



RESEARCH ARTICLE

Lupinus mutabilis oil obtained by expeller press: Yield, physicochemical characterization, antioxidant capacity, fatty acids and oxidative stability analyses

Aceite de *Lupinus mutabilis* obtenido por prensa expeller: Análisis de rendimiento, caracterización fisicoquímica, capacidad antioxidante, ácidos grasos y estabilidad oxidativa

Gloria Pascual-Chagman^{1*} ; Juan Santa-Cruz-Olivos¹ ; Alyssa Hidalgo² ; Fernando Benavente³ ; M. Carmen Pérez-Camino⁴ ; Alejandrina Sotelo-Mendez⁵ ; Luz María Paucar-Menacho⁶ ; Christian R. Encina-Zelada¹ 

¹ Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Industrias Alimentarias, Departamento de Tecnología de Alimentos y Productos Agropecuarios, Av. La Universidad s/n. La Molina, Lima. Peru.

² Department of Food, Environmental and Nutritional Sciences (DeFENS), University of Milan, Via Celoria 2, 20133, Milan. Italy.

³ Department of Chemical Engineering and Analytical Chemistry, Institute for Research on Nutrition and Food Safety (INSA-UB), University of Barcelona, 08028, Barcelona. Spain.

⁴ Department of Characterization and Quality of Lipids, Instituto de la Grasa -CSIC-, Ctra. Utrera km 1, 41013 Sevilla. Spain.

⁵ Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Zootecnia, Departamento de Nutrición, Av. La Universidad s/n. La Molina, Lima. Peru.

⁶ Universidad Nacional del Santa, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Agroindustrial y Agrónoma, Av. Universitaria s/n, Urb. Bellamar, Nuevo Chimbote, Ancash. Peru.

* Corresponding author: gpascual@lamolina.edu.pe (G. Pascual-Chagman).

Received: 18 November 2020. Accepted: 30 April 2021. Published: 1 June 2021.

Abstract

The oil of debittered and dehulled grains from two Andean lupins (*Lupinus mutabilis*) from Peru, Andenes and Común, was extracted by expeller press. The extraction yield and the proximal composition of both varieties were assessed. The oil and the cake, as well as the defatted flour from the variety with the highest extraction yield, were characterised for physico-chemical properties, total polyphenol content and antioxidant capacity. The oil shelf-life at 25 °C was extrapolated by Rancimat test. Andenes presented an oil yield of 22.1% (vs. 18.4% of Común), CIELAB colour coordinates of $L^* = 36.5$, $a^* = 2.2$, $b^* = 20$, refractive index and density at 25 °C of 1.469 and 0.903 g/mL, acid number of 3.2 mg KOH/g, free fatty acids content of 1.6%, peroxide number of 2.7 meqO₂/kg, *p*-anisidine number of 1.3, unsaponifiable content of 58%, total antioxidant capacity 21.4 μmol TE/g and total polyphenol content of 7.0 mg AGE/100 g. The predominant fatty acid, tocopherol and phytosterol in the oil were oleic acid (56.2%), γ-tocopherol (555 mg/kg) and β-sitosterol (41900 mg/100 g), respectively. The oil shelf-life at 25 °C was 2.7 years. The *Lupinus mutabilis* oil extracted by expeller presented an acceptable quality with a lower environmental negative impact than the oils obtained by solvent extraction.

Keywords: tarwi oil; fatty acids; bioactive compounds; phytosterols; polyphenols; tocopherols; antioxidant capacity; shelf-life.

Resumen

Se extrajo por prensa expeller el aceite de los granos desamargados y descascarados de las variedades peruanas de tarwi (*Lupinus mutabilis* "Común" y "Andenes"). Se evaluó el rendimiento de extracción y, composición proximal de ambas variedades. Se caracterizaron propiedades fisicoquímicas, contenido total de polifenoles y capacidad antioxidante del aceite, la torta y la harina desengrasada para la variedad con el mayor rendimiento de extracción. Se extrapoló el tiempo de vida útil del aceite a 25 °C por el test Rancimat. La variedad andenes presentó un rendimiento de 22,1% m/m (frente al 18,4% m/m de la variedad Común), color CIELAB $L^* = 36,5$; $a^* = 2,2$; $b^* = 20$, índice de refracción a 25 °C de 1,469, densidad a 25 °C de 0,903 g/mL, índice de acidez de 3,2 mg KOH/g, ácidos grasos libres de 1,6% m/m, índice de peróxidos de 2,7 meq O₂/kg, índice de *p*-Anisidina de 1,3, contenido de insaponificables del 58,0% m/m, capacidad antioxidante ABTS total de 21,4 μmol TE/g y, contenido de compuestos polifenólicos totales de 7,0 mg AGE/100g. El ácido graso, tocoferol y fitoesterol predominantes en el aceite fueron el ácido oleico (56,2% m/m), el γ-tocoferol (555 mg/kg) y el β-sitosterol (41900 mg/100g), respectivamente. A 25 °C la vida útil del aceite fue de 2,7 años. El aceite de *Lupinus mutabilis* extraído por expeller presentó una calidad aceptable, pero con un menor impacto ambiental negativo, en comparación con la extracción de aceites utilizando solventes.

Palabras clave: aceite de tarwi; ácidos grasos; compuestos bioactivos; fitoesteroles; polifenoles; tocoferoles; capacidad antioxidante; vida útil.

DOI: <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.025>

Cite this article:

Pascual-Chagman, G., Santa-Cruz-Olivos, J., Hidalgo, A., Benavente, F., Pérez-Camino, M. C., Sotelo-Mendez, A., Paucar-Menacho, L. M., & Encina-Zelada, C. R. (2021). Aceite de *Lupinus mutabilis* obtenido por prensa expeller: Análisis de rendimiento, caracterización fisicoquímica, capacidad antioxidante, ácidos grasos y estabilidad oxidativa. *Scientia Agropecuaria*, 12(2), 219-227.

1. Introducción

En las zonas andinas del Perú, Ecuador y Bolivia, las poblaciones indígenas vienen utilizando el tarwi como alimento y sustento de sus generaciones desde épocas muy remotas, constituyendo de esta manera una de sus principales fuentes de alimento y de ingresos económicos (Zavaleta, 2018). Actualmente constituyen una excelente fuente potencial para la obtención de aislados proteicos y compuestos bioactivos para la industria de alimentos funcionales y nutraceuticos (Chirinos-Arias, Jiménez, & Vilca-Machaca, 2015; Jacobsen & Mujica, 2006). La importancia de estos compuestos bioactivos radica en ser componentes funcionales cuando se encuentran en vegetales, que son responsables de actividades beneficiosas muy variadas, en algunos casos son antioxidantes, en otros ayudan a bajar el colesterol o forman parte del complejo que conocemos como fibra.

El desarrollo de desamargado agrupa el contenido proteico, hallandose en algunos casos valores por encima del 50% m/m (Jacobsen & Mujica, 2006). Es por ello, de especial importancia la caracterización detallada de la composición de las diferentes especies y variedades de tarwi, así como la de los productos que se pueden obtener a partir de éstas.

La finalidad de esta investigación condujeron: i) determinar la composición proximal de granos de las variedades de tarwi (*Lupinus mutabilis*) "Común" (COM) y "Andenes" (AND) sin desamargar (SD) y desamargados (D), ii) estudiar la productividad de extracción de aceite por prensa expeller para ambas variedades, así como diferentes variables experimentales del proceso (diámetro de la boquilla de salida de la cámara de prensado, velocidad del tornillo sin fin y humedad del grano), y una vez determinada la variedad con mayor productividad de extracción, iii) caracterizar las propiedades fisicoquímicas, el contenido total de polifenoles, la capacidad antioxidante y la vida útil del aceite. Para complementar

este último trabajo, también se analizaron algunos de estos parámetros en la torta y harina residuales obtenidas.

2. Materiales y métodos

Los granos de tarwi de las variedades COM y AND, se adquirieron en el mercado local de la ciudad de Carhuaz, en la parte sierra del Departamento de Ancash (Perú).

2.1 Extracción del aceite de grano de tarwi por prensa expeller

Los granos de tarwi de las dos variedades fueron previamente desamargados y descascarados de acuerdo a las siguientes etapas (Jacobsen & Mujica, 2006): selección del grano, hidratación, cocción por 60 minutos y lavado. Los granos desamargados, descascarados y húmedos se secaron hasta un porcentaje de humedad del 8% m/m. Una vez secos, triturados y tamizados hasta un tamaño de partícula inferior a 0,5 mm, se pasaron por una prensa de aceite o expeller CA-59G G3-CA5963 IBG Monforts Oekotec (Alemania) de tornillo simple (modelo KOMET SCREW OIL). La extracción del aceite se llevó a cabo en diferentes condiciones de acuerdo al diagrama de flujo de la Figura 1.

Para la extracción del aceite de las dos variedades, se consideraron como variables a evaluar: el diámetro de la boquilla de salida de la cámara de prensado (0,4 y 0,6), la velocidad de rotación del tornillo sin fin (15 rpm. y 30 rpm.) y, el tarwi se secó hasta el 8% (para su mejor conservación), y luego se humedecieron hasta un 11% y 13%, respectivamente para la extracción de su aceite. Respecto a esta última variable, es importante destacar que un aumento de la humedad del grano puede provocar un aumento de su plasticidad y actuar como lubricante en el barril, efectos que en su conjunto reducen la fricción, facilitan el flujo de semillas en la cámara de prensado, y favorecen el rendimiento (Martínez, Penci, Marin, Ribotta, & Maestri, 2013).

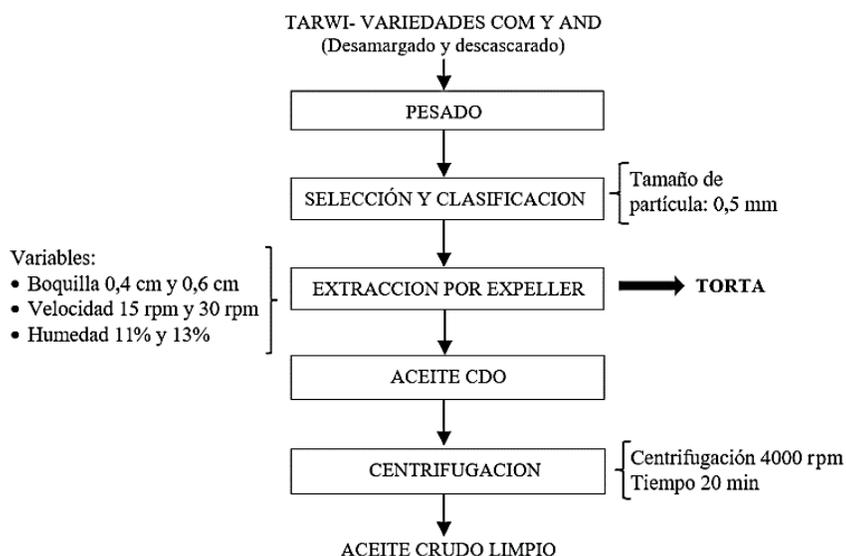


Figura 1. Diagrama de flujo de la extracción por prensa expeller de aceite de tarwi (*Lupinus mutabilis*), variedades "Andenes" (AND) y "Común" (COM).

Empleando 100 g de materia prima, se trabajó a una temperatura de 70 °C, realizando tres repeticiones para cada ensayo, y cada variedad. Posteriormente, se realizó una centrifugación a 4000 rpm. por 15 min para separar el aceite crudo. Asimismo, se tomaron muestras de las tortas residuales a las cuales se les extrajo el contenido graso remanente realizando una extracción con solventes, como una medida de la eficiencia del proceso y el rendimiento de la extracción. Al aceite crudo y la torta de la variedad que proporcione el mejor rendimiento en aceite se le realizaron los análisis fisicoquímicos, de componentes bioactivos y el estudio de vida útil. La harina se preparó a partir de la torta desengrasada de esta misma variedad, triturando hasta 220 µm.

2.2 Caracterización del aceite de tarwi y los residuos del proceso.

Se realizaron los análisis morfológicos a una muestra representativa de 61 granos de tarwi para cada variedad incluyendo, la longitud, el diámetro y el peso. Para las dos primeras medidas, se empleó un calibrador vernier digital Mitutoyo (Japón).

Se determinó el contenido de proteína (método de Kjeldahl, N x 5,7) y de grasa (gravimétricamente después de extracción Soxhlet con éter etílico) de los granos desamargados y sin desamargar de ambas variedades (A.O.A.C. 1995, método 950.48).

2.2.1 Determinación de compuestos polifenólicos

Para la determinación del contenido de compuestos polifenólicos totales se siguió el método de Folin-Ciocalteu (Singleton & Rossi, 1965). Se pesaron 0,5 g de aceite o harina desengrasada y se mezclaron con 10 mL de acetona al 70% v/v. El conjunto se dejó en reposo por 20 h a 4 °C, luego se centrifugó por 10 min a 4 000 rpm. y se procedió a recuperar el sobrenadante, el cual fue almacenado a -20 °C hasta el momento del análisis. Se mezclaron 250 µL del reactivo Folin-Ciocalteu 1 N (Singleton & Rossi, 1965) con 1250 µL de una solución de carbonato de sodio 0,5 M y 500 µL de la muestra (extracto). La mezcla se dejó reaccionar por 30 min en la oscuridad. También se preparó un blanco con agua destilada en lugar de muestra. La absorbancia se midió a 755 nm. El contenido de compuestos polifenólicos totales se estimó a partir de una curva de calibración externa con soluciones patrón de ácido gálico. Los resultados se expresaron como mg de ácido gálico equivalente (AGE)/100 g de grano.

2.2.2 Determinación de la capacidad antioxidante

La determinación de la capacidad antioxidante en el aceite y la harina desengrasada se realizó mediante los métodos: ácido 2,2-azinobis-(3-etilbenzotiazolín-6-sulfónico) (ABTS) y capacidad de reducción ferrica del plasma (FRAP).

2.2.2.1 Capacidad antioxidante ABTS hidrofílica y lipofílica

En primer lugar, se obtuvieron los extractos hidrofílicos y lipofílicos a partir de la harina desengrasada de los granos de tarwi, realizando extracciones sucesivas adaptando un método descrito en uno de nuestros trabajos previos para el aceite de lino enriquecido con licopene (Varas Condori et al., 2020). El extracto hidrofílico se preparó mezclando

1 g de granos de tarwi finamente molidos con 15 mL de metanol al 80% v/v, y se dejó en reposo por 20 horas, bajo oscuridad a 4 °C. Luego se centrifugó 4000 rpm por 10 min y el sobrenadante obtenido fue recolectado y almacenado en oscuridad a -20 °C hasta su posterior análisis. Para la obtención del extracto lipofílico, el pellet residual fue mezclado con 10 mL de diclorometano, la mezcla se agitó vigorosamente por 20 min a temperatura ambiente para luego ser filtrada. El líquido resultante fue almacenado en oscuridad a -20 °C hasta su posterior análisis. Se mezclaron 150 µL de muestra (extracto hidrofílico o lipofílico) con 2850 µL de la solución diluida de ABTS (Varas Condori et al., 2020). Los blancos se prepararon con 150 µL de etanol o diclorometano (según el tipo de capacidad antioxidante a medir). Las mezclas se agitaron y se dejaron reaccionar en el espectrofotómetro hasta que la medida de la absorbancia a 734 nm fue constante. La capacidad antioxidante ABTS hidrofílica y lipofílica se estimó a partir de una curva de calibración externa con soluciones patrón de Trolox. Los resultados se expresaron como µmol de Trolox equivalente (TE)/g de grano.

2.2.2.2 Capacidad antioxidante FRAP

Para la medida de la capacidad antioxidante FRAP se trabajó con el extracto hidrofílico, siguiendo un método descrito previamente por otros autores (Benzie & Strain, 1996). Se mezclaron 150 µL del extracto hidrofílico con 2850 mL del reactivo FRAP (Benzie & Strain, 1996). La mezcla se dejó reaccionar a temperatura ambiente por dos horas y media bajo agitación constante, para luego determinar su absorbancia a 593 nm. También se preparó un blanco reemplazando la muestra por metanol. La calibración y expresión de los resultados se realizó como en el método ABTS.

2.2.4 Análisis proximal y fisicoquímico (tocoferoles, fitoesteres y ácidos grasos)

Al aceite crudo de tarwi extraído, se le realizaron los análisis de humedad, índice de acidez, índice de peróxido, índice de yodo, índice de refracción, densidad y material insaponificable por los métodos oficiales A.O.A.C. (1998): 926,12; 940,28; 965,33; 920,159; 921,08; 920,212; y 933,08 respectivamente. El color se midió usando un colorímetro Tristimulus, Chroma Meter CR-400 (Konica Minolta, Japón) con la placa reflectora blanca estándar y el iluminante C. El análisis condujo a la determinación de los valores de coordenadas L^* (luminosidad), a^* (rojo-verde) y b^* (amarillo azul). Para evaluar el grado de hidrólisis lipídica, se determinaron los ácidos grasos libres en % m/m de ácido oleico (A.O.C.S., 1998, método Ca 5a-40). Como índices de oxidación primaria y secundaria, se evaluaron el índice de peróxido y el de p-anisidina, respectivamente (IUPAC, 1987, método 2.504). Los tocoferoles y los fitoesteres se analizaron de acuerdo con métodos descritos previamente (Rodríguez et al., 2011; IUPAC, 1987, método 2.432; Da Costa, Ballus, Texeiro-Filho, & Texeira, 2010; Ducheteau et al., 2002). La composición de ácidos grasos (FA) se determinó como ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) por cromatografía de gases acoplada a la espectrometría de masas, después de la transesterificación con KOH 2 M en metanol (IUPAC, 1987, método 2.302).

Tabla 1

Composición proximal (% m/m) de los granos de tarwi de las variedades Andenes (AND) y Común (COM) sin desmargar (SD) y desamargados (D) (materia seca, m.s.)

Componentes (%)	AND		COM	
	SD	D	SD	D
Grasa total	17,9 ± 0,0	29,2 ± 0,0	16,9 ± 0,1	25,5 ± 0,0
Proteína total (f = 6,25)	43,7 ± 0,0	54,2 ± 0,0	45,8 ± 0,0	60,8 ± 0,0
Cenizas	3,80 ± 0,01	2,66 ± 0,00	3,88 ± 0,01	3,11 ± 0,00
Carbohidratos*-(ELN) *	34,5	13,9	33,4	10,6
Fibra cruda total	5,98 ± 0,01	3,94 ± 0,00	8,55 ± 0,01	3,93 ± 0,00

Se indica el valor promedio ± la desviación estándar (n = 3). *Por diferencia. ELN = extracto libre de nitrógeno.

2.2.5 Vida útil

La determinación de estabilidad oxidativa (OSI) del aceite, también conocida como tiempo de inducción, se evaluó utilizando un equipo Rancimat (Metrohm, Modelo 743, Suiza) (A.O.C.S., 1998, método Cd 12b-92) a 100, 110, 120 y 140 °C y con un caudal de aire de 20 L/h. La vida útil del aceite a 25 °C se estimó por extrapolación.

2.3 Análisis estadísticos

Los resultados de los análisis se expresaron como la media ± desviación estándar, siendo todos los análisis realizados por triplicado. Para determinar el efecto de los factores en el proceso de extracción del aceite, se realizó un arreglo factorial completo "2⁴" considerando dos niveles y como factores variedad de tarwi, humedad, diámetro de la boquilla y velocidad del tornillo. El arreglo factorial de analizó a través de un diseño completamente aleatorizado (DCA) trabajando con un nivel de significancia del 5% ($\alpha=0.05$). Posteriormente, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía para determinar diferencias significativas (*p-value* <0.05) entre los diferentes tratamientos evaluados, para lo cual se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey. El software utilizado fue R (versión 3.6.2).

3. Resultados y discusión

3.1 Caracterización morfológica de los granos de tarwi de las variedades Andenes y Común sin desmargar

Respecto a las características morfológicas se observó, que el grano de tarwi variedad COM es ligeramente mayor en grosor 5,3±1,4 mm y ancho 7,6±1,0 mm, así como ligeramente menor en largo 9,1±1,0 y peso 24,0±0,0 g en comparación a la variedad AND, que presentó un grosor 4,71±1,4 mm, ancho 7,5±1,9 mm, largo 9,4±1,3mm y, peso de 28,3±0,0 g, respectivamente. Por los valores inferiores de las desviaciones estándar de prácticamente todas las dimensiones, se puede deducir que el grano COM tenía una morfología más homogénea. El promedio de los valores de longitud obtenidos para ambas variedades es del orden del valor promedio indicado con anterioridad para *Lupinus mutabilis* por otros autores (Cayza-Ayala, 2011).

3.2 Composición de los granos de tarwi de la variedad Andenes y Común

La composición proximal de los granos de tarwi variedades AND y COM desamargados (D) y sin desamargar (SD) se muestra en la **Tabla 1**. El porcentaje de grasa en el grano de tarwi variedad AND-D es mayor (29,2% m/m) que en el grano de la variedad COM (25,5% m/m); mientras que la proteína en la variedad COM-D es

superior a la variedad AND-D (60,8 vs 54,2% m/m). Tales valores son similares a los contenidos reportados por **Córdova-Ramos, Glorio-Paulet, Hidalgo, & Camarena (2020a)** en los granos desamargados de las variedades Andenes, Altagracia y Yunguyo y en el intervalo de valores encontrados por **Briceño Berru et al. (2021)** en granos amargos de 33 genotipos de lupinos Andinos. Otros autores, sin embargo, reportaron valores ligeramente inferiores de grasa (20,4% m/m) y proteína (51,1% m/m) en *Lupinus mutabilis* (**Mujica, Jacobsen, & Izquierdo, 2002; Villacrés, Caicedo, & Peralta, 1998; Gross et al., 1988; Zavaleta, 2018**). Por otro lado, **Czubinski, Grygier & Siger (2021)**, mencionan que los principales nutrientes presentes en las semillas de *L. mutabilis* cultivadas en Europa fueron proteínas y grasas con contenidos de 44,7% y 15,4%, respectivamente. En cualquier caso, se observa que en el proceso de desamargado se concentran mayor grasa y proteína, y las diferencias respecto a otros autores podrían deberse a la variedad estudiada, la estacionalidad en la cosecha, así como a las condiciones en que esta crece. **Carvajal-Larenas et al. (2016)** mencionan que entre variedades de *Lupinus mutabilis*, el contenido de grasa en grano crudo puede variar entre 13,0 – 24,6% m/m y, en grano desamargado entre 8,9 – 20,4% m/m, mientras que en proteína puede variar entre 32,0 – 52,6% m/m para el grano crudo y entre 51,1 – 72,0% m/m para el grano desamargado. A su vez otros autores (**Trugo, Von Baer, & Von Baer, 2016**) indican que los granos de *Lupinus mutabilis* muestran atributos nutritivos similares a los de la soya, que es otra leguminosa, particularmente con respecto al contenido elevado de proteínas y grasas. Algunas especies de soya pueden tener contenidos de proteína y grasa en los granos de hasta 50% y 22% m/m, respectivamente. Al contener mayor concentración de grasa, los granos de tarwi desamargados fueron empleados para la extracción por prensa expeller.

3.3 Extracción del aceite crudo de granos de tarwi

El efecto de diferentes factores del proceso de prensado en el rendimiento de extracción de aceite a partir de los granos desamargados de las variedades COM y AND se investigó de acuerdo a un arreglo factorial completo y en la **Tabla 2** se muestra un resumen del análisis de varianza realizado. Se puede concluir que los factores variedad del tarwi y porcentaje de humedad fueron muy significativos (*p value* < 0,001), mientras que los factores diámetro de la boquilla de salida de la cámara de prensado y velocidad del tornillo sin fin no fueron nada significativos (*p value* > 0,05).

También es importante mencionar que algunas interacciones entre los diferentes factores resultaron también

significativas hasta cierto punto (*p-value* < 0,05): variedad: diámetro; humedad: diámetro; humedad: velocidad; diámetro: velocidad; variedad:humedad: diámetro; variedad:diámetro: velocidad; y la interacción variedad: humedad:diámetro:velocidad.

Tabla 2

Análisis de varianza para determinar el efecto de los factores del proceso de prensado sobre el rendimiento de extracción de aceite

Fuente de Variabilidad	Significancia
➤ Variedad de tarwi (Variedad)	***
➤ Porcentaje de humedad (Humedad)	***
➤ Diámetro de la boquilla de salida de la cámara de prensado (Diámetro)	n.s.
➤ Velocidad de tornillo sin fin (Velocidad)	n.s.
➤ Variedad:Humedad	n.s.
➤ Variedad:Diámetro	**
➤ Humedad:Diámetro	**
➤ Variedad:velocidad	n.s.
➤ Humedad:velocidad	***
➤ Diámetro:velocidad	***
➤ Variedad:Humedad:Diámetro	*
➤ Variedad:Humedad:velocidad	n.s.
➤ Variedad:Diámetro:velocidad	**
➤ Humedad:Diámetro:velocidad	n.s.
➤ Variedad:Humedad:Diámetro:velocidad	*
➤ Residuales	n.s.

Significancia: *p* value < 0,001: ****; *p* value < 0,01: ***; *p* value < 0,05: **. No significativo (*p* value > 0,05): "n.s."

La **Tabla 3** muestra los rendimientos de extracción de aceite para ambas variedades en las diferentes condiciones de prensado. De la **Tabla 3**, se puede concluir que para la variedad AND, el mayor rendimiento se obtuvo con un porcentaje de humedad del grano del 11%, un diámetro de la boquilla de salida de 0,6 cm y una velocidad de tornillo sin fin de 15 rpm (22,06%, tratamiento A5). Sin embargo, es importante mencionar que el tratamiento A5 conducía a un rendimiento estadísticamente similar a los tratamientos A2, A3, A6 y A7. Adicionalmente, el tratamiento donde se obtuvo un menor rendimiento fue el A1 (14,64%), cuya única diferencia respecto al A5 era que el diámetro de la boquilla de salida era de 0,4 cm en vez de 0,6 cm. Esto nos permitiría concluir que el diámetro de la

boquilla de salida es un factor muy importante a tener en cuenta con la variedad AND, dado que al trabajar en su nivel máximo de 0,6 cm el rendimiento fue de hasta un 30% mayor que con 0,4 cm.

De la **Tabla 3** se puede concluir que para la variedad COM, el mayor rendimiento se obtuvo con un porcentaje de humedad del grano de 11%, un diámetro de la boquilla de salida de 0,4 cm y una velocidad de tornillo sin fin de 30 rpm (18,64%, tratamiento C2). Sin embargo, es importante mencionar que no existían diferencias significativas con los rendimientos de los tratamientos C1, C3, C4, C5, C6 y C7. Así, por ejemplo, el rendimiento con el tratamiento C5 (18,15%), donde las condiciones de prensado coincidían con las del tratamiento A5 optimizado para la variedad AND fue muy similar al del tratamiento C2. En cuanto al menor rendimiento, en este caso se obtuvo con el tratamiento C8 (15,21%) donde los factores se estudiaban a los niveles más elevados: porcentaje de humedad, diámetro de boquilla de salida y velocidad de tornillo de 13%, 0,6 cm y 30 rpm, respectivamente. Sin embargo, las diferencias de rendimiento comparando los tratamientos C2 y C8 no son tan importantes como en el caso de la variedad AND.

Al comparar los rendimientos de extracción de aceite en las condiciones optimizadas para cada una de las variedades (tratamiento A5 y C2 para AND y COM, respectivamente, ver **Tabla 3**), se puede concluir que la variedad AND presentó el mayor rendimiento (22,06% vs 18,64%). Este valor de rendimiento en la variedad AND, representa una eficiencia en el aceite extraído con respecto al total de grasa en el grano de 80,10%. Los rendimientos obtenidos son similares a los reportados por otros autores para la obtención de aceite de tarwi por extracción con solventes a partir de granos desamargados (21,3%, **Vivanco-Cuaresma, 2018**; 21,4%, **Arias & Guamán, 2016**) y ligeramente inferior al 25,6% de **Villacrés et al. (2010)**, que empleó hexano como solvente para la extracción. Con estos rendimientos el grano tarwi de la variedad AND puede considerarse un material con potencial para la producción de aceite por prensa expeller, sin requerir el uso de grandes volúmenes de solventes orgánicos.

Tabla 3

Rendimiento (% m/m) de extracción de aceite de grano de tarwi desamargado

Variedad	Humedad (%)	Diametro (cm)	Velocidad (rpm.)	Rendimiento (g)
<i>Andenes</i>				
A1	11	0,4	15	14,64 ± 1,01 ^d
A2	11	0,4	30	21,79 ± 0,91 ^a
A3	13	0,4	15	18,47 ± 0,58 ^{abc}
A4	13	0,4	30	17,85 ± 2,83 ^{bcd}
A5	11	0,6	15	22,06 ± 0,26 ^a
A6	11	0,6	30	20,99 ± 0,96 ^{ab}
A7	13	0,6	15	19,78 ± 1,73 ^{abc}
A8	13	0,6	30	16,80 ± 0,04 ^{cd}
<i>Común</i>				
C1	11	0,4	15	17,17 ± 1,24 ^{ab}
C2	11	0,4	30	18,64 ± 0,16 ^a
C3	13	0,4	15	17,18 ± 0,41 ^{ab}
C4	13	0,4	30	17,23 ± 0,92 ^{ab}
C5	11	0,6	15	18,15 ± 0,09 ^{ab}
C6	11	0,6	30	18,35 ± 0,29 ^{ab}
C7	13	0,6	15	16,80 ± 0,52 ^{ab}
C8	13	0,6	30	15,21 ± 2,68 ^b

Letras diferentes al interno de la variedad indican diferencia significativa entre tratamientos (*p* value > 0.05).

Se indica el valor promedio ± la desviación estándar (n = 3).

3.3. Caracterización fisicoquímica del aceite de tarwi de la variedad Andenes

Los resultados de los análisis fisicoquímicos del aceite de tarwi de la variedad AND, se observan en la **Tabla 4**.

Tabla 4

Caracterización fisicoquímica del aceite de tarwi variedad Andenes (AND)

Parámetros fisicoquímicos	Aceite crudo
Humedad (% m/m)	0,4 ± 0,0
Índice de acidez (mg KOH/g)	3,2 ± 0,2
Ácidos grasos libres (% m/m ácido oleico)	1,6 ± 0,2
Índice de peróxido (meq O ₂ /kg)	2,7 ± 0,3
Índice de <i>p</i> -anisidina	1,3 ± 0,02
Índice de yodo (mg de I ₂ /g)	58 ± 2
Insaponificables (% m/m)	0,3 ± 0,2
Color Instrumental (CIELAB)	$L^* = 36,5 \pm 0,7$
	$a^* = 2,2 \pm 0,2$
	$b^* = 20 \pm 1$
Índice de refracción a 25 °C	1,469 ± 0,001
Densidad a 25 °C (g/mL)	0,903

Se indica el valor promedio ± la desviación estándar (n = 3).

El índice de acidez, que es indicativo de la calidad de un aceite o grasa, puede relacionarse tanto con las características de la materia prima utilizada como con el procesamiento. El índice de acidez del aceite obtenido presentó un valor de 3,2 mg KOH/g. Este valor es ligeramente inferior al límite máximo indicado en la norma para "grasas y aceites comestibles no regulados por normas individuales" (4,0 mg KOH/g, **Codex Alimentario, 1999**). El valor de ácidos grasos libres expresado en ácido oleico, fue de 1,5%, valor ligeramente menor al 1,9% reportado por otros autores para aceites de tarwi, variedad Andino 450 (**Villacrés et al., 2010; Navarrete, 2010**).

El aceite obtenido presentó un valor de índice de peróxido de 2,7 meq O₂/kg. Este valor es muy inferior al límite máximo establecido por la norma indicada anteriormente (15 meq O₂/kg, **Codex Alimentario, 1999**). Así como también a otros valores reportados para aceite de tarwi en la bibliografía (5,1 meq O₂/kg, **Quispe-Condori, 2012**).

El valor de densidad a 25 °C (0,903 g/mL) fue similar a otros valores encontrados en la bibliografía, teniendo en cuenta que se determinaron a 20 °C (0,916 g/mL; **Navarrete, 2010** y 0,919 g/mL, **Quispe-Condori (2012)**. **Arias & Guamán (2016)** indican que es muy importante que los aceites comestibles presenten una densidad menor a uno.

El valor de índice de refracción a 25 °C (1,469), indica que no hay una gran cantidad de ácidos grasos libres en el aceite obtenido, y es similar al 1,470 indicado por otros autores (**Arias & Guamán, 2016; Vivanco-Cuaresma, 2018**). El valor del índice de anisidina fue relativamente bajo (1,25), indicando que el aceite obtenido no presentaba productos secundarios de la oxidación. El valor de índice de anisidina en un aceite puede cambiar con la oxidación debido al aire o la luz, o al estado y procedencia del grano.

El índice de yodo en el aceite crudo de tarwi desamargado fue de 68 ± 2 mg de I₂/g. Este valor es inferior al encontrado por **Quispe-Condori (2012)** que indica 78 mg I₂/g. Este índice indica el grado de insaturación de los

ácidos grasos presentes en un aceite, lo que depende de su naturaleza y composición (**Bailey, 1984**).

Se determinó un contenido de material insaponificable de 0,3% m/m. Este valor obtenido es relativamente mayor comparado con el valor ≤ 15 (g/kg) mencionado en el Codex, que se señala para otros aceites comerciales, como el de soya, girasol y coco (**Codex Alimentario, 1999**). Otros autores han reportado valores de 0,2% m/m y 2% m/m (**Quispe-Condori, 2012; Villacrés et al., 2010**).

La medición del color indicó que el aceite tenía una luminosidad baja con tendencia al color claro (L^* : 36,5), que se desplaza hacia los tonos rojos (a^* : 2,2) y ubica en la zona de amarillos claros (b^* : 19,6).

3.4 Composición de la torta y la harina de tarwi de la variedad Andenes

Los resultados del análisis químico proximal de la torta y la harina desengrasada obtenidas al preparar el aceite de tarwi de la variedad AND se presentan en la **Tabla 5**. En ambos casos resalta el alto contenido de proteínas (61,4% y 65,2 % para la torta y la harina, respectivamente), algo que ya se esperaba de acuerdo a la composición proximal obtenida para el grano (**Tabla 1**), donde destacaban los contenidos de proteínas y grasa. El pequeño contenido de grasas en la torta y la harina comparado con el grano indicaría la gran eficiencia del proceso de extracción del aceite, así como del desengrasado adicional de la harina.

Tabla 5

Composición proximal (% m/m m.s.) de la torta y harina desengrasada de tarwi variedad Andenes (AND) (materia seca, m.s.)

Componentes (% m/m)	Torta	Harina desengrasada
Grasa	6,82 ± 0,02	1,34 ± 0,01
Proteína (factor: 5,7)	61,4 ± 0,0	65,3 ± 0,0
Cenizas	3,4 ± 0,0	3,41 ± 0,0
Carbohidratos* (ELN)*	28,4 ± 0,0	30,0 ± 0,1
Fibra cruda total	5,45 ± 0,0	2,79 ± 0,1

Se indica el valor promedio ± la desviación estándar (n = 3). *Por diferencia. ELN = extracto libre de nitrógeno.

3.5 Compuestos bioactivos en el aceite, la torta y la harina de tarwi de la variedad Andenes.

Entre los compuestos bioactivos se analizaron en el aceite de tarwi de la variedad AND los tocoferoles, los fitoesteroles y los ácidos grasos esenciales. A su vez, también se evaluó la capacidad antioxidante y el contenido total de polifenoles en el aceite, la torta y la harina desengrasada. La **Tabla 6** muestra el contenido de tocoferoles en el aceite obtenido. Análogamente a lo reportado en granos de 33 genotipos de tarwi por **Briceño Berru et al. (2021)**, los 4 homólogos fueron detectados; el tocoferol más abundante fue el γ -tocopherol (555 mg/kg), que destaca por sus propiedades antioxidantes. La presencia de importantes concentraciones de γ -tocopherol en el aceite de tarwi ya se había reportado en estudios anteriores (1172,8 mg/kg, **Navarrete, 2010**). **Navarrete (2010)** también indica que el segundo tocoferol representativo fue el δ -tocopherol (18,2 mg/kg), mientras que, en la presente investigación, fue el β -tocopherol (8,3 mg/kg); siendo la concentración del δ -tocopherol ligeramente inferior (6,0 mg/kg). La concentración total de tocoferoles detectados (570 mg/kg) sería suficiente para la estabilidad de los ácidos grasos insaturados presentes (**Dabrowska & Moya, 2009**).

Tabla 6

Contenido de tocoferoles (T) (mg/kg) en el aceite de tarwi de la variedad Andenes

Muestra	α T	β T	γ T	δ T	Total, T
Andenes	1,19 \pm 0,07	8,3 \pm 0,3	555 \pm 12	6,0 \pm 0,5	570 \pm 0,3

Se indica el valor promedio \pm la desviación estándar (n = 3)

El rol más importante de los fitoesteroles en las plantas es su influencia en la permeabilidad y el intercambio de fluidos en la célula (Piironen et al., 2000; De Jong, Plat, & Mensink, 2003; Ellegård, Andersson, Normén, & Andersson, 2007). Los mamíferos no pueden sintetizar fitoesteroles y, por lo tanto, su presencia en el organismo humano tiene su origen exclusivamente en el aporte de la dieta (De Jong et al., 2003).

La **Tabla 7** muestra el contenido de fitoesteroles en el aceite obtenido. El aceite contenía una cantidad total de fitoesteroles de 99930 mg/kg, siendo los fitoesteroles más abundantes el β -sitosterol (41900 mg/100 g o 41,9% m/m), el campesterol (31000 mg/100 g o 31,0% m/m) y el avenasterol (11260 mg/100 g o ~11,3%). Estos valores son superiores a los reportados por Villacrés & Quelal (2013) que mencionan para el tarwi Andino 450 valores de 24,62% m/m de β -sitosterol, 22,7% m/m de campesterol, 15% m/m de colestano y 23,33% de estigmasterol. En cambio, el tarwi Criollo presenta 24,33% de β -Sitosterol, 22,67% de campesterol, 15,01% de colestano y 23,48% de estigmasterol. Kalogeropoulos et al. (2010) reportaron en tarwi blanco el contenido de fitoesteroles donde resalta el campesterol y el D5-avenasterol, con valores de 11,9 y 5,89%, respectivamente. Es importante indicar que lo expresado referente a contenido de fitostereroles por diferentes autores, se refiere a granos crudos desamargados de tarwi, y no al aceite obtenido a partir de éstos, que son los resultados que se reportan en la presente investigación.

Tabla 7

Contenido de Fitoesteroles en el aceite de tarwi de la variedad Andenes

Fitoesteroles	mg/100 g
Colestano	100 \pm 1
Campesterol	31000 \pm 120
Estigmasterol	13460 \pm 30
Cleresterol	590 \pm 20
β -Sitosterol	41900 \pm 200
Sitostanol	530 \pm 40
Δ 5-Avenasterol	11260 \pm 10
Δ 5,24-Estigmastenediol	770 \pm 70
Δ 7-Estigmasterol	190 \pm 20
Δ 7-Avenasterol	230 \pm 60
Total, Esteroles (mg/100 g)	99930

Se indica el valor promedio \pm la desviación estándar, n = 3).

Ácidos grasos

Los ácidos grasos insaturados se consideran ácidos grasos esenciales, porque el organismo los requiere para su normal funcionamiento. No se pueden sintetizar endógenamente y sólo se pueden adquirir a través de la alimentación. En la **Tabla 8** se observa que el aceite de tarwi obtenido presentó un alto porcentaje de ácidos grasos monoinsaturados (AGMI) y polinsaturados (AGPI), predominando el ácido oleico (C18:1, n-9) 56,2% y el ácido linoleico (C18:2, n-6) 23,5%, respectivamente. Este contenido de ácido oleico; es superior al reportado por otros autores (41,2%, Carvajal-Larenas, Linnemann, Nout,

Koziol, & Boekel, 2016; 42%, Gross et al., 1988; 45,5%, Salvatierra-Pajuelo, Azorza-Richarte, & Paucar-Menacho, 2019; 48% Villacrés, 2013).

Tabla 8

Contenido de ácidos grasos en aceite de tarwi de la variedad Andenes

Tipo de ácidos grasos	Ácido Graso	%
Ácidos grasos saturados	C14:0 (mirístico)	0,040 \pm 0,002
	C16:0 (palmítico)	8,60 \pm 0,2
	C17:0 (esteárico)	7,10 \pm 0,1
	C20:0 (araquídico)	0,74 \pm 0,03
	C21:0 (heneicosanoco)	0,020 \pm 0,003
	C22:0 (behénico)	0,67 \pm 0,04
Ácidos grasos monoinsaturados	C24:0 (lignocérico)	0,100 \pm 0,004
	C16:1(palmitoleico)	0,100 \pm 0,008
	C18:1 (oleico isómero)	0,86 \pm 0,06
	C20:1(cis-eicosenoico ácido)	0,08 \pm 0,02
Ácidos grasos polinsaturados	C18:1 n-9 (oleico)	56,2 \pm 0,8
	C18:2 n-6 (linoleico)	23,5 \pm 0,4
	C18:3 n-6 (γ -linolénico)	2,06 \pm 0,08
Acidos grasos saturados (AGS)		17,24
Acidos grasos monoinsaturados (AGMI)		57,23
Acidos grasos poliinsaturados (AGPI)		25,53
Total de Ácidos Grasos		100,00

Se indica el valor promedio \pm la desviación estándar (n = 3).

Capacidad antioxidante

La harina de tarwi desengrasada presento una mayor capacidad antioxidante (ABTS) lipofílica (11,81 \pm 0,09 μ mol TE/g) que hidrofílica de (9,60 \pm 0,06 μ mol TE/g), y una capacidad antioxidante total de 21,41 \pm 0,2 μ mol TE/g y 3,89 \pm 0,2 μ mol TE/g por los métodos ABTS y FRAP, respectivamente. La capacidad antioxidante total encontrada por el método FRAP fue ligeramente superior a la reportada por Peñarrieta, Alvarado, Ákesson, & Bergenstahl (2005) (2,4 μ mol TE/g).

Compuestos polifenólicos

Los compuestos polifenólicos se analizaron en la torta y el aceite, obteniendo valores superiores en la torta comparados con los del aceite, dada su naturaleza hidrofílica (128,47 \pm 0,05 mg AGE/100 g vs 7,04 \pm 0,05 mg AGE/100 g). El contenido de la torta fue ligeramente superior al nivel reportado por Córdova-Ramos, Glorio-Paulet, Hidalgo, & Camarena (2020b) en la harina desengrasada del tarwi de la variedad AND (118 mg AGE/100 g). Pablo-Pérez, Lagunes-Espinoza, López-Upton, Aranda-Ibáñez, & Ramos-Juárez (2015) mencionan para especies silvestres del género *Lupinus* que la mayor concentración de polifenoles totales se encuentra en hoja y tallo (556 a 813 mg AGE/100 g), seguida de la del pericarpio (362 a 590 mg AGE/100 g) y grano (221 a 554 mg AGE/100 g). Dado el amplio intervalo de valores que se indican en el grano, es de esperar una variabilidad similar en la torta resultante del prensado para la obtención de aceite.

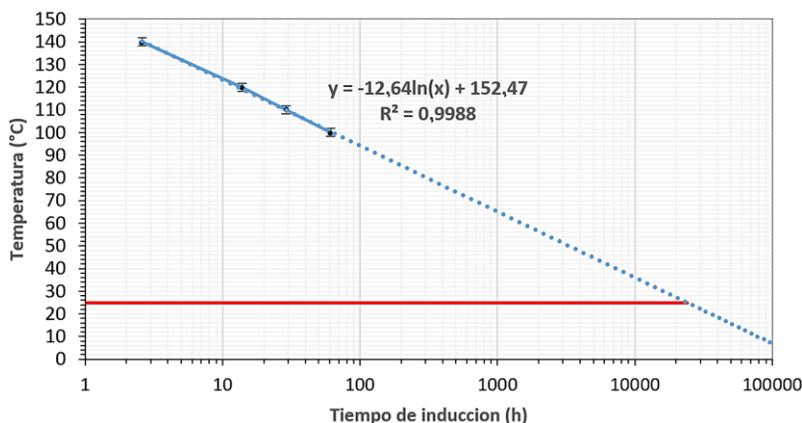


Figura 2. Determinación del tiempo de vida útil a 25 °C del aceite de tarwi de la variedad Andenes (AND) por el método Rancimat.

3.6. Estabilidad oxidativa, tiempo de inducción y vida útil del aceite de tarwi de la variedad Andenes.

Para el estudio de estabilidad oxidativa (OSI) del aceite de tarwi de la variedad Andenes se aplicó el método Rancimat. Para las temperaturas de 100, 110, 120 y 140 °C se obtuvieron los tiempos de inducción (TI) de 61 ± 2 , 29 ± 2 , $13,9 \pm 0,5$ y $2,6 \pm 0,1$ h, respectivamente. Como puede observarse, los TI disminuyen al aumentar a temperatura debido a la aceleración de la oxidación del aceite. En la Figura 2, se muestra una representación de los TI a las diferentes T, y la recta de regresión lineal resultante del ajuste por mínimos cuadrados (coeficiente de determinación, $R^2 > 0,99$) necesaria para estimar por extrapolación la vida útil a 25 °C, que fue de 2,7 años (23972 horas). Esta estabilidad supera a la vida útil estimada a la misma temperatura para otros aceites como el de girasol (1,7 años), sésamo (0,5 años), y uva (0,2 años) (Navas-Hernández, 2010). La elevada estabilidad en las condiciones del Rancimat puede estar relacionada principalmente con el elevado contenido de ácido oleico. Es importante mencionar que, para continuar y realizar futuros trabajos en la línea de la presente investigación, se podría también analizar el contenido de carotenoides, determinar los tipos de proteínas y analizar los diferentes oligosacáridos que se encuentran en las tortas agotadas de aceite, así como separar y caracterizar los compuestos fenólicos determinados u otros compuestos bioactivos por cromatografía de líquidos de alta resolución acoplada a la espectrometría de masas (HPLC-MS).

4. Conclusiones

Se demostró que el prensado expeller es un método muy eficiente y conveniente desde el punto de vista ecológico para obtener aceite de tarwi de calidad aceptable. Empleando granos desamargados de las variedades AND y COM se obtuvieron rendimientos por prensa expeller en las condiciones optimizadas sólo ligeramente inferiores a por extracción Soxhlet. La variedad AND proporcionó mejor rendimiento en aceite que la variedad COM (22,1 vs 18,4%). El aceite obtenido destacó por su contenido en ácido oleico (56,2% m/m), γ -tocopherol (555 mg/kg) y β -sitosterol (41900 mg/100 g), así como por su vida útil (2,7 años). Respecto a los residuos del proceso de prensado, la torta y la harina desengrasada que se preparó a partir de ésta, presentaban un elevado contenido en proteína,

así como capacidades antioxidantes y concentraciones de compuestos polifenólicos relevantes. Esto podría ser de gran importancia en el futuro, a la hora de revalorizar los subproductos del proceso de obtención de aceite propuesto.

ORCID

- G. J. Pascual-Chagman [ID](https://orcid.org/0000-0003-1891-8242) <https://orcid.org/0000-0003-1891-8242>
 J. S. Cruz-Olivos [ID](https://orcid.org/0000-0001-6377-4319) <https://orcid.org/0000-0001-6377-4319>
 A. Hidalgo [ID](https://orcid.org/0000-0002-3311-814X) <https://orcid.org/0000-0002-3311-814X>
 F. Benavente [ID](https://orcid.org/0000-0002-1688-1477) <https://orcid.org/0000-0002-1688-1477>
 M. C. Pérez-Camino [ID](https://orcid.org/0000-0001-7652-9582) <https://orcid.org/0000-0001-7652-9582>
 A. Sotelo-Mendez [ID](https://orcid.org/0000-0002-6992-4821) <https://orcid.org/0000-0002-6992-4821>
 L. M. Paucar-Menacho [ID](https://orcid.org/0000-0001-5349-6167) <https://orcid.org/0000-0001-5349-6167>
 C. R. Encina-Zelada [ID](https://orcid.org/0000-0001-6834-7121) <https://orcid.org/0000-0001-6834-7121>

Referencias bibliográficas

- A.O.A.C. (1995). Official Methods of Analysis. 18th Edition, Association of Official Analytical chemists, Gaithersburg.
 A.O.A.C. (1998). Manual of Official Methods of Analyses of the Association of Official Analytical Chemists'. Five tenth editions. USA- Vol.2.
 A.O.C.S. (American Oil Chemists' Society). (1998). Official Methods and Recommended practices. Sixth edition. American Oil Chemists Society. Champaign, D.C, USA.
 Arias, J. N., & Guamán, P. P. (2016). Evaluación físico-química del aceite de chocho (*Lupinus mutabilis*) a partir de dos variedades de chocho (INIAP 450 Andino y ecotipo local). Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador.
 Bailey, E. (1984). Aceites y Grasas Industriales. Editorial - Reverté, S. A. Barcelona, España, 746 p.
 Benzie, I., & Strain, J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239, 70-76.
 Briceño Berru, L., Glorio-Paulet, P., Basso, C., Scarafoni, A., Camarena, F., Hidalgo, A., & Brandolini, A. (2021). Chemical composition, tocopherol and carotenoid content of seeds from different Andean lupin (*Lupinus mutabilis*) ecotypes. *Plant Foods for Human Nutrition*, 76, 98-104.
 Carvajal-Larenas, F. E., Linnemann, A. R., Nout, M. J. R., Koziol, M., & Boekel, M. A. J. S. (2016). *Lupinus mutabilis*: composition, uses, toxicology, and debittering. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 56, 1454-1487.
 Cayza-Ayala, J. E. (2011). Obtención de hidrolizado enzimático de proteína de chocho (*Lupinus mutabilis*) a partir de harina integral. Tesis para obtener el título de Ingeniera Agroindustrial. Quito- Ecuador.
 Chirinos-Arias, M., Jiménez, J., & Vilca-Machaca, L. (2015). Análisis de la variabilidad genética entre treinta accesiones de tarwi (*Lupinus mutabilis Sweet*) usando marcadores moleculares ISSR. *Scientia Agropecuaria*, 6, 17-30.
 Codex Alimentario. 1999. Norma Para Grasas y Aceites Comestibles No Regulados por Normas Individuales Codex Stan 19-1981.
 Córdova-Ramos, J. S., Glorio-Paulet, P., Camarena, F., Brandolini, A., & Hidalgo, A. (2020a). Andean lupin (*Lupinus mutabilis Sweet*): processing effects on chemical composition, heat damage and *in vitro* protein digestibility. *Cereal Chemistry*, 97, 827-835.
 Córdova-Ramos, J.S., Glorio-Paulet, P., Hidalgo, A., & Camarena, F. (2020b). Effect of technological process on antioxidant capacity and total phenolic content of Andean lupine (*Lupinus mutabilis Sweet*). *Scientia Agropecuaria*, 11, 157-165.

- Czubinski, J., Grygier, A., & Siger, A. (2021). Lupinus mutabilis seed composition and its comparison with other lupin species. *Journal of Food Composition and Analysis*, 99, 103-875.
- Da Costa, P., Ballus, C., Texeiro-Filho, J., & Teixeira, H. (2010). Phytosterols and tocopherols content of pulps and nuts of Brazilian fruits. *Food Research International*, 43, 1603-1606.
- Dabrowska, C., & Moya, M. S. (2009). Vitaminas y antioxidantes. Departamento de Medicina de La Universidad Autonoma de Madrid, p. 5-33.
- De Jong, A., Plat, J., & Mensink, R. (2003). Metabolic effects of plant sterol and stanol (Review). *Journal of Nutritional Biochemistry*, 14, 362-369.
- Ducheteau, G., Bauer-Plank, C., Louter, A., Van Der Ham, M., Boerma, J., et al. (2002). Fast and accurate method for total 4-desmethyl sterol(s) content in spreads, fat – blends, and raw materials. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 79, 273-278.
- Ellegård, L., Andersson S., Normén, A., & Andersson H. (2007). Dietary plant sterol and cholesterol metabolism. *Nutrition Reviews*, 65(1), 39-45.
- Gross, R., Von Baer, E., Koch F., Marquard R., Trugo, L., & Wink, M. (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, 353-361.
- IUPAC (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada). (1987). Métodos estándar de la IUPAC 2.302, 2.432, 2.504. Métodos estándar para el análisis de aceites, grasas y derivados. Oxford, Gran Bretaña: Blackwell Scientific (consultado el 06.09.20).
- Jacobsen, S., & Mujica, Á. (2006). El tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet.) y sus parientes silvestres. Botánica Económica de los Andes Centrales. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, 6, 458-482.
- Kalogeropoulos, N., Chiou, A., Ioannou, M., Karathanos, V. T., Hassapidou, M., & Andrikopoulos, N. K. (2010). Nutritional evaluation and bioactive microconstituents (phytosterols, tocopherols, polyphenols, triterpenic acids) in cooked dry legumes usually consumed in the Mediterranean countries. *Food Chemistry*, 121, 682-690.
- Martínez, M. L., Pencj, M. C., Marin, M. A., Ribotta, P. D., & Maestri, D. M. (2013). Screw press extraction of almond (*Prunus Dulcis* (Miller) D.A. Webb): Oil recovery and oxidative stability. *Journal of Food Engineering*, 119, 40-45.
- Mujica, A., Jacobsen, S. E., & Izquierdo, J. (2002). Andean lupin (*Lupinus mutabilis* sweet) forty-year research in Peru. En: 10th International Lupin Conference: Wild and cultivated lupin from the tropics to the poles. Program and Abstract Book (p.106). Lincoln: Auburn University.
- Navarrete, M. (2010). Extracción, refinación y caracterización físico-química y nutracéuticas del aceite de chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet) Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Tesis de grado previa a la obtención del título de. Bioquímico Farmacéutico.
- Navas-Hernández, P. B. (2010). Componentes minoritarios y propiedades antioxidantes de aceites vírgenes y tortas residuales obtenidos por presión en frío a partir de fuentes vegetales convencionales y no convencionales. Tesis Doctoral. Universidad de Castilla La Mancha. Facultad de Ciencias Químicas, Departamento de Química Analítica y Tecnología de Alimentos. España.
- Pablo-Pérez, M., Lagunes-Espinoza, L., López-Upton, J., Aranda-Ibáñez, E., & Ramos-Juárez, J. (2015). Chemical composition of wild species of the genus *Lupinus* from state of Puebla, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38, 49-55.
- Peñarrieta, J. M., Alvarado, J. A., Ákesson, B., & Bergenståhl, B. (2005). Capacidad total de antioxidantes en especies alimentarias andinas de Bolivia. *Revista Boliviana de Química* 22, 1.
- Piironen, V., Lindsay, S., Miettinen, T., Toivo, J., & Lampi, A. (2000). Plant sterol: biosynthesis, biological function and their importance to human nutrition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 939-966.
- Quispe-Condori, R. Y. (2012). Extracción y caracterización del aceite de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet). Tesis para optar el Título de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Nacional del Altiplano. 121 p.
- Rodríguez, G., Squeo, G., Estivi, L., Quezada Berru, S., Buleje, D., Caponio, F., Brandolini, A., & Hidalgo, A. (2011). Changes in stability, tocopherols, fatty acids and antioxidant capacity of sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) oil during French fries deep-frying. *Food Chemistry*, 340, 127942.
- Salvatierra-Pajuelo, Y. M., Azorza-Richarte, M. E., & Paucar-Menacho, L. M. (2019). Optimización de las características nutricionales, texturales y sensoriales de cookies enriquecidas con chia (*Salvia hispánica*) y aceite extraído de tarwi (*Lupinus mutabilis*). *Scientia Agropecuaria*, 10(1), 7-17.
- Singleton, V. L., & Rossi, J. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic- phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144-158.
- Trugo, L. C., Von Baer, E., & Von Baer, D. (2016). Enciclopedia de cereales alimentarios (2da edición), vol. 4. 325-332.
- Varas Condori, M., Pascual Chagman, G., Barriga Sanchez, M.E., Villegas Vilchez, L.F., Ursetta, S., Guevara, A., & Hidalgo, A. (2020). Effect of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) lycopene-rich extract on the kinetics of rancidity and shelf-life of linseed (*Linum usitatissimum* L.) oil. *Food Chemistry*, 302, 125327.
- Villacrés, E., Caicedo, C., & Peralta, E. (1998). Disfrute cocinando con chocho. Recetario Programa Nacional de Leguminosas. Quito: INIAP-FUNDACYT.
- Villacrés, E., & Quelal, M. B. (2013). Valor nutricional y funcional del chocho (*Lupinus mutabilis* S.). Departamento de Nutrición y Calidad – Estación Experimental Santa Catalina, INIAP- Ecuador.
- Villacrés, E., Navarrete, M., Lucero, O., Espin, S., & Peralta, E. (2010). Evaluación del rendimiento, características físico-químicas y nutracéuticas del aceite de chocho (*Lupinus mutabilis* sweet). *Revista Tecnológica ESPOL – RTE*, 23, 57- 62.
- Vivanco-Cuaresma G. (2018). Efecto de tres tratamientos de desamargado de grano de tarwi (*Lupinus mutabilis* sweet) en el contenido de grasa. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial Andahuaylas – Apurímac – Perú.
- Zavaleta, A. I. (2018). *Lupinus mutabilis* (tarwi), leguminosa con gran potencial industrial. 1ª ed. Lima: Fondo de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 164 p.