

MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LA HARINA DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*) MEDIANTE LA AGLOMERACIÓN

Cipriano Mendoza Rojas, Juan W. Mendoza Cortez¹

Unidad de investigación e Innovación de Ingeniería Química y Metalurgia
Programa de Investigación de Procesos Industriales - Área de Operaciones y Procesos Químicos
E-mail: cmendozar71@hotmail.com

RESUMEN

El objetivo del estudio es mejorar el manejo de las propiedades del polvo de harina de quinua mediante una nueva alternativa tecnológica para la aglomeración del producto, mediante la atomización con vapor saturado. Para el estudio de aglomeración se utilizaron diferentes tipos de harina de quinua: cruda, pre-cocida, extruida y formulada extruida. En el equipo experimental se estudiaron diferentes condiciones de operación y su cuantificación en términos de distribución granulométrica de partículas, humedad final de aglomeración y las propiedades físicas del polvo como mojabilidad, humedimiento, dispersabilidad y fluidez. Los productos aglomerados presentan resultados muy favorables en base al índice CI y relación HR, debido al incremento de su tamaño (mayores a 100 micrones), lo que permite mejorar las propiedades físicas del polvo de harina de quinua, para una serie de usos, en términos de “propiedades instantáneas” que el mercado internacional exige para el consumo, debido a nuevos estilos de vida más “modernos” y con menor disponibilidad de tiempo.

Palabras clave: Harina de quinua, aglomeración, polvo instantáneo.

IMPROVEMENT OF THE PHYSICAL PROPERTIES OF THE QUINOA FLOUR (*Chenopodium quinoa*) THROUGH THE AGGLOMERATION

ABSTRACT

The new technological alternative for agglomeration of quinoa powder flour using saturated steam spray is presented. The aim of the study is to improve the powder properties of quinoa flour in terms of management. For agglomeration study different varieties of quinoa flour were used as raw, precooked, extruded and formulated extruded. In the experimental equipment, different operating conditions were studied and their quantification in terms of granulometric particle distribution, final agglomeration humidity and the physical properties of powder associated as wettability, sinkability, dispersibility and flowability. The agglomerated products present very favorable results based in terms of Carr index (CI) and Hausner ratio (HR), due to its size greater than 100 microns, which allows to improve the physical properties of quinoa flour powder for a variety of uses in terms of “instant properties” that the international market demands for consumption due to new lifestyles more “modern” and less time availability.

Keywords: Quinoa flour, agglomeration, instant powder.

INTRODUCCIÓN

Durante el procesamiento de la quinua, en la etapa de clasificación y selección de acuerdo al tamaño y color de los granos, existe una gran pérdida en razón de la formación de granos partidos por efecto del impacto de los granos sanos contra las paredes de los equipos o partes móviles de los mismos. Estos granos partidos constituyen un subproducto del procesamiento de la quinua, sin valor comercial, representando un problema debido a la dificultad para su uso, así como para su almacenamiento por el volumen que ocupa. Se calcula que la formación de granos de quinua partidos representa, aproximadamente, un 7% del volumen total de producción, lo que implica en una pérdida representativa desde el punto de vista económico. En ese sentido, es muy importante el uso de alternativas tecnológicas que sirvan para aprovechar los residuos considerados como desperdicio y darle un valor agregado. En este trabajo, la tecnología propuesta consiste en mejorar las propiedades físicas de la

harina proveniente del subproducto del procesamiento de la quinua (grano partido), por medio de la técnica de aglomeración, con el fin de que sea apto para el consumo humano en sus diversas formas. Para desarrollar este proyecto, es necesario seleccionar diferentes alternativas tecnológicas de aglomeración mediante la construcción de un equipo experimental prototipo, el cual permita evaluar diferentes condiciones de operación para realizar la aglomeración en la forma de polvo, con la finalidad de innovar su presentación a través de un nuevo producto para, posteriormente, introducirlo en el mercado para su comercialización.

Los materiales alimenticios pulverulentos se utilizan con frecuencia en aplicaciones durante el transporte, manejo, procesamiento y para formulaciones de productos. Una variedad de polvos alimenticios que tienen una fuente diferente son utilizados para propósitos específicos que incluyen la mejora de la apariencia sensorial y el estado nutricional de los productos terminados. Los polvos son caracterizados en términos de tamaño, forma y funcionalidad, aunque existe una falta de conocimiento sobre

¹ Universidad Nacional Agraria la Molina, Facultad de Agronomía, Dpto. de Fitotecnia

su comportamiento bajo la variación de diferentes temperaturas y contenido de humedad. Con el crecimiento del volumen de diferentes productos en polvo, como son los polvos de bebida (café, té, cacao, leche, etc.), sal de mesa, polvos de especias, harina de cereales y legumbres, aditivos, etc., producidos en la industria alimentaria, es necesario disponer de una información detallada sobre las características de manipulación y procesamiento, especialmente de polvos alimenticios, debido a su complejidad. Los polvos para alimentos son utilizados ocasionalmente como tales, aunque su uso principal consiste en el procesamiento posterior para el desarrollo de diferentes productos. Entre los diversos procesos utilizados con frecuencia para los polvos alimenticios están la aglomeración, compactación, instantización y encapsulación para obtener productos con fines específicos y por conveniencia (Dhanalakshmi, 2011).

La aglomeración, en general, puede definirse como un proceso físico-químico, en el que las partículas primarias se unen entre sí para formar partículas secundarias porosas más grandes (conglomerados) (Palzer, 2005). Este fenómeno es provocado por las condiciones específicas de procesamiento o por aglutinantes y sustancias que se adhieren químicamente o físicamente sobre la superficie del sólido, para formar un puente entre partículas (Pietsch, 2003).

El proceso de aglomeración puede transformar un polvo fino en forma granular, con cambio en su estructura y propiedades físicas tales como tamaño, porosidad, forma y densidad. La característica de los gránulos obtenidos depende del tipo de proceso utilizado. Así, el proceso de aglomeración puede llevarse a cabo de diversas formas y en conjunto con otras operaciones como la atomización, humedecimiento y secado. La selección de la aglomeración específica depende de varios factores, incluyendo las propiedades físicas y químicas, tamaño promedio de la partícula inicial de la materia prima y del producto, sensibilidad térmica y de otras propiedades como son la solubilidad instantánea y fácil fluidez. La tecnología aplicada varía ampliamente en sus condiciones de proceso y principios de adhesión para juntar las partículas originales. Según Dhanalakshmi (2011), el proceso de aglomeración se puede clasificar en las categorías de: a) aglomeración por presión para la elaboración de tabletas como para uso medicinal; b) aglomeración por crecimiento (ejemplo: granulación y peletización); c) aglomeración en húmedo y aglomeración por secado (ejemplo: secado por atomización).

Dentro de los diversos tipos, la aglomeración con inyección de vapor, es utilizado especialmente para partículas que están presentes en la forma de polvo (Schuchman 1993). Es un proceso continuo, el cual se ha utilizado por muchos años en la industria de alimentos para producir aglomerados con propiedades instantáneas a partir del polvo fino. En esta técnica, las partículas que caen libremente son humedecidas mediante la inyección turbulenta de vapor de agua. Las colisiones de las partículas húmedas forman aglomerados propiciando que la energía cinética relativa puede disiparse por una capa viscosa de líquido sobre la superficie de la partícula (Schuchman 1993). En este sentido, la técnica de la aglomeración del polvo fino empleando inyección de vapor saturado, se adaptó en un equipo piloto mediante la inyección de vapor procedente del caldero a través de una tobera dentro de una cámara cilíndrica que humedece y aglomera el polvo seco de harina de quinua alimentado en forma continua. El producto húmedo aglomerado se seca en una cámara de

estufa a 60 °C.

No existe información bibliográfica ni trabajos de investigación sobre la aglomeración de harina de quinua, sin embargo, existe otros trabajos relacionados con la aglomeración de productos secados en forma de polvo a partir de soluciones, tales como la leche en polvo instantánea, café en grano instantáneo, sopa instantánea, polvo instantáneo de cocoa, etc. (Schuchman 1993). Por tanto, existe la necesidad de adaptar esta tecnología a una materia prima presente en forma de polvo para generar el desarrollo de productos nuevos y para mejorar, de forma importante, tecnologías ya existentes. Así mismo, a pesar que el proceso de aglomeración ha sido utilizado por muchos años en la industria de alimentos, esta tecnología se ha manejado cerradamente para protegerla, en ese sentido, se requiere trabajos de investigación adicional para determinar las relaciones cuantitativas entre los parámetros y los resultados del proceso para un caso específico de aprovechamiento de los residuos de granos de quinua partido obtenidos en forma de polvo.

El conocimiento y la caracterización de materias primas y los productos son esenciales para seleccionar el método adecuado y el equipo, optimizar procesos, funcionalidad, formulación de productos, y reducir el costo del producto. Las propiedades a granel de los alimentos en polvo son una función de las propiedades físicas y químicas del material, la geometría, el tamaño y las características superficiales de las partículas individuales, así como el sistema completo. Los parámetros que determinan las propiedades de los aglomerados incluyen a partículas y aglomerados primarios. Así, la medición de la propiedad del polvo es importante porque estas propiedades, intrínsecamente, afectan el comportamiento del polvo durante el almacenamiento, manejo y tratamiento.

El objetivo del presente trabajo es estudiar la factibilidad técnica de aglomeración de la harina de granos partidos proveniente del procesamiento de la quinua, para mejorar sus propiedades físicas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Material: quinua partida

Durante el procesamiento de la quinua, en la etapa de clasificación y selección de acuerdo al tamaño y color de los granos, existe una gran pérdida en razón de la formación de granos partidos por efecto del impacto de los granos sanos contra las paredes de los equipos o partes móviles de los mismos. Estos granos partidos constituyen un subproducto del procesamiento de la quinua, sin valor comercial, representando un problema debido a la dificultad para su uso, así como para su almacenamiento por el volumen que ocupa. Se calcula que la formación de granos de quinua partidos representa, aproximadamente, un 7% del volumen total de producción, lo que implica en una pérdida representativa desde el punto de vista económico cuando se procesa a escala industrial. En ese sentido, es muy importante el uso de alternativas tecnológicas que sirvan para aprovechar los residuos considerados como desperdicio y darle un valor agregado. Las variedades de materia prima en estudio son: quinua blanca y quinua roja en su forma procesada y no procesada.

Para el presente estudio, la empresa Wiracocha del Perú, proporcionó la harina de quinua (cruda, precocida, extruida y

pop de quinua), tal como se muestra en la siguiente Figura 1.

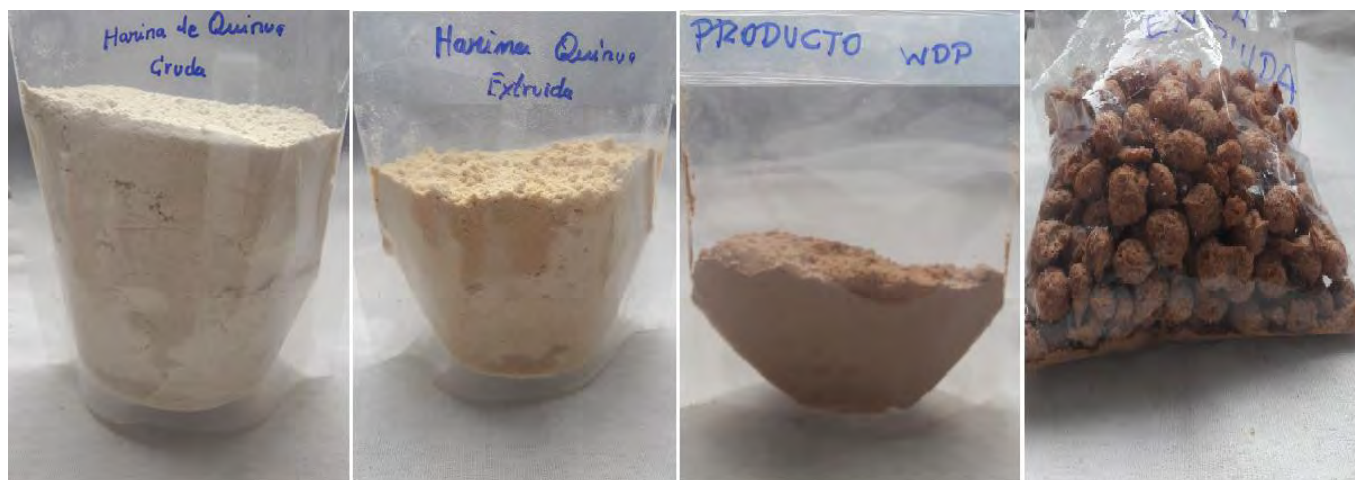


Figura 1. Polvo de harina de quinua en sus diversas formas.

Equipo experimental

Para realizar la investigación del proceso de aglomeración mediante la atomización con inyección de vapor saturado, no se dispone de un equipo experimental, por lo que fue necesario diseñar la configuración y construir dicho equipo a nivel de planta piloto, en el taller electromecánico Holger K. Hansen, para luego instalarlo en el laboratorio de Transferencia de Masa. El equipo experimental fue utilizado con la finalidad de evaluar la factibilidad técnica para la obtención de un producto aglomerado, con el objeto de mejorar las características físicas del producto en cuanto a su mojabilidad, humedimiento, dispersabilidad y propiedades instantáneas en el seno de agua fría.

La configuración del equipo básicamente consistió de los siguientes componentes:

- Una cámara cilíndrica donde se lleva a cabo el proceso de aglomeración. El diámetro del cilindro es de 5", con una longitud del 1,20 m. El material de construcción es de acero inoxidable 304.

- Un sistema de alimentación de polvo de quinua, en forma manual, a través de un embudo de vidrio con un ángulo de inclinación a fin de que el polvo que se descarga sea atraído por el chorro de vapor por diferencia de presión, el cual promueve un buen mezclado para humedecer la superficie del polvo para luego propiciar el contacto partícula-partícula.
- Un dispositivo de inyector de vapor procedente de una caldera a través de una tobera (diámetro de 2,5 mm).
- Una bandeja de recepción del aglomerado húmedo.

De acuerdo a esta configuración se construyó el equipo (Figura 2), incorporando cada uno de los componentes que forman parte del equipo experimental. Dicho equipo fue complementado con un generador de vapor (caldero), que tiene una producción de vapor de 17 kg/h a presión de 4 bar y una potencia de 12 kW con una presión máxima de salida de vapor de 4 bar. Este caldero también se ha instalado en los ambientes del laboratorio de Transferencia de Masa.

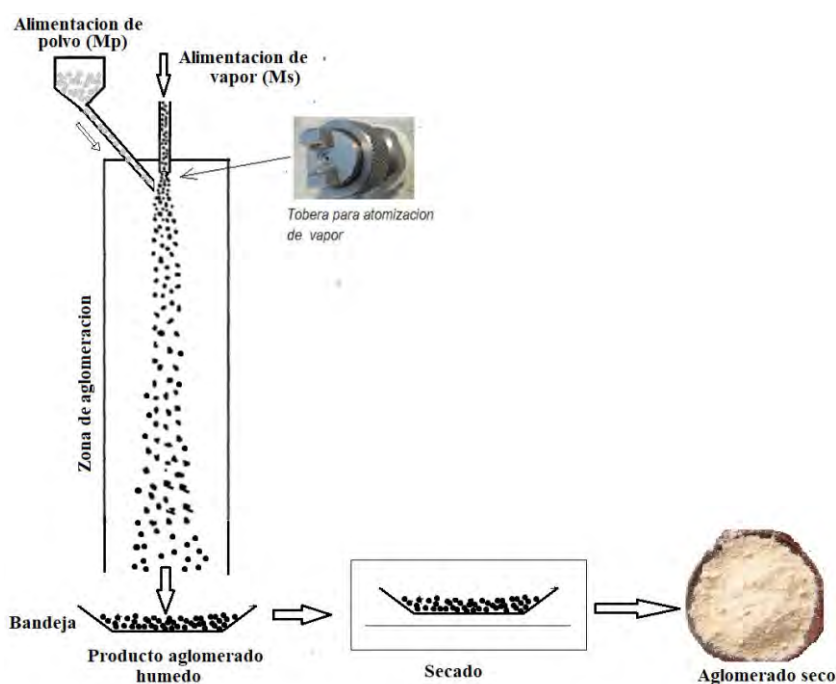


Figura 2. Esquema del equipo experimental para aglomerar quinua en forma de polvo.

Materiales e instrumentos

- Termómetro digital
- Juego de tamiz Ro - Tap
- Una balanza analítica
- Un analizador de humedad Infrared
- Una balanza de 500 gr.
- Una estufa
- Un cronómetro
- Vasos de precipitado

- Probetas de 100 ml para verificar las propiedades instantáneas
- Recipientes de plástico para almacenar materiales aglomerados
- Bolsa de plástico para almacenar harina de quinua

Metodología

De acuerdo a lo descrito por Mohamed et al. (2011), fue caracterizado las muestras de quinua conforme se observa en la Tabla 1.

Tabla 1. Caracterización del polvo de harina de quinua en sus diversas formas.

Materia prima (polvo)	Componentes de la harina de quinua extruida					
Quinua blanca cruda						
Quinua blanca precocida						
Quinua blanca semiprocesada (extruida)						
Quinua blanca formulada y semiprocesada (extruida)	azúcar	sal	cacao	quinua	quiwicha	
Quinua blanca formulada y semiprocesada (extruida)	azúcar	sal	-	quinua	quiwicha	

Para determinar las características físicas del polvo de quinua, se tomaron muestras previamente cuarteadas para realizar el análisis granulométrico y propiedades físicas como porosidad, densidad de la partícula real, densidad aparente del polvo, la humedad y otros parámetros relacionados con el mejoramiento de la calidad del polvo:

Medición del tamaño de la partícula

Para determinar el diámetro de la partícula fue empleado el análisis granulométrico a través del dispositivo Ro - Tap con un set de juego de tamices de diferentes mallas. El diámetro medio de la partícula fue calculado empleando la siguiente ecuación:

$$d = \frac{\sum n_j d_j^4}{\sum n_j d_j^3} \quad (1)$$

Donde “n” es el número de partículas de diámetro “dj”.

Para el análisis granulométrico de la materia prima sin aglomerar y aglomerado, se utilizó mallas disponibles con aperturas de 2000, 1600, 1000, 800, 690, 500, 250 y 106. El análisis granulométrico se realizó con muestras de 50 gr, con un tiempo de vibración de 10 min. La distribución del tamaño de la partícula es descrita por la relación de distribución normal logarítmica. De la gráfica de la probabilidad logarítmica, el diámetro medio geométrico de la masa pesada así como la desviación estándar, fueron determinados por la pendiente de la curva del logaritmo normal.

Densidad global, densidad real y densidad taped

La densidad global de la muestra fue determinada empleando una probeta graduada previamente tarada, en donde en forma suave se colocó muestras de polvo hasta alcanzar la marca de un volumen de 100 ml y luego fue pesado. La densidad global de la muestra fue calculada empleando la siguiente ecuación:

$$\rho_{global} = \frac{m}{V} \quad (2)$$

Donde “m” es la masa de la muestra y “V” es el volumen ocupado por la muestra.

Para determinar la densidad tapered, el cilindro es sacudido (taped) 1250 veces empleando un instrumento Tapeped Density Tester con un desplazamiento de 3 mm. Luego, el volumen de la muestra fue leído para utilizarlo en los cálculos, utilizando la siguiente ecuación:

$$\rho_{tapped} = \frac{m}{V_{tapped}} \quad (3)$$

La densidad real de la partícula se determinó empleando el método picnómetro de 25 ml de volumen, utilizando benceno de densidad conocida (850 kg/m³) de acuerdo a la siguiente relación:

$$\rho_{real} = \frac{m}{V_{desplazado}} \quad (4)$$

$$\rho_{real} = \frac{(M_{pm} - M_p)}{[(M_{pl} - M_p) - (M_{plm} - M_{pl})] \rho_{benceno}}$$

Porosidad

La porosidad de la partícula se ha calculado empleando la siguiente relación:

$$\varepsilon = \frac{(\rho_{particula} - \rho_{global})}{\rho_{particula}} \times 100 \quad (5)$$

Fluidez y cohesividad

La fluidez y cohesividad de la partícula fueron evaluados, respectivamente, a través del índice de Car (CI) (Carr, 1965) y por la relación de Hausner (HR) (Hausner, 1967). Tanto el CI como el HR, fueron calculados utilizando la densidad global y la densidad taped del polvo, de acuerdo a las siguientes relaciones:

$$CI = \frac{(\rho_{tapped} - \rho_{global})}{\rho_{tapped}} \times 100 \quad (6)$$

$$HR = \frac{\rho_{tapped}}{\rho_{global}}$$

La clasificación de la fluidez y cohesividad del polvo, basados en el CI y HR, son presentados en las Tablas 2 y 3, respectivamente.

Tabla 2. Fluidez del polvo basado en el índice de Car (CI).

CI (%)	Fluidez
<15	Muy bueno
15 – 20	Bueno
20 – 35	Justo (a punto)
35 – 45	Malo
>45	Muy malo

Tabla 3. Cohesividad del polvo basado en la relación de Hausner (HR).

HR	Cohesividad
<1,2	Baja (polvo que fluye libremente)
1,2 – 1,4	Intermedio (polvo con flujo intermedio)
>1,4	Alto (polvo que fluye con dificultad)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación del contenido de humedad- método infrared

El contenido de humedad se ha determinado por triplicado, cuyos resultados se muestran en la Tabla 4. De los resultados obtenidos, se observa que el contenido de humedad del polvo de harina de quinua, se encuentra por debajo de 11% en base húmeda, el cual cumple la normatividad del mercado de productos en polvo.

Tabla 4. Contenido de humedad de la harina de quinua base humedad.

Muestra	Peso (g)	% Humedad en base húmeda
Nº 1	3,219	10,55
Nº 2	3,321	9,53
Nº 3	3,323	9,58

Determinación de la densidad aparente (o global) y real de la harina de quinua

Los resultados de la densidad global (tabla 5) y de la densidad real (ρ_b), son mostrados en las Tablas 5 y 6. Los resultados de densidad aparente, que varía en el rango de 436 a 462 kg/m^3 , están de acuerdo con el obtenido por Cerezal, et al. (2011) (densidad global 460 kg/m^3), el cual confirma que los resultados obtenidos están bien determinados. Los resultados de densidad real están en el rango de 1395 a 1579 kg/m^3 . Estos valores dependen del contenido de humedad de la harina y de los aditivos adicionales añadidos en la formulación de dicho producto. En la literatura se ha reportado valores que varían en el rango de 1190 a 1270 kg/m^3 como intervalo de confianza (Cervilla, 2011), sin embargo, para los granos de quinua no se han reportado valores de densidad real.

Tabla 5. Densidad aparente del polvo de harina de quinua.

Muestra	Volumen (ml)	Peso (g)	Densidad global (kg/m^3)
Nº 1	50	23,10	462,0
Nº 2	50	21,80	436,0

Tabla 6. Densidad real del polvo de la harina de quinua.

Muestra	Volumen desalojado (ml)	Peso (g)	Densidad real (kg/m^3)
Nº 1	1,6057	2,53660	1 579
Nº 2	1,4586	1,4586	1 395

Determinación de la porosidad del polvo de harina madre

En la Tabla 7 se muestran los resultados de la porosidad del polvo de harina de quinua, en base a la densidad real y densidad global de la partícula. Los resultados obtenidos muestran que la porosidad varía en el rango de 0,60 a 0,70. En la literatura no se han encontrado datos para corroborar los resultados que se obtuvieron en este trabajo.

Tabla 7. Parámetro físico densidad real de la harina de quinua.

Muestra	Densidad real (kg/m^3)	Densidad global (kg/m^3)	Porosidad (-)
Nº 1	1 579	462,0	0,7074
Nº 2	1 395	436,0	0,6874

Determinación del tamaño medio de la harina de quinua - método análisis granulométrico

Los resultados sobre esta variable son mostrados en la Figura 3. De la Figura 3, se observa que la mayor distribución del tamaño de la partícula de polvo fino de la harina de quinua, varía en el rango de 90 a 300 micrones, y la mayor concentración del polvo fino (80 – 90 %), se encuentra en el tamaño de 100 micrones (0,1 mm) para ambos tipos del polvo.

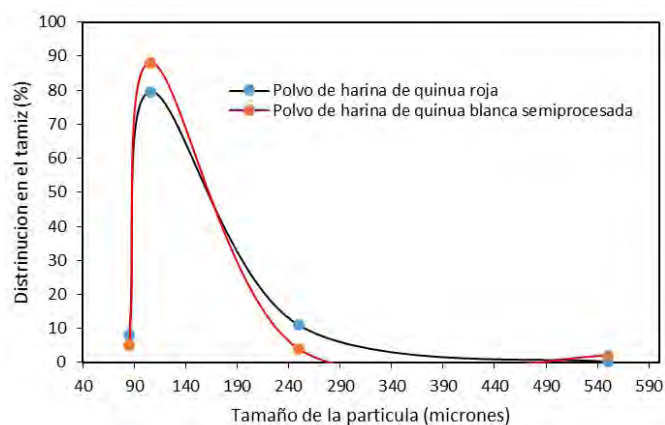


Figura 3. Distribución del tamaño de la partícula de polvo de harina de quinua no procesada y semi procesada

Características del funcionamiento de la tobera de atomización

Antes de iniciar el ensayo de aglomeración con inyección de vapor, primeramente, fue fundamental observar el funcionamiento de la tobera empleando vapor de agua procedente del caldero. Para realizar este estudio se probó el funcionamiento de dos tipos de toberas, una de la fábrica Spraying Systems Co. (1,5 mm de diámetro), y la otra construida en material de acero galvanizado, con 2,5 mm de diámetro. De la comparación de operación de las dos atomizaciones del vapor, se puede constatar que la tobera de Spraying System Co. presenta una atomización intermitente del vapor, en cambio, la tobera fabricada presenta una atomización continua del vapor.

La Figura 4 muestra la atomización del vapor en forma continua.



Figura 4. Inyección de vapor a través de la tobera

Propiedades físicas, de manejo y solubilidad instantánea del polvo de harina de quinua aglomerado
Producto aglomerado

En las Figuras 5a, 5b, 5c y 5d, se observa la aglomeración de la harina de polvo fino de la quinua, de diferentes muestras, empleando como líquido aglutinante el vapor que se atomiza a través de una tobera de 2,5 mm de diámetro. La presión de operación del vapor fue de 3,6 bar, generado en el caldero, y la temperatura de atomización del vapor fue alrededor de 95°C. Por la falta de un instrumento de medición del flujo, no se hizo la medición de esta variable. Las figuras muestran dos tipos de aglomeración uno sin aditivo aglomerante, con solo vapor y otro con un aditivo aglomerante con azúcar y semiprocesado (extruido). De los resultados de la textura, los aglomerados sin aditivo y sin procesar presentan una textura de aglomeración suave, mientras los polvos procesados (extruidos) y con azúcar (aditivo) como aglutinante, presentan una textura dura con partículas de tamaños más grandes.



Figura 5 (a). Aglomeración de harina de quinua blanca cruda



Figura 5 (b). Aglomeración de harina de quinua blanca semiprocesada extruida



Figura 5 (c) Harina de quinua blanca mezclada con polvo de cacao



Figura 5 (d). Aglomeración de harina de quinua blanca formulada con harina de quiwicha, sal, azúcar y extruida

Distribución del cambio del tamaño de la partícula aglomerado

Las Figuras 6 y 7 muestran la distribución del cambio del tamaño de la partícula aglomerada, con respecto al polvo original, para dos muestras de harina de quinua sin procesar y procesada como quinua roja y quinua blanca, formulada y extruida. De las figuras se observa que el tamaño de partícula aglomerada se incrementa en su tamaño respecto al polvo original, lo que demuestra la factibilidad de aglomeración empleando la inyección del vapor como aglutinante de partículas y el incremento de tamaño (mayor a 1 micrón). Es importante controlar la humedad final del aglomerado que debe estar por debajo de 28% de humedad, de lo contrario, se forma una masa pastosa y pegajosa, especialmente cuando el aditivo es azúcar.

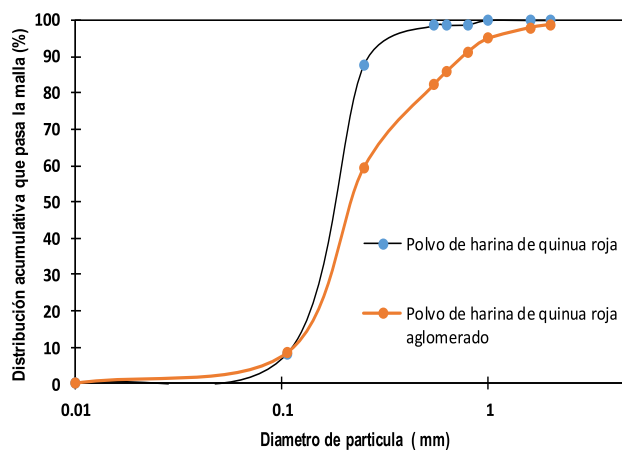


Figura 6. Cambio de distribución del tamaño de la partícula de polvo de harina de quinua roja

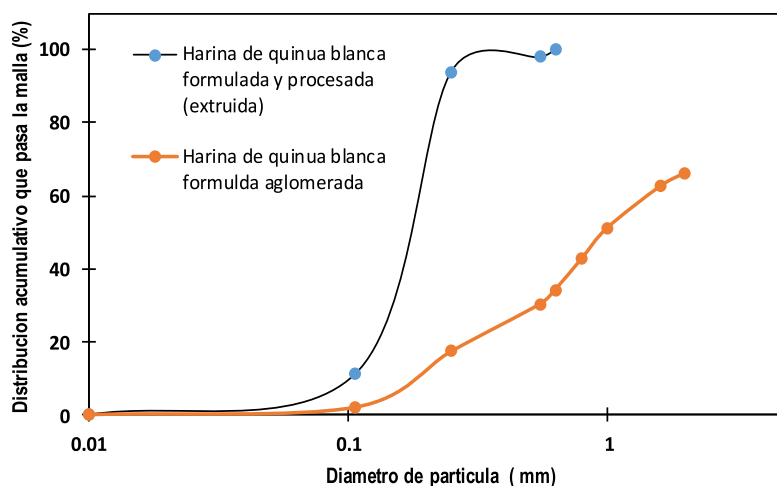


Figura 7. Cambio de distribución del tamaño de la partícula de polvo de harina de quinua blanca formulada

Partícula aglomerada y densidad y porosidad

En la Tabla 8 se presentan los resultados experimentales de la densidad y porosidad del polvo aglomerado.

Tabla 8. Densidad y porosidad de material aglomerado.

Descripción de Muestra de ensayo	Densidad global (kg/m ³)	Densidad real (kg/m ³)	Densidad tap (kg/m ³)	Porosidad (-)
Quinua roja	446,00	1351,55	530,95	0,67
Quinua blanca formulada y semiprocada (extruida)	552,00	1368,81	534,48	0,68

Hundimiento y dispersabilidad

En la Figura 8, se muestra la sedimentación y dispersabilidad del material aglomerado en agua fría ($T = 15^{\circ} \text{C}$). De los resultados, se observa que las partículas de mayor tamaño (≥ 100 micrones) y de densidad igual a 1300 kg/m^3 , resulta en el

hundimiento muy rápido, en el seno del agua, en unos cuantos segundos. Esto se explica debido a que las partículas aglomeradas se humedecen rápidamente y se dispersan con facilidad en el seno del líquido, lo que demuestra que tiene buenas propiedades instantáneas. El hundimiento rápido se mejora con la agitación.



Figura 8. Hundimiento y dispersabilidad de las partículas aglomeradas en el seno del líquido

Fluidez y cohesividad

Para analizar en términos de manejo de propiedades de fluidez (flowability) y cohesividad, en la Tabla 9 se presentan

los resultados de la evaluación en términos de índice de Carr (CI) y la relación de Hausner (HR).

Tabla 9. Características de flujo (índice de Carr, CI, y relación Hausner, HR) del polvo aglomerado de quinua.

Muestra	Densidad global (kg/m ³)	Densidad tap (kg/m ³)	CI (%)	HR (-)
Quinua roja aglomerada	446,00	530,93	15,99	1,19
Quinua blanca semiprocesada	445,94	550,00	18,92	1,23

De la comparación del índice de Carr (IC) y la relación Hausner (HR), los resultados obtenidos muestran un IC igual a 15,99% para la harina de quinua roja aglomerada y 18,92% para la harina de quinua blanca (extruida y aglomerada), lo que indica que tienen una buena fluidez por estar dentro del rango de 15-20% (Tabla 2). La cohesividad para la harina roja aglomerada es baja (HR < 1,2), significando que el polvo fluye libremente, en cambio para la harina de la quinua blanca extruida y aglomerada, el valor de HR se encuentra dentro del rango de 1,2- 1,4 (Tabla 3), lo que indica una cohesividad intermedia, es decir, el polvo aglomerado tiene un flujo intermedio. Este valor se debe a que se está empleando un polvo de harina de quinua combinada extruida, casi gelatinizada de su almidón, el cual al aglomerarse con vapor de agua, luego de un proceso de secado, se obtienen partículas de un sólido casi consistentes desde el punto de su estructura granular, lo que demuestra que para el proceso de aglomeración se debe utilizar harina de polvo semi-procesada, es decir sin ser extruido.

Conclusiones

- La aglomeración fue posible mediante la atomización del vapor de agua saturado, de las partículas finas del polvo de harina de quinua provenientes de la quinua cruda, precocida, semiprocesada (extruida) y del polvo de quinua formulada (polvo de qiwicha, sal y azúcar).
- Con relación a las propiedades en términos de mojabilidad, humedimiento, dispersabilidad y fluidez, los productos aglomerados presentan resultados muy favorables respecto a la fluidez en base al índice de Carr (rango de 15-20% bueno) y con relación al índice Hausner (HR), los dos productos presentan baja e intermedia cohesividad.
- Se recomienda que el contenido de humedad presente en el producto aglomerado sea inferior a 28% (base húmeda), ya que valores mayores a este, resulta en una masa pastosa.
- La atomización del vapor debe ser con un flujo muy bajo y saturado, para evitar una condensación mínima sobre la superficie de las partículas de polvo de quinua.
- No se recomienda utilizar polvo de harina de quinua semiprocesada (extruida), en vista que ese producto sufre cambios en su estructura debido a altas temperaturas, que provocan la gelatinización del almidón de la quinua, obteniéndose productos en forma de pop expandido llamados aglomerados térmicos sólidos cristalizados.

AGRADECIMIENTO

A la empresa Wiraccocha SAC, por las muestras de harina de quinua, y al Ing. Alejandro Tineo por su apoyo en la operación del equipo y análisis de muestras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carr. R. L. (1965). Evaluating flow properties of solids. *Chemical Engineering*, 72, 163-168.
- Cervilla, N.S; Mufari, J.R; Calandri, E.L & Guzmán, C.A., (2011), *Propiedades físicas de semillas y análisis proximal de harinas de chenopodium quinoa willd cosechadas en distintos años y provenientes de la provincia de Salta*, <http://fre.utn.edu.ar/IJCYT/clean/files/get/item/2209>
- Dhanalakshmi K., Ghosal. S and Bhattacharya S. (2011), *Agglomeration of food powder and applications*, *Critical reviews in Food Science and Nutritional*, 51: 432-441 <http://dx.doi.org/10.1080/10408391003646270>.
- Pietsch, W. (2003). *An interdisciplinary approach to size enlargement by agglomeration*. *Powder Technol.* 130: 8-13.
- Peleg, M., (1978). *Flowability of food powders and methods for its evaluation: A review*. *J Food Process Eng.* 1: 303-328.
- Cerezal, P. M., Urtuvia, V. G. V. Ramírez, V. Q. y Arcos, R. Z., (2011), "Desarrollo de producto sobre la base de harinas de cereales y leguminosa para niños celíacos entre 6 y 24 meses; II: Propiedades de las mezclas", scielo.isciii.es/pdf/nh/v26n1/originales_12.pdf
- Schuchman H., Hogeckam S. and H. Schuber H. (1993), "Jet agglomeration process for instant foods". *Trends Food Sci technol.* 4: 179-183