentó en

las muestras de la posición INFERIOR. Del mismo modo los resultados de RR por lecho fluidizado (aire caliente) son debido a que el método ya ha sido estudiado. Hasta ahora es el método de reventado que genera mejor capacidad de reventado (Lara y Ruales, 2002; Lara-Valdez, 1999). Los resultados de reventado por microondas coinciden con los reportados por Moreno-Contreras *et al.* (2015).

4.4 CONCLUSIONES

La variedad Nutrisol tiene un comportamiento homogéneo. Lo contrario a la variedad Laura que resultó ser una variedad heterogénea. El contenido de almidón y proteína influyeron en la selección por densidad y en el reventado de los granos. El uso de nitrato de sodio en solución para la separación de granos de amaranto por densidad puede causar errores en la determinación del contenido de proteína. Los granos de la posición INFERIOR resultaron tener mejor rendimiento y capacidad de reventado respecto a la posición SUPERIOR. Los solutos utilizados no tienen efecto significativo en la capacidad de reventado. Por lo tanto, la selección o clasificación con nitrato de sodio o azúcar refinada no afecta en el reventado de los granos. El volumen de reventado por el método de aire caliente fue mayor en comparación al reventado por microondas. El uso de soluciones para la separación de granos por densidad permitió visualizar el efecto de los solutos, las variedades en el reventado con aire caliente y microondas. Sin embargo, a nivel industrial esto es poco práctico, por lo que una correcta selección de granos de amaranto por densidad utilizando medios físicos y mecánicos podría permitir el desarrollo de productos de amaranto para reventar en casa por medio de horno de microondas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), al Colegio de Postgraduados Campus Córdoba y Puebla, al Centro de Productos Bióticos del Instituto Politécnico Nacional y a la LGAC2: Innovación y Desarrollo de Procesos Agroalimentarios para el Bienestar Social de la Maestría en Innovación Agroalimentaria Sustentable.

4.5 REFERENCIAS

Álvarez, N. del V., Jandula, A.M., Genta, M.L. y Maldonado S. (1997). Diseño de un equipo para la obtención de pops de granos de amaranto. Universidad Nacional de Tucumán, Fac. Ciencias Exactas y Tecnología, Ins. Ing. Químico. Centro de Información Tecnológica, Vol. 8, No. 1. ISSN 0716-8756. Tucumán, Argentina.

Barrales-Domínguez, J.S., y Torres-Hernández, L. (1998). Capacidad de reventado del grano de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus L.*) producido en dos ambientes de temporal. Depto. de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Revista Chapingo Serie Horticultura 4(1). Chapingo, Estado de México. p. 63-66.

Castro-Giráldez, M.; J. Fito; J. M. PPrieto; A. Andrés and P. Fito. 2012. Study of the puffing process of amaranth seeds by dielectric spectroscopy. Journal of Food Engineering, p. 110(2): 298-304.

Cangás Realpe, A. (2004). Isotermas de sorción de humedad de grano reventado de amaranto y sus dos productos. Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Ibarra, Ecuador. p. 127.

Espinosa-Solís, V. (2008). Estudios estructurales de almidón de fuentes no convencionales: Mango (*Mangifera indica L.*) y Plátano (*Musa paradisiaca L.*). Instituto Politécnico Nacional, Centro de Desarrollo de Productos Bióticos. Yauatepec, Morelos. p. 100.

FAO / OMS. (1973). Energy and protein requirements. En FAO Nutrition Meeting Report Series, N° 2, Food and Agriculture Organization / World Health Organization. Geneva, Switzerland. p. 118.

García-Rodríguez, A. P. (2011). Obtención y caracterización de almidones modificados y su aplicación como agentes encapsulantes de bioinsecticidas *Bacillus thuringiensis*. Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Química. Santiago de Querétaro, Querétaro.

Hernández de León, G.J. (1988). Evaluación de 16 cultivares de Amarantho (*Amaranthus sp.*) para semilla en Salcajá. Tesis. Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. p. 55.

Huerta-Ocampo, J.A. y Barba de la Rosa, A.P. (2012). Capítulo XX: Proteínas y Propiedades Funcionales, Caracterización Bioquímica y estructural de las proteínas de reserva de amaranto. In: Espitia Rangel E. (ed). Amarantho: Ciencia y Tecnología. Libro Científico No. 2. INIFAP/SINAREFI. México, p. 293-302.

Inoue, I., H. Iyota, T. Uemura, J. Yamagata, Y., Konishi and Y. Tatemoto. (2009). Optimal Conditions for Popping Amaranth Seeds. *Journal Drying Technology*. Vol. 27, No. 7-8. doi: 10.1080/07373930902988254 Disponible en línea en: <https://doi.org/10.1080/07373930902988254>, consultado: enero 08, 2018.

Martirosyan, D. M., Miroshnichenko, L. A., Kulakova, S. N., Pogojeva, A. V., and Zoloedov, V. I. (2007). Amaranth oil application for coronary heart disease and hypertension. *Lipids in Health*

and Disease, Vol. 6, No. 1. Disponible en línea en: <http://doi.org/10.1186/1476-511X-6-1>, consultado: enero 12, 2018.

Mishra, G.; D. C. Joshi and B. K. Panda. (2014). Popping and puffing of cereal grains: a review. J. grain processing storage, 1(2) p. 34-46.

Montoya L., Jairo, Giraldo G., German A. y Lucas A., Juan C. (2012). Caracterización física de harina de trigo y pan mediante determinación de la viscosidad y la cristalinidad de la pasta. Vitae, vol. 19, núm. 1. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. p. S346-S348.

Morales G., J. C.; N. Vázquez M. y R. Bressani C. 2014. El amaranto: características y aporte nutricional. 2 da Edición Ed. Trillas. p. 131.

Moreno-Contreras, M.G., Herrera-Flores, T., M. Licea de Anda, E. y O. Olán, M. (2015). Comparación entre el uso de aire caliente y microondas sobre la capacidad de reventado de semilla en cuatro variedades de Amaranto (*Amaranthus sp.*). Revista de Investigación. Instituto Tecnológico Superior de Misantla. Año 2, No. 1, Vol. 2. ISSN 2395-9452 Misantla, Veracruz. p. 40-44.

Lara, N., y J. Ruales. 2002. Popping of amaranth grain (*Amaranthus caudatus*) and its effect on the functional, nutritional and sensory properties. Journal of the Science of Food and Agriculture. 82(8) p. 797-805.

Lara-Valdez, N. V. (1999). Estudio del efecto de la expansión por aire caliente en las propiedades físico-químicas, nutricionales y sensoriales de las semillas de amaranto (*Amaranthus caudatus*). Escuela Politécnica Nacional, Instituto de Investigación Tecnológica. Quito, Ecuador.

Pardo C. O.H., Castañeda, J.L. y Ortíz, C.A. (2013). Caracterización estructural y térmica de almidones provenientes de diferentes variedades de papa. Acta Agron., Volumen 62, Número 4. ISSN electrónico 2323-0118. ISSN impreso 0120-2812. Tunja, Colombia. p. 289 – 295.

Rivera C., R.E. (1987). Evaluación de 16 cultivares de amaranto (*Amaranthus sp.*) en la unidad docente productiva Sabana Grande, Escuintla. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. p. 64.

Silva-Sánchez, C., De la Rosa, A.P., León-Galván, M.F., De Lumen, B.O., De León-Rodríguez, A. y De Mejía, E.G. (2008). Bioactive peptides in amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) seed. J Agric Food Chem. 56(4):1233-40. doi: 10.1021/jf072911z.

Tujab M., H.L. (1987). Evaluación de rendimiento de semilla de cinco cultivares de amaranto (*Amaranthus sp.*) en Guatemala, departamento de Guatemala, Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. p. 29-41.

Wiseman, A. (1991). Manual de biotecnología de los enzimas. Acribia Editorial S.A. Biochemistry Division, Department of Biochemistry, University of Surrey. Guildford, Inglaterra. P. 458.

CONCLUSIONES GENERALES

Las variedades de amaranto (Laura y Nutrisol) fueron diferentes en términos de IAA, CH, IS, pH y densidad. La variedad Nutrisol presentó granos más grandes y homogéneos. La variedad Laura se presentó como un tamaño de grano más pequeño y heterogéneo. La implementación de la técnica de índice de flotación con azúcar como soluto para la selección de grano fue viable y representa una alternativa útil y económica para la clasificación del grano de amaranto por densidad. El contenido de humedad del grano tuvo efecto en la densidad y en el IF. La solución con densidad de 1.3 g/cm^3 fue adecuada para la determinación del IF en amaranto. El IF puede ser una herramienta útil para la evaluación de la calidad y selección de granos de amaranto para diferentes usos en la industria de alimentos. El contenido de almidón y proteína influyeron en la selección por densidad y en el reventado de los granos. El uso de nitrato de sodio en solución para la separación de granos de amaranto por densidad puede causar errores en la determinación del contenido de proteína. Los granos de la posición INFERIOR resultaron tener mejor rendimiento y capacidad de reventado respecto a la posición SUPERIOR. Los solutos utilizados no tienen efecto significativo en la capacidad de reventado. Por lo tanto, la selección o clasificación con nitrato de sodio o azúcar refinada no afecta en el reventado de los granos. El volumen de reventado por el método de aire caliente fue mayor en comparación al reventado por microondas. El uso de soluciones para la separación de granos por densidad permitió visualizar el efecto de los solutos, las variedades en el reventado con aire caliente y microondas. Sin embargo, a nivel industrial esto es poco práctico, por lo que una correcta selección de granos de amaranto por densidad utilizando medios mecánicos podría permitir el desarrollo de productos de amaranto para reventar en casa por medio de horno de microondas.

ANEXOS

· Cálculos para el porcentaje de almidón total por MEGAZYME®

(Amiloglucosidasa/ α -Amilasa):

$$\% \text{ AT} = \Delta A \times \frac{F}{W} \times \text{FW} \times 0.9$$

Donde:

% AT = Almidón Total.

ΔA = Absorbancia de la muestra.

F = Conversión de la absorbancia a ug (microgramos).

$$F = \frac{100 \text{ (ug de D-glucosa)}}{\text{Absorbancia para 100 ug de glucosa}}$$

W = Peso de la muestra (g).

FW = Volumen Final (100 mL).

· Cálculos para el porcentaje de proteína:

$$\% P = (V - V_B) \times F \times N \times \frac{100}{M}$$

Donde:

% P = Porcentaje de proteína.

V = Volumen de ácido consumido en la muestra (mL).

V_B = Volumen de ácido consumido en el blanco (mL).

N = Normalidad de ácido de titulación.

M = Peso de muestra (g).

F = Factor de proteína (6.25).

· **Rendimiento de reventado**

Peso de grano reventado (g) = peso del grano reventado que quedó sobre cada tamiz número 8, 10, 16:

Peso de grano no reventado (g) = peso del grano que pasó por el tamiz número 16.

Volumen de expansión total de grano reventado (mL) = volumen del grano reventado que quedó sobre cada tamiz.

Volumen de grano no reventado (mL) = volumen del grano que pasó por el tamiz número 16.

$$\text{Volumen de expansión de grano reventado} = \frac{\text{Volumen de grano reventado}}{\text{Peso Original de la muestra}}$$

$$\text{Rendimiento de grano reventado} = \frac{\text{Peso de grano reventado}}{\text{Peso original de la muestra}} \times 100$$

$$\text{Porcentaje de grano no reventado} = \frac{\text{Peso de grano no reventado}}{\text{Peso original de muestra}} \times 100$$