

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO EXPANSOR CONTINUO FLUIDIZADO PARA GRANOS DE AMARANTO (*Amaranthus caudatus*)

Arturo Reynaga Nava*
Pablo Castelú Ticona**

RESUMEN

Buscando encontrar soluciones nuevas para el proceso de expansión en seco del grano de amaranto y especialmente en su transporte por el recinto caliente sin acumular y quemarse, se ha propuesto el diseño y construcción de un expansor continuo de lecho fluidizado. Del cual, en este artículo se describen los aspectos más importantes.

Para el diseño del expansor del grano de amaranto se fijaron varias características y parámetros relacionados con las condiciones hidrodinámicas durante su recorrido y reventado en la columna de expansión. Determinando que para una capacidad de procesamiento de 46 kg de pipocas ($1\text{q}\cdot\text{h}^{-1}$) con un 97 % de gelatinización del almidón, los parámetros del expansor continuo fluidizado corresponden a: una velocidad de flujo $0,465177\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, un caudal de aire $0,069063\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ y una columna de altura 2,64 m donde la expansión del grano (pipocas) se realiza a $200\text{ }^\circ\text{C}$.

PALABRAS CLAVES: Expansor continuo de Amaranto, fluidización, transporte neumático de sólidos granulares.

ABSTRACT

In order to find new solutions for the dry expansion process of the amaranth grain and especially in its transport through the hot enclosure without accumulating and burning, it has been proposed the design and construction of a continuous fluidized bed expander, of which, in this article The most important aspects are described.

Several characteristics and parameters related to the hydrodynamic conditions were fixed for the design of the amaranth grain expander during its course and burst in the expansion column. Determining that for a processing capacity of 46 kg of popcorn ($1\text{q}\cdot\text{h}^{-1}$) with 97% starch gelatinization, the parameters of the fluidized continuous expander correspond to: a flow velocity of $0,465177\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, an air flow rate of $0,069063\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ and a column of 2,64 m height where the expansion of the grain (popcorn) is done at $200\text{ }^\circ\text{C}$.

KEYWORDS: Continuous expansion of Amaranth, fluidization, pneumatic transport of granular solids.

RESUMO

Na tentativa de encontrar novas soluções para o amaranto seco núcleo processo de expansão e, especialmente, no transporte da sala quente sem acumular e queimado, foi proposto concepção e construção de um expansor continuo de leito fluidizado, a partir do qual, neste artigo eles descrevem os aspectos mais importantes.

Para projetar os amaranto expansor grão várias características e parâmetros relacionados com as condições hidrodinâmicas durante a viagem e prendendo conjunto de expansão coluna. Determinar que uma capacidade de processamento de 46 kg de pipocas ($1\text{q}\cdot\text{h}^{-1}$) com 97% de gelatinização do amido, os parâmetros expansor fluidizado continuo correspondem a: uma taxa de fluxo de $0,465177\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, um fluxo de ar $0,069063\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ e um altura da coluna 2,64 m onde a expansão os grãos (pipocas) é realizado a temperatura de $200\text{ }^\circ\text{C}$.

PALAVRAS-CHAVE: Contínua expansor Amaranto, fluidização, transporte pneumático de sólidos granulares.

History of the article: Received: 30/06/2017. Style review: 09/07/2017. Accepted: 18/07/2017

INTRODUCCIÓN

Amaranthus caudatus, Amaranto andino

Pertenece a la familia Amaranthaceae, planta distribuida por la mayor parte de las regiones templadas y tropicales. No se conoce exactamente su taxonomía, sin embargo, existen alrededor de 60 especies, varias de ellas se cultivan como verduras, cereales o plantas ornamentales. Jacobsen y Mújica (2001) citados en [1], "sostienen que la distribución geográfica del amaranto cultivado en América es amplia. Desde el tiempo precolombino, *Amaranthus cruentus* se encuentra en México y la zona central de EE.UU, *Amaranthus. hypochondriacus* en el sudoeste de los EE.UU, y *Amaranthus. caudatus* en la zona Andina de América del Sur. Las tres especies se han cultivado para obtener semillas y hojas frescas para usarse en el consumo humano".

En nuestro país, su cultivo¹ es en pequeña escala y las principales zonas de producción se encuentran en comunidades y provincias de los departamentos de: Chuquisaca (provincias: Yamparaez, Tomina, Zudanéz, Oropeza). Cochabamba (provincias: Mizque, Punata, Arani, Capinota, Campero, Estaban Arce y Quillacollo), en Tarija (provincia Cercado). La Paz (zona de los Yungas, y cabeceras de valles interandinos 1870 a 3100 msnm). La planta de amaranto tiene un ramo longitudinal que varía de 50 a 100 cm, formado por muchas espigas con pequeñas flores, donde se encuentran las semillas, principal producto de la planta. Las flores tienen brotes minúsculos parecidos a granos, que dan la apariencia de

granos semilleros similares al de los cereales (avena, trigo, arroz, etc.). Aspecto que confunde al amaranto con un cereal, principalmente por su contenido nutricional² más completo, en proteínas, minerales y vitaminas naturales. El amaranto es aprovechado en su totalidad: la planta, como verdura o forraje. El grano forma parte de sopas (grano y harina), pasteles, galletas, panes (harina, grano entero, grano reventado) o **cereales enriquecidos** para el desayuno (entero, reventado, germinado o molido). Refrescos y chicha (fermentación). [2]

Proceso para tratar el grano de amaranto

El aprovechamiento del grano³ de amaranto una vez establecida la calidad de éste, involucra inicialmente su consumo transformado en harina (molienda), o como grano en sí. Al respecto, el método más común para procesar el grano de amaranto es a través de la expansión en seco aplicando altas temperaturas por corto tiempo. El grano expande 5 a 6 veces su volumen ofreciendo mayor facilidad y funcionalidad para el consumo. Sin embargo, en este proceso el control de las condiciones estándar es difícil de mantener, por lo que de acuerdo con el procedimiento seguido para expandir el grano, se disminuye la calidad proteínica y nutritiva del amaranto. (Becker, 1984). Aportando

² Según la ONU, el amaranto es uno de los mejores alimentos de origen vegetal que aporta nutrientes y proteínas necesarios para el organismo. Por otra parte las investigaciones de la fundación México Tierra de Amaranto, demuestran que una dieta donde se incluye el amaranto, proporciona beneficios para la salud en cantidad y calidad de: proteínas, lípidos, almidones, carbohidratos, vitaminas A, C, D, K, y minerales.[2]

³ Para optimizar el procesamiento y transformación del amaranto es necesario considerar algunos factores importantes tales como: tecnología de post cosecha (calidad del grano, estabilidad al ser almacenado, características físicas y químicas del grano). Comportamiento de procesamiento y desarrollo de productos, calidad nutritiva e incluso producción y rendimiento del cultivo que permita obtener ingresos adecuados al productor (Perfil de mercado de granos nativos quinoa y amaranto IBCE, 2009).

¹ En Bolivia el amaranto recibe varias denominaciones: Coime, yuyo, aroma (Tarija), Millmi, yuyo, ayrampo (Cochabamba), Cuimi (Chuquisaca), Cuymi (Yungas), Illamcuma (Valles interandinos de Oruro), Cuimi (Valles interandinos de Potosí). Otras regiones Coyomillmi. [1]

El producto obtenido (amaranto expandido), es conocido comúnmente como **pipoca**, aperitivo de servicio fácil y fuente que proporciona una importante dosis de nutrientes. Transformación primaria del grano de amaranto, que forma parte de la elaboración del: **alegría** (México), **turrón** (Perú, Bolivia, Ecuador), **nigua** (Guatemala). Mezcla del grano expandido por lo general con miel, o chocolate, comercializados en forma de tabillas rectangulares. Elaboración efectuada a nivel artesanal y pequeña industria (Perfil de mercado de granos nativos quinua y amaranto IBCE, 2009), y que actualmente se realiza de la misma forma rudimentaria y artesanal que hace más de 500 años, consistiendo en esparcir el amaranto sobre perol caliente y agitar hasta que llegue a expandirse.

O incorporando mejoras tecnológicas como es el caso de las asociaciones AOPEB, que adquirieron sistemas de expandido en tambor rotatorio de fabricación peruana, al presente trabajando en los departamentos de Chuquisaca y Tarija, no obstante, estos sistemas presentan algunos problemas tecnológicos en el control de la temperatura del cilindro donde el grano se calienta y expande a medida que avanza por el cilindro, el cual tiende a concentrar la temperatura en forma desigual provocando el pegado de los granos y su quemado. Por la forma del diseño, durante el proceso de expansión se presenta la acumulación de vapores desprendidos al expandirse el amaranto, provocando el incremento de humedad en el cilindro y el pegado de los granos, reduciendo la capacidad de procesamiento y aumentando los costos de mano de obra, además del peligro de una contaminación cruzada.

Propuesta de mejoramiento, proceso de expandido

Buscando encontrar soluciones nuevas para el proceso de expansión en seco de los granos de amaranto y especialmente para su transporte por el recinto caliente sin acumular y quemarse. Se ha propuesto el diseño y construcción de un **expansor continuo de lecho fluidizado**, Del cual, en este artículo se describen los aspectos más importantes.

DESARROLLO

Fluidización

La fluidización permite que una corriente ascendente de fluido (líquido, gas) suspenda determinado material sólido granulado. Esta interacción se produce en un recinto conocido como **lecho fluidificado**. Si el fluido pasa a través de una zona tubular de material sólido granulado en reposo, a determinada velocidad, las partículas sólidas situadas en esta zona permanecen suspendidas. Aumentando gradualmente la velocidad del fluido, se llega a un punto donde el material granular comienza a moverse en el fluido y las partículas sólidas son extraídas del lecho fluidizado, iniciándose así, el respectivo **transporte hidráulico o neumático**. Favoreciéndose además el intercambio de materia y energía (calor) por las grandes superficies de contacto existentes entre el material sólido y el fluido, así como también entre las propias partículas del material sólido.

Las instalaciones de un sistema de lecho fluidificado con transporte neumático se componen de un compresor de aire, una tubería de transporte que se puede conectar en el lado de aspiración (transporte por aspiración) o en el lado de descarga (transporte por presión) del compresor

de aire, y un separador de material. (El transporte puede efectuarse en dirección horizontal, vertical e inclinada).

Materia prima experimental

La materia prima utilizada para la investigación es la variedad Óscar Blanco, procedente de APROCMI Asociación de productores de la Cuenca de Río Milanés, Municipio de Sopachuy a 175 km de Sucre provincia Tomina departamento de Chuquisaca.

Características fisicoquímicas-aerodinámicas del grano de amaranto

- Diámetro esférico equivalente amaranto $d_s = 1,6569$ mm.
- Densidad aparente del grano de amaranto $0,44775$ g.L⁻¹.

Tabla 1
Análisis Bromatológico granos de amaranto
porcentaje (%)

| | |
|---------------------|-------|
| Humedad | 9,36 |
| Grasas | 7,46 |
| Proteínas | 14,30 |
| Fibra | 4,11 |
| Ceniza | 2,56 |
| Hidratos de carbono | 62,21 |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2
Propiedades funcionales del grano de amaranto

| Nº | Descripción | Unidad | Valor |
|----|-------------------------------------|----------------------|--------|
| 1 | Contenido de almidón | % | 54 |
| 2 | Índice de Adsorción de agua | % | 3,18 |
| 3 | Índice de Solubilidad en agua | % | 22,31 |
| 4 | Contenido de Amilosa | % | 16,15 |
| 5 | Azúcares Invertidos | % | 6,38 |
| 6 | Azúcares Reductores | % | 7,11 |
| 7 | Índice de Yodo | meq.kg ⁻¹ | 131,15 |
| 8 | Índice de Peróxido | meq.kg ⁻¹ | 7 |
| 9 | Índice de Expansión | | 4,52 |
| 10 | Índice de Saponificación | meq.kg ⁻¹ | 173 |
| 11 | Colesterol | mg | 0,15 |
| 12 | Tamaño de grano de almidón | (μ) | 1,2 |
| 13 | Temperatura de gelatinización | °C | 78 |
| 14 | Acidez expresada en ácido sulfúrico | % | 0,18 |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3
Selección y clasificación grano de amaranto

| Tamaño de grano | Porcentaje (%) |
|-----------------|----------------|
| Grande | 20 |
| Mediano | 73 |
| Pequeño | 5 |
| Impurezas | 2 |

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar (tabla 3), que el 5% está compuesto por granos pequeños que durante el proceso no alcanzan

expandirse, y las impurezas obstruyen la alimentación uniforme al sistema; en consecuencia, para los ensayos de se utilizó amaranto seleccionado libre de impurezas y granos de menor tamaño.

Sistema expansor fluidizado

La figura 1 muestra el sistema expansor fluidificado, construido de acero inoxidable, y el esquema de los lugares donde se instalaron equipos de medición de la velocidad, temperatura (termocuplas) para registrar y determinar el perfil de temperaturas durante el proceso de expansión.

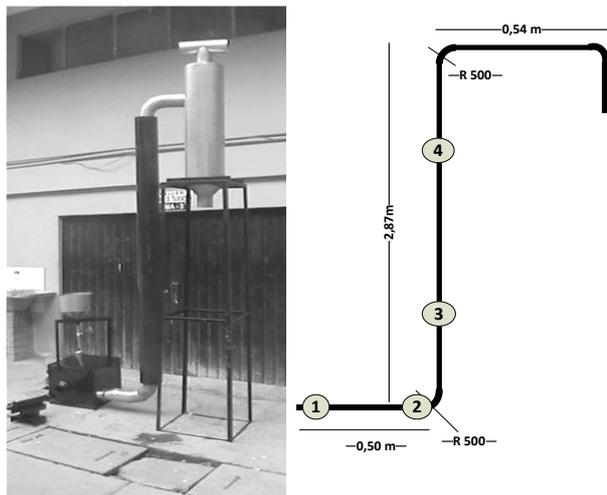


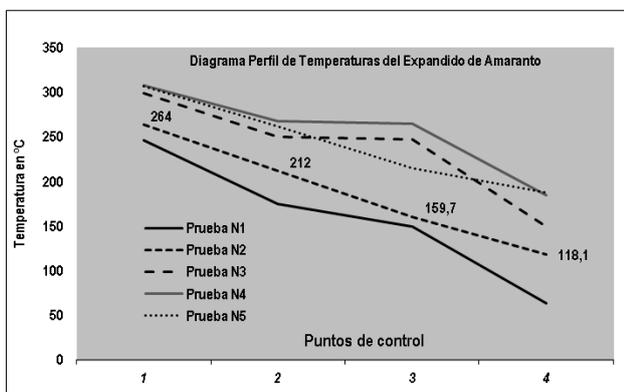
Figura1: Sistema expansor fluidificado y puntos donde se instalaron medidores de velocidad y temperatura. Crédito: Reynaga, A., Castelú, P. 2017

Expansión del amaranto

Para las evaluaciones del expandido se tomaron los siguientes parámetros:

- Tiempo de residencia en el equipo.
- Calidad del expandido.
- Caudal de alimentación.

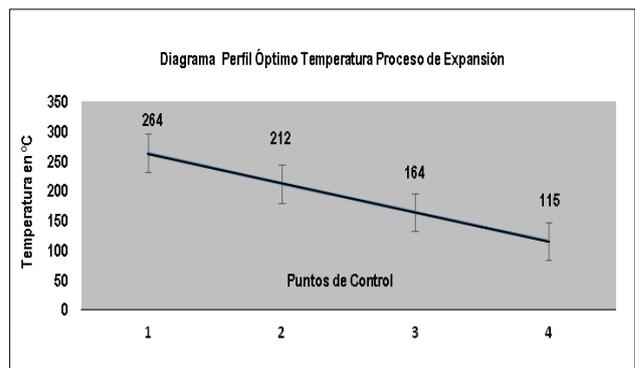
En las diferentes pruebas de expansión realizadas, se obtuvieron varias curvas de temperatura (ver figura 2). Llegando a determinar que los parámetros más óptimos del proceso de expansión del grano de amaranto corresponden a la prueba N2. Ver figura 2.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 2: Perfil de temperaturas expansión grano de amaranto

La figura 3, muestra el perfil óptimo de temperaturas en los puntos de control.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 3: Perfil óptimo de temperaturas expansión del grano de amaranto

Tabla 3
Resumen de datos determinados para el proceso

| Variables | Valores |
|----------------------------|---|
| Presión del aire | 9,61207 mm H ₂ O |
| Volumen de aire requerido | 249,2280 m ³ . h ⁻¹ |
| Velocidad del aire a 200°C | 6,106509 m. s ⁻¹ |
| Caudal de aire a 200°C | 0,069063 m ³ . s ⁻¹ |
| Diámetro del ducto | 0,12 m |
| Viscosidad cinemática | 3,45X10 ⁻⁵ m ² .s ⁻¹ |

Fuente: Elaboración Propia

Características de las pipocas obtenidas

La figura 4, muestra las pipocas obtenidas con un mayor tamaño de expansión y calidad uniforme.



Fuente: Elaboración Propia

Figuras 4: Amaranto expandido con un mayor tamaño de expansión y calidad uniforme (Pipocas)

Tabla 4
Análisis Bromatológico de las pipocas de amaranto

| | |
|---------------------|-------|
| Humedad | 3,25 |
| Grasas | 11,21 |
| Proteínas | 14,30 |
| Fibra | 5,11 |
| Ceniza | 2,87 |
| Hidratos de carbono | 63,26 |

Fuente: Elaboración Propia

Las propiedades funcionales del amaranto expandido (pipocas), en comparación con los valores del grano no procesado se indican en la tabla 5.

Tabla 5
Propiedades funcionales de las Pipocas de Amaranto PA en comparación con los valores del Grano No Procesado GNP

| Nº | Descripción | Unidad | Valor PA | Valor GNP |
|----|-------------------------------------|----------------------|----------|-----------|
| 1 | Contenido de almidón | % | 62,80 | 54 |
| 2 | Índice de Adsorción de agua | % | 7,92 | 3,18 |
| 3 | Índice de Solubilidad en agua | % | 65,11 | 22,31 |
| 4 | Contenido de Amilosa | % | 19,11 | 16,15 |
| 5 | Azúcares Invertidos | % | 11,15 | 6,38 |
| 6 | Azúcares Reductores | % | 78,00 | 7,11 |
| 7 | Índice de Yodo | meq.kg ⁻¹ | 95,11 | 131,15 |
| 8 | Índice de Peróxido | meq.kg ⁻¹ | 10,13 | 7 |
| 9 | Índice de Expansión | | 5,95 | 4,52 |
| 10 | Índice de Saponificación | meq.kg ⁻¹ | 241 | 173 |
| 11 | Índice de oxidabilidad | % | 7,27 | - |
| 12 | Colesterol | mg | 0,05 | 0,15 |
| 13 | Tamaño de grano de almidón | (μ) | 9,18 | 1,2 |
| 14 | Temperatura de gelatinización | °C | 55 - 75 | 78 |
| 15 | Acidez expresado en Ácido Sulfúrico | % | 0,11 | 0,18 |

Fuente: Elaboración Propia

Resultados

Producción de pipocas de amaranto de mayor tamaño y calidad uniforme, principalmente inocuo, proceso continuo de alta capacidad productiva y eficiencia energética.

Este equipo de alto rendimiento, calidad, inocuo, de bajos costos de producción, se podrá usar para el desarrollo de nuevos productos terminados en base de este, que irán a mejorar la calidad nutricional de los consumidores y por ende una mayor producción agraria de este grano andino poco consumido y conocido.

CONCLUSIONES

El aire caliente transfiere calor al grano en suspensión, elevando la temperatura de la superficie de éste a 180°C, con la consiguiente evaporación del agua contenida en los gránulos de almidón que por acción del incremento de temperatura también aumenta la presión interior, disolviendo el almidón y provocando una ruptura del pericarpio, con lo que se expande los poros, y el endospermo se expande (revienta) y solidifica después de la evaporación del agua, convirtiéndose así, en una estructura esponjosa. Este expandido de amaranto (pipoca) se puede clasificar en tres tipos⁴:

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

⁴ Además de amaranto en grano sin reventar que mantiene su forma esferoidal.

El tamaño y forma del expandido, está relacionado con el tamaño del grano de amaranto y las condiciones de proceso de expandido del grano (control de la alimentación y control de la llama para mantener la temperatura de expansión).

Después de este proceso de expansión, el amaranto aumenta su volumen y mejora sus propiedades sensoriales y nutricionales; incrementando la calidad de la proteína, en comparación con la proteína del grano crudo.

Referencias bibliográficas:

[1] Rojas, W., Soto, J.L., Pinto, M., Jäger, M., 2010, Granos Andinos. Avances, logros y experiencias desarrolladas en quinoa, cañahua y amaranto en Bolivia, Distribución geográfica y variabilidad genética de los granos andinos, p: 21, Padulosi (editores), ISBN 978-92-9043-858-8, Bioversity International, Roma - Italia,

[2] correodelsur.com/.../20151229_chuquisaca-produce-mas-amaranto-pero-la-paz-es-el-mayor-exportador.html, 29 Dic. 2015. Consulta: 17/06/2017.

BIBLIOGRAFÍA

Morales, G. J. C., Vázquez, M.N., Bressani, C. R., 2009, El Amaranto, características físicas y químicas, toxicológicas, funcionales, y aporte nutricional. Primera edición, Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán, pp: 131-156, Tlalpan - México,

Gonzales, P., 2006, Transporte neumático de quinoa. Universidad Católica del Perú,

Soriano, S.J., 2010, Investigación sobre biopéptidos y de la fibra del grano de amaranto,

Depto. de Biotecnología área de bioquímica de macromoléculas. Universidad Autónoma Metropolitana, Campus Iztapalapa. Primer Congreso Nacional de amaranto; Junio 2010, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, México, D.F. "Memoria Electrónica",

Mills, D., 2004, Pneumatic conveying design guide, Second Edition, Elsevier Butterworth-Heinemann, Lodon - England.

Fe de autores:

(*). Licenciado en Química Industrial, Docente investigador IIAT, Facultad de Tecnología - UMSA.

(**), Licenciado Aeronáutico, Docente Carrera de Aeronáutica, Facultad de Tecnología - UMSA.