

Estudio de componentes bioactivos de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) en el secado asistido por infrarrojo

"Study of bioactive components of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) in infrared assisted drying"

Ramos Gómez, J⁽¹⁾, Peña Rivera, A⁽¹⁾

⁽¹⁾Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Universidad Nacional del Centro del Perú

E-Mail: jramos@uncp.edu.pe. / aopenia@uncp.edu.pe.

Resumen: Los laboratorios de Ingeniería de Alimentos y Calidad total de la FAIA, fueron utilizados para la ejecución de la investigación donde se utilizó quinua variedad Amarillo Marangani. El experimento se condujo haciendo uso de un DCA con arreglo factorial 32. Los factores principales fueron temperatura de secado (30 °C, 40 °C y 50 °C), y potencia de los rayos infrarrojos (0; 250 y 500 Watts). Los datos recogidos fueron el contenido de fenólicos totales, de betalaínas y la capacidad antioxidante. Los resultados muestran que cuanto mayor es la temperatura de secado y la potencia de la radiación infrarroja, se genera un mayor deterioro del contenido de fenólicos totales, betalaínas y de capacidad antioxidante. El tratamiento de 500 Watts x 50 °C, genera un contenido de 78,84 mg AGE/100 g m.s. de compuestos fenólicos, mientras 500 Watts x 30 °C; 57,785 mg AGE/100 g m.s., en betalaínas los tratamientos con 500 Watts x 50 °C y 250 Watts x 30 °C, genera 0,18 mg/100 g m.s., y los tratamientos de 0 Watts x 40° C y 0 Watts x 50° C, alcanzar valores de 0,165 mg/100 g m.s. El tratamiento que mejor conserva la actividad antioxidante de los granos de quinua es de 500 Watts x 50 °C con 1052,67 µg Trólox/g m.s., y el peor utilizando 500 Watts x 30 °C con 925,98 µg Trólox/g m.s.

Palabras clave: Quinoa secado, secado infrarrojo, quinua fenólicos totales, quinua capacidad antioxidante, quinua betalainas

Abstract: The Food Engineering and Total Quality laboratories of FAIA were used for the execution of the research where the yellow Marangani variety was used. The experiment was conducted using a DCA with factorial arrangement 32. The main factors were drying temperature (30 °C, 40 °C and 50 °C), and power of the infrared rays (0, 250 and 500 Watts). The data collected were the content of total phenolics, betalains and antioxidant capacity. The results show that the higher the drying temperature and the power of the infrared radiation, the greater deterioration of the content of total phenolics, betalains and antioxidant capacity is generated. The treatment of 500 Watts x 50° C, generates a content of 78.84 mg AGE / 100 g m.s. of phenolic compounds, while 500 Watts x 30 °C; 57,785 mg AGE / 100 g ms, in betalains treatments with 500 Watts x 50° C and 250 Watts x 30° C, generates 0.18 mg / 100 g ms, and treatments of 0 Watts x 40° C and 0 Watts x 50° C, reach values of 0.165 mg / 100 g ms The treatment that best preserves the antioxidant activity of quinoa grains is 500 Watts x 50° C with 1052.67 µg Trólox / g m.s., and the worst using 500 Watts x 30° C with 925.98 µg Trólox / g m.s.

Key words: Quinoa drying, total phenolic quinoa, quinoa antioxidant capacity, quinoa betalains

1. Introducción

La quinua, a partir del año 2013, ha incrementado los volúmenes de exportación anual, especialmente en aquellas variedades que luego del tratamiento de lavado tornan a un color blanco. Ahora la quinua en el mundo es utilizado como un alimento base, utilizado para la preparación de ensaladas, panes, pasteles, batidos para el desayuno o para entremeses, cremas y sopas, donde el sello de alimento saludable es fundamental.

Sin embargo, las saponinas normalmente presentes en las semillas de quinua, es eliminado con lavados haciendo uso de agua hasta que la presencia de este sea imperceptible en el producto. El uso de secador con temperatura controlada de deshidratación, es el método más utilizado, sin embargo, dependiendo del nivel de temperatura utilizada, se requiere de tiempos prolongados, que se ve traducido en altos costos de producción por el uso de energía involucrado. El uso de rayos infrarrojos lejanos, en el secado de alimentos, fueron investigados con resultados satisfactorios. Esto nos motivó a desarrollar la presente investigación

En la práctica del secado, intervienen las temperaturas de bulbo seco (THS) y bulbo húmedo (TBH). La TBH es la temperatura de equilibrio dinámico obtenido por una superficie de agua cuando la velocidad de transferencia de calor por convección a la misma, es igual a la transferencia de masa que se aleja a la superficie. Otro de los factores vitales a considerar es la humedad relativa del aire (HR), a medida que se incrementa la temperatura del aire disminuye la HR, con lo que aumenta la capacidad de absorción de vapor de agua (Perry, 1984). En quinua lavada, la humedad al inicio del secado oscila entre 29 % a 34 %; y debe ser llevado a niveles menores al 13 % (Soria, Marcial y Peñaloza, 1990), con el fin de evitar fermentaciones, germinaciones y ataques microbianos que reduzcan la calidad. Miranda, *et al.* (2010), secaron quinua a diferentes temperaturas, los resultados fueron que la operación de secado conduce a reducciones de 10% en proteínas, 12% en grasa y 27% en fibras y cenizas. La pérdida de proteína podría deberse a desnaturalización o cambios en la solubilidad durante el secado, o a la liberación de aminoácidos de las proteínas después de la desnaturalización que podría reaccionar con otros compuestos químicos, como los azúcares, para producir melanoidinas a través de la reacción de Maillard. Cerrón

(2014), utilizando temperatura media de aire $17^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ en el secado (temperatura ambiente del aire), requirió en promedio de 7,25 h. Mientras que usando 30°C de temperatura del aire el tiempo de secado fue de 5,75 a 6,0 h, y con aire a 50°C solo utilizó 4,00 h.

Espinoza (2011), secó murtila haciendo uso de aire caliente asistido por infrarrojo. Con aire a 40°C ; 50°C y 60°C , los tiempos fueron de 700; 370 y 265 min; mientras que con 0; 400 y 800 W los tiempos fueron de 880; 315 y 140 min respectivamente. Para el tratamiento óptimo $800\text{ W} \times 60^{\circ}\text{C}$, el tiempo se redujo a 90 min. Pitchaporn, Siriamornpun y Meeso (2011), secaron hojas de té, sometiéndolo a dos métodos de secado diferentes, aire caliente y FIR-HA, en el segundo caso el tiempo de secado fue de 60min.

El contenido inicial de compuestos fenólicos totales (CFT) determinado por Vidaurre, Dias, Medoza y Solano (2017), fue de 142,3 mg AGE/100 g m.s. en la variedad Negra Collana y de 108,9 mg EAG/ 100 g m.s. para Pasankalla. Durante el lavado estos valores se redujeron a casi el 50 %, manteniéndose casi igual luego de secado, pero reduciéndose a un 30 % del contenido inicial una vez cocidos. Estos mismos investigadores para betalinas en Negra Collana determinan 0,14 mg betalina/100 g m.s. en el grano inicial, 0,145 en grano lavado, 0,17 luego de secado y 0,05 para grano cocido. Para Pasankalla, estos valores son 0,10; 0,11; 0,13 y 0,04 respectivamente. Repo y Encina. (2008), determinaron un contenido de 92,82 mg AGE/100 g m.s. de compuestos fenólicos para la variedad Klello, con un margen de 35 a 139 mg AGE/100 g m.s. para diversas variedades de quinua. También da cuenta de 1364,85 μg Trólox/g m.s. de capacidad antioxidante para la variedad Klello, con un rango de 91,45 a 2400 para diversas variedades de quinua. Padrón, Oropesa y Montes (2014), reportan que los contenidos de compuestos bioactivos como glucósidos de flavonoides fueron significativamente mayores en tierras altas; concluyendo que el contenido de estos compuestos puede ser regulado genotípicamente en la quinua.

2. Materiales y métodos

Lugar de ejecución

Las determinaciones analíticas requeridas se efectuaron en el laboratorio de Calidad, mientras la parte experimental de la investigación, se desarrolló, en el laboratorio de

Ingeniería de Alimentos, ambos pertenecientes a la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias. La ejecución de la investigación se efectuó a partir de junio 2018 a junio 2019.

Materia prima

Para la conducción del experimento se utilizó granos de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) de la variedad Amarilla de Maranganí, adquirida de INIA Los Andenes del Cusco.

Procedimiento

Para el desamargado de la semilla, se inició con un remojo previo de la quinua variedad Amarilla Maranganí, por tiempo de 20 minutos haciendo uso de 1 parte de quinua con 3 partes de agua, a temperatura ambiente ($17^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$). Esta es la temperatura usualmente usada por los empresarios dedicados al procesamiento de la quinua, porque no se necesita de energía adicional para el calentamiento del agua, procedimiento sugerido por Borda y Gamarra (2002). Diversos investigadores, como Cerrón (2013), indican que el desamargado de quinua más efectivo se realiza mediante el lavado de los granos. Basado en estos resultados, se realizó el lavado de la semilla de quinua, utilizando el equipo de desaponificación de quinua del Laboratorio de Ingeniería de Alimentos de la Universidad Nacional del Centro del Perú. Haciendo uso de 1 parte de quinua y 3 partes de agua para el lavado, con caudal de 30 L/min, y por un tiempo de 5 minutos. Seguido de dos enjuagues adicionales, con la misma relación quinua/agua, y los mismos tiempos y caudal de agua, esto debido a que esta variedad de quinua es considerada como amarga, posee un nivel de saponina que bordea el 1 %. Indica además que el desamargado de quinua más efectivo se realiza mediante el lavado de los granos. Basado en estos resultados, se realizó el lavado de la semilla de quinua, utilizando el equipo de desaponificación de quinua del Laboratorio de Ingeniería de Alimentos de la Universidad Nacional del Centro del Perú. Haciendo uso de 1 parte de quinua y 3 partes de agua para el lavado, con caudal de 30 L/min, y por un tiempo de 5 minutos. Seguido de dos enjuagues adicionales, con la misma relación quinua/agua, y los mismos tiempos y caudal de agua, esto debido a que esta variedad de quinua es considerada como amarga, posee un nivel de saponina que bordea el 1 %.

Finalizado las operaciones de lavado y enjuagado, se procedió con la verificación del contenido remanente de saponina en las semillas de quinua, para el que se utilizó el

método rápido. Para todos los tratamientos utilizados el contenido remanente de saponina fue cercano a cero.

El cargado de la quinua lavada (desamargada), se efectuó utilizando bandejas de secado de fondo perforado (malla inferior), acondicionada previamente haciendo uso de una tela porosa para evitar la salida de los granos por la malla de la bandeja que tiene un diámetro superior a 3 mm. Las bandejas fueron luego cargadas al secador, donde se procedió con la deshidratación respectiva, utilizando los parámetros determinados en el diseño experimental

Diseño estadístico

Para la ejecución del proceso experimental se usó el diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial del tipo 3×3 , explicado por el siguiente modelo aditivo lineal:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + e_{ijk}$$

Donde:

- μ : Media general
- Y_{ijk} : Contenido de fenoles totales, betalainas y capacidad antioxidante después del secado.
- A_i : Temperatura de secado (30°C ; 40°C y 50°C)
- B_j : Potencia de rayos infrarrojos durante el secado (0; 250 y 500 Watts)
- $(AB)_{ij}$: Interacción de los diferentes niveles de los factores principales temperatura de secado (A) y potencia de rayos infrarrojos (B) utilizados en el experimento.
- e_{ijk} : Error experimental.

3. Resultados

El contenido inicial de compuestos fenólicos en los granos de quinua variedad Amarilla de Maranganí fue de 125,44 mg EGA/100 g m.s. Los resultados alcanzados, una vez secado aplicando los tratamientos son mostrados en la tabla 1.

Tabla 1: Contenido de fenólicos totales luego de las corridas experimentales (mg EGA/100 g m.s.)

Radiación infrarroja (Watts)	Temperatura de secado			Prom.
	30° C	40° C	50° C	
0,00	66,40	71,60	77,10	71,86
	67,10	72,08	76,89	
250	62,13	67,42	75,46	68,51
	62,45	67,58	76,03	
500	57,54	65,42	78,56	67,40
	58,03	65,71	79,12	
Promedio	62,28	68,30	77,19	

La figura 1, construida en base a los datos que aparecen en la tabla 1, muestra el efecto de la radiación infrarroja en el contenido final de fenólicos totales, mientras la figura 2 muestra el efecto de la temperatura del aire de secado en el contenido final de fenólicos totales.

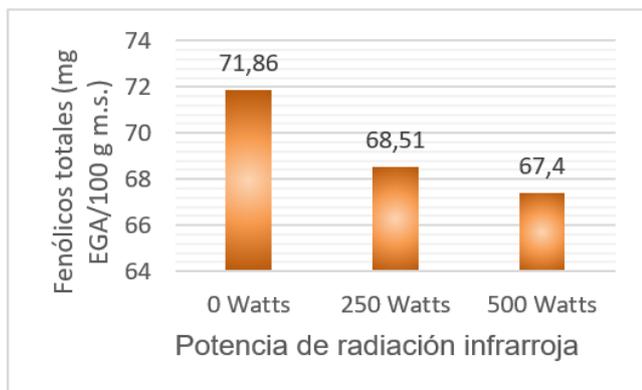


Figura 1: Contenido de compuestos fenólicos en función de la potencia de radiación infrarroja

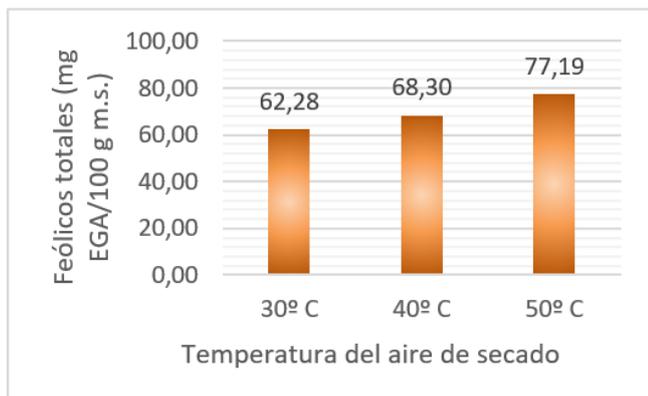


Figura 2: Contenido de compuestos fenólicos en función de la temperatura del aire de secado

La figura 3, evidencia de manera gráfica los efectos generados por cada uno de los tratamientos aplicados durante el secado de quinua.

La tabla 2 muestra que existe diferencia significativa entre los promedios generados por cada uno de los tres niveles del factor radiación infrarroja, este mismo resultado se tiene para los tres niveles del factor temperatura del aire de secado y para cada uno de los nueve tratamientos utilizados en la conducción de la investigación.



Figura 3: Compuestos fenólicos remanentes luego de aplicado cada tratamiento

Tabla 2: Análisis de varianza para el contenido de compuestos fenólicos

F.V.	SC	GL	C.M	F calc	Probabilidad	F tabular
R.						
Infrarroja	64,80	2	32,40	314,38	4.71 E-09	4,256
T. secado	675,88	2	337,94	3278,84	1.31 E-13	4,256
Interacción	66,57	4	16,64	161,47	2.27 E-08	3,633
Error	0,93	9	0,103			
Total	808,18	17				

La capacidad antioxidante mostrada por los granos de quinua variedad Amarilla de Maranganí antes de someterse a los tratamientos previstos es de 1567,95 µg Trólox /g m.s.

La tabla 3 muestra la capacidad antioxidante de los granos de quinua luego de cada corrida experimental ($\mu\text{g Trólox /g m.s.}$).

La figura 4 muestra la capacidad antioxidante en función de la potencia de radiación infrarroja, mientras la figura 5 la capacidad antioxidante en función de la temperatura del aire de secado.

En la tabla 4 se resume los resultados del análisis de varianza para capacidad antioxidante.

La figura 6 muestra la capacidad antioxidante de la quinua luego que se aplicó los tratamientos de diseño.

Tabla 3: Capacidad antioxidante de los granos de quinua luego de cada corrida experimental ($\mu\text{g Trólox /g m.s.}$)

Radiación infrarroja (Watts)	Temperatura de secado			Prom
	30° C	40° C	50° C	
0,00	985,42	998,46	1012,14	998,86
	985,66	999,21	1012,25	
250	954,60	1014,60	1035,67	1001,86
	955,10	1015,12	1036,08	
500	925,89	1026,42	1052,48	1001,87
	926,08	1027,51	1052,86	
Promedio	955,46	1013,55	1033,58	

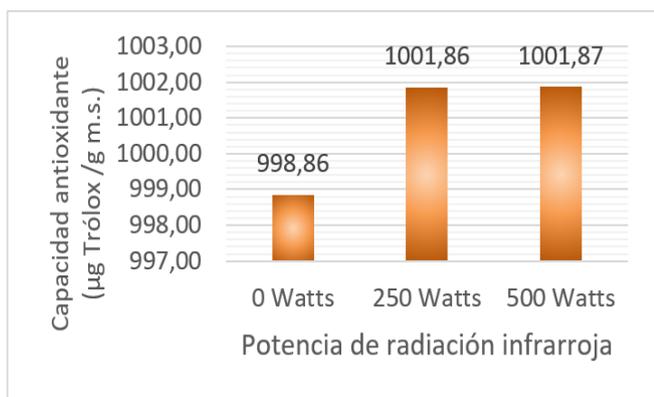


Figura 4: Capacidad antioxidante en función de la potencia de radiación infrarroja

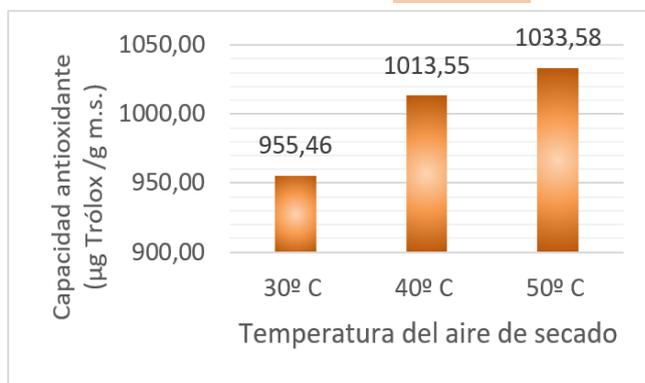


Figura 5: Capacidad antioxidante en función de la temperatura del aire de secado

Tabla 4: Análisis de varianza para capacidad antioxidante

F.V.	SC	GL	C.M	F calc	Probabilidad	F tabular
R. Infrarroja	36,26	2	18,13	121,35	3,09 E-07	4,26
T. secado	19758,18	2	9879,1	66122,7	1,77 E-19	4,26
Interacc	5962,10	4	1490,5	9976,36	2,13 E-16	3,63
Error	1,34	9	0,15			
Total	25757,88	17				



Figura 6: Capacidad antioxidante de quinua luego de aplicado cada tratamiento

El contenido de betalainas, compuesto principalmente por betaxantinas y betacianidinas, en los granos de quinua variedad Amarilla de Maranganí es de 0,16 mg/100 g m.s. La tabla 5 muestra el contenido de betalainas de los granos de quinua luego de cada experimento (mg betalainas/100 g

m.s.). La figura 7 el contenido de betalainas en función de la potencia de radiación infrarroja y la figura 8 en función de la temperatura del aire de secado. Mientras la tabla 6 el análisis de varianza para contenido de betalainas.

Tabla 5: Contenido de betalainas de los granos de quinua luego de cada corrida experimental (mg betalainas/100 g m.s.)

Radiación infrarroja (Watts)	Temperatura de secado			Prom.
	30° C	40° C	50° C	
0,00	0,17	0,16	0,17	0,167
	0,17	0,17	0,16	
250	0,18	0,18	0,17	0,175
	0,18	0,17	0,17	
500	0,18	0,17	0,18	0,177
	0,17	0,18	0,18	
Promedio	0,175	0,172	0,172	

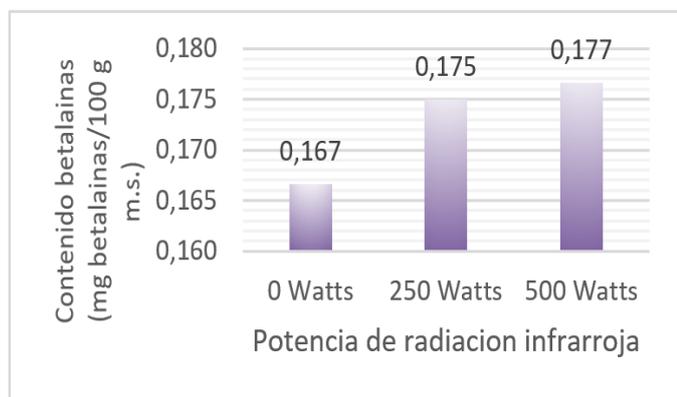


Figura 7: Contenido de betalainas en función de la potencia de radiación infrarroja

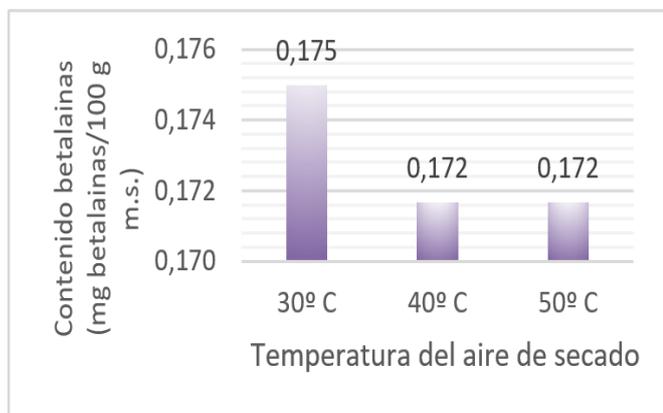


Figura 8: Contenido de betalainas en función de la temperatura del aire de secado



Figura 9: Contenido de betalainas en los granos de quinua luego de aplicado cada tratamiento

4. Discusión

El contenido inicial de compuestos fenólicos en los granos de quinua variedad Amarilla de Maranganí es de 125,44 mg EGA/100 g m.s., ligeramente menor al reportado por Vidaurre et al. (2017), de 142,3 mg AGE/100 g m.s. para Negra Collana y mayor al reportado por este mismo investigador para la variedad Pasankalla 108,9 mg AGE/100 g m.s., el valor determinado se encuentra dentro de lo reportado por Repo y Encina (2008), 35 a 139,3 mg AGE/100 g m.s. y ligeramente mayor al determinado por estos investigadores para la variedad Klello 92,82 mg AGE/100 g m.s. El mayor contenido de compuestos fenólicos 125,44 mg EGA/100 g m.s. en los granos de amarilla de Maranganí, en relación a las variedades Negra Collana y Pasankalla, podría deberse a las condiciones genéticas de esta y a las condiciones de estreses que las plantas podrían haber soportado en la etapa de siembra, tal como lo sostiene Padrón et al. (2014), que referencia mayores contenidos de compuestos bioactivos para quinua sembrada en zonas más altas.

Tabla 6: Análisis de varianza para contenido de betalaínas

F.V.	SC	GL	C.M	F calc	Probabilidad	F tabular
R. Infrarr	0,0004	2	0,00027	6,2	0,020	4,26
T. secado	4,4 E-5	2	2,22 E-05	0,8	0,479	4,26
Interacc	0,0001	4	3,06 E-05	1,1	0,413	3,63
Error	0,0003	9	2,78 E-05			
Total	0,00076	17				

Por otra parte, en función de la información resumida en la tabla 1, luego del secado de quinua variedad Amarilla de Maranganí con aire a 50° C sin intervención de radiación infrarroja se alcanzó el contenido promedio de 77,19 mg AGE/100 g m.s., que representa el 61,53 % del contenido inicial. Cuando fueron secados con aire caliente de 30° C y 40° C, los valores promedio determinados fueron de 62,28 y 68,30, que representan el 49,64 y el 54,45 % del contenido inicial de compuestos fenólicos.

De la tabla 1, se evidencia también que un incremento en la potencia de la radiación infrarroja, presenta un ligero decremento en el contenido final de compuestos fenólicos 71,86 mg AGE/100 g m.s, para 0 Watts, 68,51 mg AGE/100 g m.s para 250 Watts y finalmente 67,40 mg AGE/100 g m.s. para 500 Watts. La figura 1 evidencia este hecho de forma más clara. La figura 2 evidencia como a mayor temperatura del aire de secado el contenido final de compuestos fenólicos se conserva mejor (62,28 mg AGE/100 g m.s para 30° C; 68,30 mg AGE/100 g m.s. para 40° C y 77,19 mg AGE/100 g m.s., para 50° C. Esta tendencia es debida fundamentalmente al hecho que a mayor temperatura del aire de secado el tiempo para alcanzar la humedad de equilibrio es menor, este menor tiempo de exposición de los granos de quinua permiten conservar un mayor contenido de compuestos fenólicos al final de la operación.

La figura 1, construida en base a los datos que aparecen en la tabla 1, muestra el efecto de la radiación infrarroja en el contenido final de fenólicos totales. En ella se verifica que mientras mayor es la potencia de la radiación infrarroja, menor es el contenido final de fenólicos totales. Claramente indica que una mayor potencia de los rayos infrarrojos genera un mayor daño en el contenido de este componente. La figura 2 muestra el efecto de la temperatura del aire de secado en el contenido final de fenólicos totales. Se evidencia que a mayor temperatura de secado una mayor proporción de este componente se conserva.

La figura 3, evidencia de manera gráfica que el tratamiento con la combinación de 500 Watts de potencia de rayos infrarrojos con 50° C de temperatura en el aire de secado, conservan mejor los compuestos fenólicos (78,84 mg AGE/100 g m.s) y que el menor contenido de fenólicos se alcanza al utilizar 500 Watts con 30° C.

La tabla 2 muestra que existe diferencia significativa entre los promedios generados por cada uno de los tres niveles del factor radiación infrarroja, este mismo resultado se tiene para los tres niveles del factor temperatura del aire de secado y para cada uno de los nueve tratamientos utilizados en la conducción de la investigación.

La capacidad antioxidante mostrada por los granos de quinua variedad Amarilla de Maranganí antes de someterse a los tratamientos previstos es de 1567,95 µg Trólox/g m.s. valor superior al encontrado por Repo y Encina (2008), para la variedad Klello: 1364,85 µg Trólox/g m.s. y dentro del rango reportado por estos investigadores para este compuesto contenido en diversas variedades de quinua (91,45 a 2400 µg Trólox/g m.s.).

Los datos de la tabla 3 indican que secando la quinua con aire caliente, a 50° C se tiene una actividad antioxidante de 1033,58 µg Trólox/g m.s., que representa el 65,91 % de la actividad inicial. Cuando es secado a 30 y 40° C, estos valores son de 955,46 y 1013,55 µg Trólox/g m.s., que representa el 60,9 % y el 64,60 % de la actividad inicial respectivamente.

La figura 4, evidencia que una mayor potencia conserva una mayor actividad antioxidante de los granos de quinua, es así que con 500 Watts, este valor es de 1001,87 µg Trólox/g m.s. (63,84 % del valor inicial), con 250 Watts 1001,86 µg Trólox/g m.s., muy cercano al caso anterior y cuando 0 Watts 998,86 µg Trólox/g m.s. (que representa el 63,70 %).

Algo parecido se presenta con la temperatura del aire de secado. Al ser mayor la temperatura de secado conserva mejor la actividad antioxidante en los granos de quinua tratados. Con 50° C se alcanza 1033,58 µg Trólox/g m.s. (65,9 % del inicial), con 40° C 1013,55 µg Trólox/g m.s. (64,6 % del inicial), con 30° C 955,46 µg Trólox/g m.s. (60,9 % del inicial). Los datos se muestran en la tabla 3 y puede ser visualizado en la figura 7.

Del análisis de varianza mostrado en la tabla 4, se deduce que la incidencia de la radiación infrarroja de diversas potencias: 0; 250 y 500 Watts, genera efectos diferentes en la capacidad antioxidante final de los granos

de quinua, existiendo diferencias significativas en las medias finales obtenidas, con nivel de significación de 0,05. Esta misma situación se presenta para cuando se compara las medias generadas por aplicación de los diferentes niveles de temperatura del factor temperatura del aire de secado, estos afectan de manera diferente a la capacidad antioxidante remanente de los granos de quinua. Este mismo comportamiento se tiene para los nueve tratamientos aplicados.

De la figura 6, se desprende que el tratamiento que mejor conserva la actividad antioxidante de los granos de quinua es de 500 Watts con 50° C (1052,67 µg Trólox/g m.s., que representa el 61,13 % del contenido inicial) y el peor con 500 Watts y 30° C (925,98 µg Trólox/g m.s., 59,0 % del inicial).

El contenido de betalainas, compuesto principalmente por betaxantinas y betacianidinas, en los granos de quinua variedad Amarilla de Marangani es de 0,16 mg/100 g m.s. Los datos de la tabla 5 muestran los resultados de este componente una vez aplicado cada uno de los tratamientos experimentales.

Para granos de quinua lavadas y luego secadas, los investigadores Vidaurre et al. (2017), determinaron un contenido de 0,17 mg/100 g m.s., para Negra Collana y 0,13 mg/100 g m.s. para Pasankalla. En la investigación para la variedad Amarilla de Marangani después de haber sido secada, el valor determinado fue de 0,165 mg/100 g m.s., ligeramente superior al determinado de estos investigadores y superior también al valor inicial mostrado para esta variedad (0,16 mg/100 g m.s.). El valor de 0,165 mg/100 g m.s., representa el 103 % del contenido inicial. Cuando es secado a 30 y 40° C, estos valores son de 0,17 y 0,165 mg betalainas /100 g m.s., que representa el 106 % y el 103 % de la cantidad inicial respectivamente.

La figura 7, muestra que con radiación infrarroja de mayor potencia 500 Watts, se logra tener un mayor contenido de betalainas 0,177 mg/100 g m.s. mientras que con 0 Watts de potencia el promedio alcanzo los 0,167 mg betalainas/100 g m.s., con 110 % y 104 % del contenido inicial respectivamente. Para la temperatura del aire de secado, el comportamiento es mostrado por la figura 8 es completamente inverso, es así que con 50° C se alcanzó 0,172 mg/100 g m.s. y con 30° C 0,175 mg/100 g m.s., que representan el 107,5 % y el 109,4 % del contenido inicial respectivamente.

De la figura 9 se puede desprender que los tratamientos que mejor contenido de betalainas presentan una vez que los granos fueron sometidos a secado son 500 Watts x 50° C y 250 Watts x 30° C, con valores de 0,18 mg/100 g m.s., que representa el 112,5 % del contenido inicial. El peor tratamiento en este caso se presenta para 0 Watts x 40° C y para 0 Watts x 50° C, con valores de 0,165 mg/100 g m.s., que representan el 103 % del contenido inicial. En todos los casos sin embargo, luego de secada la quinua el contenido de betalainas fue superior al contenido inicial en los granos de quinua.

De la tabla 5 se desprende que el único factor que tiene importancia y afecta de manera considerable en el contenido final de betalainas son cada uno de los niveles de radiación infrarroja 0, 250 y 500 Watts. Que generaron promedios que difieren significativamente unos de otros. Tanto la temperatura del aire de secado como los diversos tratamientos como combinación de los diferentes niveles de los dos factores principales no generan diferencias significativas entre los promedios finales obtenidos.

5. Conclusiones

- Los resultados obtenidos, en el desarrollo de esta investigación, nos permite construir las siguientes conclusiones.
- El tratamiento 500 Watts x 50° C, conserva mejor el contenido de compuestos fenólicos 78,84 mg AGE/100 g m.s., y que el menor contenido de fenólicos se alcanza al utilizar 500 Watts x con 30° C, con 57,785 mg AGE/100 g m.s.
- El tratamiento que mejor conserva la actividad antioxidante de los granos de quinua es de 500 Watts con 50° C (1052,67 µg Trólox/g m.s., que representa el 61,13 % del contenido inicial) y el peor con 500 Watts y 30° C (925,98 µg Trólox/g m.s., 59,0 % del inicial).
- El mayor contenido de betalainas se da al utilizar 500 Watts x 50° C y 250 Watts x 30° C, con valores de 0,18 mg/100 g m.s., que representa el 112,5 % del contenido inicial, mientras el peor tratamiento es 0 Watts x 40° C y 0 Watts x 50° C, con valores de 0,165 mg/100 g m.s., que representan el 103 % del contenido inicial.
- El secado con aire a 50° C genero el contenido promedio fenólicos totales fue de 77,19 mg AGE/100 g m.s., que representa el 62,01 % del contenido mientras que con 30° C y 40° C, los valores promedio determinados fueron

de 66,75 y 71,84, que representan el 53,21 y el 57,27 % del contenido inicial de compuestos fenólicos.

- Luego de secar quinua variedad Negra Collana con aire caliente a 50° C se alcanzó una actividad antioxidante de 1033,58 µg Trólox/g m.s., que representa el 65,9 % de la actividad inicial y al ser secado a 30 y 40° C, estos valores son de 955,46 y 1013,55 µg Trólox/g m.s., que representa el 60,9 % y el 64,64 % de la actividad antioxidante inicial.
- Al ser secados con 50° C de temperatura el valor alcanzado para contenido de betalainas fue de 0,172 mg/100 g m.s., que representa el 107,5 % del contenido inicial, y con 30 y 40° C, los contenidos alcanzados fueron de 0,17 y 0,165 mg betalainas /100 g m.s., que representa el 106,3 % y el 103,0 % de la cantidad inicial.
- La potencia de radiación infrarroja de 500 Watts generó un contenido final de fenólicos totales de 67,40 mg AGE/100 g m.s., mientras que 0 Watts, 68,51 mg AGE/100 g m.s para 250 Watts y finalmente para 500 Watts.
- Una mayor potencia de radiación infrarroja conserva una mayor actividad antioxidante de los granos de quinua, con 500 Watts, este valor es de 1001,87 µg Trólox/g m.s. (63,89 % del valor inicial), con 250 Watts 1001,86 µg Trólox/g m.s., y cuando 0 Watts 998,86 µg Trólox/g m.s. (que representa el 63,70 %).
- Con mayor potencia 500 Watts de radiación infrarroja, se obtiene un mayor contenido de betalainas 0,177 mg/100 g m.s. mientras que con 0 Watts de potencia el promedio alcanza los 0,167 mg betalainas/100 g m.s., con 110,6 % y 104,3 % del contenido inicial respectivamente.

6. Referencias bibliográficas

- Borda, W. y Gamarra, W. (2003) Diseño y Construcción de un equipo mejorado para el desaponificado de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Investigaciones Agroindustriales (*Chenopodium quinoa* Willd.) y Cañihua (*Chenopodium Pallidicaule* Aellen) en Puno Perú. Perú.
- Cerrón Mercado, F. (2014). Efectos de temperatura y tiempo en el desamargado y secado de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). Tesis de pre grado

sustentado en la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la UNCP.

- Espinoza, J. (2011). Aplicación de un proceso de secado asistido infrarrojo para la deshidratación del fruto de murtila (*Ugni molinae* Turcz.). Memoria para obtener el título de Ingeniero de Alimentos. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Universidad de Chile. Santiago.
- Miranda, M., Vega, A., López, J., Parada, G., Sanders, M., Aranda, M., Uribe, K., y Di Scala, K. (2010). Impact of air-drying temperature on nutritional properties, total phenolic content and antioxidant capacity of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Industrial Crops and Products* 32, 258-263.
- Padrón, C., Oropesa, R., y Montes, A. (2014). Semillas de quinua (*Chenopodium quinoa* W.). Composición química y procesamiento. Aspectos relacionados con otras áreas. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 5(2) 166-218.
- Perry, C. (1984). *Chemical Engineers. Handbook*, 5ta edición New York., McGraw- Hill.
- Pitchaporn, W., Siriamornpuna, S., Meeso, N. (2011). Improvement of quality and antioxidant properties of dried mulberry leaves with combined far-infrared radiation and air convection in Thai tea process. *Food and Bioproducts processing*, 89, 22-30.
- Repo, R. y Encina, CH. (2008). Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos de cereales andinos: quinua (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) y kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Rev. Soc. Quím. Perú* vol 74 nº 2. Lima.
- Soria, Marcial y Peñaloza. (1990). Lavado de Quinua. Procesos y Prototipos. Seminario Taller sobre Investigación de Producción de Quinua en Ecuador. Proyecto Procesamiento de Quinua en Ecuador. INIAP, UTA CIID. Quito.
- Vidaurre, Dias, Medoza y Solano. (2017). Variación del contenido de Betalainas, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante durante el procesamiento de la quinua (*Chenopodium quinoa* W.). *Rev. Soc. Quím. Perú*, vol.83 no.3, Lima.