

Efecto de la presión de expansión por explosión y temperatura de tostado en algunas características funcionales y fisicoquímicas de dos variedades de cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen)

Effect of the expansion pressure process by explosion and toast temperature on some functional and physicochemical characteristics on two varieties of cañihua (Chenopodium pallidicaule Aellen)

Robinson L. Tacora Cauna⁽¹⁾, Genny I. Luna Mercado⁽¹⁾, Rosario Bravo Portocarrero⁽¹⁾, Jhony Mayta Hanco⁽¹⁾, Martin Choque Yucra⁽¹⁾ y Vladimiro Ibañez Quispe⁽²⁾

⁽¹⁾ Facultad de Ciencias Agrarias. UNA-Puno. ⁽²⁾ Facultad de Ingeniería Estadística e Informática. UNA-Puno. E-mail de correspondencia: jhonymayta@hotmail.com

Resumen

Se evaluó el efecto que ejerce el proceso de expansión por explosión a presiones de 120, 140 y 160 lb pulg⁻² y el proceso de tostado a temperaturas de 130, 160 y 190 °C en el contenido de polifenoles totales, capacidad antioxidante, fitatos así como en sus características fisicoquímicas: grado de gelatinización, índice de absorción e índice de expansión de cañihua en las variedades cupi e Illpa INIA 406, dando como resultado que el proceso de expansión por explosión incrementó el contenido de polifenoles totales y capacidad antioxidante a medida que las presiones aumentaron, el contenido de fitatos no presentó variaciones significativas, el grado de gelatinización, índice de expansión tanto como el índice de absorción de agua aumentaron en las dos variedades, mientras que el proceso de tostado acrecentó el contenido de polifenoles totales aumentó progresivamente, la capacidad antioxidante experimentó una leve disminución inicial e incrementando su valor progresivamente a temperaturas mayores, no existiendo una variación considerable del contenido de fitatos, se produjo un incremento inicial las características fisicoquímicas, disminuyendo estas a 190 °C, siendo similares en ambas variedades, dando a entender que el proceso de expandido genera mejores características funcionales en comparación con el tostado mientras que las características fisicoquímicas son variables en los dos procesos pero que ambos poseen características buenas para su consumo.

Palabras clave: Cañihua, expansión por explosión, tostado, polifenoles, capacidad antioxidante, fitatos, gelatinización.

Abstract

The effect exerted by the expansion process by explosion at pressures of 120, 140 and 160 lbf in⁻² and the toasting process at temperatures of 130, 160 and 190 °C in the total polyphenol content, antioxidant capacity, phytates and and in their physicochemical characteristics: degree of gelatinization, absorption rate and rate of expansion in the varieties cañihua cupi and Illpa INIA 406, resulting in the explosion process of expansion increased the total polyphenol content and antioxidant capacity as pressures increased, the phytate content was not statistically significant, the degree of gelatinization, high growth rate as the rate of absorption of water increased in both varieties, while the roasting process increased the total polyphenol content increased progressively, antioxidant capacity revealed a slight initial decrease and increase its value progressively higher temperatures, there being considerable variation in the phytate content, there was an initial increase in physical and chemical characteristics, reducing these to 190 °C, being similar in both varieties, giving understand that the expanded process leads to better functional characteristics compared with the toasted while the physical and chemical characteristics are variable in both processes, but both have good features for its consumption.

Keywords: Cañihua, expansion, explosion, roasted, polyphenols, antioxidant capacity, phytates, gelatinization.

INTRODUCCION

La cañihua es uno de los granos andinos menos estudiados y más nutritivos, su contenido y calidad proteica es excepcional (15-19%) como también es rico en micronutrientes tales como hierro y calcio (Repo-Carrasco, 2009).

Sus características agronómicas y valor nutritivo hacen que se constituya en una importante alternativa para enfrentar el déficit alimentario, tanto en nutrientes como en las características que no proporcionan calorías y aminoácidos pero tienen unas propiedades fisiológicas y nutritivas esenciales de tal forma que su carencia puede provocar enfermedades serias como: Cáncer y enfermedades cardiovasculares, además de trastornos digestivos e inmunológicos, alteraciones de comportamiento y en general envejecimiento del organismo y entre estos componentes se encuentran los componentes que proporcionan al alimento una capacidad antioxidante, contenido de fitatos, polifenoles totales, llamados en general alimentos con características funcionales (Montreal et al., 2002).

Es necesario presentar alternativas naturales con componentes funcionales adecuados como es el caso de la cañihua que permitan ser utilizados en la complementación de la dieta de la población de diversa edad, los cuales requieren alternativas naturales y disponibles, que garanticen que con el proceso de elaboración (expandidos y tostado por ejemplo) mantengan sus características de alimentos funcionales teniendo en cuenta que las variaciones de las condiciones de los procesos de transformación produce efectos en la calidad de los productos, variando considerablemente en cada tipo de proceso (Ejiqui, 2005).

El objeto de esta investigación fue evaluar los cambios que sufran los componentes funcionales tales como la capacidad antioxidante, el contenido de fitatos y polifenoles totales y algunas características fisicoquímicas por efecto de procesamiento de los dos procesos de transformación más utilizados para este producto como son el proceso de expansión por explosión y el proceso de tostado, sometidos a diferentes parámetros, esto con el afán de contribuir al desarrollo tecnológico orientado al mejoramiento de la nutrición, salud y por ende al mejoramiento de la producción agroindustrial revalorando un cultivo andino olvidado y que además reportara beneficios y desarrollo para la región.

METODOLOGÍA

Materiales y reactivos

Equipos: Espectrofotómetro, balanza analítica, centrifuga, termómetro IR, titulador, cañón expansor experimental tipo Batch con tapa de teflón.

Reactivos: Folin Ciocalteu, DPPH (2,2 Diphenyl-1-Picrylhydrazyl), metanol, carbonato de sodio, ácido clorhídrico, sulfato de sodio, persulfato amónico, ácido sulfosalicílico, EDTA sal disódica, glicina, hidróxido de potasio, yoduro de potasio, amonio hierro sulfato 6 hidratado.

Expansión por explosión y tostado

El proceso de expandido radicó en acondicionar la materia prima de cada variedad, haciendo la limpieza, selección y agregando agua hasta llegar a una humedad de 7.5 % antes de ser llevado al cañón expandidor que es pre-calentado durante 30 minutos aproximadamente con un movimiento constante, luego se alimentó a la cámara, mediante un embudo metálico por la boca de la cámara, cerrando herméticamente la tapa del cañón. Se calentó bajo presión, hasta alcanzar el nivel necesario de presión (120, 140 y 160 Lbf pulg⁻²), para luego abrir la tapa del cañón que es cuando se produce una caída de presión haciendo que los granos salgan de manera explosiva, entonces es cuando se procedió a tomar muestras del producto para su análisis.

El proceso de tostado se realizó en forma artesanal que consistió en efectuar una selección, lavado y secado previo, para luego colocar los granos de cañihua en un recipiente y someter a tres diferentes temperaturas (130, 160 y 190 °C), las cuales fueron controladas por medio de un termómetro laser. Una vez tostada la muestra, se efectuó el enfriamiento que se realizó a temperatura ambiente para posteriormente envasar las muestras para ser evaluadas.

Determinación de contenido de polifenoles totales (PT)

Se cuantifico por el método de Swain y Hillis (1959) citado por Aguilar (2002) mediante una extracción con etanol y separación por centrifugación. El sobrenadante se diluye con agua pura y se determina espectrofotométricamente con el reactivo de Folin Ciocalteu, y usando como patrón una solución de ácido gálico.

Determinación de capacidad antioxidante (CA)

La capacidad antioxidante se determinó por el método de Brand-Williams et al, (1995) donde los compuestos con actividad antioxidante reaccionan con el radical estable 2,2-difenil-1-picrylhidrazil (DPPH) en una solución de metanol. La reducción del DPPH es seguida por monitoreo de la disminución de la absorbancia en la longitud de onda característica durante la reacción. El radical en forma de DPPH absorbe a 515 nm y por reducción con un antioxidante o una especie radical disminuyendo la absorbancia.

Determinación de contenido de fitatos (FI)

Se determinó por el método reportado por Schmidt-Hebbel (2002) que se fundamenta en la solubilización de los fitatos con ácido clorhídrico y sulfato de sodio, posteriormente tratado con sulfato ferroso amoniacal oxidado y ácido sulfosalicílico con los que se calienta con agua a ebullición por 15 minutos para formar un precipitado (fitato férrico) que luego es titulado el exceso de hierro con EDTA-Na₂ hasta el viraje del color rojo marrón a amarillo claro, para luego determinar el porcentaje del ácido fítico.

Determinación de las Características Físicoquímicas.

Grado de gelatinización (GG).- Se determinó por el método de Wootton y Munk (1971) reportado por Chinma y Igyor (2008), que consiste en la razón entre el almidón gelatinizado y el almidón total, calculados por medio de mediciones espectrofotométricas del complejo almidón – Yodo formando una suspensión acuosa de muestra antes y después de una solubilización completa del almidón mediante un álcali.

Índice de absorción de agua (IA).- Se determinó calculando gravimétricamente la cantidad de material disuelto y la proporción de agua absorbida después de la agitación de una suspensión del alimento a temperatura ambiente

Índice de Expansión (IE).- Para la determinación de este parámetro, se midió la relación de las unidades de volumen que ocupan los granos sin reventar y el volumen que ocupan los granos luego de ser tostados o expandidos.

Análisis proximal.- Se terminó la humedad por secado, la ceniza por calcinación, los lípidos por extracción por solventes-Soxhlet, la proteína por el método Micro Kjeldahl, la fibra cruda por digestión ácida y alcalina y los carbohidratos por diferencia (AOAC, 1990).

Análisis Estadístico

Todas las determinaciones se realizaron por triplicado y fueron sujetos al análisis de varianza (ANOVA) mediante un arreglo factorial de dos factores, donde la evaluación de la diferencia de los valores significativos fue analizada mediante la prueba de Duncan.

RESULTADOS

Proceso de expandido por explosión

Polifenoles totales del grano de cañihua expandida

Los polifenoles totales del grano de cañihua extruida se puede observar en la Tabla 1 donde se observa que el contenido porcentual de polifenoles totales incrementa con respecto al contenido inicial mostrado en el grano de cañihua no procesada en ambas variedades. Tales resultados nos señalan que el proceso de expandido por explosión influyen positivamente en el contenido de polifenoles totales de la cañihua, esto debido posiblemente a recientes investigaciones sugieren que los productos de la reacción de Maillard formados como consecuencia del tratamiento de calor intenso o almacenamiento prolongado, generalmente exhiben fuertes propiedades antioxidantes, generalmente rompiendo la cadena y la actividad secuestrante del oxígeno (Kaur and Kapoor, 2001). El contenido de polifenoles aumenta a media que las presiones de trabajo se incrementan como se muestra en la Figura 1, mostrando también que ante el cambio de variedad, el contenido de polifenoles varía.

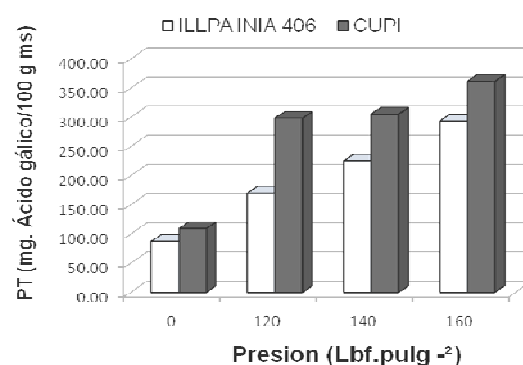


Gráfico 1. Efecto de la presión de expandido en el contenido de polifenoles totales de 2 variedades de cañihua expandida

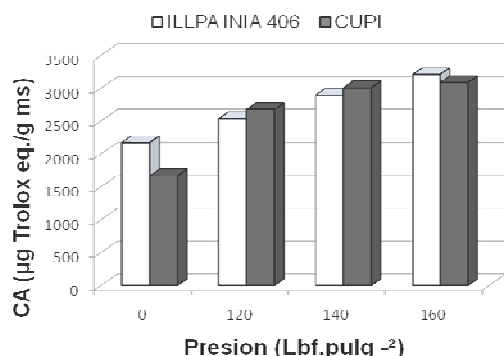


Gráfico 2. Efecto de la presión de expandido en la capacidad antioxidante de 2 variedades de cañihua expandida

Capacidad Antioxidante del grano de cañihua expandida

Los valores de la capacidad antioxidante del grano de cañihua expandida se exponen en la Tabla 1 donde se puede observar que ambas variedades tienen similar capacidad antioxidante, y que su comportamiento al ser sometida a diferentes presiones varía ligeramente (Figura 2). Los valores iniciales de la capacidad antioxidante incrementaron al ser sometidas al expandido por explosión en las tres presiones trabajadas. Tales valores son mayores al ser comparados a los obtenidos por Luna G., (2005) donde se obtuvo una capacidad antioxidante de $5.415 \mu\text{g Trolox eq. g}^{-1} \text{ ms}$ en la variedad cupi y $5.450 \mu\text{g Trolox eq. g}^{-1} \text{ ms}$ en la variedad Illpa INIA 406, esta diferencia se debe probablemente a que en la extrusión se utiliza temperaturas altas, altas presiones en tiempos breves (Pokorny et al., 2001) mientras que recientes estudios llevados a cabo en tomate, café y té mostraron que un prolongado tiempo de calentamiento aumenta la capacidad antioxidante de estos alimentos induciendo la formación de componentes con esta actividad por ejemplo productos de la reacción de Maillard (Arena et al. 2001)

Capacidad Antioxidante del grano de cañihua expandida

Los valores de la capacidad antioxidante del grano de cañihua expandida se exponen en la Tabla 1

donde se puede observar que ambas variedades tienen similar capacidad antioxidante, y que su comportamiento al ser sometida a diferentes presiones varía ligeramente (Figura 2). Los valores iniciales de la capacidad antioxidante incrementaron al ser sometidas al expandido por explosión en las tres presiones trabajadas. Tales valores son mayores al ser comparados a los obtenidos por Luna G., (2005) donde se obtuvo una capacidad antioxidante de $5.415 \mu\text{g Trolox eq. g}^{-1} \text{ ms}$ en la variedad cupi y $5.450 \mu\text{g Trolox eq. g}^{-1} \text{ ms}$ en la variedad ILLPA INIA 406, esta diferencia se debe probablemente a que en la extrusión se utiliza temperaturas altas, altas presiones en tiempos breves (Pokorny et al., 2001) mientras que recientes estudios llevados a cabo en tomate, café y té mostraron que un prolongado tiempo de calentamiento aumenta la capacidad antioxidante de estos alimentos induciendo la formación de componentes con esta actividad por ejemplo productos de la reacción de Maillard (Arena et al. 2001)

El comportamiento de la capacidad antioxidante en el proceso de expandido por explosión se asemeja al comportamiento de polifenoles totales del mismo proceso ya que según Pas'ko, (2009) existe una fuerte correlación entre el contenido de polifenoles totales de los pseudo cereales y la actividad antioxidante de los mismos sugiriendo que el contenido de polifenoles totales es un buen indicador de la capacidad antioxidante.

Fitatos del grano de cañihua expandida

Se observa que el contenido de fitatos sufre variaciones mínimas o mínimamente significativas en todas las condiciones de proceso (Tabla 1), este comportamiento es mínimo ya que los valores oscilan de un mínimo de 0.98 % Ácido Fítico a un máximo de 1.16 % Ácido Fítico no existiendo mucha diferencia en las variaciones. Los resultados obtenidos se asemejan a los obtenidos por Luna, (2005) donde la cañihua no sufrió cambios significativos al ser sometida al proceso de extrusión, deduciendo así que el proceso de expandido por explosión no afecta sustancialmente el contenido de fitatos.

Tabla 1. Efecto de la presión de expandido en las características funcionales y fisicoquímicas de la cañihua expandida

	Muestra cruda		120 (Lbf.pulg ⁻²)		140 (Lbf.pulg ⁻²)		160 (Lbf.pulg ⁻²)	
	Illpa	Cupi	Illpa	Cupi	Illpa	Cupi	Illpa	Cupi
	X±S	X±S	X±S	X±S	X±S	X±S	X±S	X±S
CA	2174±33.32	1667±120.85	2537±135.33	2677±62.95	2889±22.84	3006±37.34	3211±9.72	3089±39.33
PT	87.35±0.88	109.29±0.76	170.1±5.57	298.47±3.84	225.14±14.93	305.42±3.12	293.16±11.25	361.56±5.81
FI	1.04±0.01	1.02±0.02	1.16±0.01	1.00±0.04	1.13±0.01	1.02±0.01	1.11±0.01	0.98±0.03
GG	-	-	54.77±4.27	47.26±2.97	60.09±1.73	63.59±2.34	79.92±2.47	84.58±4.27
IE	-	-	3.55±0.01	3.75±0.03	3.62±0.02	3.79±0.01	3.96±0.01	3.88±0.03
IA	-	-	1.95±0.08	2.14±0.11	2.34±0.1	2.85±0.10	3.87±0.07	4.68±0.28

X: Promedio de 3 repeticiones; S: Desviación estándar; CA: Capacidad antioxidante (μg Trolox eq g^{-1}ms); PT: Polifenoles totales (mg , Ácido gálico $100 \text{ g}^{-1}\text{ms}$); FI: Fitatos (% Ácido Fítico); GG: Grado de gelatinización (%); IE: Índice de expansión; IA: Índice de absorción de agua

Tabla 2. Efecto de la presión de expandido en la composición proximal de la cañihua expandida

	Muestra cruda		120 (Lbf.pulg ⁻²)		140 (Lbf.pulg ⁻²)		160 (Lbf.pulg ⁻²)	
	ILLPA	Cupi	ILLPA	Cupi	ILLPA	Cupi	ILLPA	Cupi
	X±S	X±S	X±S	X±S	X±S	X±S	X±S	X±S
Hum	8.26 ± 0.47	7.5 ± 0.36	4.39 ± 0.25	4.29 ± 0.08	4.36 ± 0.16	4.20 ± 0.13	3.67 ± 0.10	3.70 ± 0.04
Cen	2.61 ± 0.10	3.13 ± 0.26	5.18 ± 0.11	6.43 ± 0.20	3.76 ± 0.09	6.57 ± 0.34	2.83 ± 0.09	5.34 ± 0.05
Gras	8.79 ± 0.10	8.15 ± 0.05	7.92 ± 0.15	7.15 ± 0.06	7.3 ± 0.24	7.45 ± 0.15	6.05 ± 0.08	5.96 ± 0.11
Prot	13.67 ± 0.22	14.85 ± 0.30	9.55 ± 0.12	6.01 ± 0.09	6.72 ± 0.37	6.76 ± 0.28	12.49 ± 0.42	12.22 ± 0.06
Fib	6.41 ± 0.20	6.91 ± 0.10	5.51 ± 0.20	6.36 ± 0.17	5.66 ± 0.18	6.00 ± 0.11	5.15 ± 0.21	6.05 ± 0.13
Carb	60.26 ± 0.84	59.45 ± 0.50	67.45 ± 0.48	69.77 ± 0.07	72.19 ± 0.53	69.02 ± 0.27	69.82 ± 0.59	66.74 ± 0.02

X: Promedio de 3 repeticiones; S: Desviación estándar; Hum: Humedad (%); Cen: Ceniza (%); Gras: Grasa (%); Prot: Proteína (%); Fib: Fibra cruda (%); Carb; Carbohidratos (%)

Tabla 3. Efecto de la temperatura de tostado en las características funcionales y fisicoquímicas de la cañihua tostada

	Muestra cruda		130 (°C)		160 (°C)		190 (°C)	
	ILLPA	Cupi	ILLPA	Cupi	ILLPA	Cupi	ILLPA	Cupi
	X±S	X±S	X±S	X±S	X±S	X±S	X±S	X±S
CA	2174±33.32	1667±120.85	1943±53.29	1481±39.01	2206±30.9	1886±159.51	2521±41.29	2342±22.7
PT	87.35±0.88	109.29±0.76	170.46±0.84	229.16±5.60	187.65±5.57	241.6±4.4	214.71±4.92	269.57±8.4
FI	1.04±0.01	1.02±0.02	0.96±0.04	1.01±0.03	0.96±0.02	1.04±0.06	1.05±0.03	1.04±0.03
GG	-	-	26.03±1.91	29.34±3.03	55.88±4.68	62.38±2.87	47.79±2.4	51.07±1.62
IE	-	-	3.63±0.02	3.38±0.01	3.72±0.01	3.45±0.01	3.62±0.02	3.42±0.02
IA	-	-	3.97±0.09	2.61±0.22	4.96±0.15	3.97±0.12	4.68±0.06	3.39±0.07

X: Promedio de 3 repeticiones; S: Desviación estándar; CA: Capacidad antioxidante (μg Trolox eq g^{-1}ms); PT: Polifenoles totales (mg , Ácido gálico $100 \text{ g}^{-1} \text{ms}$); FI: Fitatos (% Ácido Fítico); GG: Grado de gelatinización (%); IE: Índice de expansión; IA: Índice de absorción de agua

Tabla 4. Efecto de la temperatura de tostado en la composición proximal de cañihua tostada

	Muestra cruda		130 (°C)		160 (°C)		190 (°C)	
	ILLPA	Cupi	ILLPA	Cupi	ILLPA	Cupi	ILLPA	Cupi
	X±S	X±S	X±S	X±S	X±S	X±S	X±S	X±S
Hum	8.26±0.47	7.5±0.36	3.42±0.26	2.58±0.38	1.33±0.06	0.97±0.15	0.63±0.07	0.81±0.07
Cen	2.61±0.10	3.13±0.26	3.33±0.11	3.8±0.13	4.47±0.22	4.96±0.16	4.5±0.17	5.45±0.36
Gras	8.79±0.10	8.15±0.05	8.6±0.32	7.99±0.03	7.45±0.1	7.55±0.44	7.76±0.06	6.37±0.31
Prot	13.67±0.22	14.85±0.30	13.96±0.21	12.53±0.69	12.95±0.79	12.13±0.26	9.45±0.4	6.05±0.58
Fib	6.41±0.20	6.91±0.10	4.99±0.06	6.39±0.09	6.7±0.11	6.54±0.11	5.34±0.13	6.44±0.13
Carb	60.26±0.84	59.45±0.50	65.69±0.44	66.72±0.89	67.11±0.49	67.84±0.54	72.32±0.18	74.89±0.51

X: Promedio de 3 repeticiones; S: Desviación estándar; Hum: Humedad (%); Cen: Ceniza (%); Gras: Grasa (%); Prot: Proteína (%); Fib: Fibra cruda (%); Carb: Carbohidratos (%)

Grado de gelatinización del grano de cañihua expandida

Los resultados obtenidos (Tabla 1) son bajos debido probablemente a que en diferentes alimentos procesados el almidón es gelatinizado solo en parte a causa del limitado contenido de agua durante el procesamiento, los gránulos de almidón son expandidos ligeramente y la estructura interna está en parte intacta (Holm et al., 1988). En este trabajo se observó un comportamiento creciente del grado de gelatinización, debido posiblemente a que en la mayor parte de los procesos de expandido, micronizado, torrefactado y extrusionado producen alteraciones del tamaño de partícula y aumentos de temperatura, tanto por compresión como por vapor, durante los períodos de acondicionamiento, procesado o secado final, que afectan a la estructura de la proteína y el almidón (Guada J., 1993).

Índice de expansión del grano de cañihua expandida

Se observa en la Tabla 1 que los índices de expansión obtenidos son ligeramente menores al máximo índice de expansión de la cañihua expandida (6.09 a 214 Lbf.pulg.⁻²) reportado por Sucari, (2003) esto debido probablemente a la diferencia de presiones trabajadas y también a su forma nativa original y a la extensión del daño al almidón (definido como el rompimiento de la estructura molecular) porque está relacionada a los elementos fundamentales en la expansión de materiales con contenido de almidón (Harper, 1986 citado por Kokini et al., 1992). Los valores obtenidos muestran que existe un incremento del índice de expansión a medida que aumentan las presiones trabajadas y también existe una similitud en el comportamiento entre ambas variedades.

Índice de absorción de agua del grano de cañihua expandida

Los resultados del índice de absorción de agua se muestran en la Tabla 1 donde ambas variedades perciben un incremento a medida que la presión aumenta con un similar comportamiento a grado de gelatinización, al respecto Poton y Pratt, (1981) citado por Aguirre (2003) propone al índice de absorción de agua como un método válido para medir la conversión de almidón, ya que afirma que una verdadera conversión se logra cuando se tiene un hinchamiento irreversible de este, lo cual es cuantificado por el índice de absorción.

Composición proximal de la cañihua expandida

La composición proximal de la cañihua expandida en ambas variedades se muestra en la Tabla 2 donde se puede destacar que la cañihua al ser expandida redujo su humedad, los valores de ceniza se vieron afectados mínimamente, existió una disminución progresiva de la grasa a medida que se aumentaba la presión, esto podría ser a consecuencia de la volatilización de algunos ácidos grasos debido a la alta temperatura (Luna, 2005), con respecto a la proteína las dos variedades disminuyeron su porcentaje inicial al ser sometida a 120 Lbf.pulg.⁻² e incrementando su porcentaje al aumentar las presiones, reducción inicial y posterior incremento que es debido probablemente a que la baja presión inicial a la cual se trabajó, hace que el producto no se expanda adecuadamente quemando en mayor grado la superficie del grano, trayendo como consecuencia la pérdida del embrión de la cañihua en el cual se concentra una importante cantidad de proteínas (Tapia, 2000 citado por Sucari, 2003), el contenido de fibra cruda de ambas disminuye ligeramente su contenido de fibra cruda a medida que la presión del proceso de expandido aumenta, esto se explica porque el alto contenido de fibra generalmente observado en la cañihua se debe a la presencia de perigonios que envuelven el grano y que no han sido eliminados por completo (Repo-Carrasco, 1992), la determinación de carbohidratos presentes en la cañihua se hizo por diferencia y por lo tanto la disminución de la mayor parte de los componentes proximales de la cañihua hace que el porcentaje de carbohidratos aumente existiendo una similitud estadística en ambas variedades.

Proceso de tostado

Polifenoles totales del grano de cañihua tostada

En la Tabla 3, se observa que el contenido de polifenoles totales se vio afectado significativamente por el proceso de tostado incrementando su contenido ante un incremento de temperatura (Figura 3). Estos resultados son similares al ser comparados con los obtenidos por Vásquez (2006) donde señala que el contenido de polifenoles totales obtenidos de la Kiwicha se incrementa a medida que la temperatura de tostado se aumenta significando esto que el tratamiento térmico influye positivamente en los compuestos fenólicos totales debido probablemente a que se producen productos pardos de la reacción de Maillard que incluyen polímeros solubles e insolubles mayormente azúcares reductores unidos

a aminoácidos o proteínas y otros compuestos nitrogenados que hace a la lisina indisponible, así mismo con el tostado se desdobra y se forman otros compuestos fenólicos que se unen a otros compuestos como carbohidratos y proteínas lo que harían aumentar el porcentaje de compuestos fenólicos totales (Saura-Calixto y Bravo, 2002).

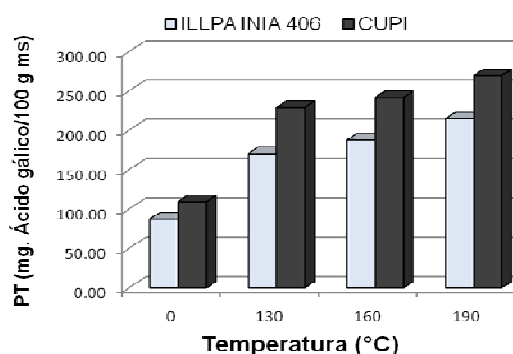


Gráfico 3. Efecto de la temperatura de tostado en el contenido de polifenoles totales de 2 variedades de cañihua

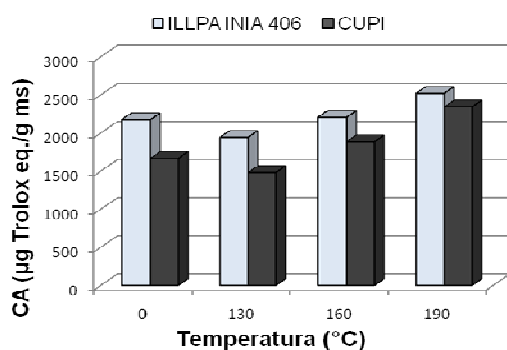


Gráfico 4. Efecto de la temperatura de tostado en la capacidad antioxidante de 2 variedades de cañihua

Capacidad Antioxidante del grano de cañihua tostada

La capacidad antioxidante se muestra en la Tabla 3, donde se puede observar que la capacidad antioxidante disminuyó ligeramente a una temperatura de 130 °C en comparación con la muestra sin procesar, cambiando la tendencia al ser sometido a 160 °C y 190 °C produciendo una mayor capacidad antioxidante, este comportamiento se en las dos variedades. Estos resultados son similares a los reportados por Vásquez, (2006) donde a una temperatura de 100 °C la capacidad antioxidante de la kiwicha también disminuye y posteriormente incrementa al

ser sometida a una temperatura de tostado de 150 °C. La reducción inicial en la actividad antioxidante (Figura 4) puede ser atribuida no solamente a la degradación térmica de los antioxidantes, sino también a la formación temprana de productos de la reacción de Maillard con propiedades pro-antioxidantes (Kaur y Kapoor, 2001). La ganancia posterior en la actividad antioxidante coincidió con la formación de productos pardos de la reacción de Maillard (Kaur y Kapoor, 2001), por su parte Wangcharoen and Morasuk, (2009) señala que el producto tostado puede incrementar su capacidad antioxidante en un mayor nivel apreciable que el valor inicial dependiendo del grado de tostado. El comportamiento de la capacidad antioxidante de la cañihua tostada en ambas variedades difiere ligeramente del contenido de polifenoles totales, esto debido a que la capacidad antioxidante no siempre va aparejada con la concentración de polifenoles, Okawa et al, (2001) citado por Zavaleta et al., (2005) reporta que cuando se evalúa la capacidad de secuestro de radicales libres no siempre es debido únicamente al contenido de polifenoles sino también la posición del grupo hidroxilo, este varía dependiendo de la granulometría de las muestras, el lugar de origen, las condiciones climáticas y el tratamiento de los alimentos.

Fitatos del grano de cañihua tostada

El contenido de fitatos en la cañihua tostada se pueden observar en la Tabla 3 donde se observa leves cambios con respecto al contenido de fitatos inicial, manifestándose este cambio de manera distinta en cada variedad, pero el análisis estadístico muestra que los cambios en cada una de las variedades no son significativos, manifestando así que la variedad no influye en el contenido de fitatos de la cañihua y que las temperaturas de tostado tampoco causan cambios sustanciales en el contenido de ácido fítico. Para una disminución de su contenido Ejiqui et al. (2005) señala que al ser sometida a un tratamiento previo como la germinación, su contenido podría disminuir.

Grado de gelatinización del grano de cañihua tostada

En la Tabla 3 se observa que, ante el cambio de temperatura de tostado de 130 °C a 160 °C la cañihua presenta un incremento en su grado de gelatinización y ante el incremento de la temperatura a 190 °C el grado de gelatinización disminuye en ambas variedades. El incremento inicial es menor que el grado de gelatinización

obtenido por Bejar y Bustinza (2004) donde muestra que al ser tostado por una maquina experimental a 200 °C por un tiempo de 10 segundos la cañihua presenta un grado de gelatinización de 79.54%. Esto debido posiblemente a que las condiciones a las cuales se llevo a cabo el tostado fueron diferentes ya que el tostado manual estuvo expuesto a un mayor tiempo (10 s a 130 °C, 18 s a 160 °C y 24 s a 190 °C) produciendo se así el deterioro de algunos de sus componentes de su capa externa, ya que Alcazar, (2002) menciona que el proceso de tostado en granos secos se lleva a cabo entre 135 a 180 °C pero el proceso debe controlarse cuidadosamente para no producir efectos perjudiciales. El descenso del grado de gelatinización a una temperatura de 190 °C se debe a la perdida de birrefringencia y la disponibilidad de almidón que ocurren sobre un relativo corto rango de temperaturas (Sullivan and Johnson, 1962).

Índice de expansión del grano de cañihua tostada

El índice de expansión en el proceso de tostado se muestra en la Tabla 3 donde al igual que el grado de gelatinización, el índice de expansión incrementa al ser sometida a un cambio de temperatura de 130 a 160 °C, comportamiento que cambia ante el incremento de temperatura a 190 °C, donde el índice de expansión disminuye alcanzando un índice de expansión de 4.68 en la variedad Illpa INIA 406 y 3.39 en la variedad cupi, existiendo una similitud con el grado de gelatinización, que se da por que cuando se expone al calor los gránulos de almidón experimenta una expansión, destrucción de la estructura cristalina interna, esta transformación termina en la gelatinización del almidón (Holm et al., 1988). A medida que se incrementa la temperatura, la viscosidad aumenta debido a la gelatinización del almidón, por cuya razón, si el almidón se calienta a mas de 160 °C se transforma en almidón soluble y a mas de 200 °C se convierte en dextrina, este almidón, se retrograda y son higroscópicos (Cisneros, 2002).

Índice de absorción de agua del grano de cañihua tostada

Se puede observar en la Tabla 3 los diferentes valores de índice de absorción obtenidos en el tostado, los cuales coinciden tanto con los del grado de gelatinización así como del índice de expansión, presentando un incremento al ser

sometidas ante el incremento de temperatura de 130 °C a 160 °C y posteriormente disminuyendo su valor al ser incrementada la temperatura de tostado a 190 °C, este comportamiento se presenta tanto en la variedad Illpa INIA 406 y cupi. El comportamiento es similar al índice de expansión y grado de gelatinización esto debido a que el índice de absorción de agua y el poder de hinchamiento son usados como indicadores de la retención del agua, también es una medida indirecta del grado de almidón gelatinizado por la cocción (Bressani y Estrada, 1994, citado por Hevia et al., 2002).

Composición proximal de la cañihua tostada

La composición proximal de la cañihua tostada a diferentes temperaturas se muestra en la Tabla 4 donde se puede observar que la humedad inicial sufre una disminución en ambas variedades a medida que la temperatura de tostado aumenta, siendo influenciada por la variedad y la temperatura. La ceniza existente en la cañihua experimenta un incremento que se debe probablemente a que ante un incremento de temperaturas, la superficie externa de la cañihua es chamuscada ligeramente. El contenido de grasa disminuye levemente con respecto al contenido inicial en la variedad cupi, la variedad Illpa INIA 406 presenta una leve disminución a una temperatura de 130 °C esto debido a una posible hidrólisis de las grasas pudiendo saponificarse. La proteína de la cañihua en ambas variedades sufre un descenso a medida que aumenta la temperatura de tostado, esto se debe posiblemente a que en el proceso de tostado puede ocurrir disminución de la cantidad en las proteínas por causa de la reacción de Maillard en presencia de carbohidratos reductores (Alcazar, 2002). El porcentaje de fibra cruda en la variedad cupi no presentó diferencias significativas en su contenido mientras que en la variedad Illpa INIA 406 hay una ligera variación mostrando así que la variedad influye en el contenido de fibra existente en la cañihua. El contenido de carbohidratos se realizó por diferencia incrementando su contenido a medida que la temperatura aumentó.

Comparación entre la cañihua expandida y tostada

Al hacer una comparación entre los dos procesos se observa que el proceso de expandido por explosión genera un mayor contenido de polifenoles totales en comparación al tostado, el expandido por explosión genera una mayor

capacidad antioxidante en el grano de cañihua, ambos procesos afectan de manera similar al contenido de fitatos no existiendo diferencias significativas, el grado de gelatinización de la cañihua expandida a diferentes presiones es ligeramente mayor al grado de gelatinización del tostado en ambas variedades, el tipo proceso no influye significativamente en el índice de absorción de agua y que el comportamiento de las variedades en el índice de expansión es distinto al ser sometida a un proceso de transformación diferente.

CONCLUSIONES

El proceso de expansión por explosión a diferentes presiones (120, 140 y 160 Lbf.pulg.⁻²) en las variedades Illpa INIA 406 y cupi produce un efecto positivo en las características funcionales y fisicoquímicas de la cañihua a medida del incremento de las presiones. El proceso de tostado a diferentes temperaturas (130, 160 y 190 °C) incrementa la propiedades funcionales conforme aumenta la temperatura pero las mejores condiciones fisicoquímicas se presentan a una presión de 160 °C en ambas variedades. El proceso de expandido por explosión proporciona mejores propiedades funcionales, pero provee características fisicoquímicas similares al tostado.

AGRADECIMIENTO

Al proyecto “Fortalecimiento de las oportunidades de ingreso y la seguridad nutricional de los pobres rurales, a través del uso y mercadeo de especies olvidadas y subutilizadas“. NUS-IFAD II, que por intermedio del CIRNMA-CICADER-UNAP financiaron íntegramente el presente trabajo de investigación.

BIBLIOGRAFIA

- Aguilar C. 2002. Caracterización Fisicoquímica de fibra y Mezclas de fibra dietaria obtenidas a partir de residuos de Naranja (*Citrus sinensis*), Salvado de cebada (*Hordeum vulgare*) y Cáscara de camote (*Ipomoea batatas* (L.) Lam). Tesis para optar el grado de Magíster Scientiae. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima. Perú.
- Alcazar del Castillo j. 2002 Diccionario técnico de industrias alimentarias. Segunda edición Editorial Cibercopy. Lima Perú.
- Aoac, Official Methods of Analysis, 1990. Association of Official Analytical Chemists International. Vols. 1 and 2. W. Horwits (Ed.). AOAC International, Washington, D.C
- Arena E., Fallico B., and Maccarone E. 2001 Evaluation of antioxidant capacity of blood oranges juices as influenced by constituents, concentration process and storage. *Food Chem.* 74: 423- 427.
- Bejar R. y Bustinza R., 2004 Diseño y Construcción de un Equipo para el Tostado de Cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) con Sistema de Vantado y Clasificado. Tesis de pre grado para optar el título de Ingeniero Agroindustrial, UNA-Puno.
- Brand – Williams W., Cuvelier E., and Berset C. 1995 Use of a free radical method to evaluate Antioxidant Activity Lebensm. Wiss. U. Technol. 28: 25-30.
- Chinma C. and Igyor M. 2008 Starch Gelatinization, Total Bacterial Counts and Sensory Evaluation of Deep Fried Cassava Balls (Akara-Akpu). *Am. J. Food Technol.* 3 (4): 257-263.
- Cisneros F. 2002 Una teoría generalizada que relaciona el atrapamiento de burbujas de aire con la longitud de de barril lleno durante la extrusión de almidón. Tesis para optar el Título de Ingeniero en industrias alimentarias. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima. Perú
- Ejiqui J., Savoie L., Marin J., Desrosiers T. 2005 Influence of Traditional Processing Methods on the Nutritional Composition and Antinutritional Factors of Red Peanut (*Arachis hipogea*) and Small Red Kidney Beans (*Phaseolus vulgaris*). *Journal of Biological Sciences* 5(5): 597-605. .
- Guada J. 1993 Efectos del procesado sobre la degradabilidad ruminal de proteína y almidón. Departamento de Producción Animal y Ciencia de los Alimentos, Facultad de Veterinaria, Universidad de Zaragoza, España.
- Hevia F., Berti M., Wilckens R. y Yévenes C. 2002 Contenido de proteína y algunas características del almidón en semillas de amaranto (*amaranthus* spp.) cultivado en chillan, chile. Universidad de Concepción Chile. *Rev. Agro sur sur* v.30 n.1
- Holm J., Lundquist I., Björck I., Eliasson A., Asp N. 1988 Degree of starch gelatinization, digestion rate of starch in vitro, and metabolic response in rats. *American Society for Clinical Nutrition* 47: 1010-1016. USA.

- Kaur C., Kapoor H. 2001. Antioxidants in fruits and vegetables—the millennium's health. *International Journal of Food Science and Technology* 36, 703–725.
- Kokini J., Chi-Tang H., Mukund Y., Karwe., 1992 *Food Extrusion Science and Technology*. Marcel Dekker Inc New York.
- Luna Mercado G. 2005. Efecto del proceso de cocción extrusión en la fracción indigestible, capacidad antioxidante, polifenoles totales, fitatos y algunas propiedades funcionales en 3 variedades de cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen). Tesis para optar el Título de Magíster Scientae Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima. Perú
- Montreal S., Fernández J., Fernández J., Sayas M. y Perz J. 2002. Aspectos Fisiológicos y nutritivos de los alimentos funcionales. *Alimentación equipos y tecnología* 21 (165) : 132- 138.
- Pas'Ko P., Barton H., ZagrodzkP., Gorinstein S., Folta M., Zachwieja Z. 2009 Anthocyanins, total polyphenols and antioxidant activity in amaranth and quinoa seeds and sprouts during their growth. *Food Chemistry* 115 : 994–998..
- Pokorny J., Yanishlieva N., Gordon M. 2001 *Antioxidants in Food: Practical Applications*; CRC Press, Woodhead Publishing Limited, Cambridge.
- Repo-Carrasco Ritva 1992 *Cultivos Andinos y la Alimentación Infantil*. Ed. Didi Arteta S.A. Lima Perú
- Repo-Carrasco R., Acevedo A., Icochea J. y Kallio H. 2009 Chemical and Functional Characterization of Kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) Grain, Extrudate and Bran. *Plant Foods Human Nutrition*. 64:94–101
- Saura-Calixto F. and Bravo L. 2002 Dietary Fiber – Associated compounds: Chemistry, Analysis and Nutritional Effects of Polyphenols. *Hand Book of Fiber Dietary* 415-430.
- Schmidt-Hebbel, H. 1986. “Tóxicos químicos en alimentos. Avances en su identificación, previsión y desintoxicación”. Editado por Fundación Chile.
- Sucari Jaen, M., 2003 “Determinación de Humedad y Presión en el proceso de Expansión por Explosión para dos Variedades de Cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen)” Tesis para optar el título de Ingeniero Agroindustrial. UNA- Puno.
- Sullivan J. and Johnson J. 1962 Measurement of starch gelatinization by enzyme susceptibility. *Sci. Food* 393 :73-79
- Vásquez F., 2006 Digestibilidad in vitro de proteína y compuestos bioactivos en accesiones de kiwicha (*Amaranthus caudatus* L., 1753) Tostada. Tesis para optar el Título de Magíster Scientae Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima. Perú
- Wangcharoen W. and Morasuk W. 2009 Effect of heat treatment on the antioxidant capacity of garlic. *Maejo Int. J. Sci. Technol.* 3(01): 60-70
- Zavaleta J., Muñoz A., Blanco T., Alvarado-Ortiz C., Loja B., 2005 Capacidad Antioxidante de algunos alimentos. *Horizonte Medico USM*.