

Caracterización físico-química del Aceite de Linaza (*Linum usitatissimum* L.) del Departamento Cajamarca, Perú

Physico-chemical Characterization of Linseed Oil Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) Department of Cajamarca, Perú

Marcial I., Silva Jaimes¹, Gisella, Gallardo Camarena² y Gloria Pascual Chapman³

RESUMEN

Objetivo. Evaluar las características físico-químicas del aceite de linaza (*Linum usitatissimum* L.) extraídos de semillas enteras y semillas sometidas a molienda, mediante prensa hidráulica y de tornillo. **Métodos.** Se evaluaron 4 diferentes sistemas de molienda: molino de disco artesanal, molino de martillo, molino de cuchillos y molino de disco de piedra. En los aceites de linaza obtenidos se realizaron análisis físico-químicos de calidad. **Resultados.** Se encontró que la semilla de linaza sometida a extracción por prensa hidráulica tiene un rendimiento de 21,695 g aceite/ 100 g m.s. entera y de 16,817 g aceite/ 100 g m.s. entera por extracción en prensa de tornillos, siendo el molino de discos de piedras y la extracción en prensa hidráulica la que permitió un mayor rendimiento (24,108 g aceite/ 100 g m.s.). Los aceites de linaza presentaron una humedad y materia volátil entre 0,079% y 0,110% (b.s.), ($p < 0,05$), densidad de 0,931 g/ml ($p > 0,05$), índice de refracción de 1,482 ($p > 0,05$), índice de acidez entre 0,588 y 0,811 mg KOH/g de aceite ($p < 0,05$), índice de peróxido entre 0,256-1,123 ($p > 0,05$), índice de yodo entre 195,985 y 196,386 meq de oxígeno activo/kg de aceite ($p < 0,05$), índice de saponificación entre 189,675 y 191,584 mg KOH/g aceite ($p < 0,05$), materia insaponificable entre 0,778% – 1,388%. El análisis de color indican un $L^* = 38,933 - 41,250$, $a^* = -1,407 - 5,463$ y $b^* = 36,527 - 41,363$. **Conclusiones.** El aceite de linaza del distrito de Cachachi, extraído con molienda de prensa hidráulica de la semilla entera y semillas molidas con disco de piedra presentan características físicoquímicas que aseguran una mejor calidad que el aceite extraído con prensa de tornillo.

Palabras clave: Linaza, aceite de linaza, índice de refracción, índice de peróxido - yodo.

ABSTRACT

The objective was to evaluate the physicochemical properties of linseed (*Linum usitatissimum* L.) extracted from whole seeds and seeds subjected to grinding by hydraulic press and screw. Four different grinding systems were evaluated: artisanal mill drive, hammer mill, mill knives and mill stone disk. In flaxseed oils obtained physicochemical characterization analyses were performed. Was found that flaxseed extracted by hydraulic press has a yield of 21.695 g oil / 100 g of whole d.m. and 16.817 g oil / 100 g whole d.m. extracted by screw press, being by disk mill stones and hydraulic press extraction that enabled higher performance (24.108 g oil / 100 g d.m.). Linseed oils presented the following quality indicators: moisture and volatile matter between 0.079% and 0.110% (d.b.), ($p < 0.05$), density of 0.931 g / ml ($p > 0.05$), refractive index 1.482 ($p > 0.05$), acid value between 0.588 and 0.811 mg KOH / g oil ($p < 0.05$), peroxide between 0.256 -1.123 ($p > 0.05$), iodine value between 195.985 and 196.386 active meq / kg oil ($p < 0.05$) oxygen, saponification value between 189.675 and 191.584 mg KOH / g oil ($p < 0.05$), unsaponifiable matter between 0.778% - 1.388%. The color analysis indicates an $L^* = 38.933$ to 41.250, $a^* = -1.407$ to 5.463 -41.363 $b^* = 36.527$ - 41.363. In conclusion flaxseed oil Cachachi district extracted by hydraulic press milling of whole seeds and ground seeds with stone disc presented physical - chemical characteristics that ensure better a quality than the oil extracted with vise.

Keywords: Linseed, linseed oil, acid value, refractive index, index peroxide - iodine

¹ Universidad Nacional Agraria - La Molina.

² Empresa privada en Industrias Alimentarias.

INTRODUCCIÓN

Según Bernardinni (1981) los principales productos de la semilla de lino (*Linum usitatissimum L.*) son el aceite y la torta. El aceite, dado su alto poder secante, se utiliza fundamentalmente en preparación de pinturas y linóleo. Actualmente, en muchos países tales como Canadá, Australia y Estados Unidos se están desarrollando extracciones de aceite de linaza en frío para el consumo humano, es decir aceites vírgenes que conservan genuinamente la composición y las propiedades fisicoquímicas del mismo. Por tanto, se pueden encontrar varios tipos de extracción, los cuales dependen y se diferencian principalmente por el uso que se le dará al producto final, sea éste de consumo industrial o de consumo humano.

Según Morris (2005a) el aceite de linaza (apto para consumo humano) se produce a través de la molienda de las semillas que son quebradas con rodillos y posteriormente presionadas en expulsores acondicionados con tubos de ventilación de agua fría. El aceite se comprime bajo condiciones que limitan una máxima temperatura de 35 °C durante el procesamiento (Oomah, 2003) el prensado en frío es un procedimiento mecánico únicamente, sin la aplicación de calor; los aceites obtenidos mediante este tipo de prensado podrán haber sido purificados por lavado, sedimentación, filtración y centrifugación únicamente (Codex Alimentarius, 1999). La extracción por solventes de aceite de linaza no es recomendable debido a que las semillas tienden a desintegrarse en el proceso y ocasionan más dificultades, por la presencia de finos, en comparación a la soja que se adapta bien a este método de extracción (Bailey, 1984).

La calidad de las grasas depende de la naturaleza de los ácidos grasos unidos al glicerol, de los ácidos grasos libres, del número de insaturaciones y de la longitud de la cadena carbonada. También depende de la materia prima, características geográficas, climáticas y las variables agronómicas del cultivo, así como de las condiciones de procesamiento y almacenamiento (FAO/WHO, 1970 y Lawson, 1999).

Según Shahidi (2004) entre los parámetros utilizados para verificar la calidad de los aceites comestibles están aquellos relacionados con la composición del aceite o de sus propiedades,

como la densidad relativa, índice de refracción, viscosidad, color (visual, lovibond o colorimetría), turbidez (visual o instrumental), punto de solidificación, olor y sabor (evaluación sensorial), índice de saponificación, índice de yodo, materia insaponificable, índice de acidez y punto de ignición. Para verificar su estado oxidativo está el índice de peróxido (IP), las sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS), índice p-anisidina (p-Anv), TOTOX (2IP + p-Anv), índice de rancidez, porcentaje de lípidos polares y porcentaje de polímeros. Los análisis para verificar la presencia de materias no grasas y contaminantes incluyen: materia volátil, fósforo, hierro, cobre, plomo, arsénico, cadmio, pesticidas, antioxidantes sintéticos (BHA, BHT, TBHQ, PG), quelantes metálicos (ácido cítrico, ácido fosfórico), agentes antiespumantes e Inhibidores de la cristalización. Otros análisis incluyen el porcentaje de ácidos grasos, contenido de colesterol (en grasa animal), carotenoides y clorofilas, escualeno (C₃₀H₅₀), esteroides, tocoles u otros componentes menores utilizados como indicadores de adulteración.

Belén et al; (2004); Mazlan y Said (2011) analizaron la densidad, índice de refracción, índice de saponificación, índice de yodo, índice de peróxidos, índice de acidez y % ácidos grasos en el aceite de aguacate con la inclusión de algunos análisis instrumentales.

Actualmente, la linaza procedente del distrito de Cachachi, ubicado en el Departamento de Cajamarca, así como las linazas producidas en otras zonas del Perú, no cuentan con un registro de la composición de la semilla y aceite de linaza, así como tampoco se ha evaluado que tipo de extracción permite un mayor rendimiento de aceite. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar las características físico-químicas del aceite de linaza (*Linum usitatissimum L.*) extraídos de semillas enteras y semillas sometidas a molienda, mediante prensa hidráulica y de tornillo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Las muestras de linaza se recolectaron en la zona de mayor producción del Departamento de Cajamarca, en la Provincia de Cajabamba, en el distrito de Cachachi. Estas fueron conducidas a la Planta Piloto de Alimentos de la Facultad de Industrias Alimentarias de la

Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) donde se realizó la extracción y a los laboratorios del Programa de Cereales de la Facultad de Agronomía y de Análisis Químico de la Facultad de Ciencias de la UNALM donde se hicieron las operaciones de molienda. Los análisis de la linaza fueron realizados en los laboratorios de Análisis Físico-Químico de Alimentos, Investigación e Instrumentación de la Facultad de Industrias Alimentarias de la UNALM donde se llevaron a cabo por triplicado los siguientes análisis: humedad, proteína, grasa, cenizas totales, fibra, carbohidratos y densidad por el método A.O.A.C. (1995). Se determinó también, en el aceite extraído, la humedad y materia volátil (INDECOPI, 1968), índice de refracción según (INDECOPI, 1975), acidez libre (INDECOPI, 1968), índice de peróxido (INDECOPI, 1968), índice de yodo (INDECOPI, 1968), color: mediante el uso del colorímetro Minolta, índice de saponificación (INDECOPI, 1980), materia insaponificable (INDECOPI, 1980) y cenizas en aceites (INDECOPI, 1980).

Para la extracción del aceite de linaza se empleó el flujo de procesamiento que se muestra en la Figura 1 el cual ha sido elaborado en base a los trabajos realizados por Bernardini (1981), Villanueva (1989), Kirschenbawer (1964) y Oomah (2003). Primero se realizó la limpieza y selección con el fin de contar con las semillas en buen estado y eliminar todas las sustancias extrañas presentes, tales como estacas, tallos, hojas, al igual que la tierra y la suciedad (Bailey, 1984) mediante el uso de una criba de acero inoxidable.

La molienda fue realizada a fin de quebrar las semillas de lino. Se utilizaron 4 tipos de molinos: molino de discos artesanal (velocidad de molienda de 1,5 kg/h, con 80% de partículas entre 0,595 – 2,00 mm de diámetro), molino de martillos (velocidad de molienda de 15,00 kg/h, con 75% de partículas entre 0,595 -0,85 mm de diámetro), molino de cuchillos (velocidad de molienda de 0,83 kg/h, con 96% de partículas entre 0,595 - 0,85 mm de diámetro) y molino de discos de piedra (velocidad de molienda de 12,50 kg/h, con 95% de partículas entre 0,595 – 2,00 mm de diámetro).

La extracción del aceite de la semilla se hizo mediante la operación de prensado sin ningún tipo de calentamiento previo. Para esta operación se ensayaron con dos tipos de

prensa: Prensa hidráulica (extracción mecánica discontinua) y Prensa de tornillo (extracción mecánica continua). Para el caso de la linaza, según Bernardini (1981) y Bailey (1984) se utilizó la prensa hidráulica. Este equipo trabajó hidráulicamente a una presión de 4000 psi, por 30 minutos, siguiendo las recomendaciones de (Villanueva, 1989). La prensa de tornillo trabajó a una presión de 1400 kg/ cm² (19 000 psi) aproximadamente (Bailey, 1984). La temperatura de trabajo del equipo fue de 160 °C.

El aceite obtenido fue centrifugado para remover cualquier partícula extraña diferente al aceite que afecta negativamente a su apariencia, sabor, color y tiempo de vida. El centrifugado se realizó a 4000 RPM por 30 minutos de acuerdo a la recomendación de (Lawson,1999).

El diseño experimental contempló 6 tratamientos para estudiar el efecto de la molienda en la extracción en frío de aceite de linaza (Tabla 1). Los datos fueron analizadas utilizando un Diseño Completamente al Azar con el soporte del software estadístico SAS con un nivel de significación $\alpha = 5\%$.

En el caso del color por ser una variable que consta de varios parámetros solo se realizó un estudio descriptivo considerando el promedio, desviación estándar y coeficiente de variación para cada parámetro dentro de cada tratamiento.

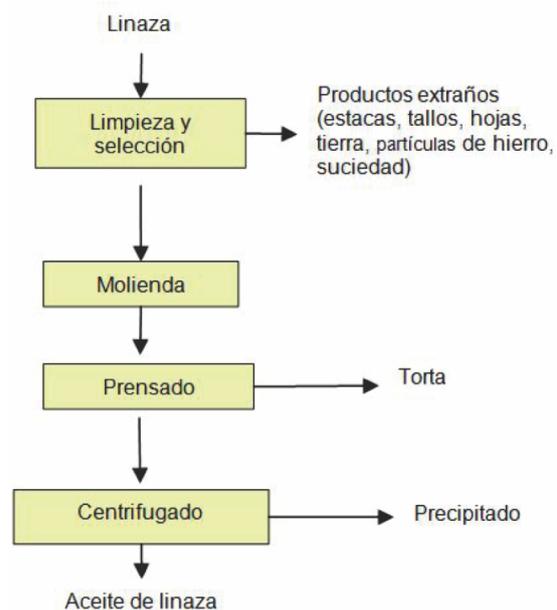


Figura 1. Flujo de operaciones para la extracción de aceite de linaza.

Tabla 1. *Tratamientos de Molienda y tipo de extracción realizadas en las semillas de linaza.*

Tratamiento	Molienda	Extracción
T1	Sin molienda	Prensa hidráulica
T2	Sin molienda	Prensa hidráulica
T3	Molino de disco artesanal	Prensa hidráulica
T4	Molino de martillos	Prensa hidráulica
T5	Molino de cuchillos	Prensa hidráulica
T6	Molino de discos de piedra	Prensa hidráulica

RESULTADOS

La composición química de la linaza que se utilizó para llevar a cabo los ensayos de molienda y extracción fue: 6,92% de humedad; 21,25% de proteína; 41,43% de grasa; 17,54% de fibra; 4,33% de cenizas y 8,52% de hidratos de carbono.

En cuanto a la extracción se obtuvo el más alto rendimiento (24,12 g aceite/ 100 g M.S.) en la muestra sometida al molino de discos de piedras y prensa hidráulica, mientras que las semillas sometidas al molino de discos artesanal, martillos y cuchillos dieron rendimientos de 23,57; 21,01y 18,80 g aceite/

100 g M.S. respectivamente. Los rendimientos de extracción en las muestras de semilla entera fue de 21,70 g aceite/ 100 g M.S. para la extracción mediante prensa hidráulica y de 16,82 g aceite/ 100 g M.S. para la extracción mediante prensa de tornillos. Los aceites de linaza obtenidos de cada tratamiento presentaron diferencias significativas ($P < 0,05$) con la humedad y materia volátil encontrada en el T2 (mayores a 0,1%) debido, probablemente, a la temperatura de trabajo de la prensa de tornillo (160 °C) diferente a la temperatura de trabajo en los tratamientos donde la extracción del aceite de linaza se hizo mediante prensa hidráulica (temperatura ambiente 20 – 28 °C) mostrado en la Figura 2.

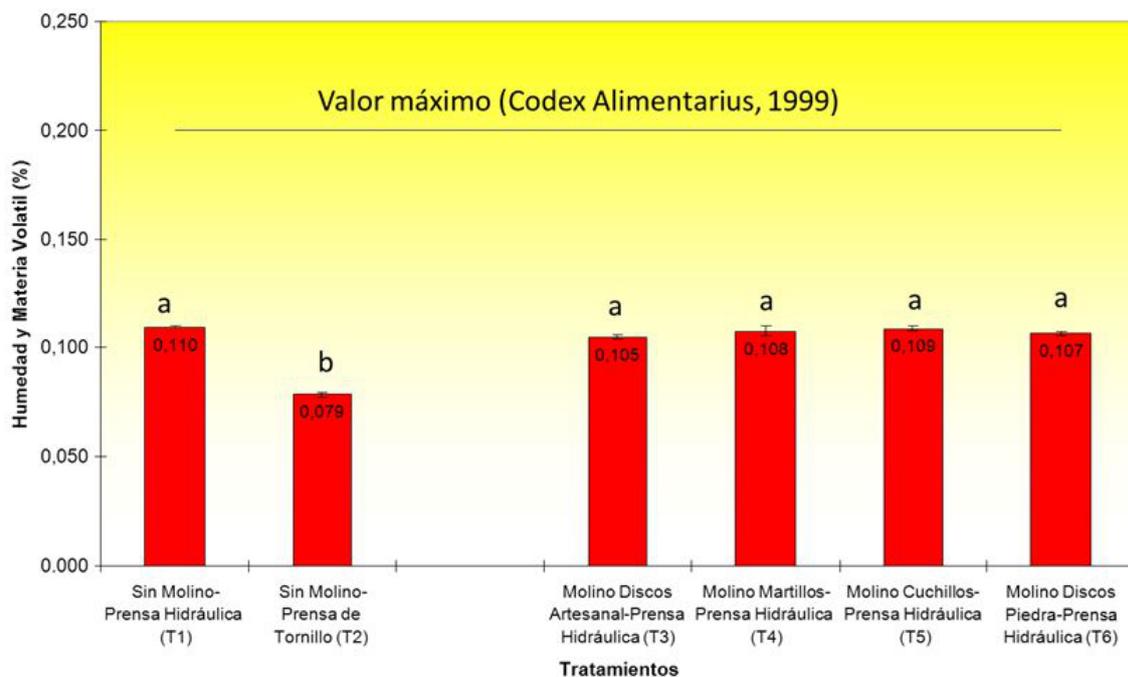


Figura 2. Efecto de la extracción en frío de aceite de linaza de muestras sin moler y sometidas a molienda sobre la humedad y materia volátil (%)

En la Figura 3 se observa que la densidad de los aceites de linaza extraída mediante cada uno de los tratamientos fue de 0,93 g/ml y no se presentaron diferencias significativas entre ellas, ($p>0,05$).

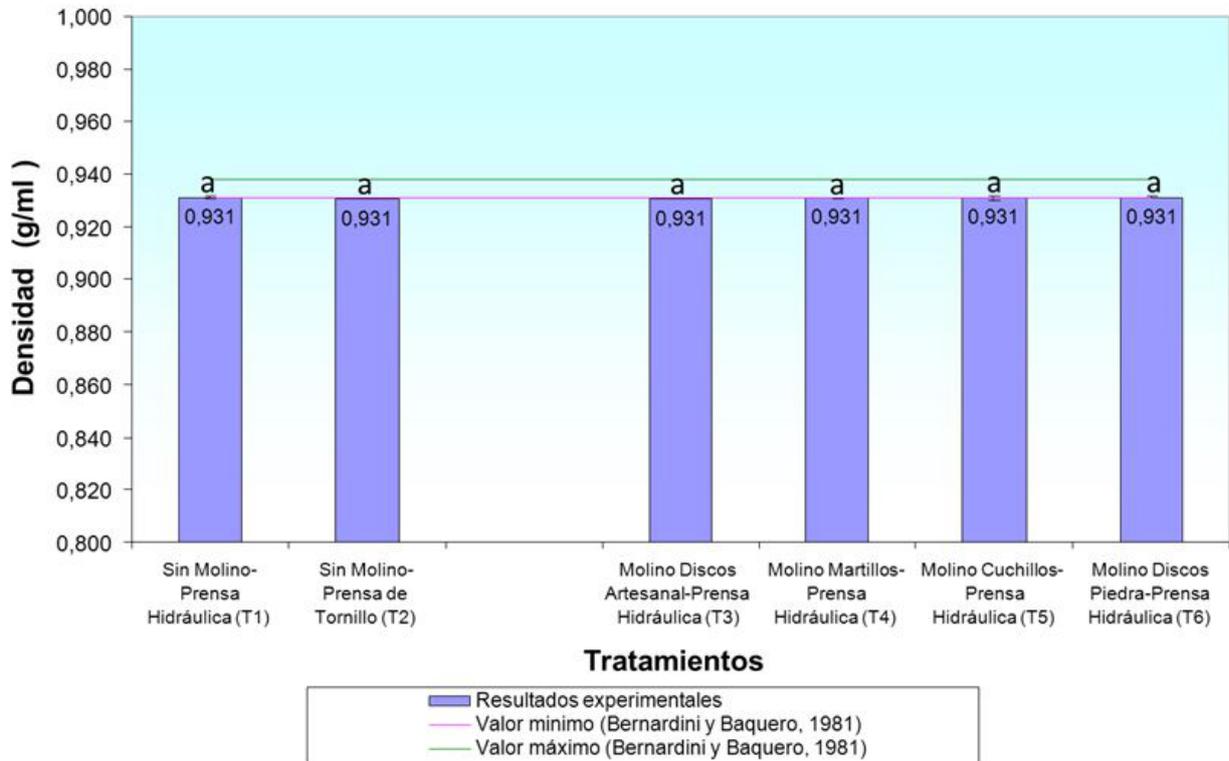


Figura 3. Efecto de la extracción en frío de aceite de linaza de muestras sin moler y sometidas a molienda sobre la densidad

En la Figura 4 los valores de índice de refracción de todos los tratamientos ensayados, se muestra que no existen diferencias significativas ($p>0,05$).

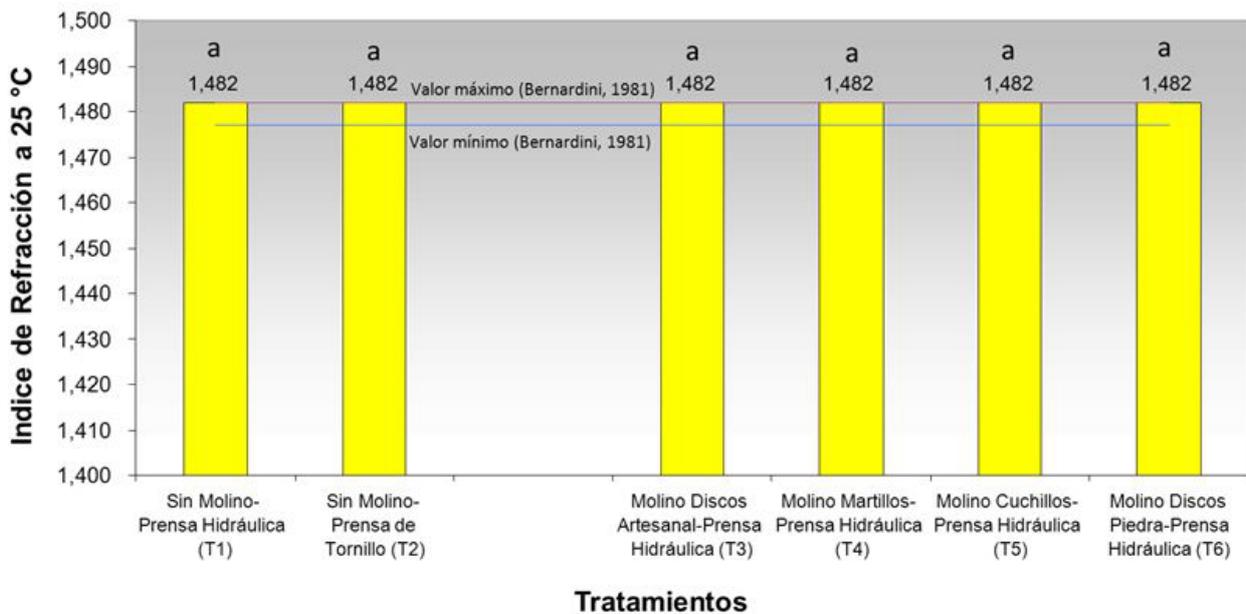


Figura 4. Efecto de la extracción en frío de aceite de linaza de muestras sin moler y sometidas a molienda sobre el índice de refracción a 25°C

En la Figura 5 el efecto de los tratamientos sobre el índice de acidez, los cuales presentan diferencias significativas ($p > 0,05$).

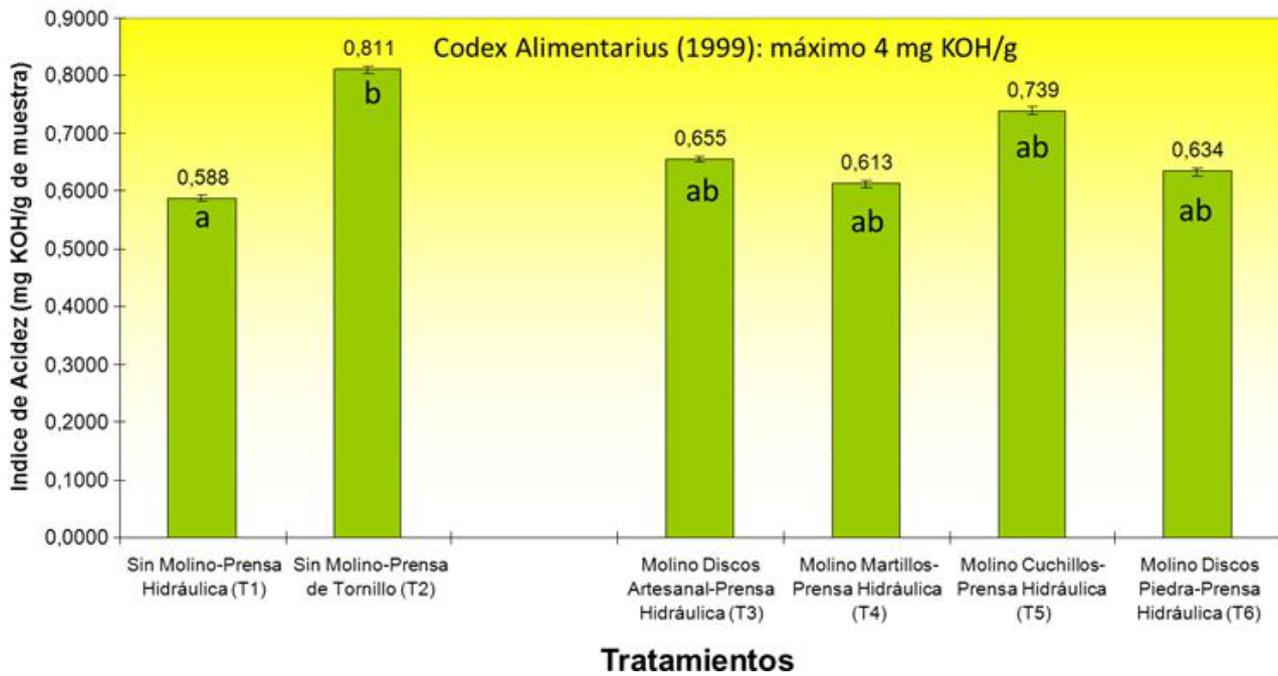


Figura 5. Efecto de la extracción en frío de aceite de linaza de muestras sin moler y sometidas a molienda sobre el índice de acidez.

El efecto de los tratamientos sobre el índice de peróxidos se presenta en la Figura 6 se puede observar que en el tratamiento T2 se encontró el más alto valor.

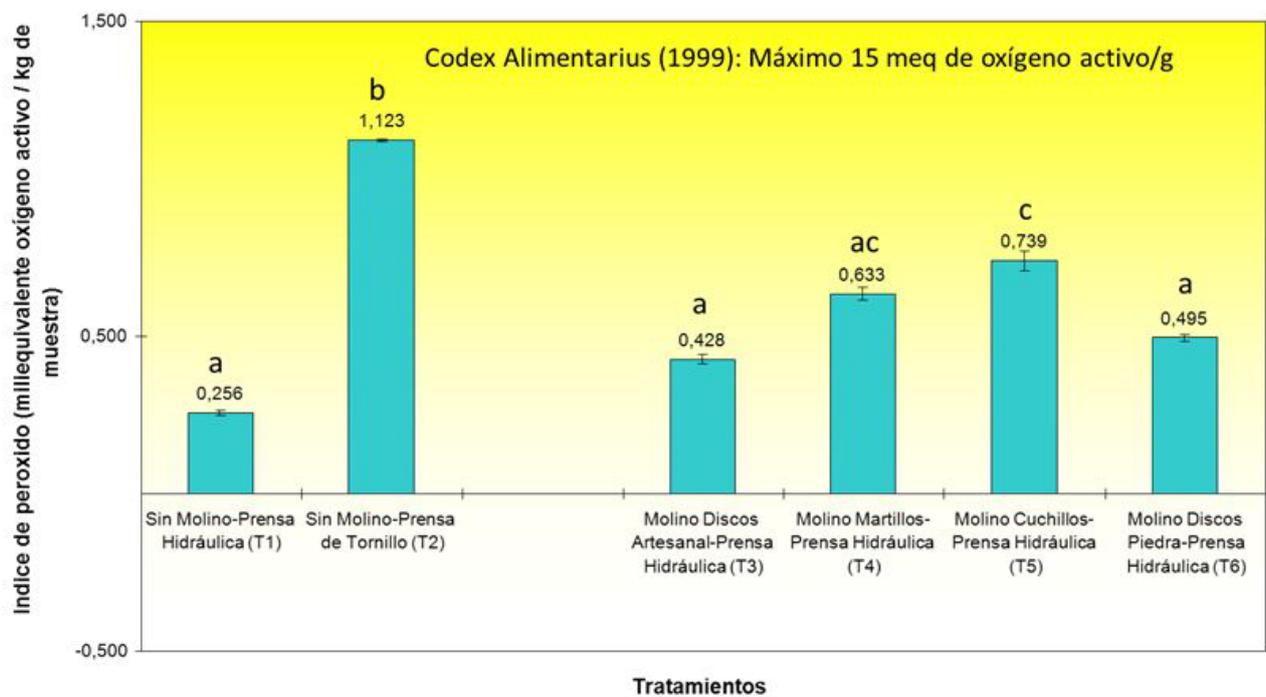


Figura 6. Efecto de la extracción en frío de aceite de linaza de muestras sin moler y sometidas a molienda sobre el índice de peróxido.

En la Figura 7 se observa que no existen diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los resultados de índice de yodo de las muestras analizadas.

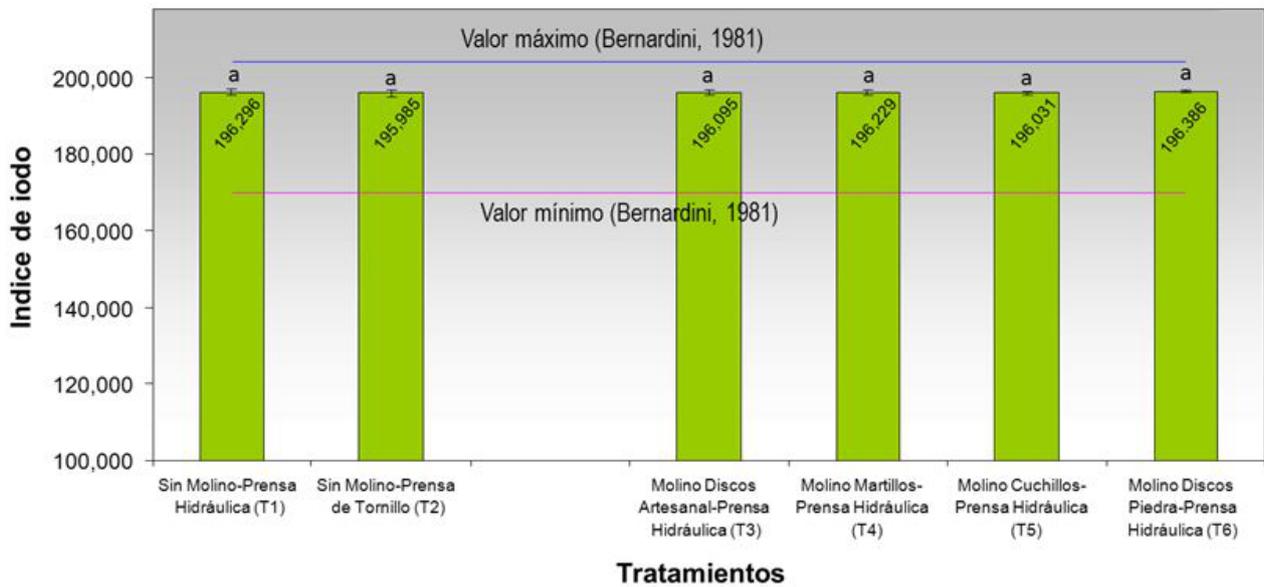


Figura 7. Efecto de la extracción en frío de aceite de linaza de muestras sin moler y sometidas a molienda sobre el índice de yodo.

La Figura 8 se muestra que los aceites obtenidos mediante los tratamientos T1 y T3 presentan diferencias estadísticas significativas con los tratamientos T2, T4, T5 y T6 ($p < 0,05$).

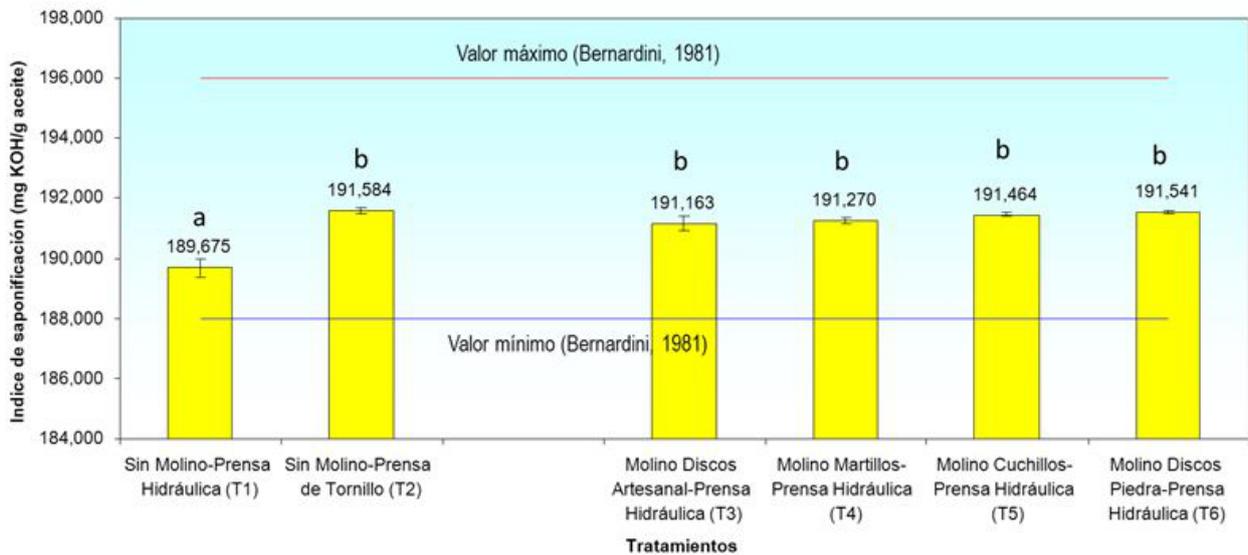


Figura 8. Efecto de la extracción en frío de aceite de linaza de muestras sin moler y sometidas a molienda sobre el índice de saponificación.

En la Figura 9 se observa el efecto de los tratamientos sobre la materia insaponificable.

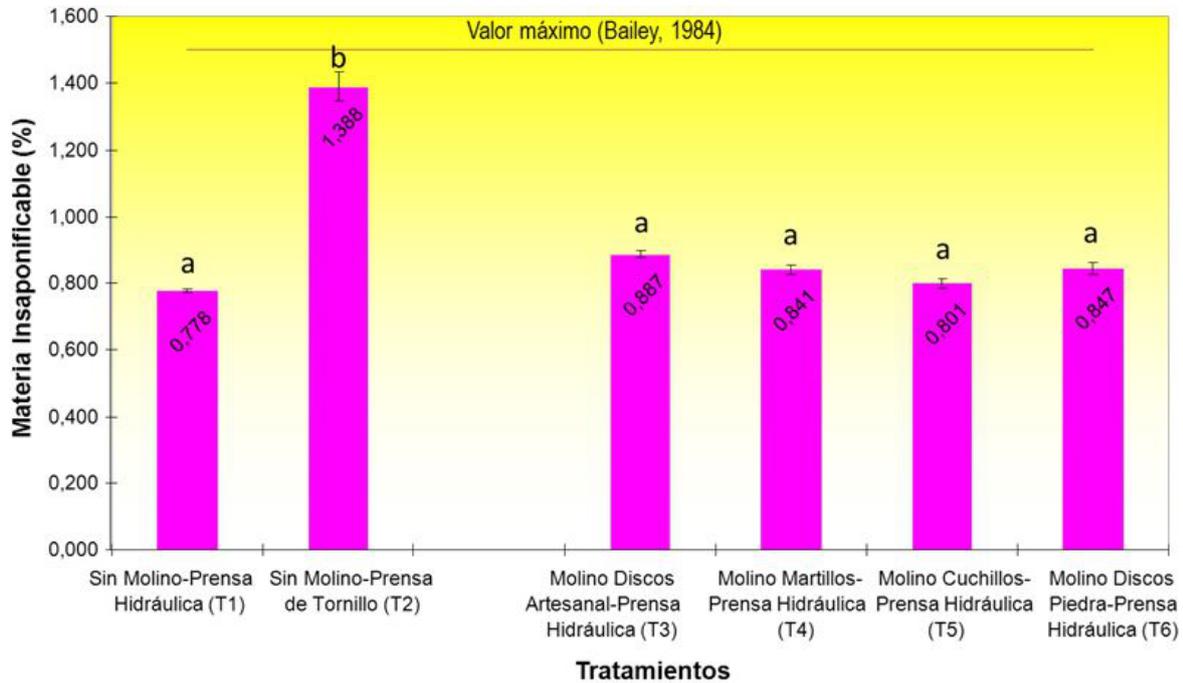


Figura 9. Efecto de la extracción en frío de aceite de linaza de muestras sin moler y sometidas a molienda sobre la materia insaponificable.

Efecto sobre el color

En la Tabla 4 se muestran los resultados de color de los aceites de linaza en coordenadas L*, a* y b*. Siendo el tratamiento T4 (molino de martillos-prensa hidráulica) el que obtuvo la mayor luminosidad. En los tratamientos T2, T3, T5 y T6 se presentaron valores de a* positivos que denotan una pequeña tendencia al rojo. El aceite con mayor valor de a* se encontró en el tratamiento en el que se extrajo el aceite mediante prensa de tornillo posiblemente por efecto de la temperatura. En los tratamientos T1

y T4, tratamientos en las que el aceite se extrajo de las semillas sin moler y molido con molino de martillos respectivamente y extraídos con prensa hidráulica a temperatura ambiente, se encontraron a* negativos que denotan un color verde, estos son valores tan pequeños que es imposible notar visiblemente la tonalidad verdosa en estos aceites. En todos los tratamientos se encontraron valores de b* positivos que están en un rango de denotan el color amarillo, siendo este valor el que influye en la percepción del color predominante en el aceite de linaza de origen peruano.

Tabla 4. Efecto de la extracción en frío de aceite de linaza de muestras sin moler y sometidas a molienda sobre el color.*

Repe- ticio- nes	Sin moler y prensa hidráulica			Sin moler Expeller			Mdiscos artesanal P. hidráulica			M martillo P. hidráulica			M martillo P. hidráulica			M de piedra P. hidráulica		
	T1			T2			T3			T4			T5			T6		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
R1	40,090	-0,920	37,210	39,770	5,190	37,140	41,300	2,270	38,490	42,860	-1,200	43,050	41,770	1,080	40,020	41,880	4,530	38,700
R2	40,980	-1,600	36,450	39,790	5,000	36,460	41,280	1,930	38,680	42,590	-1,260	40,620	41,650	0,950	39,320	41,690	4,380	39,540
R3	41,650	-1,700	38,640	37,240	6,200	35,960	41,500	1,650	40,280	43,090	-1,120	40,420	41,640	0,890	39,040	41,680	4,400	39,500
Prom	40,907	-1,407	37,433	38,933	5,463	36,527	41,360	1,950	39,150	42,847	-1,193	41,363	41,687	0,973	39,460	41,750	4,437	39,247
Desv.	0,783	0,424	1,112	1,467	0,645	0,583	0,122	0,310	0,983	0,250	0,070	1,464	0,072	0,097	0,505	0,113	0,081	0,474
Coef. Varia	1,913	-30,172	2,970	3,767	11,806	1,596	0,294	15,922	2,511	0,584	-5,886	3,540	0,174	9,979	1,279	0,270	1,836	1,207

L* : Luminosidad a la escala de 1 – 100 de negro a blanco
a* : si es (+) rojo o si es negativo (-) verde
b* : si es (+) amarillo o si es negativo (-) azul

DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de la composición química de la linaza no difieren de las linazas de otros orígenes (Morris, 2005); (Bautista et al, 2007); (Villarroel, Pino y Hazbun, 2006); (Coskuner y Karababa, 2007); (Cunnane et al. 1993); (Bailey, 1984); (Oomah y Mazza, 1997); (Vijaimohan et al. 2006).

Los valores de humedad y materias volátiles son menores en el tratamiento T2, el cual difiere de los otros tratamientos por la temperatura de trabajo en la prensa de tornillo (160°C), mientras en la prensa hidráulica se trabajó a temperatura ambiente (20 – 28°C). Sobre la importancia de éste indicador en la calidad del aceite (Choo, Bich y Dufour, 2007) argumenta que es deseable que el contenido de humedad en aceites sea bajo porque en aceites con alta humedad el agua contribuye a la hidrólisis de los componentes del aceite durante las etapas de manejo y procesamiento. Lawson (1999) aclara que la hidrólisis es la reacción del agua con una sustancia, en este caso con los glicéridos, produciendo la separación de algunos ácidos grasos con la normal aparición de ácidos grasos libres y productos de glicerol (monoglicéridos y diglicéridos). El Codex Alimentarius (1999) recomienda considerar 0,2% como valor máximo de humedad y materia volátil para aceites y entre las muestras obtenidas en la presente investigación, ninguno de ellas sobrepasaron este valor.

La densidad de los ácidos grasos y glicéridos aumenta al disminuir su peso molecular y al aumentar su grado de insaturación (Bailey, 1984) por tal razón, el aceite de linaza posee uno de los más altos valores en comparación con otros tipos de aceite debido a que es altamente insaturado (75% de ácidos grasos poliinsaturados y 15% de monoinsaturados). Sobre este indicador de calidad, Bernardini (1981) señaló que la densidad del aceite de linaza a 15°C se encuentra en un rango de 0,93 - 0,94 g/ml mientras que Bailey (1984) indica un rango menos amplio (0,93 - 0,94 g/ml), los resultados de todos los tratamientos se encontraron dentro de los rangos establecidos.

El índice de refracción de las grasas y ácidos grasos es un dato de gran interés ya que tiene una estrecha relación con el peso molecular medio y con el grado de saturación (Bailey,

1984). Según Fennema (1985; mencionado por Arellano (2003), el índice de refracción aumenta con el crecimiento de la longitud de la cadena y también con la insaturación. Por dichas razones es justificable haber encontrado un valor de índice de refracción considerablemente mayor a otros tipos de aceites ya que el aceite de linaza peruano contiene 75% de ácidos grasos insaturados y 15% de Mono insaturados haciendo un total de 90% de ácidos grasos insaturados. La composición del aceite de linaza incluye ácidos grasos de cadena larga como el ácido palmítico (16:0), ácido esteárico (18:0), ácido oleico (18:1), ácido vaccénico (18:1), ácido linoleico (18:2) y ácido α -linolénico (18:3).

Según Madrid, Cenzano y Vicente (1997) el índice de acidez se expresa como mg de hidróxido de potasio necesarios para neutralizar un gramo de materia grasa (Lawson, 1999) e indica que la hidrólisis resulta acelerada por las altas temperaturas, presiones y una excesiva cantidad de agua. El aceite del tratamiento T2 en el que se realizó la extracción mediante prensa de tornillo trabajó a 160°C fue la muestra en la que se encontró el más alto índice de acidez (0,811 mg KOH/g de aceite). El aceite del tratamiento T5 en el que se utilizó molino de cuchillos tuvo un valor de 0,739 mg KOH/g de aceite y fue el equipo donde la molienda demoró más, por lo que podría presumirse una elevación de temperatura en la semilla, incrementando el índice de acidez. En el aceite extraído de semillas sometidas al molino de discos artesanal (T3), en el que la molienda también fue lenta, se encontró un índice de acidez de 0.655 mg KOH/g de aceite.

El aceite extraído mediante prensa hidráulica (T1) de la semilla entera tuvo un índice de acidez de 0,588 mg KOH/g de aceite, el menor entre todas las muestras analizadas, probablemente porque el proceso de extracción fue más rápido, no se realizó la molienda y se trabajó a temperatura ambiente. Los aceites de los tratamientos T4 y T6 fueron extraídos de semillas sometidas a los molinos de martillo y discos de piedra, respectivamente; encontrándose índices de acidez de 0,613 y 0,634 mg KOH/g de aceite, debido a que en estos tratamientos la molienda es rápida, sin muchas posibilidades de elevar las temperaturas de la semilla. Se podría asumir que el mecanismo de impacto que usa el molino de martillos es el que eleva menos la

temperatura en el proceso y contribuye a que el índice de acidez permanezca bajo al igual que el mecanismo de fricción en el molino de discos de piedras. El índice de acidez es un indicador de la calidad, de la frescura del aceite (Lawson, 1999) y es la mejor medida de su alteración por hidrólisis (Trevejo, 2003). El Codex Alimentarius (1999) recomienda que el índice de acidez para aceites prensados en frío no sobrepase los 4 mg KOH/g de aceite. Ninguna de las muestras analizadas sobrepasó éste límite.

Se puede asumir que este valor podría haber sido afectado por la temperatura de trabajo de la prensa de tornillo (160 °C) ya que de acuerdo a Lawson (1999) los ácidos grasos y las grasas, expuestas al aire, especialmente a temperaturas elevadas y en presencia de algunos metales, absorben el oxígeno y forman peróxidos. Para evitar el incremento del índice de peróxidos por causa de la temperatura cuando se realizan extracciones de aceite con la prensa de tornillo es importante que se cuente con un mecanismo de enfriamiento incorporado (Zheng, 2005). El aceite extraído mediante prensa hidráulica de semilla entera (T1) alcanzó un índice de peróxido de 0,26 meq de oxígeno activo/ kg de aceite, siendo el valor más bajo entre todos los tratamientos y la temperatura de proceso a la que se llevó a cabo la extracción fue baja (temperatura ambiente). Lawson (1999) señala que la autooxidación, reacción inducida por el aire a temperatura ambiente, generalmente es un proceso lento y se necesita un tiempo considerable para producir una cantidad suficiente de peróxidos.

Los aceites de los tratamientos T3, T4, T5 y T6 presentaron valores intermedios porque incluyeron una operación adicional en su proceso, la molienda, que influyó en el incremento del índice de peróxido con respecto al aceite extraído mediante el tratamiento T1. La presencia de metales como el cobre en los molinos fue probablemente la causa del incremento del índice de peróxido en dichos tratamientos ya que, según Lawson (1999) el cobre metálico es un excelente pro-oxidante por lo que se debería tener cuidado en eliminar el cobre, latón, bronce u otras aleaciones que contengan dicho metal de los equipos de procesado de aceites y grasas.

Lawson (1999) indica, también, que los productos que contienen una proporción más

elevada de ácidos grasos insaturados son más propensos a la oxidación que los que contienen cantidades más bajas. En el caso del aceite de linaza es necesario tomar en cuenta que está compuesto de 61% de ácido alfa linolénico (Omega 3) y que éste es muy sensible al calor, oxígeno y luz, por lo que usualmente la semilla entera debería ser prensada en frío (Choo, 2007a). Para estabilizar el ácido graso Omega-3, la temperatura del proceso debería ser tan baja como sea posible y por lo cual Lawson (1999) señala que se debe guardar un cuidado considerable durante la fabricación, almacenamiento y utilización para detener esta reacción una vez iniciada o disminuir su incidencia tanto como sea posible (Lawson, 1999). En este estudio se tomó en cuenta expresamente estas recomendaciones, por ello ninguna de las muestras analizadas sobrepasa los 15 meq de oxígeno activo/g de aceite señalado por el Codex Alimentarius (1999) como valor máximo recomendado para aceites comestibles prensados en frío.

Según Lawson (1999) y Hamilton y Rossell (1987) el índice de yodo es una medida del índice de dobles enlaces o del grado de instauración, por lo tanto, un indicador de la estabilidad oxidativa.

Los valores encontrados son propios de aceites con ácidos grasos que poseen dobles enlaces, tales como oleico, linoleico, linolénico, etc. Un valor promedio de 196 indica una gran insaturación en este aceite lo cual es normal si se toma en cuenta que posee 75% de ácidos grasos poliinsaturados y 15% de mono insaturados en su composición.

Bernardini (1981) señalan que el aceite de linaza tiene índice de Yodo en un rango de 170-204, mientras que Bailey (1984) indica un valor mínimo de 177, los valores obtenidos en todos los tratamientos están dentro y en el nivel superior del rango de referencia mencionado, posiblemente, gracias a las temperaturas bajas de la zona de cultivo ya que Bailey (1984) dice que cuanto más frío es el clima en el que se desarrolla el lino, es más elevado el índice de Yodo del aceite.

El índice de saponificación un indicador vinculado con la identificación y la autenticidad de un aceite ya que nos da una idea del peso molecular promedio o tamaño, como una función de las longitudes de cadena de los ácidos grasos constituyentes (Lawson, 1999) y

se define como el número de mg de KOH requeridos para saponificar un g de grasa. Bernardini (1981) señalan que el índice de saponificación para el aceite de linaza se encuentra dentro del rango de 188-196 mg KOH/ g aceite, aunque existe diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los resultados probablemente debido a factores relacionados con el análisis, todos los resultados se encuentran dentro del rango establecido.

La materia insaponificable es igual a la cantidad total de sustancias disueltas en el aceite que después de la saponificación, no son solubles en soluciones acuosas pero sí en solventes orgánicos usados para su determinación (Hamilton y Rosell, 1987), es decir, es la medida de la proporción del material orgánico disuelto por los glicéridos y ácidos grasos. Estas sustancias pueden ser impurezas como aceite mineral, o de origen natural como esteroides, tocoferoles, carotenoides o pigmentos, ceras y alcoholes superiores (Staufler, 1996 mencionado por Choo, 2007).

Por los resultados obtenidos, es posible que la temperatura de trabajo sea la que favorezca la presencia de materia insaponificable en el aceite de linaza extraído, ya que el aceite del tratamiento T2, en el que se extrajo el aceite mediante prensa de tornillo a 160°C , es el que presentó 1,388% que fue el valor más alto y el que está muy cercano al límite máximo establecido de 1,5% por Bailey (1984). En contraste, en el aceite del tratamiento T1, en el que se trabajó a temperatura ambiente, se encontró el valor más bajo (0,777%). Los demás tratamientos presentan un valor promedio de 0,842% de materia insaponificable el cual es significativamente menor al límite máximo establecido.

La luminosidad (L^*) en todos los tratamientos realizados se encuentra en un rango de 38,933 – 42,847, siendo el aceite extraído mediante prensa de tornillo el que presentó la menor luminosidad posiblemente debida a la alta temperatura de procesamiento y el tratamiento T4 (molino de martillos-prensa hidráulica) el que obtuvo la mayor luminosidad. En los tratamientos T2, T3, T5 y T6 se presentaron valores de a^* positivos en un rango de 0,973 y 5,463 que denota una tendencia al rojo, pero estos valores son tan pequeños que la apariencia de rojo es casi imperceptible visiblemente. El aceite con mayor valor de a^* se

encontró en el tratamiento en el que se extrajo el aceite mediante prensa de tornillo posiblemente por efecto de la temperatura. En los tratamientos T1 y T4, tratamientos en las que el aceite se extrajo de las semillas sin moler y molido con molino de martillos respectivamente y extraídos con prensa hidráulica a temperatura ambiente, se encontraron a^* negativos que denotan un color verde en un rango de -1,193 a -1,407, estos son valores tan pequeños que es imposible notar visiblemente la tonalidad verdosa en estos aceites.

En todos los tratamientos se encontraron valores de b^* positivos que están en un rango de 36,527 y 41,363 y denotan el color amarillo, siendo este valor el que influye en la percepción del color predominante en el aceite de linaza de origen peruano. El tratamiento T2 en el cual se extrajo el aceite mediante prensa de tornillo de semilla sin moler fue en el que se presentó el valor más bajo de b^* (36,527) posiblemente debido a que la temperatura de trabajo del equipo fue bastante alta en comparación a los demás tratamientos.

En promedio el aceite de linaza extraído en frío tuvo coordenadas de color en los siguientes rangos: $L^* = 38,933 - 41,25$; $a^* = -1,407 - 5,463$ y $b^* = 36,527 - 41,363$. Estas coordenadas difieren a lo reportado por Choo et al. (2007a) quienes encontraron que el color del aceite de linaza extraídos en frío de origen australiano poseía $L^* = 60,05 - 63,71$, $a^* = 3,28 - 9,56$ y $b^* = 91,08 - 99,80$. Se puede notar que éstos son superiores y denotan mayor luminosidad, una tendencia a un color rojo más pronunciado y el color amarillo es aún más predominante que en el aceite de linaza de origen peruano. Estas diferencias tienen que ver con las condiciones climáticas, condiciones de cultivo y diferencias en el proceso de extracción.

El color es un atributo fundamental en la valoración organoléptica y muchas veces es un primer criterio del juicio sobre la calidad del mismo y sobre la preferencia del consumidor (Pagliarini, 1994 y Pérez et al. 2003). El aceite de linaza de origen peruano se presenta a la vista con un color amarillo brillante, lo cual es una característica muy favorable en aceites vegetales en general.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Association of Official Analytical Chemists (A.O.A.C.). 1995. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists International. (16th ed.). Washington D.C.: M.P. Bueno, 1105p.
- Arellano, P. (2003). *Utilización de enzimas en la extracción de aceite de semilla de sacha inchi*. Tesis para optar el Título de Ingeniero en Industrias Alimentarias, Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Bailey, A. (1984). *Aceites y Grasas Industriales*. Barcelona: Reverté S.A.
- Bautista, M., Castro, A., Camarena, E., Wrobel, K., Wrobel, K., Alanís, G., Gamiño, Z. & Da Mota, V. (2007). Desarrollo de pan integral con soya, chía, linaza y ácido fólico como alimento funcional para la mujer. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* (ALAN), 57(1) Disponible en: <http://www.alanrevista.org>
- Belén, D., López, I., Barranco, J., García, D., Moreno-Alvarez, M. J & Linares, O. (2004). Caracterización fisicoquímica del aceite de la semilla de Píritu (*Bactris piritu* (H. Karst) H. Wendl). *Grasas y Aceites*, 55 (2), 138-142.
- Bernardini, E. (1981). *Tecnología de aceites y grasas*. Barcelona: Alhambra.
- Choo, W., Bich, J., Dufour, J.P. (2007a). Physicochemical and quality characteristics of cold-pressed flaxseed oils. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20, 202-211.
- Choo, W., Bich, J., Dufour, JP. (2007b). Physicochemical and stability characteristics of flaxseed oils during pan-heating. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 84, 735-740.
- Codex Alimentarius. (1999). Norma General para Grasas y Aceites Comestibles No Regulados por Normas Individuales. Disponible en : www.codexalimentarius.org
- Coskuner, Y. & Karababa, E. (2007). Some physical properties of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.). *Journal of Food Engineering*, 78 (3), 1067-1073.
- Cunnane, S., Ganguli, S., Menard, C., Liede, A., Hamadeh, M., Chen, Z., Wolever, T.M.S. & Jenkins, D.J.A. (1993). High alpha-linolenic acid flaxseed (*Linum usitatissimum*): some nutritional properties in humans. *British Journal of Nutrition*, 69, 443-453
- Food and Agriculture Organization and the World Health Organization (FAO/WHO). (1970) Recommended International Standard for Edible Sunflower Seed Oil, FAO and WHO, Rome, Italy, 22.
- Hamilton, R.J. & Rossell, J. B. (1987). *Analysis of oils and fats*. Elsevier Applied Science, New York-USA, 441.
- Instituto Nacional de Defensa del Consumidor y de la Propiedad Intelectual (INDECOPI) (1975). NTP 209.121. Aceites y grasas comestibles. Método de Determinación del Índice de Refracción.
- Instituto Nacional de Defensa del Consumidor y de la Propiedad Intelectual (INDECOPI) (1968). NTP 209.004. Aceites y grasas comestibles. Método de Determinación del contenido de humedad y materias volátiles.
- Instituto Nacional de Defensa del Consumidor y de la Propiedad Intelectual (INDECOPI) (1968). NTP 209.005. Aceites y grasas comestibles. Método de Determinación de la Acidez Libre.
- Instituto Nacional de Defensa del Consumidor y de la Propiedad Intelectual (INDECOPI) (1968). NTP 209.006. Aceites y grasas comestibles. Método de Determinación del Índice de Peróxido.
- Instituto Nacional de Defensa del Consumidor y de la Propiedad Intelectual (INDECOPI) (1968). NTP 209.007. Aceites y grasas comestibles. Método de Determinación del Índice de Yodo. Método de Wijs.
- Instituto Nacional de Defensa del Consumidor y de la Propiedad Intelectual (INDECOPI) (1980). NTP 209.058. Aceites y grasas comestibles. Método de Determinación del Índice de Saponificación.
- Instituto Nacional de Defensa del Consumidor y de la Propiedad Intelectual (INDECOPI) (1980). NTP 209.057. Aceites y grasas comestibles. Método de Determinación de la Materia Insaponificable.
- Instituto Nacional de Defensa del Consumidor y de la Propiedad Intelectual (INDECOPI) (1980). NTP 209.056. Aceites y Grasas comestibles. Método para Determinar Cenizas.
- Kirschenbawer, H. G. (1964). *Grasas y aceites: química y tecnología*. México D.F.: Continental.

- Lawson, H. (1999). Aceites y grasas alimentarios. Zaragoza: Acibia S.A.
- Madrid, A., Cenzano, I. & Vicente, J. (1997). Manual de aceites y grasas comestibles. Madrid: Mundi-Prensa.
- Mazlan, N. W. & Said, I. M. (2011). Physico-Chemical Properties of the Oils and Fat from *Crotalaria cleomifolia* Seeds (Sifat-sifat Fiziko-Kimia Minyak dan Lemak daripada Biji *Crotalaria cleomifolia*). *Sains Malaysiana*, 40 (9), 1037-1041.
- Morris, D. (2005a). Linaza - Una recopilación sobre sus efectos en salud y nutrición. (4ª Ed.). Flax Council of Canada. Disponible en: www.flaxcouncil.com
- Morris, D. (2005b). Nuevos datos de la linaza. Linaza una elección inteligente. Canadá. Disponible en: www.flaxcouncil.com
- Oomah, B. (2003). *Processing of flaxseed fiber, oil, protein and lignans in: Flaxseed in Human Nutrition*. (2da. Ed.) Champaign, Illinois: AOCS Press.
- Oomah, B. & Mazza, G. (1997). Effect of dehulling on Chemicals composition and physical properties of flaxseed. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 29, 245-250.
- Pagliarini, E., Stramba, P. & Semeria, L. (1994). Study of the subjective affective meaning and motivational aspects towards extra virgin olive oil. *Grasas Aceites*, 45, 65-67.
- Shahidi, F. (2004). Quality assurance of fats and oils. *Oil Mill Gazetteer*, 110, 4-6
- Trevejo (2003). Avances de la Investigación en frutos oleaginosos de la Amazonía peruana. Estudio del aceite de unguurahui (*Jessenia bataua*). CONCYTEC – UNAP. Noviembre, 59 - 71.
- Vijaimohan, K., Jainu, M., Sabitha, K., Subramaniyam, S., Anandhan, C. & Shyamala C. (2006). Beneficial effects of alpha linolenic acid rich flaxseed oil on growth performance and hepatic cholesterol metabolism in high fat diet fed rats. *Life Sciences*, 79 (5), 448-454.
- Villanueva, A. (1989). Extracción y Caracterización de Goma de Semilla de Lino *Linum usitatissimum*. Trabajo profesional de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Villarreal, M., Pino, L. & Hazbun, J. (2006). Desarrollo de una Formulación Optimizada de mousse de linaza (*Linum usitatissimum*). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición (ALAN)*. Disponible en: <http://www.scielo.org.ve>
- Zheng, Y., Weisenborn, D., Tostenson, K. & Kangas, N. (2005). Energy analysis in the screw pressing. Of Whole and dehulled flaxseed, I. *Food Eng*, 66, 193-202.

Correo electrónico: Email:
 misilva@lamolina.edu.pe
 Email: productossachainchi@hotmail.com
 Email: gpascual@lamolina.edu.pe