



Efecto del proceso tecnológico sobre la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos totales del lupino (*Lupinus mutabilis* Sweet) andino

Effect of technological process on antioxidant capacity and total phenolic content of Andean lupine (*Lupinus mutabilis* Sweet)

Javier S. Córdova-Ramos^{1,*} ; Patricia Glorio-Paulet² ; Alyssa Hidalgo³ ; Felix Camarena³ 

¹ Escuela Profesional de Ciencia de los Alimentos. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Av. Universitaria / Calle Germán Amézaga 375, Lima, Peru.

² Facultad de Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Agraria La Molina, Av. La Molina s/n, Lima, Peru.

³ Department of Food, Environmental and Nutritional Sciences (DeFENS), Università degli Studi di Milano, via Celoria 2, 20133 Milano, Italy.

⁴ Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria La Molina, Av. La Molina s/n, Lima, Peru.

Received January 26, 2020. Accepted May 9, 2020.

Resumen

Se evaluó el efecto del desamargado, la extrusión y el secado por aspersión sobre la capacidad antioxidante y los compuestos fenólicos totales en harinas no desgrasadas y desgrasadas de tres genotipos de lupino andino (Altagracia, Andenes y Yunguyo). El contenido de fenólicos totales (TPC; método Folin-Ciocalteu) y la capacidad antioxidante (DPPH y ABTS+) se evaluaron por espectrofotometría. Los resultados mostraron que los procesos tecnológicos disminuyeron significativamente ($p \leq 0,05$) antioxidantes y compuestos fenólicos. El lupino amargo (muestra de control) tenía una mayor capacidad de TPC y antioxidante ($p \leq 0,05$) que las muestras procesadas. En muestras no desgrasadas y desgrasadas, el TPC de las muestras procesadas varió entre 0,64 - 1,10 y 0,75 - 1,33 mg de ácido gálico equivalente/g b.s en muestras no desgrasadas y desgrasadas, respectivamente. La capacidad antioxidante DPPH varió entre 2,87 - 4,10 y 3,12 - 4,73 $\mu\text{mol Trolox/g}$ b.s, mientras que la capacidad antioxidante ABTS + varió entre 50,65 - 75,56 y 61,63 - 76,88 $\mu\text{mol Trolox/g}$ b.s. en muestras no desgrasadas y desgrasadas, respectivamente. Por otro lado, los lípidos influyeron negativamente en la cuantificación de TPC; por lo tanto, las muestras desgrasadas tenían un TPC más alto.

Palabras clave: capacidad antioxidante; fenoles totales; *L. mutabilis*; lupino andino; tarwi.

Abstract

The effect of debittering, extrusion and spray drying on antioxidant capacity and total phenolic compounds in non-defatted and defatted flours from three Andean lupine genotypes (Altagracia, Andenes, and Yunguyo) was evaluated. Total phenolic content (TPC; Folin-Ciocalteu method) and antioxidant capacity (DPPH and ABTS+) were assessed by spectrophotometry. Results showed that technological processes decreased significantly ($p \leq 0.05$) antioxidants and phenolic compounds. Bitter lupine (control sample) had higher ($p \leq 0.05$) TPC and antioxidant capacity than processed samples. In non-defatted and defatted samples, TPC of processed samples varied between 0.64 - 1.10 and 0.75 - 1.33 mg gallic acid equivalent/g d.m. in non-defatted and defatted samples, respectively. The DPPH antioxidant capacity varied between 2.87 - 4.10 and 3.12 - 4.73 $\mu\text{mol Trolox/g}$ d.m., while the ABTS+ antioxidant capacity ranged between 50.65 - 75.56 and 61.63 - 76.88 $\mu\text{mol Trolox/g}$ d.m. in non-defatted and defatted samples, respectively. On the other hand, lipids negatively influenced the quantification of TPC; therefore, the defatted samples had higher TPC.

Keywords: antioxidant capacity; total phenols; *L. mutabilis*; Andean lupine; tarwi.

Cite this article:

Córdova-Ramos, J.S.; Glorio-Paulet, P.; Hidalgo, A.; Camarena, F. 2020. Efecto del proceso tecnológico sobre la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos totales del lupino (*Lupinus mutabilis* Sweet) andino. Scientia Agropecuaria 11(2): 157-165.

* Corresponding author

E-mail: jcordovar1@unmsm.edu.pe (J.S. Córdova-Ramos).

© 2020 All rights reserved

DOI: [10.17268/sci.agropecu.2020.02.02](https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.02.02)

1. Introducción

El lupino andino (*Lupinus mutabilis* Sweet) (Gross *et al.*, 1988), también conocido como “tarwi”, es una leguminosa con alto valor nutricional. A nivel mundial, tomando en cuenta las otras especies cultivadas de Lupinos tales como *L. angustifolius*, *L. albus* y *L. luteus*, se utiliza mayormente en alimentación animal (Vo *et al.*, 2015); sin embargo, en el Perú y la región andina, el *L. mutabilis* es muy utilizado para consumo humano. Los lupinos andinos son caracterizados generalmente por su alto contenido de proteínas, lípidos y sustancias biológicamente activas (Córdova-Ramos *et al.*, 2020; Thambiraj *et al.*, 2018). A la actualidad se han realizado trabajos de investigación relacionados a los alcaloides, contenido nutricional y compuestos bioactivos, del lupino sin desengrasar y sin procesar. Algunos trabajos de investigación muestran solo la utilización del lupino en diferentes productos alimenticios (Hickisch *et al.*, 2016; Wolkers-Rooijackers *et al.*, 2018). El lupino andino puede reemplazar con éxito a la soja en la nutrición humana (Kaczmarzka *et al.*, 2018); por esta razón, recientemente el lupino está siendo utilizado en la producción de diversos alimentos dietéticos y funcionales (Villa-rino *et al.*, 2015; Kaczmarzka *et al.*, 2018; Zhong *et al.*, 2019), además hay poca información sobre el efecto de algunos procesos de interés comercial (extrusión y secado por aspersión) sobre los compuestos bioactivos del lupino; así mismo, ni tampoco hay información suficiente del efecto que tiene la grasa del lupino sobre la cuantificación de estos compuestos.

El lupino andino tiene muchos compuestos bioactivos que son importantes para la salud (Berghout *et al.*, 2015). Los antioxidantes y los fenoles como flavonas e isoflavonas son compuestos bioactivos que están presentes en el lupino (Ranilla *et al.*, 2009; Czubinski *et al.*, 2019), además estos compuestos químicos presentan una alta actividad antioxidante dependiendo de la variedad y genotipo. Los compuestos fenólicos totales son compuestos bioactivos y son los más abundantes metabolitos secundarios presentes en las leguminosas (Dueñas *et al.*, 2009), como el lupino. Además, estos compuestos fenólicos se consideran como antioxidantes naturales, que pueden prevenir el desarrollo de muchas enfermedades, como arteriosclerosis, cáncer, y otros (Arnoldi *et al.*, 2015). Los antioxidantes son capaces de frenar la oxidación de otras moléculas importantes para el organismo (Oomah *et al.*, 2006). La capacidad antioxidante producida por la presencia de los polifenoles puede contrarrestar los radicales

libres minimizando el daño celular del organismo (Lammi *et al.*, 2016; Guerreiro-Ochoa *et al.*, 2015). El mayor efecto terapéutico de los compuestos fenólicos, como la actividad antioxidante, depende de su estructura química, incluyendo el número de grupos hidroxilo y su posición.

El proceso tecnológico genera valor agregado al producto alimenticio, pero afecta a los componentes bioactivos, asimismo Singh *et al.* (2020) obtuvieron una reducción de la actividad antioxidante después del proceso de desamargado, en muestras de residuos de salmón, Ramos-Enríquez *et al.* (2018) encontraron efectos positivos en el contenido de componentes fenólicos totales y actividad antioxidante después del proceso de extrusión, en muestras de salvado de trigo, Zhang *et al.* (2020) encontraron un aumento del contenido de fenólicos después del proceso de secado por aspersión, en muestras de jugos de arándanos; y para el caso del lupino no hay mucha información específica sobre este tema.

En general, el lupino andino es una fuente potencial de compuestos bioactivos (Gross *et al.*, 1988; Hickisch *et al.*, 2016), y el interés comercial por el lupino andino procesado se está incrementando; por consiguiente, existe la necesidad de investigar que ocurre con los compuestos fenólicos y antioxidantes durante su procesamiento. Por tal razón, se investigó el efecto del proceso de desamargado, extrusión y secado por aspersión sobre los componentes fenólicos totales y su capacidad antioxidante del lupino procesado, y también se evaluó el efecto de la grasa del lupino en la cuantificación de estos compuestos químicos.

2. Materiales y métodos

2.1 Materiales

Tres genotipos de granos de lupino (*Lupinus mutabilis* Sweet) de diferentes regiones del Perú (Altagracia de Ancash, Andenes-INIA de Cusco y Yunguyo de Puno) fueron proporcionados por el Programa de Granos, Leguminosas y Oleaginosas (PGLO) de la Universidad Nacional Agraria la Molina.

2.2 Procesamiento de los granos de lupino andino

2.2.1 Proceso de desamargado y molienda

El proceso de desamargado de los granos de lupino amargo se realizó de acuerdo a Jacobsen y Mujica (2006), Ertaş y Bilgiçli (2012) y Erbas (2010), con varias modificaciones. Los granos de lupino fueron hidratados a temperatura ambiente por 12 horas, la relación de granos de lupino:agua fue de 1:6 (w/v). Los granos hidratados fueron co-

cinados en agua (granos hidratados:agua, 1:3, p/v) a temperatura de ebullición por 1 hora, con cambio de agua cada 30 minutos; luego los granos cocidos fueron puestos en agua (1:3, p/v) a temperatura ambiente durante 5 días. El agua se cambió cada día, manteniendo siempre la misma proporción de grano:agua. Luego, los granos fueron escurridos y secados a 50 °C en un secador de bandejas. Finalmente, se realizó una molienda (para granos de lupino amargo y desamargado), mediante un molino de cuchillas (GM 200, Retsch ®) a 6000 RPM por 35 segundos; luego las muestras de harina fueron tamizadas (tamiz de 2,0 mm), y posteriormente fueron puestos en frascos de color oscuro y almacenados en refrigeración a 4°C hasta el día de su análisis.

2.2.2 Proceso de extrusión

La extrusión se realizó utilizando un extrusor de laboratorio de doble tornillo (DSE32, Lab extruder, China) con las siguientes características: dimensión 2,1 x 0,62 x 1,4 m, entrada de energía 6,3 kW, carga mínima de alimentación 0,5 a 1 kg y salida de producto extruido 8 a 12 kg/h. La corriente principal, alimentador y del cortador fue 16, 10 y 10 Hz respectivamente; el tamaño de la boquilla fue de 5,2 mm y durante todo el proceso de extrusión la presión se mantuvo a 20 MPa. Se trabajó con los parámetros de proceso de extrusión establecidos por Lampart-Szczapa *et al.* (2006); ingreso de materia cruda con 35% de humedad, las temperaturas en cada sección individual del extrusor fueron: 95/120/140/130 °C respectivamente. Los granos de lupino desamargados fueron reducidos de tamaño mediante un molino de cuchillas (GM 200, Retsch ®) a 5000 RPM por 35 segundos, antes de ingresar al extrusor. La extrusión del lupino se inició después de calentar los tornillos con el paso de muestra hasta llegar a la temperatura programada en cada sección individual del extrusor. Finalmente, el producto extruido fue molido en un molino de cuchillas a 6000 RPM durante 35 segundos, luego las muestras de harinas extruidas fueron tamizadas mediante un tamiz de 2,0 mm, y luego fueron puestos en frascos de color oscuro y almacenados en refrigeración a 4 °C, hasta el día de su análisis.

2.2.3 Proceso de spray drying

Primero se preparó la bebida a partir de los granos de lupino desamargado, luego la bebida de lupino fue secada por atomización. Los granos secos y limpios de lupino fueron hidratados durante 12 horas a temperatura ambiente, la proporción de lupino:agua hervida fría fue de 1:6 (p/v), luego los lupinos hidratados fueron pelados y triturados por

15 minutos en una licuadora (OsterBlender, México) adicionando agua hervida fría, en la proporción de 1:4 (lupino hidratado pelado:agua hervida fría, p/v) y finalmente se filtró manualmente a través de una tela fina. La bebida de lupino elaborado fue alimentado a un secador de aspersion de laboratorio. Antes de ingresar al secador por aspersion, se agregó 6% (p/p) de agente encapsulante a la bebida. Se utilizó dos tipos de agente encapsulante: maltodextrina y goma arábica. El secador por aspersion, SD-Basic (LabPlant, Reino Unido), trabajó bajo las siguientes condiciones de operación: temperatura de entrada de 170 °C, temperatura de salida de 80 - 90 °C (Boostani *et al.*, 2017), 4 - 6 bar y velocidad de alimentación de 12,5 mL/min.

2.3 Análisis químicos

Las muestras de lupino andino amargo y procesado (desamargado, extruido y secado por aspersion) fueron desengrasados por el método Soxhlet con hexano y de acuerdo a lo indicados en la metodología de la A.O.A.C. (1990). Luego, la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos fueron medidos en muestras sin desengrasar (lupino integro) y muestras desengrasadas (lupino sin grasa).

2.3.1 Determinación de la capacidad antioxidante por DPPH

La capacidad antioxidante por DPPH del lupino andino se determinó utilizando las metodologías descritas por Yilmaz *et al.* (2015) y Martínez-Villaluenga *et al.* (2009) con varias modificaciones. Se pesó 20 mg de muestra de lupino andino y se añadió 500 µL de solución DPPH (previamente preparada a la concentración de 0,4 mg/mL con solución acuosa de metanol al 80%). Luego, se añadió 700 µL de solución acuosa de metanol al 80% (v/v). Posteriormente, se mezcló en un vortex a 1300 RPM durante 15 segundos. Para extraer los metabolitos, la mezcla se agitó a 200 RPM durante 1 h en oscuridad, se centrifugó a 9000 RPM por 15 minutos, y se retiró el sobrenadante para la lectura de la absorbancia. Finalmente, se colocó cuidadosamente 130 µL del sobrenadante en el micropozo de la placa, luego se leyó la absorbancia a 517 nm en un lector de micropozos (PowerWave XS2 Biotek). Se utilizó solución acuosa de metanol al 80% como blanco. La capacidad antioxidante fue calculada a partir de una curva estándar de Trolox (1,9 – 30,8 µg Trolox/mL) y los resultados fueron expresados como µmol Trolox por gramo de muestra de lupino andino en base seca. La curva estándar de Trolox fue ensayado bajo las mismas condiciones para una muestra de lupino andino.

2.3.2 Determinación de la capacidad antioxidante por ABTS⁺

El análisis de la capacidad antioxidante por ABTS⁺ se realizó de acuerdo con la metodología descrita por *Yilmaz et al. (2015)* y los extractos metanólicos 80% de lupino andino fueron preparados de acuerdo a la metodología de *Martínez-Villaluenga et al. (2009)*, con algunas modificaciones, respectivamente. A la muestra se le añadió una solución acuosa de metanol 80% (1:10; p/v), luego se agitó a 200 RPM por 2 horas a temperatura ambiente en oscuridad. Luego, se centrifugó a 1200 x *g* por 5 min a 4°C en una centrifuga refrigerada, posteriormente se recuperó el sobrenadante (extractos metanólicos 80% de lupino andino). Por otro lado, en primer lugar, se preparó el catión ABTS⁺ mezclando una solución acuosa de ABTS (78,4 mg de ABTS en 10 mL agua destilada) con una solución acuosa de persulfato de potasio (13,2 mg de K₂S₂O₈ en 10 mL de agua destilada) en la proporción de 1:1 (v/v) y dejándolo reaccionar en un lugar oscuro a temperatura ambiente por 16 horas. En segundo lugar, el catión ABTS⁺ fue diluida con metanol al 80% hasta ajustar la absorbancia a 1,1 ± 0,02 a 734 nm en un lector de micropozos (1 mL del catión ABTS⁺ con 22 mL de metanol al 80%). Por último, 150 µL de extracto metanólico 80% de lupino andino se mezclaron con 1350 µL de la solución diluida del catión ABTS⁺, luego se agitó en un vórtex durante 10 segundos a 1200 RPM y posteriormente se dejó reaccionar la mezcla a temperatura ambiente en oscuridad durante 6 minutos. Luego, se puso 150 µL de la mezcla en el micropozo de la placa y luego se leyó la absorbancia a 734 nm en un lector de micropozos (PowerWave XS2 Biotek). Se usó metanol al 80% como blanco. La capacidad antioxidante fue calculada a partir de una curva estándar de Trolox (0,1 – 0,8 µmol TE/mL) y los resultados fueron expresados como µmol TE por gramo de muestra de lupino andino en base seca. La curva estándar de Trolox fue ensayado bajo las mismas condiciones para una muestra.

2.4 Determinación del contenido fenólico total (TPC)

El análisis de compuestos fenólicos totales y los extractos metanólicos 80% de lupino andino fueron ensayados como descrito por *Yilmaz et al. (2015)* con algunas modificaciones. A la muestra de lupino andino se le añadió una solución acuosa de metanol al 80%, en la proporción de 1:10 (p/v), esta mezcla fue agitada a 200 RPM durante 2 horas a temperatura ambiente en oscuridad. Luego, se centrifugó a 1200 x *g* por 5 min a 4°C en una centrifuga refrigerada, y

posteriormente se recuperó el sobrenadante (extractos metanólicos 80% de lupino andino). Por otro lado, se preparó el reactivo diluido Folin-Ciocalteu en agua destilada en la proporción de 1:10 (Folin-Ciocalteu:agua destilada, v/v); también se preparó una solución acuosa de carbonato de sodio (Na₂CO₃), adicionando 1 g de carbonato de sodio en 10 mL de solución en agitación constante. Se tomó 100 µL del extracto metanólico 80% de lupino andino, 100 µL del reactivo diluido Folin-Ciocalteu, 100 µL de la solución acuosa de carbonato de sodio, y 1000 µL de agua destilada, luego se agitó la mezcla en un agitador por 15 segundos a 1200 RPM. Seguidamente, la mezcla se puso en un lugar oscuro por 30 minutos para que ocurra la reacción. Finalizado la reacción, se puso 130 µL de la mezcla en el micropozo de la placa, luego se leyó la absorbancia a 726 nm en un lector de micropozos (PowerWave XS2 Biotek). El contenido fenólico total fue calculado a partir de una curva estándar de Ácido Gálico (0,001 – 0,010 mg AGE/mL) y los resultados fueron expresados como mg AGE por gramo de muestra de lupino andino en base seca. La curva estándar de Ácido Gálico fue ensayada bajo las mismas condiciones para una muestra.

2.5 Análisis estadístico

Todos los análisis realizados en la investigación se hicieron por triplicado. Los resultados de los análisis fueron evaluados mediante un análisis de varianza (ANOVA) y se expresaron como el valor medio ± desviación estándar. La prueba de *rangos múltiples de Tukey* fue usada para determinar la diferencia significativa entre los valores medios experimentales ($p \leq 0,05$). Se empleó el software Minitab versión 17 para los análisis estadísticos.

3. Resultados y discusión

Capacidad antioxidante y compuestos fenólicos totales

Para efectos de comparación de los resultados de capacidad antioxidante y compuestos fenólicos totales durante el procesamiento, se cuantificó estos compuestos en muestras de lupino amargo (control). De la *Tabla 1*, los valores obtenidos de capacidad antioxidante del lupino andino amargo por DPPH (5,09 - 5,62 µmol Trolox/g b.s.) y ABTS⁺ (146,72 - 167,87 µmol Trolox/g b.s.) fueron diferentes para cada tipo de genotipo; además estos valores se encuentran por encima de los resultados obtenidos por *Martínez-Villaluenga et al. (2009)*, quienes encontraron valores de capacidad antioxidante por DPPH y ABTS⁺ dentro de los rangos de 2,83 - 3,09 y 47,0 - 71,4 µmol trolox/g

b.s. respectivamente, en diferentes semillas crudas de genotipos de *L. angustifolius* y *L. albus*. Adicionalmente, *Ranilla et al. (2009)* encontraron valores de 0,82 - 1,6 μmol Trolox/g b.h. de capacidad antioxidante por DPPH en cotiledones de diferentes genotipos de *L. mutabilis* Sweet. Además, en *L. albus* de diferentes genotipos, la capacidad antioxidante por ABTS⁺ fue de 53 – 123 μmol trolox/g b.s. (*Karamač et al., 2018*). El contenido de fenoles totales (1,33 - 1,53 mg AGE/g b.s.) de lupino andino amargo, se encuentran por debajo de lo reportado por *Martínez-Villaluenga et al. (2009)*, quienes encontraron valores de 1,82 - 2,53 mg ácido ferrulico/g b.s., en diferentes semillas crudas de genotipos de *L. angustifolius* y *L. albus*. Sin embargo, nuestros resultados están por encima de los resultados obtenidos por *Jiménez-Martínez et al. (2007)*, quienes hallaron 5,8 mg ácido tánico/kg de semillas de compuestos fenólicos en muestras de *L. mutabilis*. *Ranilla et al. (2009)* reportaron valores dentro del rango de 9,67 - 11,35 mg catequina/g b.h. para diferentes genotipos de *Lupinus mutabilis* Sweet. *Karamač et al. (2018)* encontraron valores de 4,36 - 7,24 mg AGE/g b.s. en diferentes genotipos de *L. albus*. Estas variantes de resultados entre muestras pueden probablemente deberse al método de extracción y cuantificación de estos compuestos fenólicos con actividad antioxidante.

Después del proceso de desamargado, los valores de capacidad antioxidante y compuestos fenólicos del lupino amargo se redujeron (*Tabla 1*); esto probablemente se debió a la temperatura de cocción y los lavados sucesivos que se realizaron a los granos de lupino durante este proceso. Esta

tendencia también fue observado por *Tsaliki et al. (1999)*, quienes mencionaron que durante el desamargado, por lavados sucesivos, del genotipo *Graecus* de *L. albus*, la actividad antioxidante y el contenido de polifenoles disminuyen; similar tendencia durante el proceso de desamargado fue observada por *Singh et al. (2020)*. Adicionalmente, *Jiménez-Martínez et al. (2007)*, mencionaron que el contenido de los compuestos bioactivos (como compuestos fenólicos y antioxidantes) del lupino, se reducen durante el proceso de remojo y cocción, debido a que algunos antioxidantes son solubles en agua e inestables a temperaturas de cocción.

El proceso de extrusión es un proceso rápido y el tiempo de permanencia del lupino desamargado dentro de las secciones del extrusor fue bien cortos, en promedio 1 - 2 minutos. Por otro lado, la capacidad antioxidante y el contenido total de fenoles de las muestras de lupino desamargadas y extruidas fueron muy similares y no existieron diferencias significativas entre ellos ($p \geq 0,05$) (*Tabla 1*), esta similitud probablemente se debió a que las temperaturas (95 - 140 °C) del proceso de extrusión no fueron muy lesivas para estos compuestos bioactivos; además, el lupino tiene altos niveles de proteínas en su composición química, este último probablemente actuó como un amortiguador que evitó la degradación de los antioxidantes durante la extrusión. Por el contrario, *Anton et al. (2009)* reportaron una ligera disminución de los componentes fenólicos durante la extrusión, cabe indicar que estos investigadores realizaron el proceso de extrusión a 160 °C y trabajaron con frijol.

Tabla 1

Media ± desviación estándar de la capacidad antioxidante (DPPH y ABTS⁺) y compuestos fenólicos totales (TPC) de diferentes genotipos de lupino andino amargo y procesado

	DPPH (μmol Trolox/g b.s.)		ABTS ⁺ (μmol Trolox/g b.s.)		TPC (mg AGE/g b.s.)	
	Sin	Desengrasadas	Sin	Desengrasadas	Sin	Desengrasadas
	desengrasar	Desengrasadas	desengrasar	Desengrasadas	desengrasar	Desengrasadas
<i>Amargo</i>						
Altagracia	5,39 ^a ± 0,09	5,62 ^a ± 0,12	146,72 ^b ± 0,99	161,01 ^b ± 0,32	1,33 ^b ± 0,04	1,50 ^a ± 0,03
Andenes	5,28 ^{ab} ± 0,06	5,59 ^a ± 0,10	156,20 ^a ± 0,55	167,87 ^a ± 0,32	1,35 ^b ± 0,02	1,50 ^a ± 0,04
Yunguyo	5,09 ^b ± 0,11	5,50 ^a ± 0,08	147,39 ^b ± 0,32	161,05 ^b ± 1,69	1,42 ^a ± 0,03	1,53 ^a ± 0,04
<i>Desamargado</i>						
Altagracia	4,15 ^c ± 0,11	4,76 ^{bc} ± 0,10	72,15 ^e ± 0,37	73,34 ^e ± 2,45	1,03 ^d ± 0,02	1,19 ^d ± 0,01
Andenes	4,05 ^c ± 0,19	4,51 ^c ± 0,10	76,58 ^e ± 0,16	78,08 ^{cd} ± 0,18	1,02 ^d ± 0,00	1,18 ^d ± 0,01
Yunguyo	4,00 ^c ± 0,05	4,16 ^d ± 0,15	73,94 ^{de} ± 0,43	75,96 ^{de} ± 0,36	1,07 ^d ± 0,01	1,24 ^{cd} ± 0,00
<i>Extruido</i>						
Altagracia	4,17 ^c ± 0,10	4,87 ^b ± 0,29	73,03 ^e ± 1,37	74,54 ^{de} ± 1,90	1,07 ^d ± 0,02	1,31 ^b ± 0,02
Andenes	4,11 ^c ± 0,08	4,69 ^{bc} ± 0,08	77,93 ^e ± 0,74	79,91 ^c ± 0,29	1,05 ^d ± 0,01	1,31 ^{bc} ± 0,01
Yunguyo	4,03 ^c ± 0,06	4,64 ^{bc} ± 0,07	75,73 ^{cd} ± 0,72	76,19 ^{de} ± 1,19	1,19 ^c ± 0,01	1,35 ^b ± 0,04
<i>Bebida secada por aspersion (goma arábica)</i>						
Altagracia	2,31 ^f ± 0,09	2,47 ^f ± 0,01	46,66 ^f ± 1,42	58,59 ^h ± 1,07	0,52 ^g ± 0,01	0,56 ^g ± 0,01
Andenes	3,11 ^e ± 0,04	3,31 ^f ± 0,04	53,75 ^f ± 0,88	62,35 ^{gh} ± 1,95	0,68 ^f ± 0,01	0,78 ^f ± 0,02
Yunguyo	3,21 ^{de} ± 0,14	3,68 ^e ± 0,07	55,88 ^f ± 0,40	66,33 ^f ± 0,97	0,78 ^e ± 0,03	0,92 ^e ± 0,01
<i>Bebida secada por aspersion (maltodextrina)</i>						
Altagracia	2,26 ^f ± 0,04	2,44 ^f ± 0,05	44,71 ^f ± 0,61	57,08 ^h ± 0,42	0,50 ^g ± 0,01	0,57 ^g ± 0,01
Andenes	3,03 ^e ± 0,05	3,12 ^f ± 0,09	50,80 ^f ± 0,36	62,02 ^{hi} ± 1,01	0,72 ^f ± 0,01	0,82 ^f ± 0,02
Yunguyo	3,41 ^d ± 0,05	3,80 ^e ± 0,05	56,43 ^f ± 1,06	65,80 ^h ± 1,07	0,71 ^f ± 0,00	0,90 ^e ± 0,03

Las medias con letras superíndice diferentes en la misma columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0,05$). b.s.: Base seca

El frijol no tiene altos niveles de proteína como el lupino, y probablemente esto ocasionó que los fenólicos sean más inestables durante la extrusión. Por otro lado, Brennan *et al.* (2011) y Ramos-Enríquez *et al.* (2018), mencionaron que el proceso de extrusión puede ocasionar efectos positivos y generar un aumento de componentes fenólicos en el alimento extruido, probablemente producto de la degradación de algunos aminoácidos durante la extrusión; este enunciado concuerda con los resultados obtenidos en la presente investigación. Además, no se encontró suficiente información específica sobre valores de capacidad antioxidante y compuestos fenólicos de lupino extruido.

El proceso de secado por aspersión es un proceso que trabaja a altas temperaturas, mayormente entre 160 – 190 °C, y seca al alimento en un corto tiempo. Este proceso tiene muchas ventajas, como prolongar la vida útil del alimento y preservar componentes bioactivos (Zhang *et al.*, 2020; Lim *et al.*, 2011). En la presente investigación, el proceso de secado por aspersión se realizó a 170°C, y de acuerdo con los resultados, este proceso modificó significativamente ($p \leq 0,05$) la capacidad antioxidante y el contenido de fenoles totales del lupino desamargado (Tabla 1). Por consiguiente, la capacidad antioxidante se redujo significativamente, probablemente debido a la forma de preparación de la bebida de lupino y a la temperatura elevada de secado. Lim *et al.* (2011) mencionaron que el proceso de secado por aspersión puede ocasionar una ligera reducción de los compuestos antioxidantes que tiene el alimento, debido a la temperatura y condiciones de secado. No existe información puntual sobre valores de capacidad antioxidante y compuestos fenólicos de *L. mutabilis* secado por aspersión para poder comparar nuestros resultados. Zarei *et al.* (2019) demostraron que a mayor tiempo de tratamiento térmico se reduce más el contenido fenólico. De acuerdo con los hallazgos aquí reportados, el tipo de agente encapsulante (goma arábiga o maltodextrina) usado en el proceso de secado por aspersión no afectó significativamente

($p \geq 0,05$) la capacidad antioxidante y el contenido de fenoles totales. Además, de la Tabla 1 se puede observar, que las muestras de lupino andino encapsuladas con goma arábiga tuvieron una mayor capacidad antioxidante que las demás muestras encapsuladas con maltodextrina. Según nuestros resultados, la goma arábiga protegió a los antioxidantes de la degradación durante el proceso de secado por aspersión, de manera más eficiente que la maltodextrina. Zhang *et al.* (2020) obtuvieron similares resultados en muestras de fruta encapsuladas con goma arábiga y maltodextrina. En cuanto a las grasas, los lupinos tienen altos contenidos de lípidos (Gross *et al.*, 1988; Thambiraj *et al.*, 2018); por tal razón, las muestras de lupinos fueron desengrasados, con el fin de comparar el contenido de compuestos bioactivos (antioxidantes y compuestos fenólicos) entre muestras procesadas sin desengrasar (muestras integras) y desengrasadas. De la Tabla 1, se puede apreciar que todas las muestras desengrasadas (control y procesadas) tuvieron más cantidad de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante que las muestras sin desengrasar. En términos generales, no hay suficiente información sobre el efecto de la grasa en la cuantificación de la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos totales, en el lupino procesado. Por otro lado, Cano y Arnao (2004) mencionaron que los antioxidantes son compuestos químicos de naturaleza hidrosoluble y liposoluble; además estos investigadores encontraron en muestras de zumos de naranjas comerciales, que más del 98 % de la actividad antioxidante es debido a los antioxidantes hidrosolubles; esos hallazgos podrían explicar del porque nuestros resultados de capacidad antioxidante fueron más altos en muestras desengrasadas que en muestras sin desengrasar. Similares resultados fueron obtenidos por Castro *et al.* (2016), quienes encontraron valores más altos de capacidad antioxidante y contenido de polifenoles en muestras de granos de cacao desengrasados que en muestras sin desengrasar.

Tabla 2

Porcentaje (%) de reducción de la capacidad antioxidante y contenido de fenoles totales (TPC) del lupino andino procesado

	Capacidad antioxidante		TPC	
	Sin desengrasar	Desengrasadas	Sin desengrasar	Desengrasadas
Proceso de desamargado	36,61	36,67	23,53	20,53
Proceso de extrusión	N.P.	N.P.	N.P.	N.P.
Proceso de elaboración de la bebida secada por aspersión (goma arábiga)	29,56	23,59	36,54	37,50
Proceso de elaboración de la bebida secada por aspersión (maltodextrina)	30,16	24,44	38,46	36,67

N.P.: no presentó reducción de capacidad antioxidante y TPC.

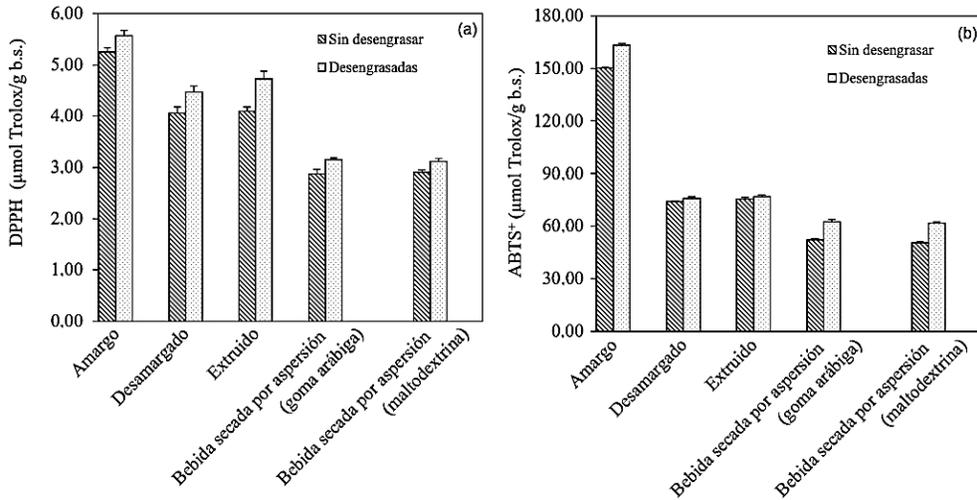


Figura 1. Capacidad antioxidante por (a) DPPH y (b) ABTS⁺ de la media de los tres genotipos de lupino andino amargo y procesado.

En general, el proceso tecnológico (desamargado, extruido y secado por aspersión) tuvo un efecto negativo sobre el contenido de compuestos químicos del lupino (antioxidantes y los compuestos fenólicos) importantes para la salud, disminuyéndolos en contenido (Figuras 1 y 2). Sun et al. (2019) observaron similar fenómeno en sus resultados de investigación. Dichos autores evaluaron el efecto del tratamiento térmico sobre los antioxidantes de *Chenopodium formosanum* Koidz o “djulis”, y en base a sus hallazgos estos autores indicaron que el tratamiento térmico convencional, como la cocción y pasteurización, afectan negativamente a los antioxidantes. Los compuestos fenólicos pueden actuar como antioxidantes (Plank et al., 2012), por tal razón, en esta investigación se encontró una relación proporcional entre los compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante para el *L. mutabilis* Sweet; menor cantidad de compuestos fenólicos brinda una menor capacidad antioxidante. Por lo tanto, el contenido de fenólicos del lupino andino depende del proceso tecnológico, tal como lo mencionó Dueñas et al. (2009) y Liu et al. (2019). Similares resultados obtuvieron Mohammed et al. (2017), quienes mencionaron que el proceso de germinación, fermentación, cocción y desamargado genera cambios en la composición nutricional y fitoquímica del *Lupinus albus*. De la Tabla 2, la capacidad antioxidante y contenido de fenoles totales de las muestras de lupino amargo disminuyen dentro de los rangos de 36,61 – 36,67 y 20,53 – 23,53 %, respectivamente, durante el proceso de desamargado. El proceso de extrusión no provocó pérdida de capacidad antioxidante, ni de los compuestos fenólicos totales. El proceso de secado por aspersión

ocasionó una ligera reducción de la capacidad antioxidante y contenido de fenoles totales.

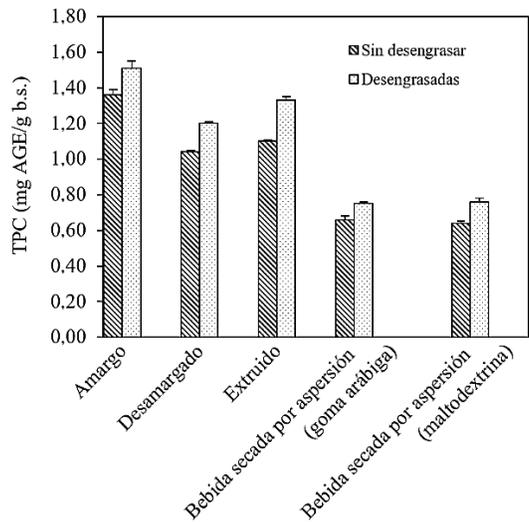


Figura 2. Compuestos fenólicos totales (TPC) de la media de los tres genotipos de lupino andino amargo y procesado.

Además, en la Tabla 2 se puede observar que se perdió más compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante en muestras de bebida secada por aspersión con maltodextrina en comparación a las muestras con goma arábiga; estos resultados evidentemente muestran que la maltodextrina protege menos que la goma arábiga a los compuestos fenólicos durante el secado por aspersión. Los resultados obtenidos en la presente investigación sobre la disminución de estos compuestos fenólicos también fueron observados por Martínez-Villaluenga et al. (2009), quienes observaron una elevada disminución de 38 – 73% de la capacidad

antioxidante por el radical ABTS⁺, 38 - 82% de la capacidad antioxidante por DPPH y de 38 – 56% de TPC, en diversas muestras de harinas de *L. angustifolius* y *L. albus* con bajos contenidos de α -galactosida.

4. Conclusiones

Los compuestos fenólicos totales y su capacidad antioxidante de muestras de lupino andino varían significativamente ($p \leq 0,05$) en función al tipo de proceso (desamargado, extrusión y secado por aspersión) y genotipo (Altagracia, Andenes y Yunguyo). Las muestras de lupino amargo (muestra control) tuvieron más cantidad significativa ($p \leq 0,05$) de compuestos fenólicos que las muestras procesadas, lo mismo ocurrió con la capacidad antioxidante. La capacidad antioxidante de las muestras procesadas varió de 2,87 – 4,10 y 3,12 – 4,73 $\mu\text{mol Trolox/g b.s.}$ (método DPPH), en muestras sin desengrasar y desengrasadas, respectivamente. El contenido de fenoles totales estuvo entre 0,64 – 1,10 y 0,75 – 1,33 mg AGE/g b.s., para muestras sin desengrasar y desengrasadas, respectivamente. Así mismo, la capacidad antioxidante por el método ABTS⁺, fluctuó entre 50,65 – 75,56 y 61,63 – 76,88 $\mu\text{mol Trolox/g b.s.}$ en muestras sin desengrasar y desengrasadas, respectivamente. Por otro lado, los lípidos influyeron negativamente en la cuantificación de los compuestos fenólicos totales, por esta razón los contenidos más altos de compuestos fenólicos totales se encontraron en muestras desengrasadas. Por lo tanto, el lupino andino procesado es una fuente de antioxidantes y compuestos fenólicos importantes para la salud. Se recomienda realizar estudios del efecto del tamaño de partícula producto de la molienda en la capacidad antioxidante.

Agradecimientos

Todos los investigadores agradecen el apoyo de financiamiento al Programa de Leguminosas de la Universidad Nacional Agraria La Molina, proyecto PNIA (Liderado por el Dr. Félix Camarena), al Ministerio de Educación del Perú (MINEDU): Proyecto para el fortalecimiento de los programas de doctorado en UNALM “Ciencia de alimentos” CONV-000179-2015-FONDECYT-DE, y a la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

ORCID

J.S. Córdova-Ramos  <http://orcid.org/0000-0002-9292-6585>
 P. Glorio-Paulet  <http://orcid.org/0000-0001-9236-8141>
 A. Hidalgo  <http://orcid.org/0000-0002-3311-814X>
 F. Camarena  <http://orcid.org/0000-0002-1661-0693>

Referencias bibliográficas

Anton, A.A.; Fulcher, G.R.; Arntfield, S.D. 2009. Physical and nutritional impact of fortification of corn starch-based extruded snacks with common bean

(*Phaseolus vulgaris* L.) flour: Effects of bean addition and extrusion cooking. *Food Chemistry* 113(4): 989-996.

- A.O.A.C. 1990. Official Methods of Analysis. Association of Official Agricultural Chemists (15th ed.). Washington, D.C. U.S.A. 136-138 pp.
- Arnoldi, A.; Boschini, G.; Zanon, C.; *et al.* 2015. The health benefits of sweet lupin seed flours and isolated proteins. *Journal of Functional Foods* 18: 550-563.
- Berghout, J.A.M.; Boom, R.M.; Van der Goot, A.J. 2015. Understanding the differences in gelling properties between lupin protein isolate and soy protein isolate. *Food Hydrocolloids* 43: 465-472.
- Boostani, S.; Aminlari, M.; Moosavi-nasab, M.; *et al.* 2017. Fabrication and characterisation of soy protein isolate-grafted dextran biopolymer: A novel ingredient in spray-dried soy beverage formulation. *International Journal of Biological Macromolecules* 102: 297-307.
- Brennan, C.; Brennan, M.; Derbyshire, E.; *et al.* 2011. Effects of extrusion on the polyphenols, vitamins and antioxidant activity of foods. *Trends in Food Science and Technology* 22(10): 570-575.
- Cano, A.; Arnao, M.B. 2004. Actividad antioxidante hidrofílica y lipofílica y contenido en vitamina C de zumos de naranja comerciales: relación con sus características organolépticas. *Ciencia y Tecnología Alimentaria* 4(3): 185-189.
- Castro, M.R.; Hernández, J.A.; Marcilla, Sh.; *et al.* 2016. Efecto del contenido de grasa en la concentración de polifenoles y capacidad antioxidante de Teobroma cacao L. "cacao". *Ciencia e Investigación* 19(1): 19-23.
- Córdova-Ramos, J. S.; Glorio-Paulet, P.; Camarena, F.; Brandolini, A.; Hidalgo, A. 2020. Andean lupin (*Lupinus mutabilis* Sweet): processing effects on chemical composition, heat damage and in vitro protein digestibility. *Cereal Chemistry (In press)*.
- Czubinski, J.; Wroblewska, K.; Czyżniejewski, M.; *et al.* 2019. Bioaccessibility of defatted lupin seed phenolic compounds in a standardized static in vitro digestion system. *Food Research International* 116: 1126-1134.
- Dueñas, M.; Hernández, T.; Estrella, I.; *et al.* 2009. Germination as a process to increase the polyphenol content and antioxidant activity of lupin seeds (*Lupinus angustifolius* L.). *Food Chemistry* 117(4): 599-607.
- Erbas, M. 2010. The effects of different debittering methods on the production of lupin bean snack from bitter *Lupinus albus* L. seeds. *Journal of Food Quality* 33(6): 742-757.
- Ertas, N.; Bilgiçli, N. 2012. Effect of different debittering processes on mineral and phytic acid content of lupin (*Lupinus albus* L.) seeds. *Journal of Food Science and Technology* 51(11): 3348-3354.
- Gross, R.; von Baer, E.; Koch, F.; *et al.* 1988. Chemical composition of a new variety of the Andean lupin (*Lupinus mutabilis* cv. Inti) with low-alkaloid content. *Journal of Food Composition and Analysis* 1(4): 353-361.
- Guerreo-Ochoa, M.R.; Pedreschi, R.; Chirinos, R. 2015. Optimised methodology for the extraction of protein from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *International Journal of Food Science and Technology* 50(8): 1815-1822.
- Hickisch, A.; Beer, R.; Vogel, R.F.; *et al.* 2016. Influence of lupin-based milk alternative heat treatment and exopolysaccharide-producing lactic acid bacteria on the physical characteristics of lupin-based yogurt alternatives. *Food Research International* 84: 180-188.
- Jacobsen, S.; Mujica, A. 2006. El tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet.) y sus parientes silvestres. *Revista botánica económica de los andes centrales* 458-482.
- Jiménez-Martínez, C.; Hernández-Sánchez, H.; Dávila-Ortiz, G. 2007. Diminution of quinolizidine alkaloids, oligosaccharides, and phenolic compounds from two species of lupinus and soybean seeds by the

- effect of *Rhizopus oligosporus*. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87(7): 1315-1322.
- Kaczmarek, K.T.; Chandra-Hioe, M.V.; Frank, D.; *et al.* 2018. Aroma characteristics of lupin and soybean after germination and effect of fermentation on lupin aroma. *LWT-Food Science and Technology* 87: 225-233.
- Karamać, M.; Orak, H.H.; Amarowicz, R.; *et al.* 2018. Phenolic contents and antioxidant capacities of wild and cultivated white lupin (*Lupinus albus* L.) seeds. *Food Chemistry* 258: 1-7.
- Lammi, C.; Aiello, G.; Vistoli, G.; *et al.* 2016. A multidisciplinary investigation on the bioavailability and activity of peptides from lupin protein. *Journal of Functional Foods* 24: 297-306.
- Lampart-Szczapa, E.; Konieczny, P.; Nogala-Kalucka, M.; *et al.* 2006. Some functional properties of lupin proteins modified by lactic fermentation and extrusion. *Food Chemistry* 96(2): 290-296.
- Lim, K.; Ma, M.; Dolan, K.D. 2011. Effects of spray drying on antioxidant capacity and anthocyanidin content of blueberry by-products. *Journal of Food Science* 76(7): 156-164.
- Liu, R.; Liu, R.; Shi, L.; *et al.* 2019. Effect of refining process on physicochemical parameters, chemical compositions and in vitro antioxidant activities of rice bran oil. *LWT-Food Science and Technology* 109: 26-32.
- Martinez-Villaluenga, C.; Zieliński, H.; Frias, J.; *et al.* 2009. Antioxidant capacity and polyphenolic content of high-protein lupin products. *Food Chemistry* 112(1): 84-88.
- Mohammed, M.A.; Mohamed, E.A.; Yagoub, A.E.A.; *et al.* 2017. Effect of processing methods on alkaloids, phytate, phenolics, antioxidants activity and minerals of newly developed lupin (*Lupinus albus* L.) cultivar. *Journal of Food Processing and Preservation* 41(1): 1-9.
- Oomah, B.D.; Tiger, N.; Olson, M.; *et al.* 2006. Phenolics and antioxidative activities in narrow-leaved lupins (*Lupinus angustifolius* L.). *Plant Foods for Human Nutrition* 61(2): 91-97.
- Plank, D.W.; Szpylka, J.; Sapirstein, H.; *et al.* 2012. Determination of antioxidant activity in foods and beverages by reaction with 2,2'-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH): Collaborative study first action 2012.04. *Journal of AOAC International* 95: 1562-1570.
- Ranilla, L.G.; Genovese, M.I.; Lajolo, F.M. 2009. Isoflavones and antioxidant capacity of Peruvian and Brazilian lupin cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis* 22(5): 397-404.
- Ramos-Enríquez, J.R.; Ramírez-Wong, B.; Robles-Sánchez, R.M.; *et al.* 2018. Effect of extrusion conditions and the optimization of phenolic compound content and antioxidant activity of wheat bran using response surface methodology. *Plant Foods for Human Nutrition* 73: 228-234.
- Singh, A.; Idowu, A.T.; Benjakul, S.; *et al.* 2020. Debittering of salmon (*Salmo salar*) frame protein hydrolysate using 2-butanol in combination with β -cyclodextrin: Impact on some physicochemical characteristics and antioxidant activities. *Food Chemistry* 321: 126686.
- Sun, L.C.; Sridhar, K.; Tsai, P.J.; *et al.* 2019. Effect of traditional thermal and high-pressure processing (HPP) methods on the color stability and antioxidant capacities of Djulis (*Chenopodium formosanum* Koidz.). *LWT- Food Science and Technology* 109: 342-349.
- Thambiraj, S.R.; Phillips, M.; Koyyalamudi, S.R.; *et al.* 2018. Yellow lupin (*Lupinus luteus* L.) polysaccharides: Antioxidant, immunomodulatory and prebiotic activities and their structural characterisation. *Food Chemistry* 267: 319-328.
- Tsaliki, E.; Lagouri, V.; Doxastakis, G. 1999. Evaluation of the antioxidant activity of lupin seed flour and derivatives (*Lupinus albus* ssp. *Graecus*). *Food Chemistry* 65(1): 71-75.
- Villarino, C.B.J.; Jayasena, V.; Coorey, R.; *et al.* 2015. Optimization of formulation and process of Australian sweet lupin (ASL)-wheat bread. *LWT-Food Science and Technology* 61(2): 359-367.
- Vo, B.V.; Bui, D.P.; Nguyen, H.Q.; *et al.* 2015. Optimized fermented lupin (*Lupinus angustifolius*) inclusion in juvenile barramundi (*Lates calcarifer*) diets. *Aquaculture* 444: 62-69.
- Wolkers-Rooijackers, J.C.M.; Endika, M.F.; Smid, E.J. 2018. Enhancing vitamin B12 in lupin tempeh by in situ fortification. *LWT- Food Science and Technology* 96: 513-518.
- Yilmaz, V. A., Brandolini, A., Hidalgo, A. 2015. Phenolic acids and antioxidant activity of wild, feral and domesticated wheats. *Journal of Cereal Science* 64: 168-175.
- Zarei, M.; Fazlari, A.; Tulabifard, N. 2019. Effect of thermal treatment on physicochemical and antioxidant properties of honey. *Heliyon* 5(6): e01894.
- Zhang, J.; Zhang, Ch.; Chen, X.; *et al.* 2020. Effect of spray drying on phenolic compounds of cranberry juice and their stability during storage. *Journal of Food Engineering* 269: 109744.
- Zhong, L.; Fang, Z.; Wahlqvist, M.L.; *et al.* 2019. Extrusion cooking increases soluble dietary fibre of lupin seed coat. *LWT- Food Science and Technology* 99: 547-554.