

## EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE ESTABILIDAD OXIDATIVA DEL ACEITE DE MORINGA (*Moringa oleífera*) POR EL MÉTODO RANCIMAT

### EVALUATION OF OXIDATIVE STABILITY INDEX OF MORINGA (*Moringa oleífera*) OIL OF THE RANCIMAT METHOD

Alberca Tocto Solansh Kiara<sup>1</sup>  
Huanca Vásquez Miguel Angel<sup>2</sup>

Fecha de recepción: 17 mayo 2015

Fecha de aceptación: 20 de setiembre 2015

#### Resumen

La rancidez oxidativa principal causa de la pérdida de calidad de los aceites, ya que se desconoce el tiempo de vida en anaquel de estos productos; la estabilidad (resistencia a la oxidación) es uno de los factores que preocupa a los productores por ser uno de los principales criterios de calidad en aceites y grasas, por ello el objetivo de evaluar índice de estabilidad oxidativa del aceite virgen de las semillas de *Moringa oleífera* (Humedad  $8.54 \pm 0.02\%$ ), por el método acelerado de rancimat, el aceite se obtuvo por prensado en frío, luego centrifugado y finalmente almacenado a  $4 \pm 1^\circ\text{C}$ . Los análisis fisicoquímicos densidad (a  $24^\circ\text{C}$ )  $0.9105 \text{ g/cm}^3$ , viscosidad 67.775, punto de fusión  $23^\circ\text{C}$ , índice de peróxido no detectable, índice de acidez 0.2265%, índice de yodo 66.642 e índice de anicidina 2.545. El Índice de Estabilidad Oxidativa (OSI), se evaluó a temperatura (130, 140 y  $150^\circ\text{C}$ ) y a flujo de aire (15, 20 y  $25 \text{ L/h}$ ), el ANOVA ( $p < 0.05$ ) indico influencia significativa de la temperatura en los valores OSI, ma no así el flujo de aire. El tiempo de vida útil del aceite a través de la extrapolación de los valores OSI; almacenamiento a  $20^\circ\text{C}$  con 8.28, 6.29 y 4.17 años, a  $25^\circ\text{C}$  con 5.63, 4.33 y 2.92 años y a  $30^\circ\text{C}$  con 3.82, 2.98 y 2.05 años a flujos de aire de 15, 20 y  $25 \text{ L/h}$  respectivamente, la energía de activación de la reacción de oxidación fue de 109.562, 105.938 y  $100.464 \text{ KJ/mol}$ . Los ácidos grasos del aceite virgen, ácido oléico (Cis-9) 73.58%, ácido bohémico 6.73%, ácido palmítico 5.5%, ácido esteárico 4.07%, ácido araquidónico 3.61%, ácido eicosanoico (Cis-11) 2.19%, ácido eláidico (Trans-9) 1.76%, ácido palmitoleico (Cis-9) 0.92%, ácido lignocérico 0.82% y ácido linoleico (Cis-9,12) 0.77%.

**Palabras clave:** Aceite de *Moringa oleífera*, Índice de Estabilidad Oxidativa (OSI), Método de Rancimat, Rancidez Oxidativa, Vida en Anaquel.

#### Abstrac

Oxidative rancidity leading cause of loss of quality of oils, as the time is unknown shelf life of these products; stability (resistance to oxidation) is one factor that worries producers as one of the main criteria of quality oils and fats, so the objective of evaluating oxidative stability index of the crude oil from the seeds of *Moringa oleifera* ( $8.54 \pm 0.02\%$  humidity) for rancimat accelerated method, the oil is obtained by cold pressing, then spin and finally stored at  $4 \pm 1^\circ\text{C}$ . The physicochemical analysis density ( $24^\circ\text{C}$ )  $0.9105 \text{ g/cm}^3$ , viscosity 67,775, melting point  $23^\circ\text{C}$ , no detectable peroxide index, acid 0.2265%, iodine index anicidina 66,642 and 2,545. Oxidative Stability Index (OSI), was evaluated at room temperature (130, 140 and  $150^\circ\text{C}$ ) and air flow (15, 20 and  $25 \text{ L/h}$ ), the ANOVA ( $P0.05$ ) indicated significant influence of temperature in the OSI values ma not airflow. The lifetime of oil through the extrapolation of the OSI values; storage at  $20^\circ\text{C}$  with 8.28, 6.29 and 4.17 years at  $25^\circ\text{C}$  with 5.63, 4.33 and 2.92 years, and  $30^\circ\text{C}$  with 3.82, 2.98 and 2.05 years airflows 15, 20 and  $25 \text{ L/h}$  respectively, the activation energy of the oxidation reaction was 109,562, 105,938 and  $100,464 \text{ KJ/mol}$ . The virgin oil fatty acids, oleic

<sup>1</sup>Adscrito Ingeniería Agroindustrial y Comercio Exterior. Ingeniería Arquitectura y Urbanismo. Egresado. Universidad Señor de Sipán. Chiclayo. Lambayeque. Perú. atoctosk@crece.uss.edu.pe.

<sup>2</sup>Adscrito Ingeniería Agroindustrial y Comercio Exterior. Ingeniería Arquitectura y Urbanismo. Egresado. Universidad Señor de Sipán. Chiclayo. Lambayeque. Perú. angelhua@crece.uss.edu.pe.

acid (cis-9) 73.58% 6.73% bohémico acid, 5.5% palmitic acid, stearic acid 4.07%, 3.61% arachidonic acid, eicosanoic acid (Cis-11) 2.19% elaidic acid (Trans-9) 1.76%, palmitoleic acid (cis-9) 0.92% 0.82% lignoceric acid and linoleic acid (cis-9,12) 0.77%.

**Keywords:** *Moringa oleífera* oil, Oxidative Stability Index, Rancimat method, Oxidative rancidity, Shelf Life.

## 1. Introducción

La *Moringa oleífera* es originaria de las faldas del sub Himalaya en el norte de la India, también conocido como árbol de behen por su contenido de ácido behénico. Se cultiva en las regiones tropicales de todo el mundo, desde África hasta Asia pasando para América Latina *Cavallini, (2001)*, puede crecer hasta los 1,200 m.s.n.m. Las hojas tienen cualidades nutritivas sobresalientes, que están entre las mejores de todos los vegetales perennes por su gran contenido de proteína de 27%; además tienen cantidades significativas de calcio, hierro y fósforo, así como vitamina A, B y C, las semillas presentan cerca de 30 a 42% de aceite; el perfil de ácido graso del aceite indica un 73% de ácido oleico, esto significa que el aceite de moringa tiene el mismo nivel de calidad del aceite de oliva. *Alfaro, (2008)* y *Olson, M. E. (2001)*.

Los métodos más usados para la extracción de aceite que presenta esta semilla son prensado en frío y extracción por solventes *García et al. (2013)*. La extracción por prensado es un procedimiento utilizado para obtener aceites vírgenes de un gran número de semillas oleaginosas, evitando el uso de disolventes orgánicos inflamables y potencialmente peligrosos. El aceite obtenido por esta técnica, sólo necesita ser tratado por métodos físicos para eliminar los residuos sólidos que acompañan al aceite virgen y que deben ser retirados, de tal forma que el producto conserve sus características y composición química original, lo cual es altamente apreciado por aquellos consumidores que buscan alimentos ecológicos, sin adición de productos químicos que puedan ser dañinos para la salud. *Navas P., (2010)*.

El uso principal del aceite de moringa es para consumo medicinal y en cocina (fritura y en aliño), para producir biodiesel, jabones, cosméticos y productos farmacéuticos. *Sánchez M., (2004)*. La torta que es altamente proteica y se obtiene del residuo de la extracción del aceite es utilizada para acondicionar el suelo o como fertilizante, como suplemento alimenticio avícola y ganadero, y para tratamientos de aguas, de las cascaras y las vainas de las semillas se puede elaborar carbón activado. *García et al. (2013)*.

Los aceites vegetales provenientes de semillas oleaginosas son muy susceptibles al deterioro por oxidación debido a que la mayoría de ellos están compuestos por ácidos grasos insaturados. *Frankel, (1998)*. *Bailey Alton E., (2001)* y *Navas P., (2010)* coinciden en que una de las grandes preocupaciones en el mundo de la industria alimentaria son los cambios fisicoquímicos durante el almacenamiento y conservación de aceites y grasas ya que en contacto con el aire, humedad y a cierta temperatura sufren cambios con el tiempo, debido a su naturaleza química causando el deterioro en su calidad y pérdida en sus características organolépticas del aceite (índice de acidez, peroxidación, grado de oxidación), formándose compuestos indeseables que afectan el color, textura, sabor, olor y disminuye el valor nutritivo, al perderse algunas vitaminas y ácidos grasos poliinsaturados, siendo el enranciamiento o rancidez oxidativa la principal causa de la pérdida de calidad de los aceites, problema principal para la industria alimentaria más aun cuando se desconoce los tiempos de vida útil de este producto para aplicación por el consumidor.

La rancidez oxidativa, también llamada autooxidación, se trata de la reacción de oxígeno atmosférico con dobles enlaces de los ácidos grasos insaturados. Esta reacción genera los productos primarios de la oxidación (peróxidos e hidroperóxidos), los cuales por una serie de reacciones paralelas producen los compuestos secundarios de la reacción, sean estos volátiles, como aldehídos, cetonas y ácidos o no volátiles como dímeros, trímeros y polímeros,

característicos de productos rancificados, ya que son los responsables del desarrollo de sabores y aromas desagradables. *Barrera, (1998)*.

La estabilidad oxidativa que viene a ser la resistencia de una matriz lipídica a la oxidación por efecto de la temperatura, luz, oxígeno, presencia de metales etc., lo que genera el deterioro de un aceite o grasa en un periodo de tiempo razonablemente corto. *Frankel, (1998)*. La determinación de la resistencia a la oxidación en estos aceites es de mucha importancia para su comercialización ya que determina el tiempo que pueden permanecer almacenados sin que pierdan sus propiedades o adquieran olores y sabores desagradables, producidos a causa de la rancidez oxidativa o autooxidación. La evaluación de la estabilidad bajo condiciones de almacenamiento a temperatura ambiente permite obtener de manera exacta la estabilidad de un aceite; sin embargo, es un procedimiento que requiere de mucho tiempo ya que las reacciones de oxidación pueden tener periodos de inducción muy largos. *Barrera D., (1998)* y *Navas P., (2010)*.

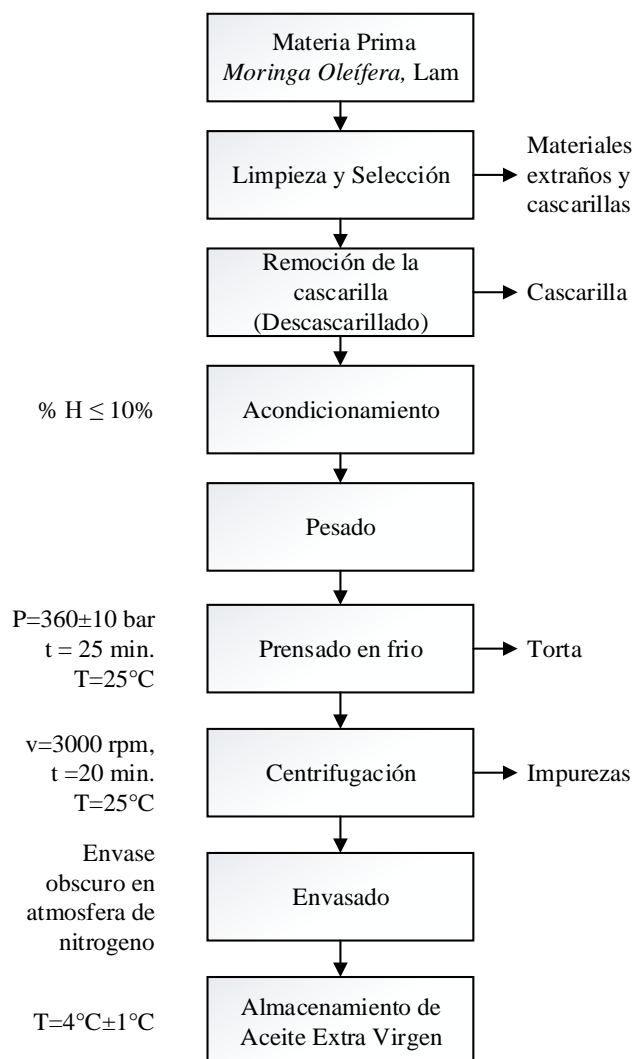
Por esta razón, se han desarrollado pruebas de oxidación acelerada, siendo el método de Rancimat uno de los más utilizados y está incluido en los estándares nacionales e internacionales (OSI, AOCS Cd 12b-92), que viene a ser la prueba automatizada del AOM. Basándose en el empleo de un flujo de aire seco que se hace burbujear en una muestra de aceite sometida a calentamiento a una temperatura determinada. El monitoreo de la estabilidad se hace automáticamente a través de la medición continua de los cambios de conductividad eléctrica del agua destilada, donde se retienen y se disuelven los componentes volátiles (ácido fórmico) generados durante la oxidación de los lípidos. El tiempo (en horas) que transcurre desde el inicio del ensayo hasta obtener el valor máximo de la conductividad eléctrica es una medida del periodo de inducción de la reacción y se denomina Índice de Estabilidad Oxidativa (OSI). El período de inducción corresponde al punto de inflexión de la curva de la reacción de oxidación (conductividad vs Tiempo) cuando se produce un aumento brusco de la conductividad eléctrica. *Navas P., (2010)*.

El tiempo de inducción obtenido por el método Rancimat donde se aplica altas temperaturas, luego de una extrapolación se puede lograr obtener el tiempo de vida útil para temperaturas ambientales de 20, 25 y 30°C; el método de extrapolación incorpora la cinética de reacción y se basa en la ecuación de Arrhenius. *Metrohm, (2009)*.

El objetivo de esta investigación fue evaluar el Índice de Estabilidad Oxidativa (OSI) del aceite virgen de *Moringa oleífera* por el método Rancimat, obtenido del proceso de extracción en frío y clarificado únicamente por centrifugación y sedimentación. Las condiciones experimentales en las que se llevaron a cabo las pruebas de oxidación acelerada en el Rancimat fueron a temperatura de 130, 140 y 150°C y flujos de aire de 15, 20 y 25 L/h, además de determinar las características fisicoquímicas del aceite virgen y su composición de ácidos grasos por cromatografía de gases, posteriormente utilizando los valores del OSI se estimó la energía de activación y la vida útil del aceite virgen de *Moringa oleífera* mediante el método de extrapolación a temperaturas usuales de almacenamiento (20, 25 y 30 °C).

## 2. Materiales y métodos

Las semillas de *Moringa oleífera* empleadas para la extracción de aceite virgen, fueron procedentes del distrito de Salas, departamento de Lambayeque – Perú, pulverizadas en un molino de martillo con motor de 5Hp y 220 V, marca Vulcano con tamiz de 3.0 mm para reducir el tamaño de las partículas y aumentar el desprendimiento del aceite contenido; con una humedad  $8.54 \pm 0.02$  %, empleando una termobalanza modelo Precisa XM50, recomendado por *Navas P., (2010)* de  $\leq 10\%$  para la extracción de aceite por prensado. En la Figura 1 se muestra el diagrama de flujo para la extracción de aceite virgen de semillas de *Moringa oleífera* por prensado en frío.



**Figura 1**

Diagrama de flujo para la extracción de aceite virgen de semillas de *Moringa oleífera*.

Fuente: *Elaboración propia*.

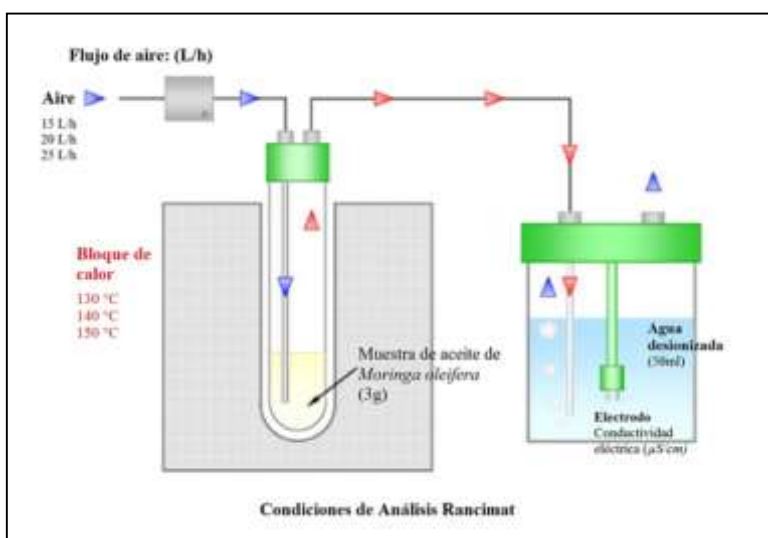
El prensado en frío a  $\leq 27^{\circ}\text{C}$  en una prensa hidráulica de 2Hp, 220V trifásico, a una presión constante de  $360\pm 10$  bar por 25 minutos, temperatura fundamental para ser considerado como aceite virgen según Navas P., (2010). La centrifugación del aceite virgen a 3000 rpm por un tiempo de 20 minutos a  $25^{\circ}\text{C}$  en una Centrifuga Sigma modelo 2-16PK para la eliminación de material sólido o impurezas (sedimento), y almacenado en recipiente de vidrio obscuro, a  $4\pm 1^{\circ}\text{C}$ ., según lo recomendado por Navas P. (2010).

## 2.2. Índice Estabilidad Oxidativa (OSI) por Rancimat.

El Índice de la Estabilidad Oxidativa del aceite virgen de semillas de moringa se realizó en el Instituto de Investigación Tecnológica Agroindustrial de la Universidad Nacional del Santa (UNS), Ancash – Perú, empleándose el equipo Rancimat metrohm, modelo 743 - Suiza, variando los parámetros de temperatura ( $130$ ,  $140$  y  $150^{\circ}\text{C}$ ) y flujo de aire ( $15$ ,  $20$  y  $25$  L/h), manteniendo constante el peso de muestra ( $3.0 \pm 0.1$  g) y siguiendo los estándares autorizados AOCS Cd 12b-92, teniendo en cuenta que inicialmente se hace un riguroso lavado a los tubos del equipo en una solución de NaOH (3 %), luego fueron lavados con agua destilada y acetona, finalmente se colocaron en la estufa a  $80^{\circ}\text{C}$  para su secado. Los electrodos son lavados rigurosamente con agua destilada, luego con alcohol  $98^{\circ}$  y rociados con nitrógeno.

Una corriente de aire filtrado, limpio y seco se burbujeó en la muestra de aceite contenida en un tubo de reacción. Este tubo se colocó en un canal del bloque de calentamiento eléctrico,

que se fijó a la temperatura deseada para cada prueba experimental. El aire efluente que contiene los ácidos orgánicos volátiles de la muestra de aceite se recoge en un recipiente de policarbonato con 60 ml de agua destilada, la conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) del agua se registró continuamente (Figura 2) y el índice de estabilidad oxidativa (OSI) fue determinado en horas.



**Figura 2**  
Esquema de las condiciones de análisis Rancimat del aceite de moringa (*Moringa oleífera*).  
Fuente: Editado por los autores.

### 2.3. Determinación de vida útil

Empleando el método de extrapolación a temperaturas de almacenamiento (20, 25 y 30°C), estableciéndose una relación matemática entre los valores de OSI y la temperatura (130, 140 y 150 °C) a diferentes flujos de aire (15, 20 y 25 L/h), utilizados en el equipo Rancimat, tal como lo han señalado para aceites vegetales, *Nakatani et al. (2001)*, *Méndez et al. (1996)* y *Navas P. (2010)*.

$$\text{Log}(\text{OSI}) = A + BT \quad (\text{Ec. 01})$$

Luego se hace la transformación de la ecuación 1 para obtener la ecuación 2:

$$\text{OSI} = 10^{A+BT} \quad (\text{Ec. 02})$$

Donde, A representa el coeficiente de temperatura, que indica que tan susceptible es el aceite virgen al aumento o disminución de la temperatura durante el ensayo de oxidación acelerada, dicho valor es calculado a partir de la pendiente de las rectas que se obtienen al representar el logaritmo decimal de OSI en función a la temperatura. El termino B corresponde a un valor empírico sin significación física y T es la temperatura en °C.

### 2.4. Energía de activación (Ea)

Según las consideraciones de *Blaine (1992)* y *García-Ochoa et al. (1989)*, se determinó que a partir de la pendiente de la recta que resulta de representar el logaritmo natural de los valores de OSI contra el inverso de la temperatura absoluta.

$$\text{Ln}(\text{OSI}) = \text{Ln}\left(\frac{-\text{Ln}(1 - a^*)}{Z}\right) + \frac{E_a}{R} \frac{1}{T} \quad (\text{Ec. 03})$$

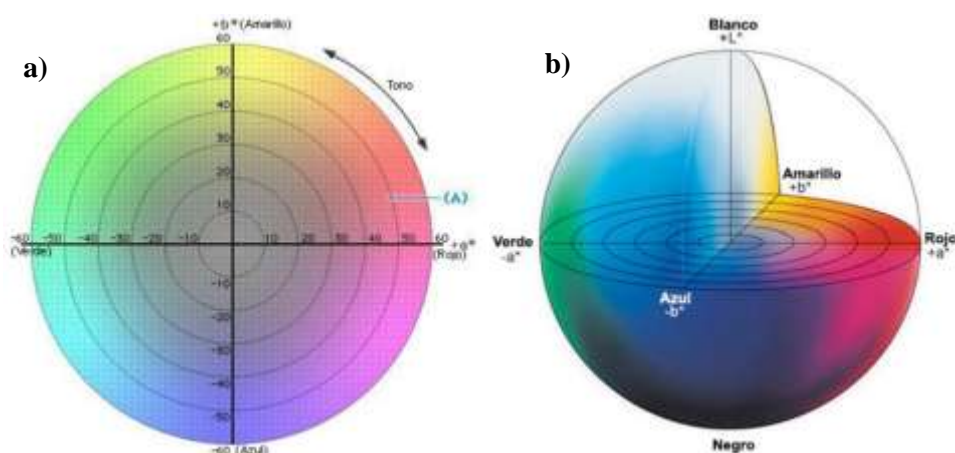
Donde,  $a^*$  representa en grado de transformación de moléculas insaturadas para el tiempo de inducción, Z es el factor pre-exponencial de la ecuación de Arrhenius, R representa la constante universal de los gases (8.314 KJ/mol) y T es la temperatura expresada en Kelvin.

## 2.5. Composición del aceite virgen de *Moringa oleífera*.

Los componentes del aceite de *Moringa oleífera* virgen se determinaron por cromatografía de gases (Shimadzu, modelo GC-2010, Japón), equipado con un detector de ionización de llama (FID) y un muestreador automático Shimadzu AOC-20Si, una columna capilar de sílice SP Rt™ - 2560 (100m x 0,25mm con 0,25µm film), se utilizó helio como gas portador a una velocidad de flujo de 30 ml/min y presión de 261,5 kPa. El Volumen de inyección fue de 1µl. La preparación de los esteres metílicos de los ácidos grasos se realizaron de acuerdo al método FAMES, AOAC 991.39. El método consistió en hacer reaccionar 0,025 g de aceite con 1,5 ml de NaOH 0,5 N a temperatura de 80-90 °C por 5 minutos, luego se enfrió a temperatura de 30-40 °C agregándose 2.0 ml de trifluoruro de boro (BF<sub>3</sub>) calentándose a 100°C por 30 minutos, de nuevo se enfrió (30- 40 °C) añadiéndose 1 ml de iso-octano y 5 ml de solución saturada de NaCl, todo bajo una vigorosa agitación y cubierto constantemente con Nitrógeno, se dejó en reposo donde se separa la muestra en dos fases, la fase orgánica (fase superior) se extrae y se coloca en un vial para análisis en el cromatógrafo de gases.

## 2.7. Color Instrumental del aceite de *Moringa oleífera*

La determinación del color en forma instrumental se realizó con un colorímetro Konica - Minolta CR-400, leyendo con un iluminante de tipo C, obteniendo los factores L\*, a\* y b\* del sistema Hunter. El parámetro representa tonalidades para a\* que van del verde (valores negativos) al rojo (positivos). El parámetro b\* representa tonos azules (valores negativos) y amarillos (positivos). Para ambos parámetros, el cero equivale al gris. A través de la coordenada L\* se representa la luminosidad donde 100 es el blanco, 50 el gris y 0 el negro (Figura 3). *Artigas et al., (2002)*.



**Figura 3**

a) Diagrama de cromaticidad de L\*a\*b\* y b) representación del sólido de colores para el espacio L\*a\*b\*.

**Fuente:** Konica Minolta (2014). *El Espacio de Color CIE L\*A\*B\**. Estados Unidos. Recuperado de URL: <http://sensing.konicaminolta.com.mx/2014/09/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/>.

Los parámetros a\* y b\* se utilizan para evaluar la saturación y el tono, utilizando la siguiente expresión:

$$\text{Saturación} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (\text{Ec. 04})$$

$$\text{Tono en variedades Rojas} = \arctg(b^*/a^*) \quad (\text{Ec. 05})$$

$$\text{Tono en variedades Verdes y Amarillas} = a^* + b^* \quad (\text{Ec. 06})$$

## 2.8. Análisis Estadístico

Se utilizó el software Design-Expert 7 para el análisis estadístico y los modelos de regresión. Mediante el diseño D-óptimo, tipo de estudio "Factorial" con un modelo "2FI" (Interacción entre dos factores lineales), desarrollando 12 "runs" (tratamientos experimentales).

El "Factor" de variables independientes a utilizarse serán: Flujo de aire (L/h) y Temperatura (°C) y la variable dependiente y/o variable respuesta será: Índice de Estabilidad oxidativa (OSI).

### 3. Resultados

#### 3.1. Características fisicoquímicas del aceite virgen de *Moringa oleífera*.

Las características fisicoquímicas se muestran en la Tabla 1, se observan valores de densidad 0.91 g/cm<sup>3</sup>, valores de viscosidad 67.775; punto de fusión de 23°C; índice de peróxido (no detectable); índice de acidez, índice de yodo e índice de anisidina de 0.2265%, 66.642 y 2.545 respectivamente, valores bastante próximos según estudios realizados por *Tsaknis J, et al. (1999)* y *Anwar F y Rashid U. (2007)*.

**Tabla 1**  
*Análisis fisicoquímicos del aceite de Moringa oleífera.*

Análisis	Valor	Unidad
Densidad (24°C)	0.9105	g/cm <sup>3</sup>
Viscosidad	67.775	
Punto de Fusión	23	°C
Índice de Peróxido	No detectable	meqO <sub>2</sub> /kg
Índice de Acidez	0.2265	%
Índice de Yodo	66.6416	
Índice de Anacidina	2.545	

Fuente: *Elaboración propia.*

#### 3.2. Comportamiento de la estabilidad oxidativa del aceite de *Moringa oleífera*, durante la prueba acelerada de Rancimat.

Los resultados promedio del Índice de estabilidad oxidativa (valor OSI en horas) del aceite de *Moringa oleífera* se muestran en la Tabla 2, según Temperatura (130, 140 y 150 °C) y Flujo de aire (15, 20 y 25 L/h) como variables independientes.

**Tabla 2**  
*Índice de estabilidad oxidativa (OSI) de aceite de moringa (Moringa oleífera).*

Flujo de Aire (L/h)	Temperatura (°C)		
	130 OSI* ± SD	140 OSI* ± SD	150 OSI* ± SD
15	14.753 ± 0.62	6.747 ± 0.33	3.143 ± 0.02
20	14.420 ± 0.27	7.237 ± 0.21	3.230 ± 0.04
25	14.350 ± 0.29	7.825 ± 0.06	3.470 ± 0.06

(\*)OSI: Índice de estabilidad oxidativa (horas) / SD: Desviación estándar

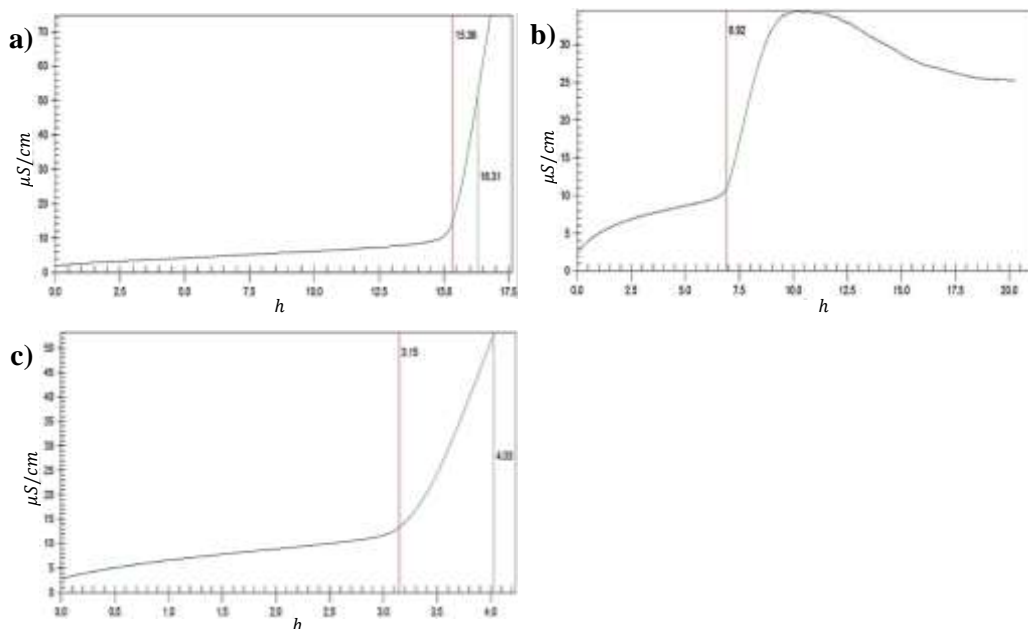
Fuente: *Elaboración propia.*

En el Tabla 2 se muestran que todos los tratamientos tienden a un ligero aumento de los valores OSI como respuesta al incremento en el flujo de aire, esta tendencia ha sido señalada por *Farhoosh R., (2007)*, mientras que el tiempo de inducción tiende a disminuir significativamente con respecto a la variación de la temperatura, obteniendo los valores más altos de OSI a 130 °C y menores a 150°C. *Navas P., (2010)*, señala que las reacciones químicas tienden a duplicarse por cada 10°C de aumento de la temperatura por lo que el tiempo del OSI se ve afectado negativamente.

Los gráficos en tiempo real de las variaciones de conductividad eléctrica (μS/cm) del agua ultra pura vs tiempo (horas) en el equipo Rancimat se muestran en las figuras (Figura 4, 5, y 6) según la variación de las condiciones experimentales de temperatura y flujo de aire, estas evidencian el efecto sobre los valores de OSI para el aceite virgen de la semilla de *Moringa*

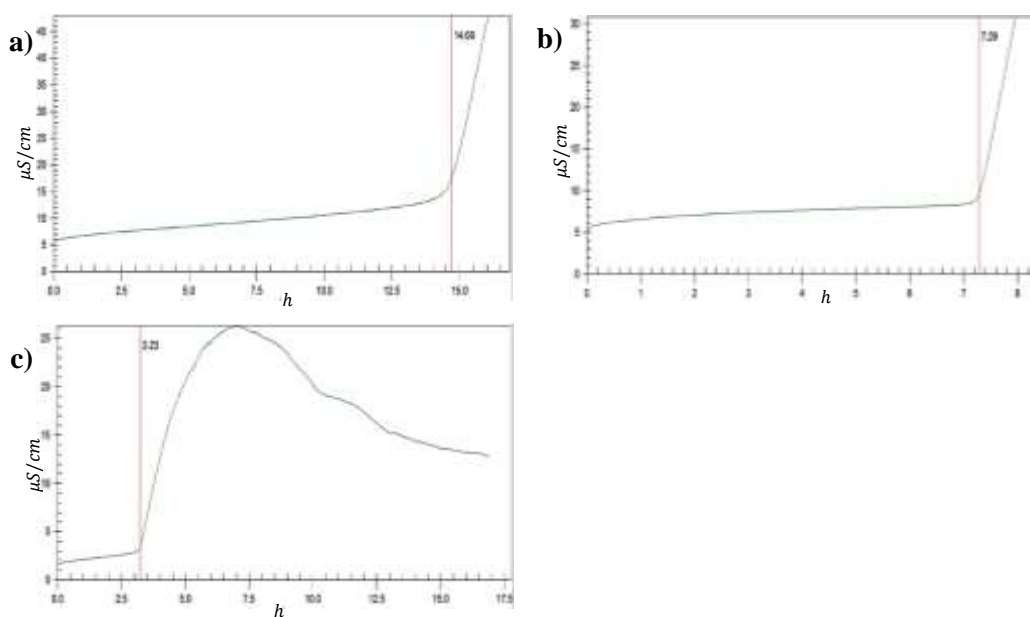
*oleífera*. Este comportamiento podría atribuirse a la aceleración producida en la descomposición de hidroperóxidos de los lípidos (Frankel, 2005).

**A. Variación de la conductividad eléctrica a flujo de aire de 15L/h y a temperaturas de 130, 140 y 150°C.**



**Figura 4**  
Variación de la conductividad eléctrica ( $\mu\text{S/cm}$ ) a flujo de aire de 15 L/h y temperatura de: a) 130, b) 140 y c) 150 °C  
Fuente: Rancimat 743.

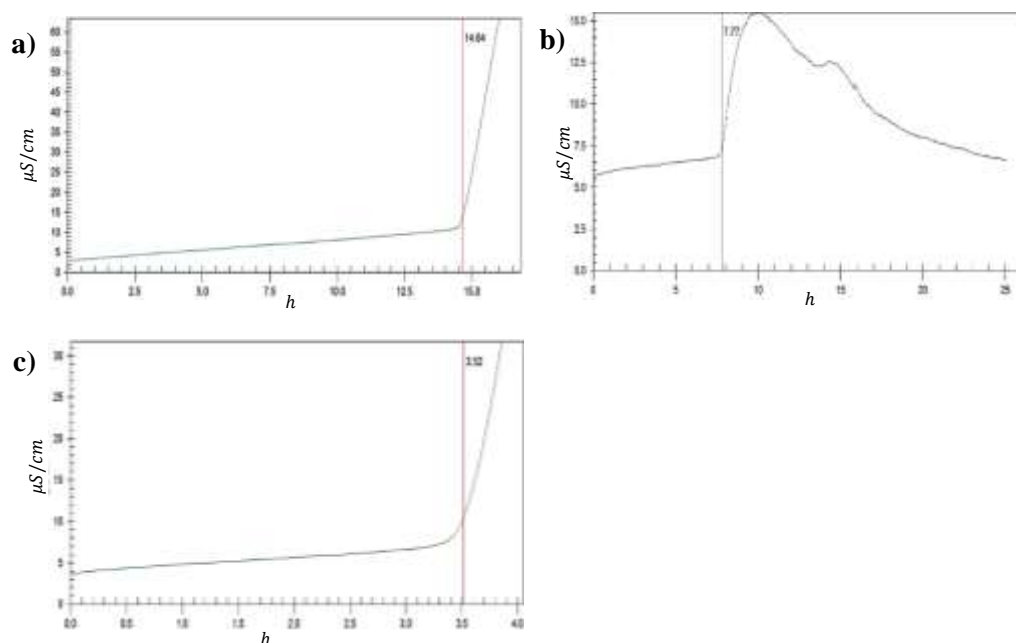
**B. Variación de la conductividad eléctrica a flujo de aire de 20L/h y a temperaturas de 130, 140 y 150°C.**



**Figura 5**  
Variación de la conductividad eléctrica ( $\mu\text{S/cm}$ ) a flujo de aire de 20 L/h y temperatura de: a) 130, b) 140 y c) 150 °C  
Fuente: Rancimat 743.



### C. Variación de la conductividad eléctrica a flujo de aire de 25L/h y a temperaturas de 130, 140 y 150°C.



**Figura 6**

Variación de la conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) a flujo de aire de 25 L/h y temperatura de: a) 130, b) 140 y c) 150 °C

Fuente: Rancimat 743.

### 3.3. Determinación de la Vida Útil

En la Tabla 3 se muestra el valor del logaritmo decimal del Índice de Estabilidad Oxidativa (OSI) con respecto a la temperatura y el flujo de aire.

**Tabla 3**

Determinación del log del Índice de Estabilidad Oxidativa (OSI)

Flujo de Aire (L/h)	Temperatura (°C)		
	130	140	150
15	1.17	0.83	0.50
20	1.16	0.86	0.51
25	1.16	0.89	0.54

Fuente: *Elaboración propia.*

Luego los datos de la Tabla 3 son graficados en el Software Microsoft Excel 2013, representando la regresión lineal entre la Temperatura (°C) y el Log (OSI) por cada flujo de aire, luego se obtienen los valores del coeficiente  $R^2$  que están representados entre 0.993 y 1.00, los valores de A (Constante de temperatura) oscilan entre -0.0308 y -0.0336 y B (Valor empírico) con valores entre 5.1792 y 5.5323 para cada flujo de aire (Tabla 4).

**Tabla 4**

Valores de regresión lineal A y B (Logaritmo OSI y Temperatura)

Flujo de Aire (L/h)	A±SE*(°C <sup>-1</sup> )	B±SE*	R <sup>2</sup>
15	-0.0336±0.00023	5.5323±0.03280	1.0000
20	-0.0325±0.00147	5.3909±0.20610	0.9980

25                    -0.0308±0.00259                    5.1792±0.36349                    0.9930

(\*) SE: Error estándar

Fuente: *Elaboración propia*

Mediante la aplicación de la *Ecuación 01* se obtiene los valores del logaritmo decimal de OSI, que al reemplazar en la *Ecuación 02* se tienen los valores OSI en horas extrapolados a temperaturas usuales de almacenamiento de 20, 25 y 30 °C según el flujo de aire de 15, 20 y 25 L/h. Mostrando resultados de 8.28, 6.29 y 4.17 años para temperatura de 20°C a flujos de aire de 15, 20 y 25 L/h respectivamente, para 25 °C se calcularon 5.63, 4.33 y 2.92 años con respecto a los mismos flujos de aire, y para 30 °C se determinaron 3.82, 2.98 y 2.05 años. Señalando así una fuerte influencia de la temperatura y flujo de aire sobre la extrapolación de los valores OSI del aceite de *Moringa oleífera*.

**Tabla 5**

*Valores de extrapolación OSI a temperaturas usuales de almacenamiento de 20, 25 y 30 °C.*

Flujo de Aire (L/h)	OSI					
	20 °C		25 °C		30 °C	
	Días	Años	Días	Años	Días	Años
15	3023.97	8.28	2054.48	5.63	1395.81	3.82
20	2295.80	6.29	1579.40	4.33	1086.56	2.98
25	1522.22	4.17	1067.45	2.92	748.54	2.05

Fuente: *Elaboración Propia*

### 3.4. Determinación de la energía de activación (Ea)

En la Tabla 6 se muestra el valor del Ln(OSI) de los datos de la Tabla 2, por cada flujo de aire a temperatura experimental de 130, 140 y 150°C expresada en °K (403, 413 y 423) respectivamente.

**Tabla 6**

*Determinación del logaritmo del índice de estabilidad oxidativa, Ln(OSI)*

Flujo de Aire (L/h)	Temperatura (°K)		
	403	413	423
15	2.69	1.91	1.15
20	2.67	1.98	1.17
25	2.66	2.06	1.24

Fuente: *Elaboración propia*

*Navas P., (2010)* afirma que el efecto de la temperatura en los valores de OSI obtenidos por el método de Rancimat puede ser estudiado aplicando tanto la ecuación empírica como el modelo cinético. Con este último pueden obtenerse la energía de activación de la reacción a fin de poder comprender un poco mejor el proceso de oxidación de los aceites vírgenes de semillas.

La Ea se calcula a partir de la pendiente de la recta que resulta al graficar el logaritmo natural de los valores de OSI contra el inverso de la temperatura absoluta (°K) expresada como 1/T, mostrando coeficientes R<sup>2</sup> entre los valores de 0.99045 y 0.99995. Mediante el uso de la *Ecuación 03* se obtienen los valores de la Tabla 7, que muestran resultados de la energía de activación (Kj/mol) para cada flujo de aire 15, 20 y 25 L/h, mostrando resultados variables de 109.56, 105.94 Y 100.46 KJ/mol respectivamente, estas diferencias de Ea entre flujos de aire pueden darse debido a factores moleculares, entre ellos la cantidad de ácidos monoinsaturados y poliinsaturados y no a factores termodinámico, como lo afirma *Navas P., (2010)*.

**Tabla 7**  
*Determinación de la energía de activación (Ea).*

Flujo de aire (L/h)	Pendiente	R <sup>2</sup>	Ea (Kj/mol)
15	13177.54074	0.99995	109.562
20	12741.66914	0.99650	105.938
25	12083.26614	0.99045	100.464

Fuente: *Elaboración propia*

### 3.5. Evaluación estadística del Índice de Estabilidad Oxidativa (OSI) del aceite de *Moringa oleífera*.

#### Análisis de varianza (ANOVA)

En la Tabla 8, se identifica el ANOVA para el diseño D-Optimal mostrando un valor Prob >F de 0.0006 indicando un modelo significativo con un valor menor al 5%. Asimismo, se reporta que de las variables estudiadas la temperatura resulta ser significativa con un valor Prob>F de 0.0001, siendo menor al 5%, es decir afecta negativamente en el Índice de Estabilidad Oxidativa (OSI), la variable Flujo de aire resulta tener un efecto no significativo, es decir, no afecta positivamente o negativamente en el valor OSI, su valor Prob>F es de 0.3491, mayor al 5%; corroborando con lo reportado por Villanueva E. et al (2013).

**Tabla 8**  
*Anova de superficie de respuesta del modelo cúbico.*

Fuente	Suma de cuadrados	Df	Medida de cuadrados	F valor	p-valor Prob > F	
Modelo	252.57	8	31.57	189.43	0.0006	Significat.
A-Temperatura	251.71	2	125.85	755.12	<0.0001	
B-Flujo de Aire	0.51	2	0.25	1.53	0.3491	
AB	0.35	4	0.088	0.53	0.7272	
Error puro	0.50	3	0.17			
Total	253.07	11				

Fuente: *Design-Expert 7.*

En el cuadro 9 se indica un valor de 1.48% como coeficiente de variabilidad, indicando que existe un 98.52% de confiabilidad en la toma de datos.

**Tabla 9**  
*Resumen de información en ANOVA con respecto a la variable independiente.*

Std. Dev.	0.012	R-Cuadrado	0.9994
Medida	0.84	Adj. R-Cuadrado	0.9980
C.V %	1.48	Pred. R-Cuadrado	N/A
Prensa	N/A	Adeq. Precisión	61.220

Fuente: *Design-Expert 7.*

El ajuste del modelo fue expresado por el coeficiente de regresión R<sup>2</sup> el cual fue de 0.9994, indicando que el 99.94% de la variabilidad en la respuesta pueden ser explicada por el modelo y responder a la *Ecuación 07*. El valor también indica que solo el 0.06% de la variación total no se explica por el modelo; esto muestra que la *Ecuación 07* es un modelo conveniente para describir la respuesta del experimento sobre el valor OSI.

$$OSI (horas) = +8.28 - 5.52 * A + 0.52 * A^2 + 0.25 * B + 0.018 * B^2 + 0.058 * AB - 0.14 * A^2B + 0.021 * AB^2 - 0.014 * A^2B^2 \quad (Ec. 07)$$

Dónde: A es la Temperatura (°C) y B es el Flujo de aire (L/h).

### 3.6. Caracterización por cromatografía de gases del aceite virgen de *Moringa oleifera*.

En el análisis composicional de ácidos grasos del aceite virgen de semillas de *Moringa oleifera* (Tabla 10) el componente más predominante es el ácido oleico 73.58%, seguido del ácido Bohémico con 6.73% y ácido palmítico 5.50%. Los ácidos insaturados presentes en el aceite virgen de moringa conforman el 80.64% y el 19.31% de ácidos saturados, de los cuales el ácido oléico y el eicosanoico forman parte del grupo omega 9 y el ácido araquidónico y linoleico del omega 6.

**Tabla 10**

*Concentración de los compuestos presentes en el aceite virgen de Moringa oleifera.*

Tipo de ácido	Nombre de Compuesto	Concentración (%)
Ácidos Insaturados	Ácido Oléico (Cis-9)	73.58
	Ácido Araquidónico	3.61
	Ácido Eláidico (Trans-9)	1.76
	Ácido Palmitoleico (Cis-9)	0.92
	Ácido Linoleico (Cis-9,12)	0.77
Ácidos Saturados	Ácido Behénico	6.73
	Ácido Palmítico	5.50
	Acido Esteárico	4.07
	Ácido Eicosanoico (Cis-11)	2.19
	Ácido Lignocericico	0.82

**Fuente:** Cromatógrafo de gases Shimadzu, modelo GC-2010, Japón.

### 3.7. Color Instrumental del aceite de *Moringa oleifera*

En la tabla 11 se muestran los valores de los factores L\*, a\* y b\*.

**Tabla 11**

*Valor de los factores L\*, a\* y b\* del aceite virgen de Moringa oleifera.*

L ± SD	a* ± SD	b* ± SD
44.80±0.85	- 4.51±0.51	18.87±0.53

**Fuente:** Colorímetro Konica - Minolta CR-400.

Para el aceite de *Moringa oleifera*, la luminosidad descrita por L\* es de 44.80 presentando un valor cercano al color gris (L\*: 50), la saturación nos da la pureza de un color y se calcula usando la Ecuación 04 mostrando un valor de +18.32 y el tono es el color propiamente dicho que se calcula con la Ecuación 05 y 06; mostrando un tono en variedad roja de -76.558 y un tono en variedades verdes y amarillas de +14.36.

## 4. Discusión

Los resultados del análisis fisicoquímico del aceite virgen de las semillas de *Moringa oleifera* reportan los datos (Tabla 1); densidad (24°C) 0.9105 g/cm<sup>3</sup>, viscosidad de 67.77, punto de fusión de 23°C, índice de peróxido no detectable, índice de acidez 0.2265%, índice de yodo de 66.6416 e índice de anicidina de 2.545. Resultados semejantes han sido reportados por Tsaknis J, et al. (1999) en la variedad de *Moringa Mbololo Seed* con una densidad de 0.9037mg/ml, viscosidad 103 mPa.s y acidez (como ácido oleico) de 1.01% para la extracción por prensado en frío; para la extracción por hexano presento valores de densidad de 0.8809 mg/ml, viscosidad de 0.85 mPa.s y acidez (como ácido oleico) de 0.85%. Anwar F y Bhangar M (2003) también muestra un valor de densidad a 24°C de 0.9036 a 0.9080 mg/ml para el aceite de moringa extraído por hexano, igualmente Anwar F. et al. (2006) vuelve a mostrar datos de densidad para *Moringa*

*oleifera* según el lugar de cosecha y extraídos por Soxhelt, estos fueron de 0.9059, 0.9069 y 0.9002 mg/ml, así mismo indica valores de índice de yodo 65.86, 70.5 y 67.86 y acidez (referida a oleico) 0.28, 0.35 y 0.33 %. *Anwar F y Rashid U. (2007)* en un nuevo estudio vuelve a hacer mención las características fisicoquímicas del aceite de moringa mostrando valores de densidad (24°C) 0.9032 g/cm<sup>3</sup>, índice de yodo de 68.63, acidez (como ácido oleico) de 0.81%.

Al igual que *Guadalupe A. et al (2013)* en el análisis fisicoquímico del aceite virgen de moringa (*Moringa oleifera*) el índice de peróxido resulto ser no detectable, según *Navas P. (2010)* los peróxidos son radicales inestables formados a partir de los triglicéridos; un índice de peróxido elevado es un indicador de que el producto tiene un gran potencial de rancidez y que puede fallar cuando se encuentre en el anaquel. El método se basa en la capacidad de los hidroperóxidos para oxidar el yoduro a yodo, los resultados se expresan como miliequivalentes de oxígeno activo por kilogramo de grasa. El Codex alimentarius señala como nivel máximo de 20 meqO<sub>2</sub>/kg de índice de peróxido para aceites vegetales de semillas. El aceite de virgen de moringa tiene un proceso de oxidación lento, es decir, aun no se formaban hidroperóxidos que puedan reaccionar con el yoduro después de la extracción por prensado en frío.

Siguiendo el esquema de la Figura 2, se muestran en las Figuras 4, 5 y 6 las curvas de conductividad eléctrica (μs/cm) vs tiempo (h) reportadas por el equipo Rancimat; las cuales evidencian el efecto de las condiciones experimentales de temperatura (130, 140 y 150 °C) y flujo de aire (15, 20 y 25 L/h) sobre los valores del Índice de Estabilidad Oxidativa (OSI) del aceite virgen de semillas de *Moringa oleifera*. El comportamiento del OSI podría atribuirse a la aceleración producida en la descomposición de hidroperóxidos de lípidos *Frankel, (2005)*, donde la temperatura ejerció un valor muy importante modificando significativamente el valor OSI. Según *Navas P., (2010)* la velocidad de las reacciones químicas tienden a duplicarse por cada 10°C de aumento de la temperatura, es por eso que los valores OSI más altos durante el análisis acelerado de Rancimat se obtuvo a un temperatura de 130°C y los más bajos a 150°C (Tabla 2).

El análisis del valor OSI del aceite virgen de *Moringa oleifera* a temperatura de 140°C con flujo de aire de 15, 20 y 25 L/h mostraron valores de  $6.747 \pm 0.33$ ,  $7.237 \pm 0.21$  y  $7.825 \pm 0.06$  horas respectivamente, estudios realizados por *Navas P. (2010)* señalan que la estabilidad oxidativa del aceite virgen de semillas de girasol genético que produce aceite con concentraciones elevadas de ácido oleico (>80%), alcanzo valores OSI de  $2.9 \pm 0.1$ ,  $3.0 \pm 0.1$  y  $3.1 \pm 0.1$  h a una temperatura de 140 °C y flujo de aire de 15, 20 y 25 L/h respectivamente, el aceite virgen de Sésamo alcanzo valores de  $1 \pm 0.1$  h para los tres flujos de aire (15, 20 y 25 L/h) a temperatura de 140°C, siendo el aceite virgen de moringa el más estable a la prueba acelerada de Rancimat.

En la Tabla 2 se muestra que la variación del valor OSI con respecto a los diferentes flujos de aire (15, 20 y 25 L/h) no es muy significativa, considerando evidente lo mencionado en un estudio similar por *Farhoosh (2007b)* donde explica que a elevados flujos de aire hace más difícil alcanzar una condición de saturación del oxígeno en la masa del aceite, por lo cual muchas moléculas de O<sub>2</sub> no tienen el tiempo suficiente para disolverse en la matriz oleosa, reduciéndose por lo tanto la concentración efectiva de oxígeno que puede adicionarse a los dobles enlaces de los ácidos grasos insaturados, como resultado se extiende el tiempo de inducción.

Según *Navas P., (2010)* menciona que la presencia de los isómeros del tocoferol no ejerce un efecto importante en la estabilidad oxidativa de estos aceites vírgenes, ya que el aceite de sésamo con su elevada concentración de tocoferoles es menos estable que el aceite de girasol, lo que sugiere que en las condiciones aceleradas del método de Rancimat, los antioxidantes naturales no son capaces de proteger al aceite ante el ataque de las especies de oxígeno reactivo y otros radicales que se forman por la acción de la temperatura y del flujo de aire. Misma teoría estaría relacionada con el tratamiento del aceite virgen de moringa, pero a pesar de ello, es el más resistente a las condiciones aceleradas de Rancimat en comparación con otros aceites.

Al utilizar el modelo matemático propuestos por *Blaine y Savage (1992)* y *García-Ochoa et al. (1989)* se ha determinado la Energía de activación (E<sub>a</sub>) de la reacción de oxidación

de los aceites (Tabla 7). En una investigación de Navas P., (2010) señala valores de Ea para el aceite virgen de girasol de 97.2 y 100.0 KJ/mol a flujos de aire de 15 y 20 L/h respectivamente, a los mismos flujos de aire se muestran valores de Ea para aceite de Sésamo de 96.2 y 103.5 KJ/mol y para el aceite de semillas de uva de 84.5 KJ/mol a 15 L/h; siendo este último el más inestable ante la oxidación acelerada, justificando desde el punto de vista termodinámico con valores de Ea más bajos. Sin embargo se muestran valores de Ea mayores en la evaluación del aceite virgen de semillas de *Moringa oleífera* presentando 109.56 y 105.94 KJ/mol a 15 y 20 L/h respectivamente, por lo que la barrera energética para que las colisiones entre las moléculas de oxígeno y las de los ácidos grasos poliinsaturados sean efectivas es mucho mayor que en el aceite de semillas de uva.

En la caracterización de ácidos grasos presentes en el aceite virgen de *Moringa oleífera* (Tabla 10), el principal ácido monoinsaturado presente es el ácido oleico (73%) que normalmente está presente en el aceite de oliva (54 a 80%), lo que convierte a este aceite en el más resistente a la descomposición química que provocan las altas temperaturas teniendo menos absorción por la superficie de los alimentos que se fríen en él, lo que aumenta la digestibilidad de éstos y disminuye su valor calórico final. Frankel,(1998).

Según Anwar F. y Rashid U. (2007) afirma que el aceite de *Moringa oleífera* contiene ácido oleico de hasta 73.22%, seguido por palmítico, esteárico, bohémico y ácido araquídico 6.45, 5.50, 6.16 y 4.08% respectivamente. Alfaro (2008) menciona que el aceite de moringa está compuesto por ácido oleico en un 68.9%, seguido por esteárico 10.8%, bohémico 6.3 %, linoleico 3.8%, ácido palmítico 3.6 %, ácido mirística 1.5% y Ácido Lignocérico 0.13%. Teniendo los valores de concentración de ácido bohémico muy cercano, ya que este es el ácido característico presente en el aceite de moringa.

Caterm Et. al., (2001) menciona que el ácido oleico con fórmula química molecular ( $C_{18}H_{34}O_2$ ) es un ácido graso monoinsaturado de la serie omega 9 típico de los aceites vegetales como el aceite de oliva, del aguacate, etc. Ejerce una acción beneficiosa en los vasos sanguíneos reduciendo el riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares. Éste ácido también está presente en el aceite de *Moringa oleífera* estudiado (73%).

El ácido behénico ( $C_{22}H_{44}O_2$ ), está presente en distintos aceites naturales, como el aceite de behén con aproximadamente 9%, y se extrae de la planta *Moringa oleífera*. También está presente en el aceite de colza y en el aceite de cacahuete. En la dieta, el ácido behénico a pesar de ser un ácido graso, al ser de cadena tan larga se absorbe mal. A pesar de su baja biodisponibilidad en comparación con otros ácidos grasos como el ácido oleico, el ácido behénico eleva el colesterol en los seres humanos, Caterm Et. al., (2001).

El ácido araquidónico (AA) es un ácido graso poliinsaturado de la serie omega-6, formado por una cadena de 20 carbonos. La presencia de dobles enlaces supone varios sitios potenciales de oxidación enzimática o química que, junto con un posterior reordenamiento, permite la formación de diferentes lípidos con distintas actividades biológicas. El ácido araquidónico puede sintetizarse a partir del ácido linoleico, uno de los ácidos grasos esenciales requeridos por la mayoría de los mamíferos. Bailey A. (1984) y Navas P., (2010).

El ácido esteárico ( $C_{18}H_{36}O_2$ ) es un ácido graso saturado presente en aceites y grasas animales y vegetales. Algunas de sus sales, principalmente de sodio y potasio, tienen propiedades tensoactivas, siendo muy usado en la fabricación de velas, jabones y cosméticos. Es el ácido graso menos saludable siendo el que más aumenta los niveles de colesterol en la sangre. Bailey A. (1984).

## 5. Conclusiones

Las características fisicoquímicas del aceite virgen de las semillas de moringa (*Moringa oleífera*), mostrando los resultados: densidad (24°C) 0.9105 g/cm<sup>3</sup>, viscosidad 67.775, punto de

fusión 23°C a presión atmosférica, índice de peróxido no detectable, índice de acidez 0.2265%, índice de yodo 66.6416 e índice de anicidina 2.545.

La caracterización del aceite virgen de moringa (*Moringa oleifera*), empleando cromatografía de gases (modelo GC-2010): ácido oléico (Cis-9) 73.58%, ácido bohémico 6.73%, ácido palmítico 5.5%, ácido esteárico 4.07%, ácido araquidónico 3.61%, ácido eicosanoico (Cis-11) 2.19%, ácido eláidico (Trans-9) 1.76%, ácido palmitoleico (Cis-9) 0.92%, ácido lignocérico 0.82% y ácido linoleico (Cis-9,12) 0.77%.

El tiempo de inducción del aceite virgen de moringa (*Moringa oleifera*), a temperaturas de 130, 140 y 150 °C con un flujo de aire de 15L/h dan valores OSI 14.753±0.62, 6.747±0.33 y 3.143±0.02 horas; a un flujo de aire 20 L/h con las mismas temperaturas, se consiguieron resultados de 14.420 ± 0.27, 7.237±0.21 y 3.230±0.04 horas; y para flujo de aire de 20 L/h se tiene 14.420±0.27, 7.237±0.21 y 3.230±0.04 horas, respectivamente. Se encontró estadísticamente que la temperatura (°C) es significativo presentando un (p<0.05) sobre el OSI, mientras que el flujo de aire (L/h) no es significativo.

La energía de activación (Ea) de la reacción de oxidación de aceite de moringa (*Moringa oleifera*), para flujos de aire de 15, 20 y 25 L/h fue de 109.562, 105.938 y 100.464 KJ/mol, respectivamente.

El tiempo en anaquel del aceite virgen de moringa (*Moringa oleifera*) a través del Índice de Estabilidad Oxidativa (OSI), para temperaturas de almacenamiento (20, 25 y 30 °C), es de 8.28, 6.29 y 4.17 años para flujos de aire de 15, 20 y 25 L/h a temperatura de 20°C, al mismo flujo de aire se calcularon tiempos de 5.63, 4.33 y 2.92 años para 25°C y para 30°C fue de 3.82, 2.98 y 2.05 respectivamente.

## 6. Referencias

A.O.A.C. (1998), Manual of Official Methods of Analyses of the Association of Official Analytical Chemists'. Five tenth editions. USA.

Agencia Agraria de Noticias. (2011). Lambayeque explotaría moringa a la china (en Lima). Recuperado el 03 de abril de 2011. Disponible en URL: WWW.agraria.pe.

Alfaro, N. C. y Martínez, W. (2008), Uso Potencial de la Moringa (*Moringa oleifera*, Lam) para la Producción de Alimentos Nutricionalmente Mejorados, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYT), Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT), Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (FONACYT), Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), Guatemala.

Alfaro, N. C. (2008), Rendimiento y Uso Potencial de Paraíso Blanco, *Moringa oleifera* Lam en la Producción de Alimentos de Alto Valor Nutritivo para su Utilización en Comunidades de Alta Vulnerabilidad Alimentario-nutricional de Guatemala, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYT), Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT), Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (FONACYT), Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), Guatemala. <http://glifos.concyt.gob.gt/digital/fodecyt/fodecyt%202006.26.pdf>

Alvarado, J. (1996). Principios de la ingeniería aplicados a alimentos. Secretaria General de la OEA. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Universidad Técnica de Ambato. Ecuador

- Angerosa F (2000a). En Handbook of Olive Oil: Analysis and properties Eds. J. Harwoor y R. Aparicio, Aspen Publ. Inc. Gaithersburg. Maryland (USA), pp.355-392.
- Anwar F., Nahid Zafar S., y Umer R., (2006). Caracterización del aceite de semilla de Moringa oleífera procedente de regiones de secano y de regadío del Punjab paquistaní.
- Anwar Farooq y Bhangar Andm. I. (2003). Analytical Characterization of Moringa oleífera Seed Oil Grown in Temperate Regions of Pakistan. University of Sindh, Jamshoro, Pakistan.
- Anwar, Farooq y Rashid, Umer, (2007). Physico-Chemical Characteristics of Moringa Oleífera seeds and Seed Oil From a Wild Provenance of Pakistan. University of Agriculture, Faisalabad-38040, Pakistan.
- AOAC. 1984. In Methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 14th edition Horowitz W. Ed. Washington D.C.
- Artigas J. M. (2002). Fundamentos de colorimetría. Universidad de Valencia, España.
- Badui, S. (1999). Química de los alimentos. Tercera edición. Editorial Alambra. México.
- Bailey, A. E. (1961) Aceites y grasas industriales. España, Edición Barcelona.
- Barrera, D. (1998). Estabilidad y utilización de nitrógeno en aceites y grasas. Grasas y Aceites 49(1): 55-63.
- Barrera-Arellano, Daniel, (1998). Estabilidad y utilización de nitrógeno en aceites y grasas. Campinas, S.P. Brasil.
- Bhatnagar, A., & Gopala Krishna, A. (2013). Natural antioxidants of the Jaffna variety of Moringa Oleífera seed oil of Indian origin as compared to other vegetable oils. Grasas y Aceites, 64(5): 537-545 doi: 10.3989/gya.010613
- Blaine S, Savage PE (1992). Reaction Pathways in Lubricant Degradation. 3. Reaction Model for n -Hexadecane autoxidation Ind. Engineering Chemical Research. 31: 69–75.
- Brkic Bubola K., Koprivnjak O., Sladonja B. y Belobrajic I., (2014). Influencia de la temperatura de almacenamiento sobre los parámetros de calidad, fenoles y compuestos volátiles de aceites de oliva vírgenes croatas. Rijeka, Croatia
- Brühl L, Matthaüs B (2008). Sensory assessment of virgin rapeseed oils. Review. Eur. J. Lipid Sci. Technol. 110: 606-610.
- Cáceres Montes, C. M., Díaz Ayala, J. C. (2005), Propuesta de Tratamiento de Aguas de Desecho de una Industria Química de Adhesivos utilizando Extracto Acuoso de la Semilla de Moringa oleífera (Teberinto), Trabajo de Grado, Universidad de El Salvador, Facultad de Química y Farmacia, San Salvador, El Salvador.
- Casp, A, Abril, J., (1999). Procesos de conservación de alimentos, Ed. A. Madrid Vicente-Mundi Prensa, Madrid.
- Caterm, Nilo B and Margo A Denke. January, (2001). Behenic acid is a cholesterol-raising saturated fatty acid in humans. American Journal of Clinical Nutrition.



- Cavallini, R. (2001) La Moringa oleífera, iL Materiali di ACRA copriamo lo sviluppo, Lombardia, Italia.
- Cavallini, R. (2001) La Moringa oleífera, iL Materiali di ACRA copriamo lo sviluppo, Lombardia, Italia.
- Cert A, (2000). Review: Chromatographic analysis of minor constituents in vegetable oils. Journal of Chromatography A. 881: 131-148.
- Chang Raymond, (2002). Química, 7ª Edición. Editorial cGraw-Hill.
- Cheftel J. y Cheftel, (1976). Introducción a la Bioquímica y tecnología de los alimentos. Vol 1. Editorial Acribia. Zaragoza – España.
- Cisterna, P. (2010). Eliminación de grasas y aceites por tratamiento biológico de fangos activos. Departamento de Ingeniería Química y Tecnologías del Medio Ambiente. Universidad de Oviedo - España.
- CODEX STAN 19- 1981 (Rev. 2-1999). Norma del Codex para grasas y aceites comestibles no regulados por normas individuales. P1-5.
- Codex Alimentarius. Norma del Codex para Grasas y Aceites Comestibles no Regulados por Normas Individuales del Codex. Codex Stan 19-1981 (Rev. 2-1999)
- Drago ME, López M, Sainz T (2006). Componentes bioactivos de alimentos funcionales de origen vegetal. Rev. Mexicana de Ciencias Farmacéuticas. 37 (4), 58-68.
- Fahey, J.W. 2005. Moringa oleífera a review of the medical evidence for it nutritional, therapeutic and prophylactic properties. Part 1. Trees for life journal.
- Farhoosh R. (2007a). Shelf-life prediction of edible fats and oils using Rancimat. Lipid Technology.
- Farhoosh R. (2007b). The effect of operational parameters of the Rancimat method on the determination of the oxidative stability measures and shelf-life prediction of soybean oil. Journal of the American Oil Chemists Society 84: 205-209.
- Farooq Anwar, Syeda Nahid Zafar y Umer Rashid (2006). Pakistan Caracterización del aceite de semilla de Moringa oleífera procedente de regiones de secano y de regadío del Punjab paquistaní. Revista Grasas y Aceites; Vol 57, No 2 (2006); 160-168.
- Fennema, Owen R., (2000). Química de los alimentos. 2da edición. Editorial Acribia. Zaragoza, España.
- Fernández P, Cabral JMS (2007). Phytosterols: Applications and recovery methods Bioresource Technology 98: 2335–2350
- Fernández P, Cabral JMS (2007). Phytosterols: Applications and recovery methods Bioresource Technology 98: 2335–2350.
- Ferratto, J. (2003). Importancia de la gestión de la calidad en frutas y hortalizas, situación y perspectivas. Presentación Feria Internacional de la Alimentación. FIAR. Rosario.

- Folkard, G., Sutherland, J. (1996), *Moringa oleífera*, un árbol con enormes potencialidades, *Agroforestry today*, volumen 8, N° 3, pp. 5-8, Turrialba, Costa Rica.
- Frankel N., (1998) *Lipid Oxidation*. The Oily Press, Bridgewater, Uk.
- Frankel, Woodhead, (2005). *Oxidación de Lípidos*. Sawston, Cambridge, UK.
- Fuglie, L. J. (2001), *The Miracle Tree. The Multiple Attributes of Moringa*. Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation.
- García Torres A. G., Martínez Cubias R. K. y Rodríguez Díaz I. A., (2013). Evaluación de los usos potenciales del teberinto (*Moringa oleífera*) como generador de materia prima para la industria química. Universidad de El Salvador, El Salvador.
- García-Ochoa F, Romer A, Querol A. (1989). Modeling of the Thermal n-Octane Oxidation in the Liquid Phase. *Industrial and Engineering Chemical Research*. 28: 43–48.
- Gordon M H (2001). Measuring antioxidant activity en: *Antioxidant in food*, Eds. Pokorny J, Yanishlieva N, Gordon M, Woodhead Publishing Ltd, Cambridge.
- Graciani C. E., (2006). *Los aceites y grasas. Composición y propiedades*. Editorial Mundi-Prensa. Madrid (España). 316p.
- Graciani Constante Enrique. (2006). *Los Aceites y grasas: Composición y propiedades*. Editorial Mundi-Prensa. Madrid (España), 316p. Sayago A, Marín MA, Aparicio R, Morales MT (2007). *Vitamina E y aceites vegetales*. *Grasas y Aceites*. 58 (1): 74-86.
- Hamilton, R. y Kalu, C. (1997). *Chemistry of free radicals in lipids*. *Food Chemistry*. Vol 60.
- Hernández Cienfuegos, C. R. (1997), "Evaluación de las Características Antimicrobianas de Teberinto (*Moringa oleífera*) para el Tratamiento de Aguas de Ríos ", Trabajo de Graduación Facultad de Química y Farmacia, Universidad de El Salvador.
- Jebe T.A., Matlock M.G. y Sleeter Rt., (1993). Collaborative study of the oil stability index analysis. *Journal of American Oil Chemists Society*.
- Kilcast D. y Subramaniam P. (2000), *The stability and Shelf Life of Food*. Cambridge, UK: CRC Press – Woodhead Publishing.
- Kiritsakis, K. (1991). *Aceite de Oliva*. Primera Edición. Editorial Acribia S.A. Zaragoza – España.
- Konica Minolta (2014). El Espacio de Color CIE L\*A\*B\*. Estados Unidos. Recuperado el 15 de noviembre del 2015. Disponible en URL: <http://sensing.konicaminolta.com.mx/2014/09/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/>.
- Labuza, T., (2000a). Accelerated shelf life of foods. *Food technology*. 39 (9): 57.
- Landeo Pino Ever John (2009). Evaluación del tiempo de vida en anaquel mediante pruebas aceleradas del aceite semirrefinado de unguirahui (*Jessenia bataua*) y a condiciones de temperatura ambiente (18±2°C). Biblioteca Agrícola Nacional de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM) – Lima, Perú
- Lawson, H. (1999). *Aceites y grasas alimentarios*. Editorial Acribia. Zaragoza – España.

- Liebler DC (1993). The role of metabolism in the antioxidant functions of vitamin E. *Critical Reviews in toxicology*. 23: 147-169.
- Mattila P, Kumpulainen J (2002). Determination of free and total phenolic acids in plant-derived food by HPLC with Diode-array detection. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 50(13): 3660-3667
- Mendez E, Sanhueza J, Speisky H, Valenzuela A (1996). *Journal of the American Oil Chemists Society* 73:1033–1037.
- Mendez E., Sanhueza J., Speisky H., y Valenzuela A., (1996). Validation of the Rancimat test for the assessment of the relative stability of fish oils. *Journal of American oil Chemists Society*, 73, 1033-1037.
- Moreau R., Whitaker B., Hisks K. (2002). Phytosterols, phytanols, and their conjugates in foods: structural diversity, quantitative analysis and health promoting uses. *Progress in Lipid Research*, 41(6): 457-500.
- Nakatani N, Tachibana Y, Kikuzaki H (2001). Establishment of a model substrate oil for antioxidant activity assessment by oil stability index method. *Journal of the American Oil Chemists Society* 78: 19–23.
- 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. RUIDERA (Repositorio Universitario Institucional de Recursos Abiertos) – Universidad Castilla de la Mancha (UCLM), Ciudad Real - España.
- Olson, M. E. (2001). Introduction to the Moringa Family. In *The miracle tree: The multiple attributes of Moringa*, L. J. Fuglie (ed.). Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation, Wageningen/ Church World Service, New York.
- Olson, Mark E., y Fahey, Jed W., (2011). Moringa oleifera: un árbol multiusos para las zonas tropicales secas. *Revista mexicana de biodiversidad*, 82(4), 1071-1082. Recuperado el 08 de marzo de 2015. Disponible en URL: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-34532011000400001&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532011000400001&lng=es&tlng=es).
- Parrotta, J. A. (1993), *Moringa oleifera* Lam. Resedá, horseradish tree. SO-ITF-SM-61. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station.
- Perona JS, Canizales J, Montero E, Sanchez-Dominguez JM, Catala A, Ruiz-Gutierrez V. (2004). Virgin olive oil reduces blood pressure in hypertensive elderly subjects. *Clin. Nutr.* 23:1113-1121.
- Piura News. (2011). Municipalidad de Piura propone el cultivo de Moringa en Tambogrande. Recuperado el 07 de marzo de 2011. Disponible en URL: [WWW.munipiura.gob.pe](http://WWW.munipiura.gob.pe)
- Primo, E. (1998). *Química de los alimentos*. Editorial Síntesis S.A. España.

- Sánchez Martín, J. (2004), Aplicación de Floculantes Naturales a la Potabilización de Aguas, Trabajo de Grado, Departamento de Ingeniería Química y Energética, Universidad de Extremadura, España.
- Sánchez Martín, J. (2004), Aplicación de Floculantes Naturales a la Potabilización de Aguas, Trabajo de Grado, Departamento de Ingeniería Química y Energética, Universidad de Extremadura, España.
- Sayago A, Marín M.A, Aparicio R, Morales M.T (2007). Vitamina E y aceites vegetales. *Grasas y Aceites*. 58 (1): 74-86.
- Slavin M, Z. Cheng, M. Luther, W. Kenworthy, L. Yu.(2009) Antioxidant properties and phenolic, isoflavone, tocopherol and carotenoid composition of Maryland grown soybean lines with altered fatty acid profiles. *Food Chem*. 114, 20-27.
- Tsaknis, J., Lalas, S., Gergis, V., Dourtoglou V., y Spiliotis V., (1999). Characterization of Moringa oleifera Variety Mbololo Seed Oil of Kenya. Department of Food Technology, Technological Educational Institute (TEI), Ag. Spyridonos Str. Athens, Greece.
- Valente T, Hidalgo J, Bolea I, Ramírez B, Anglés N, Reguant J, Morelló JR, Gutiérrez C, Boada M, Unzeta M (2009). A diet enriched in polyphenols and polyunsaturated fatty acids, LMN diet, induces neurogenesis in the subventricular zone and hippocampus of adult mouse brain. *Journal of Alzheimer's Disease*, 18(4).849-865.
- Varela G (2009). Antioxidantes de las frutas en la dieta. Monografía 1era Edición Madrid pp. 1 -12.
- Villanueva López Eudes, Castillo Benites Darwin, Rodríguez Páucar Gilbert (2013) Influencia de los parámetros Rancimat sobre la determinación del índice de estabilidad oxidativa del aceite de *Sesamum indicum* L. *Revista Científica "Scientia Agropecuaria"* de la "Universidad Nacional de Trujillo", Perú.
- Young I S, Woodside J V (2001). Antioxidants in health and disease. *J. Clin. Pathol*. 54: 176 – 186.
- Zaanoun I, Gharby S, Bakass I, Ait addi E, Ait ichou I. (2014). Determinación de parámetros cinéticos de la oxidación mediante Rancimat de aceites de argán tostado y sin tostar. *Revista Grasas y Aceites*; Vol 65, No 3 (2014); e033.
- Ziller S. (1996). *Grasas y aceites alimentarios*. Editorial Acribia, 7a. Edición. España. 71 pp.