

# APROXIMACIONES EXPERIMENTALES AL ESTABLECIMIENTO DE LA CINÉTICA DE SECADO PARA SEMILLAS DE QUINUA

## EXPERIMENTAL APPROACHES TO THE ESTABLISHMENT OF DRYING KINETICS FOR QUINOA SEEDS

Stefanny Vargas Pérez\*  
Simón Castillo Larrarte\*\*  
Nicolás Lozano Escorcía\*\*\*  
Claudio Raúl Bernal Bustos\*\*\*\*

Recibido: 15 de agosto de 2017

Aceptado: 16 de noviembre de 2017

### Resumen

Los efectos del contenido de humedad en las propiedades físicas de dos variedades de quinua, cGC y cTC, fueron estudiados a través de la elaboración de una cinética de secado. Las propiedades físicas analizadas incluyen magnitudes de densidad aparente aireada y empacada, esfericidad y dimensiones. Estas propiedades físicas se estudiaron a partir de condiciones iniciales de humedad entregadas por el proveedor, 7.0779 % y 13.4517 % para las variedades cGC y cTC, respectivamente. Se evidenció que el comportamiento de las dimensiones de la semilla a lo largo del tiempo de secado es diferente para cada magnitud. El estudio de estas propiedades con respecto al contenido de humedad es trascendental para la industria en los procesos de recolección, manejo y almacenamiento.

**Palabras clave:** semilla de quinua, contenido de humedad, densidad aparente, dimensiones, secado.

### Abstract

The effects of moisture content on the physical properties of two varieties of quinoa, 0301 and 0404 were studied through the elaboration of a drying kinetics. The physical properties studied include magnitudes of aerated and packed bulk density, sphericity and dimensions such as length,

---

\* Estudiante de Ingeniería Química e Ingeniería Mecánica. Semillero de investigación Estructuras Híbridas Polimérica, grupo de investigación Centro de Bioprospección e Ingeniería Química Aplicada al Estudio de Biomoléculas e Industria-CBIQA, Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia. stefanny.vargas@estudiantes.uamerica.edu.co

\*\* Estudiante Ingeniería Química. Semillero de investigación Estructuras Híbridas Polimérica, grupo de investigación Centro de Bioprospección e Ingeniería Química Aplicada al Estudio de Biomoléculas e Industria-CBIQA, Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia. simon.castillo@estudiantes.uamerica.edu.co

\*\*\* Estudiante Ingeniería Química. Semillero de investigación Estructuras Híbridas Polimérica, grupo de investigación Centro de Bioprospección e Ingeniería Química Aplicada al Estudio de Biomoléculas e Industria-CBIQA, Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia. nicolas.lozano2@estudiantes.uamerica.edu.co

\*\*\*\* Profesor investigador, estudiante Doctorado Avances en Ciencias y Biotecnología Alimentaria. Director grupo de investigación Centro de Bioprospección e Ingeniería Química Aplicada al Estudio de Biomoléculas e Industria-CBIQA, Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia. claudio.bernal@investigadores.uamerica.edu.co

width and thickness. These physical properties were studied from initial moisture conditions delivered by the supplier 7.0779 % and 13.4517 % for the variety cGC and cTC respectively. It was evidenced that the behavior of the dimensions of the seed a long the drying time is different for each magnitude. The study of these properties with respect to the moisture content is transcendental for the industry in the processes of collection, handling and storage of the same.

**Keywords:** quinoa seeds, moisture content, bulk density, dimensions, drying.

## INTRODUCCIÓN

El Centro de Bioprospección e Ingeniería Química Aplicada al Estudio de Biomoléculas e Industria (CBIQA) de la Fundación Universidad de América está realizando actividades de investigación e innovación relacionadas con la especie *Chenopodium quinoa* Willd., particularmente en la definición de un “patrón de uso del almidón” contenido en los granos-semillas. Estas actividades se desarrollaron en varias etapas: 1) comprensión de los procesos de acondicionamiento del grano, es decir, limpieza y clasificación por dimensiones (Jiménez, Ochoa, Pava y Bernal, 2015); 2) secado y definición de la humedad relativa de producto (Martínez, Ochoa, Trujillo y Bernal, 2015); 3) estudio mecánico de la extracción del almidón (González, Morales y Bernal, 2016); 4) secado de la materia prima (Borraez, Mejía, Ochoa y Bernal, 2016), y 5) estudio del fenómeno de extracción sólido-líquido (Tafur y Bernal, 2017). Igualmente, se plantearon estudios que involucran la modelación del proceso (Bejarano, Rodríguez, Guarín y Bernal, 2016), así como un nuevo modelo de negocio de la quinua en Colombia (Bernal, Villegas y Sandoval, 2015).

La quinua tiene niveles de proteína cercanos al 14.6 %, porcentajes altos de aminoácidos esenciales (por ejemplo, histidina y lisina), 5.6 % de lípidos ricos en ácidos grasos esenciales y 61 % de carbohidratos en forma de almidón (Quiroga y Escalera, 2010). Los agricultores y los diferentes consumidores lo usan como alimento por su alto contenido nutricional (Moraes, Øllgaard, Kvist, Borchsenius y Balslev 2006). Dentro del campo de cultivo de la quinua se puede encontrar una gran variedad en el color de las plantas y la forma de las semillas, que puede ser resultado de selección artificial o natural o deriva genética (Fuentes, Maughan y Jellen, 2009).

Los avances en investigaciones sobre esta semilla han sido escasos. Si bien Colombia es uno de los países en los que se cultiva la quinua, debería haber en el país un mayor conocimiento de las diferentes características y variedades de esta semilla (Tapia, 1979) y, aún más importante, abrir las posibilidades para el uso de esta materia prima en diferentes procesos productivos. Es por ello que a lo largo de este artículo se estudiarán las propiedades físicas de dos variedades de granos: cGC (colección Guasca-Cundinamarca) y cTC (colección Tunkahuan-Cauca). Particularmente, se analizarán los diferentes comportamientos de estas semillas al ser expuestas a secado, específicamente, las variaciones dentro de sus dimensiones físicas y proporciones másicas en conjunto con la velocidad dentro de un proceso de secado a diferentes intervalos de tiempo. De igual forma se estandarizará su cambio en la densidad aparente aireada y densidad aparente empacada, factores de gran importancia a la hora de manejar este tipo de sólido en cualquier sistema de producción y posterior distribución.

## Metodología

Para la caracterización de las dos variedades de semillas de quinua (cGC y cTC) en relación a su contenido de humedad, se desarrolló como actividad preliminar la determinación del agua de composición presente en la quinua en condiciones ambientales. Para ello se sometió una muestra

(30 g) de cada una de las variedades de interés a un horno de secado por un periodo de 24 h a una temperatura de 50 °C. La elección de la temperatura de secado fue tomada teniendo en consideración la temperatura de gelatinización de la quinua, que oscila entre 55 a 65 °C (Arzapalo, Huamán, Quispe y Espinoza, 2015).

Como proceso principal para la obtención de las curvas de secado deseadas, se sometieron 30 g de cada una de las respectivas muestras a un periodo de 1 h y 15 min de secado (15 min de precalentamiento y 1 h de T constante de 50 °C), en el que se evaluó las propiedades físicas (dimensiones, densidad aireada y empacada) cada hora y quince minutos. En total se mantuvo la muestra en el horno de secado por un periodo total acumulado de 3 h, más 45 min de precalentamiento, distribuido de la manera mencionada previamente.

Los datos resultantes de dicha sucesión de procesos fueron el sustento de la evaluación y análisis de características de partícula y conglomerado de las mismas, así como la principal construcción de las curvas de secado.

## RESULTADOS

### Dimensiones

Inicialmente se apreció una similitud significativa en las magnitudes (largo, ancho y espesor) en las dos variedades, cGC y cTC, lo que concuerda con los valores obtenidos para la esfericidad de 0.8117 y 0.8138, respectivamente. Esto quiere decir que antes de comenzar el proceso de secado de las semillas, estas tenían una morfología similar a la de una esfera. Estas pruebas se realizaron en las condiciones de humedad en las que el proveedor entregó las muestras de cGC y cTC: 7.7079 % y 13.4517 %, respectivamente. Estos valores de humedad concuerdan con los reportados en literatura, en la que se establece que la humedad del grano de quinua debe estar entre 9.4-13.4 % para evitar que se fermente (Meyhuay, 1997).

Se evaluó el comportamiento de las dimensiones a lo largo del tiempo de secado. Se esperaba que al disminuir la masa de las semillas, las dimensiones disminuyeran igualmente; sin embargo, esto no sucede. Se comprobó que el secado afecta de diferente manera a todas las dimensiones (Ordoñez, Gely y Pagano, 2012).

De acuerdo con lo observado durante el tiempo de secado, en las primeras horas se ve un aumento de las dimensiones en las dos variedades de quinua; luego de esto, se evidencia que ambas disminuyen. Este comportamiento se puede ver en las figuras 1 (semilla cGC) y 2 (semilla cTC).

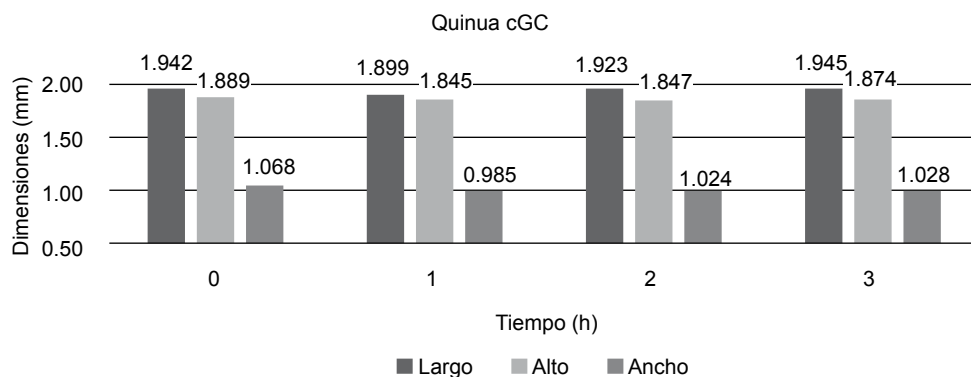
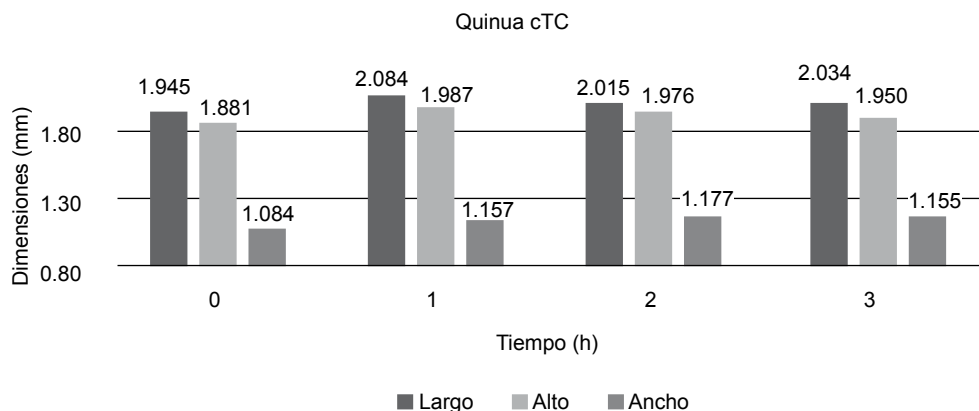


Figura 1. Dimensiones a través del tiempo de la variedad cGC.



**Figura 2.** Dimensiones a través del tiempo de la variedad cTC

Si se presentan cambios en las dimensiones, la esfericidad cambia de igual manera. Se encontró que estos valores presentaron aumentos y disminuciones durante el tiempo de secado (véase tabla 1); no obstante, la semilla cTC fue la que presentó mayor esfericidad a lo largo del experimento, es decir, a pesar del cambio en las dimensiones causado por la disminución de la masa, esta semilla tiene una menor variación en sus dimensiones si se la compara con la cGC.

**Tabla 1.** Propiedades físicas de las semillas durante el tiempo de secado

cGC							
Tiempo (h)	m (Kg)	$\rho_{\text{air}}$ (g/mL)	$\rho_{\text{emp}}$ (g/mL)	Largo (mm)	Alto (mm)	Espesor (mm)	Esfericidad
0	0.0294707	0.6260	0.5677	1.942	1.889	1.068	0.812
1	0.0283493	0.6443	0.6593	1.899	1.845	0.985	0.796
2	0.0280577	0.6167	0.6525	1.923	1.847	1.024	0.800
3	0.0278114	0.5735	0.6251	1.945	1.874	1.028	0.799
cTC							
Tiempo (h)	m (Kg)	$\rho_{\text{air}}$ (g/mL)	$\rho_{\text{emp}}$ (g/mL)	Largo (mm)	Alto (mm)	Espesor (mm)	Esfericidad
0	0.0295947	0.703	0.729	1.945	1.881	1.084	0.814
1	0.0274225	0.731	0.762	2.084	1.987	1.157	0.809
2	0.0267971	0.734	0.766	2.015	1.976	1.177	0.830
3	0.0264707	0.688	0.854	2.034	1.950	1.155	0.816

## Densidades

Los valores encontrados para la densidad aparente aireada fueron de 0.7049 y 0.7031 g/mL para las semillas cGC y cTC, respectivamente. Se encontró una diferencia significativa entre las dos variedades, lo que significa que la variedad de mayor densidad aireada cGC requiere menos espacio para su almacenamiento a gran escala.

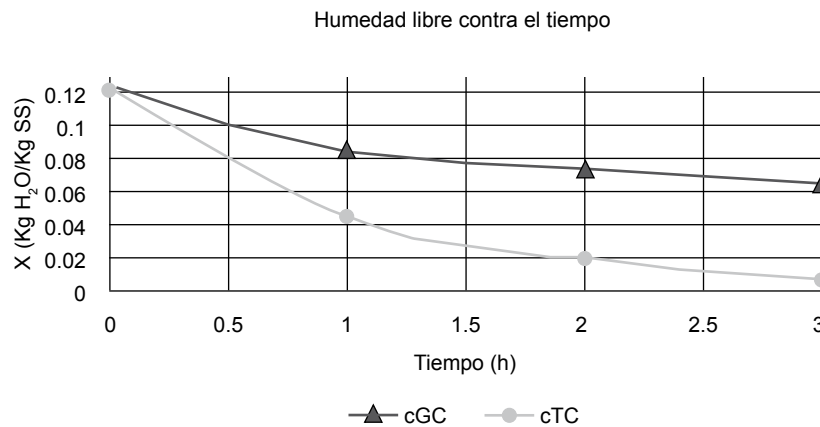
En cuanto a la densidad aparente empacada, se encontraron valores de 0.5677 y 0.7291 g/mL para cGC y cTC. Nuevamente se hace patente una diferencia significativa, lo que está directamente relacionado con las dimensiones de las semillas, ya que estas se acomodan siempre por el lado más largo. Para la variedad cTC, que presentó el mayor valor de densidad empacada, se encontró

mayor diferencia entre sus longitudes; por lo tanto, al acomodarse en el recipiente se van a generar más espacios entre las semillas.

Las densidades están relacionadas con las longitudes de las semillas; por lo tanto, también presenta variaciones en el tiempo de secado. Como se mencionó, estas densidades son significativas en el almacenamiento del material, por lo que es importante tener en cuenta el contenido de humedad de las semillas, ya que de esto depende el tamaño y, por ende, el espacio de almacenamiento de estas.

### Velocidad de secado

En la gráfica de humedad libre contra el tiempo (figura 3) se observa la cantidad de humedad que perdieron las semillas de quinua cuando se mantuvieron en condiciones constantes de temperatura y presión.



**Figura 3.** Humedad libre contra el tiempo.

Las dos semillas tienen al inicio una humedad libre de 0.1236 Kg H<sub>2</sub>O/Kg SS<sup>1</sup>, que, según Arzapalo, Huamán, Quispe y Espinoza (2015), es la humedad crítica para semillas de quinua. En la figura 3 se observa que en las dos variedades la tendencia de la humedad libre disminuye con el tiempo. La semilla de cTC llega a un valor más bajo de humedad luego de 3 h de secado, por lo que se puede decir que esta variedad requiere de menos tiempo de secado.

Debido a que no se tomaron los suficientes datos para realizar las curvas de velocidad de secado, solo se identificaron dos zonas: periodo de velocidad constante y periodo de velocidad decreciente.

Se observa que el periodo de velocidad decreciente es más prolongado que el periodo de velocidad constante, esto se debe a que durante el periodo de velocidad decreciente se presenta el secado del interior de la semilla, lo que implica la transferencia de la humedad desde la parte más profunda de la semilla al exterior, mientras que en el periodo de velocidad constante se presenta el secado de la superficie de las semillas.

<sup>1</sup> SS: Sólido Seco.

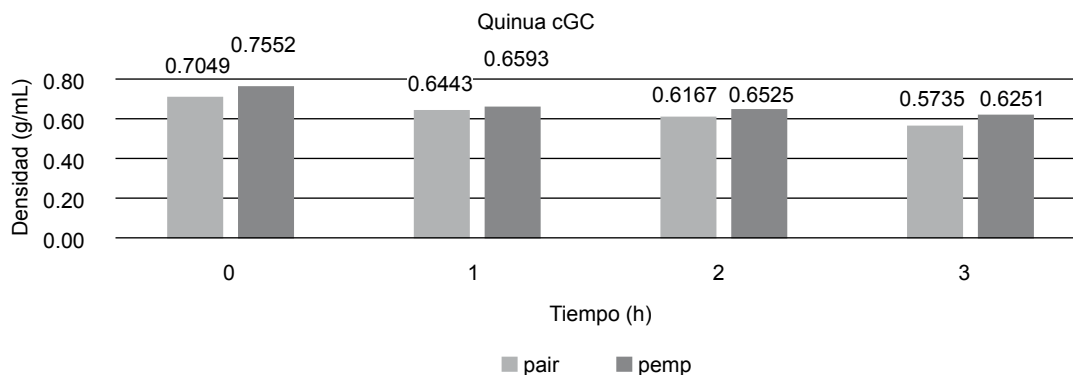


Figura 4. Densidad aparente aireada y empacada a través del tiempo de la variedad cGC.

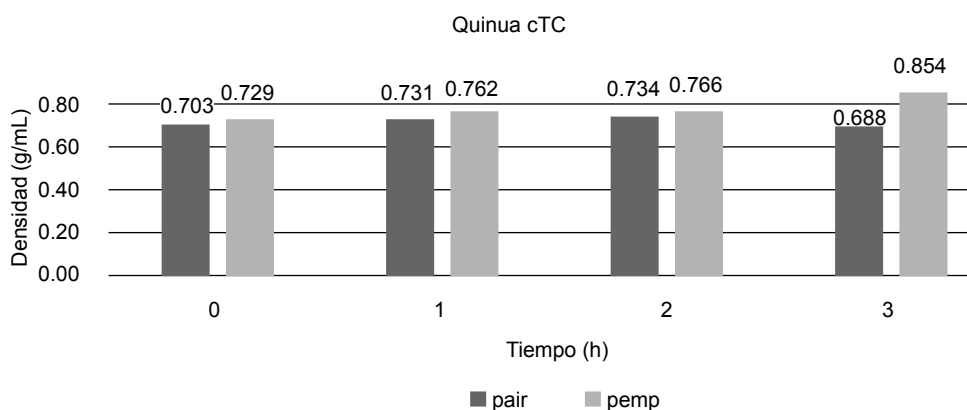


Figura 5. Densidad aparente aireada y empacada a través del tiempo de la variedad cTC.

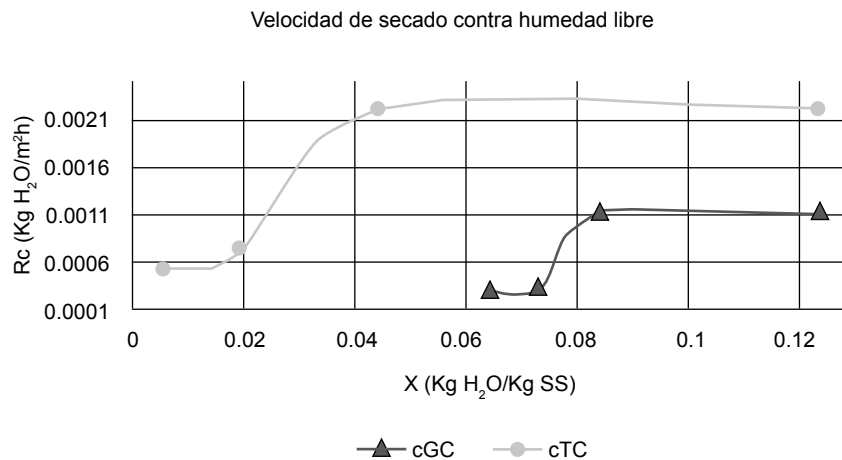
Tabla 2. Datos humedad libre y velocidad de secado

cGC			
Tiempo (h)	Xt* (Kg H <sub>2</sub> O/ Kg SS)	X** (Kg H <sub>2</sub> O/ Kg SS)	Rc*** (Kg H <sub>2</sub> O/m <sup>2</sup> h)
0	0	0.1236	0.0011
1	0.039556532	0.084043468	0.0011
2	0.050360507	0.073239493	0.00032
3	0.059662584	0.063937416	0.00028
cTC			
Tiempo (h)	Xt (Kg H <sub>2</sub> O/ Kg SS)	X (Kg H <sub>2</sub> O/ Kg SS)	Rc (Kg H <sub>2</sub> O/m <sup>2</sup> h)
0	0	0.1236	0.0022
1	0.079212326	0.044387674	0.0022
2	0.104399357	0.019200643	0.0007
3	0.118017279	0.005582721	0.0005

\* Humedad en un tiempo determinado.

\*\* Humedad libre

\*\*\* Velocidad de secado



**Figura 6.** Velocidad de secado contra humedad libre.

## CONCLUSIONES

Se determinó que las propiedades físicas de las semillas cambian cuando se someten a procesos de secado. De igual manera, estas propiedades se ven afectadas por el tipo de quinua que se trabaje, ya que cada variedad tiene diferentes capacidades de absorción y almacenamiento de agua.

Mediante la cinética de secado se puede hacer una aproximación de las condiciones y el tiempo que se requiere para retirar la humedad de una semilla. En el caso de la semilla de quinua se presentó una particularidad en relación a su tamaño reducido y su respectivo tiempo de secado, ya que a pesar de su elevada área superficial, los tiempos requeridos para la extracción de humedad son prolongados.

Se recomienda realizar más intervalos entre los tiempos de secado, es decir, prolongar el tiempo de duración total de la prueba, para realizar una curva completa de secado, en la que se pueda diferenciar cada una de las zonas importantes y realizar un análisis completo de la cinética de secado.

## REFERENCIAS

- Arzapalo, D., Huamán, K., Quispe, M., y Espinoza, C. (2015). Extracción y caracterización del almidón de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) negra collana, pasankalla roja y blanca junín. *Rev. Soc. Quím. Perú*, 81(1), 44-54.
- Bejarano, J., Rodríguez, L., Guarín, A., y Bernal, B. (2016). *Diseño y simulación a escala de banco, de un modelo matemático del proceso de extracción de almidón nativo de a especie Chenopodium quinoa (WILLD) variedades colombianas.* (tesis de pregrado). Programa de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingenierías, Fundación Universidad de América, Bogotá D. C., Colombia.
- Bernal, C., Villegas, E., y Sandoval, G. (2015). Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en Colombia. Primera Entrega: un nuevo enfoque de negocio. *Revista Virtual Pro*, 164, 1-31.
- Borraez, C., Mejía, N., Ochoa, A., y Bernal, C. (2016). *Desarrollo de una tecnología escala de banco para el secado de crudo de almidón nativo de quinua* (tesis de pregrado). Facultad de Ingeniería Mecánica, Fundación Universidad de América, Bogotá D. C., Colombia.
- Fuentes, F., Maughan, P., y Jellen, E. (2009). Genetic diversity and genetic resources for quinoa breeding. *Revista Geográfica de Valparaiso*, 42, 20-33.

- González, A., Morales, M. y Bernal, C. (2016). *Desarrollo tecnológico a escala laboratorio de un sistema de mezclado y filtrado de crudo de almidón proveniente de granos semilla de la especie Chenopodium quinua (WILD)* (tesis de pregrado). Facultad de ingeniería Mecánica, Fundación Universidad de América, Bogotá, D. C., Colombia.
- Jiménez, J., Ochoa, J., Pava, S., y Bernal, C. (2015). *Diseño de una máquina clasificadora, por dimensiones, de la semilla de quinua usando una energía alternativa* (tesis de pregrado). Facultad de Ingeniería Mecánica, Fundación Universidad de América, Bogotá, D. C., Colombia.
- Martínez, J., Ochoa, J., Trujillo, A., y Bernal, C. (2015). *Diseño de una máquina para el secado de la semilla de quinua usando una energía alternativa* (tesis de pregrado). Facultad de Ingeniería Mecánica, Fundación Universidad de América, Bogotá, D. C., Colombia.
- Meyhuay, M. (1997). *Quinua, operaciones de poscosecha*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/ar364s.pdf>
- Moraes R., Øllgaard, B., Kvist, L., Borchsenius, F., y Balslev, H. (2006). *Botánica económica de los Andes Centrales*. Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés.
- Quiroga, C., y Escalera, R. (2010). Evaluación de la calidad nutricional y morfología del grano de variedades amargas de quinua beneficiadas en seco, mediante el novedoso empleo de un reactor de lecho fluidizado de tipo surtidor. *Investigacion & Desarrollo*, 10(1), 49–62. <https://doi.org/10.23881/idupbo.010.1-4i>
- Ordóñez, M., Gely, M., y Pagano, A. (2012). Estudio de las propiedades físicas y de la cinética de secado de granos de maíz colorado duro. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 3(3), 153-171.
- Tafur, L., y Bernal, C. (2017). *Ajuste de un modelo matemático al fenómeno de extracción sólido-líquido del almidón nativo de quinua, base agua, a partir de granos-semillas de la especie Chenopodium quinoa (Willd.), por medio de un diseño experimental*. Facultad de Ingeniería Química, Fundación Universidad de América, Bogotá D. C., Colombia.