

EFECTO DEL ALMACENAMIENTO EN LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE *Sesamum indicum* L., TRATADO TÉRMICAMENTE EN HORNO CONVENCIONAL Y MICROONDAS

EFFECT OF STORAGE ON THE ANTIOXIDANT ACTIVITY OF *Sesamum indicum* L., TREATED THERMICALLY IN CONVENTIONAL AND MICROWAVE OVEN

Díaz-Ramírez, M.¹; Hernández-Unzón, H.Y.²; Salgado-Cruz, Ma. de la P.²; Cruz-Monterrosa, R.G.¹; Jiménez-Guzmán, J.¹; Miranda-de la Lama, G.C.¹; Rayas-Amor, A.A.¹

¹Departamento de Ciencias de la Alimentación. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Lerma. Av. Hidalgo Poniente 46, Col. La Estación, Lerma de Villada, Estado de México. 52006. México. ²Departamento de Ingeniería Bioquímica. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. Plan de Ayala y Carpio s/n. Col. Santo Tomas. C.P. 11340. México, D.F.

Autor de correspondencia: marea131079@gmail.com

RESUMEN

La semilla y aceite de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) han mostrado actividad antioxidante (AA) que se modifica por efecto de su procesamiento y almacenado, no obstante los estudios al respecto siguen siendo escasos. El objetivo de este trabajo fue evaluar y comparar el efecto de diferentes tratamientos térmicos (horno convencional-HC y microondas-MO) y el tiempo de almacenamiento (seis meses) sobre la AA de semilla de ajonjolí y su aceite. Los resultados mostraron que la mayor AA se presentó en semilla y aceite tratados en HC a 175 °C durante 2.5 minutos (77.2 y 77.2 respectivamente). Durante el almacenamiento, la AA disminuyó en todos los casos, registrando la mayor pérdida en la semilla y aceite sin tratamiento (18.6 y 18.9 unidades respectivamente), seguida de los tratados en HC a 175 °C (8.1 y 7.8 unidades respectivamente) y de los sometidos a tratamiento en MO durante 2.5 minutos (3.4 y 5.3 unidades). Los dos tratamientos térmicos aplicados favorecen la estabilidad de la AA durante seis meses de almacenamiento de la semilla y aceite de ajonjolí.

Palabras clave: ajonjolí, tratamiento térmico, actividad antioxidante, almacenamiento.

ABSTRACT

Sesame seed and oil (*Sesamum indicum* L.) have shown antioxidant activity (AA) that is modified because of their processing and storage, although studies in this regard continue to be scarce. The objective of this study was to evaluate and compare the effect of different thermal treatments (conventional oven-HC and microwave oven-MO) and the time of storage (six months) on the AA of the sesame seed and its oil. The results showed that the highest AA was present in seed and oil treated in HC at 175 °C for 2.5 minutes (77.2 and 77.2, respectively). During storage, the AA decreased in every case, showing the greatest loss in the seed and oil without treatment (18.6 and 18.9 units respectively), followed by treatments in HC at 175 °C (8.1 and 7.8 units respectively), and those subject to treatment in MO for 2.5 minutes (3.4 and 5.3 units). The two thermal treatments applied favor the stability of the AA during six months of storage of the sesame seed and oil.

Keywords: sesame, thermal treatment, antioxidant activity, storage.

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 10, octubre, 2017, pp: 15-21.

Recibido: agosto, 2017. **Aceptado:** octubre, 2017.

INTRODUCCIÓN

El consumo de antioxidantes desempeña una función de prevención y/o reducción del riesgo de presentar algunas enfermedades crónicas no transmisibles (cáncer, diabetes, entre otras) asociadas a la acción de radicales libres (Chávez *et al.*, 2013). La semilla y aceite de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) (Figura 1), son fuente importante de estas sustancias (sesamin, sesamol, sesamol, sesaminol, sesamol, γ -tocoferol, entre otros), cuyo contenido, estructura y actividad se modifica por efecto de su procesamiento y depende de factores, tales como el tipo, duración y temperatura del tratamiento, así como del efecto sinérgico con otros compuestos derivados de dichos procesos (Wan *et al.*, 2014). Su presencia también promueve la estabilidad del aceite de ajonjolí a la oxidación durante su almacenamiento (Abou-Gharibia *et al.*, 2000), siendo esta una ventaja tecnológica muy importante

que ha permitido el uso de éste en mezclas con otros aceites vegetales susceptibles a dicha oxidación (Kavuncuoglu *et al.*, 2016). En México, la semilla de ajonjolí se usa en panadería, en la preparación de dulces y galletas, confitería y en la elaboración de platillos tradicionales, tales como el mole, atole y pastas, donde los tratamientos térmicos aplicados pueden modificar la AA de este importante ingrediente. Aunque el aceite de ajonjolí tiene varias ven-

tajas nutrimentales y tecnológicas sigue siendo poco usado en México, no obstante la difusión y conocimiento de sus propiedades puede incrementar su uso. Es por ello que el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de diferentes tratamientos térmicos y almacenamiento sobre la actividad antioxidante de la semilla y aceite de ajonjolí.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó semilla de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) a granel, Lote JAB/015 de 25 kg, proveniente de Veracruz, México. Todos los reactivos utilizados fueron de grado analítico.

Se determinó el contenido de humedad, cenizas, proteína, grasa (AOAC 14.062, 14.063, 14.067 y 14.066 respectivamente) fibra (AACC 32-05) y el porcentaje de carbohidratos por diferencia a la semilla de ajonjolí. En el caso del aceite se evaluaron la masa específica, índice de refracción, de yodo, de saponificación,

de acidez y de peróxidos (AOAC 28.003, 28.006, 28.018, 28.025, 28.029 y 28.022). Los tratamientos térmicos de la semilla de ajonjolí fueron; horno convencional (HC). Se colocaron y distribuyeron homogéneamente 100 g de semilla de ajonjolí en charola de acero rectangular (37.5 cm x 24.5 cm y 0.2 cm de grosor) a diferentes temperaturas (150 °C, 175 °C y 200 °C) y tiempos (0, 2.5 y 5 min) de calentamiento. La charola se colocó a 20 cm de

la fuente de calor y al centro del horno. Se aplicó también el horno de microondas (MO), colocando y distribuyendo homogéneamente 100 g de semilla en un recipiente de vidrio durante 0, 2.5 y 5 min (Villa, 2005).

La extracción del aceite se llevó a cabo por el método de Soxhlet utilizando hexano como disolvente. 15 g de semilla molida se colocaron en cartucho de celulosa y se agregaron 150 ml de hexano. La extracción se llevó a cabo durante cuatro horas y posteriormente el aceite se filtró (Whatman No. 5). El aceite se utilizó hasta que no hubo variación del peso indicando que no había residuos de solvente.

Para la preparación del extracto, se usó 1 g de semilla de ajonjolí molida o 1 mL de aceite, y se mezclaron con 25 mL de una solución de metanol al 80%, el extracto se calentó en baño maría a 70 ± 1 °C durante dos horas con agitación constante. Al término se enfrió a 25 ± 1 °C, se filtró (Whatman No. 5) e inmediatamente se determinó su AA.

Para evaluar el almacenamiento de la semilla y aceite de ajonjolí, se seleccionaron la semilla y aceite con mayor AA y se almacenaron durante seis meses. La evaluación de AA se realizó en diferentes tiempos (0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, y 24 semanas). La semilla se almacenó en frascos de plástico (300 g) individuales cerrados a temperatura de 25 ± 1 °C en ambiente seco, libre de olores y protegidos de la luz, simulando la presentación que existe en el mercado para la elaboración de diferentes alimentos (mole, pan, dulces, entre otros). El aceite se colocó en frascos de vidrio ámbar (200 ml) cerrados en lugar fresco,



Figura 1. Semilla de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.)

seco, libre de olores y protegidos de la luz a temperatura de 25 ± 1 °C. Para la determinación de la AA, se utilizó el método de Velioglu *et al.* (1998) bajo las siguientes condiciones: se colocaron 0.02 ml de ácido linoléico, 0.1 mL de tween 40, 1 mL de β -caroteno (solución de 0.2 mg mL⁻¹ de cloroformo), 0.2 mL del extracto de semilla o de aceite, o BHT (300 mg L⁻¹ de cloroformo) según sea el caso. Se evaporó todo el cloroformo y posteriormente se agregaron 30 mL de peróxido de hidrógeno al 5%, se homogeneizó durante un minuto y se sometió a autooxidación térmica a 50 ± 1 °C; se realizaron lecturas de absorbancia a una longitud de onda de 470 nm cada diez minutos durante dos horas. Para el blanco y control se realiza el mismo procedimiento sin agregar el β -caroteno (solución de 0.2 mg mL⁻¹) y antioxidante respectivamente, la cual se calculó en cuatro formas (Velioglu *et al.*, 1998):

a) La absorbancia se grafica con el tiempo, la pendiente de esta cinética se expresa como Valor Antioxidante (AOX o R) (Ecuación 1).

$$AOX = \frac{A_2 - A_0}{t_2 - t_0} = R \quad \text{Ec. 1}$$

b) La actividad antioxidante (AA) se calcula como el porcentaje de inhibición con respecto al control de acuerdo a la Ecuación 2

$$AA = \left(\frac{R_{control} - R_{muestra}}{R_{control}} \right) \times 100 \quad \text{Ec. 2}$$

Donde $R_{control}$ y $R_{muestra}$ son las velocidades de blanqueo del β -caroteno en la mezcla sin antioxidante y la de prueba respectivamente.

c) La proporción de velocidad de oxidación (ORR), cual se calcula de acuerdo a la Ecuación 3.

$$ORR = \frac{R_{muestra}}{R_{control}} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde $R_{control}$ y $R_{muestra}$ tienen el mismo significado que la ecuación anterior

d) El coeficiente de actividad antioxidante que se calcula mediante la ecuación 4

$$AAC = \frac{A_1 - A_2}{A_3 - A_2} \times 1000 \quad \text{Ec. 4}$$

En donde A_1 es la absorbancia de la mezcla antioxidante a los 120 minutos, A_2 es la absorbancia del control a los 120 minutos y A_3 es la absorbancia del control a los 0 minutos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La composición de la semilla fue de $47.6 \pm 0.3\%$ de grasa, $22.8 \pm 0.1\%$ de proteína, $5.0 \pm 0.3\%$ de cenizas, 8.8 ± 0.3 de fibra cruda ($5.6 \pm 0.4\%$ corresponden a la fracción insoluble y $3.2 \pm 0.2\%$ a la soluble), $11.5 \pm 0.3\%$ de carbohidratos y $4.3 \pm 0.2\%$ de humedad. Estos valores pueden variar de acuerdo a su lugar de origen, pero son semejantes a lo reportado en la literatura (Gharby *et al.*, 2015) para semillas de ajonjolí. En el caso del aceite (Cuadro 1), se observa que los parámetros son aceptables ya que se encuentran dentro del intervalo establecido en el *Codex Alimentarius*, 1981. Debido al alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados y monoinsaturados, los valores de índice de acidez y de peróxidos indican el grado de deterioro o rancidez del aceite, los resultados muestran que el método de extracción no interfirió en la calidad del mismo.

El Índice de acidez y de peróxidos de aceites extraídos de la semilla de ajonjolí tratada térmicamente, con (HC, MO) y sin tratamiento (ASST) (Cuadro 2), mostro que los aceites extraídos cumplen con los límites establecidos y son adecuados para su consumo. En cuanto al tratamiento en HC, se observó que los índices aumentaron ligeramente con respecto a la temperatura y tiempo de exposición sin rebasar el límite establecido, esto concuerda con los estudios realizados por Yoshida y Takagi (1997) y Abou-Gharbia *et al.* (1997) quienes reportaron que el tostado incrementa ligeramente el contenido de peróxidos respecto a la semilla sin tratamiento. Por otro lado se observa que el tratamiento en MO durante 2.5 minutos no incrementó significativamente el valor

Cuadro 1. Características del aceite de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.).

Parámetro	Referencia*	Muestra
Gravedad específica (20 °C)	0.915-0.923	0.912±0.004
Índice de refracción (20 °C)	1.465-1.469	1.468±0.003
Índice de saponificación (mg de KOH/ g de aceite)	187-195	184±0.9
Índice de Yodo	104-120	104±0.7
Índice de Acidez	4 mg de KOH g ⁻¹ de aceite máx.	2±0.1 mg de KOH g ⁻¹ de aceite máx
Índice de Peróxidos	10 meq kg ⁻¹ de aceite máx.	5±0.5 meq kg ⁻¹ de aceite máx.

*Codex Alimentarius, 1981

de ambos índices, sin embargo durante 5 min, aumentaron ambos parámetros, ya que su temperatura fue mayor (122.5±2.0 °C y 163.7±3.6 °C, 2.5 y 5 minutos respectivamente) así que se muestra la misma tendencia que el aceite de semilla tratada en HC, es mejor el calentamiento en MO por tiempos cortos.

Los resultados de AA de la semilla y aceite de ajonjolí con y sin tratamiento se muestran en los Cuadros 3 y 4, donde se observa que los controles tuvieron un valor de AA de 0 que indica la mayor oxidación y, también que ninguno de los tratamientos realizados igualó el poder antioxidante del BHT (AA-90.3%). Las semillas tratadas en HC a 175 °C y MO, ambas durante 2.5 minutos (Cuadro 3), fueron las de mayor AA. Existen estudios sobre la formación de sustancias con AA durante el tratamiento térmico de la semilla como el sesamol (Lee *et al.*, 2010), compuestos fenólicos de bajo peso molecular (Jeong *et al.*, 2004) y pigmentos productos de la reacción de Maillard (Yoo *et al.*, 2004) que explican un valor mayor de AA; no obstante la interacción y el efecto sinérgico o antagónico que pueda existir entre estos metabolitos, aún no ha sido estudiado (Wang *et al.*, 2014), sin embargo, esto último podría explicar

que a mayor temperatura (200 °C) y tiempo de exposición (5 min) la AA disminuye, a pesar de ello, los resultados indican hasta 175 °C en tiempos cortos se promueve mayor AA que la semilla sin tratar.

En cuanto al aceite, el Cuadro 4 muestra la misma tendencia que en la semilla, ya que los valores mayores de AA se registraron en el tratamiento en HC a 175 °C y MO, ambos durante 2.5 min. De acuerdo a Suja *et al.* (2004) los responsables de la estabilidad oxidativa del aceite de ajonjolí son el sesamol y sesaminol, y éste último es altamente estable al calor (Ramarathnam *et al.*,

1995), además de la formación de compuestos fenólicos y los productos de la reacción de Maillard.

Las semillas y aceites con tratamiento que mostraron mayor AA se almacenaron durante seis meses; y en cuanto a la semilla, los resultados (Figura 2) muestran que a mayor tiempo de almacenamiento la AA disminuye en todos los casos, registrando mayor valor (18.6 unidades de AA) en la SST, seguida de la tratada en HC a 175 °C durante 2.5 min (8.1) y de la calentada en MO durante 2.5 min (3.4). Al parecer la presencia, liberación y formación de compuestos antioxidantes durante el calentamiento protege de la oxidación a las muestras de aceite. Ambos tratamientos térmicos tienen un efecto positivo en la estabilidad de la AA de la semilla de ajonjolí, y por lo tanto son buena alternativa para mejorar sus propiedades, sin embargo el tratamiento en HC tiene mejores características sensoriales y es mayor el valor inicial de AA.

La AA de los aceites almacenados (Figura 3) disminuyó en todos los

Cuadro 2. Características del aceite de semilla de *Sesamum indicum* L. tratadas térmicamente.

Tratamiento	Índice de acidez (mg KOH g ⁻¹ aceite)	Índice de peróxidos (meq kg ⁻¹ aceite)
AST °C/minutos)	2.0±0.1 ^a	5.0±0.5 ^b
Tratamiento en horno convencional (HC)		
150/2.5	2.2±0.2 ^{ab}	6.1±0.2 ^c
150/5	3.3±0.5 ^d	8.5±0.3 ^e
175/2.5	2.5±0.2 ^{bc}	3.0±0.1 ^a
175/ 5	3.8±0.1 ^d	9.0±0.3 ^e
200/ 2.5	2.9±0.3 ^c	7.0±0.2 ^d
200/ 5	4.0±0.2 ^d	8.6±0.3 ^e
Tratamiento en horno de microondas (MO)		
2.5 min	2.3±0.5 ^{ab}	5.5±0.5 ^{bc}
5 min	3.9±0.1 ^d	10.3±0.1 ^f
Codex Alimentarius, 1981	4.0 máx	10 máx

AST: Aceite semilla sin tratamiento

Cuadro 3. Actividad Antioxidante de semilla de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) tratada térmicamente.

Tratamiento	Valor Antioxidante (AOX) (1/h)	Actividad Antioxidante (AA)	Velocidad de oxidación (ORR)	Coefficiente de actividad antioxidante (AAC)
BHT	-0.035±0.004	90.6±1.2	0.095±0.014	906.8±10.1
Control	-0.372±0.003	0.0	1.0	0.0
SST	-0.194±0.002	47.9±0.5	0.521±0.005	478.0±8.2
Tratamiento en horno convencional (°C/minutos)				
150/2.5	-0.142±0.003	61.7±0.7	0.383±0.007	617.8±4.1
150/5	-0.190±0.003	48.9±0.7	0.510±0.006	483.4±5.6
175/2.5	-0.085±0.004	77.2±1.1	0.228±0.011	774.6±30.3
175/5	-0.147±0.001	60.6±0.3	0.394±0.003	598.6±8.1
200/2.5	-0.186±0.002	50.1±0.5	0.499±0.005	507.2±6.8
200/5	-0.311±0.008	16.4±2.2	0.836±0.022	157.3±15.6
Tratamiento en horno de microondas				
2.5 min	-0.135±0.002	63.7±0.6	0.363±0.006	647.2±2.1
5 min	-0.318±0.002	14.5±0.6	0.855±0.006	155.5±7.4

SST: Semilla sin tratamiento.

casos, registrando la mayor pérdida en los aceites extraídos de la SST, seguida de la que se trató en HC y por último de aquella calentada en MO. De acuerdo a Kim (2000) la estabilidad del aceite de semilla sin tostar es baja, no así con el aceite que proviene de semillas tratadas térmicamente, tal como se observa en este estudio. Yoshida y Tagaki (1997) citaron que la presencia de sesamol se incrementa conforme la temperatura aumenta, mientras que Jeong *et al.* (2004) señalaron que el tostado de semilla de ajonjolí entre 160 °C y 200 °C incrementa la estabilidad del aceite por la liberación de compuestos antioxidantes. Ambos tratamientos térmicos tienen un efecto positivo ya que la pérdida de AA es menor en comparación con el aceite de semilla sin tratar.

La calidad del aceite almacenado se evaluó mediante el índice de acidez y peróxidos, la Figura 4 y 5 muestran que éstos se incrementan con respecto al tiempo de almacenamiento para todas las muestras. El aceite de la SST tiene mayor incre-

mento debido probablemente a la nula inactivación de enzimas que producen cambios, tales como lipasas y lipoxigenasas y a menor presencia de sustancias antioxidantes. En cuanto al aceite de semilla tratada en HC y MO durante 2.5 min, el incremento fue menor debido a la formación e interacción de compuestos antioxidantes dada por la aplicación del tratamiento térmico. Los valores obtenidos en este trabajo son menores a los reportados por Abou-Gharbia *et al.* (2000), quienes almacenaron aceite de ajonjolí durante 35 días a 65 °C en contenedores abiertos en la oscuridad, las diferencias encontradas pueden explicarse por las condiciones de almacenamiento aplicadas, ya que en este trabajo se almacenaron a temperatura ambiente, en recipientes cerrados en la oscuridad, favoreciendo así la estabilidad del aceite.

CONCLUSIONES

El tratamiento térmico en horno convencional (150 °C

Cuadro 4. Actividad Antioxidante de aceite de semilla de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) tratada térmicamente.

Tratamiento	Valor Antioxidante (AOX) (1/h)	Actividad Antioxidante (AA)	Velocidad de oxidación (ORR)	Coefficiente de actividad antioxidante (AAC)
BHT	-0.035±0.004	90.6±1.2	0.095±0.014	906.8±10.1
Control	-0.372±0.003	0.0	1.0	0.0
AST	-0.195±0.003	47.6±0.9	0.524±0.009	469.5±9.9
Tratamiento en horno convencional (°C/minutos)				
150/ 2.5	-0.146±0.004	60.8±1.1	0.392±0.011	599.9±16.4
150/ 5	-0.142±0.007	61.7±1.8	0.383±0.019	611.6±18.8
175/ 2.5	-0.085±0.001	77.2±0.4	0.228±0.004	774.6±3.9
175/ 5	-0.147±0.001	60.6±0.3	0.394±0.003	598.6±8.1
200/ 2.5	-0.270±0.002	27.5±0.6	0.725±0.006	289.0±3.6
200/ 5	-0.307±0.007	17.4±1.9	0.826±0.019	166.2±21.6
Tratamiento en horno de microondas				
2.5 min	-0.109±0.001	70.8±0.4	0.292±0.004	723.1±2.7
5 min	-0.230±0.002	38.1±0.4	0.619±0.004	388.4±1.3

AST: Aceite de semilla sin tratamiento.

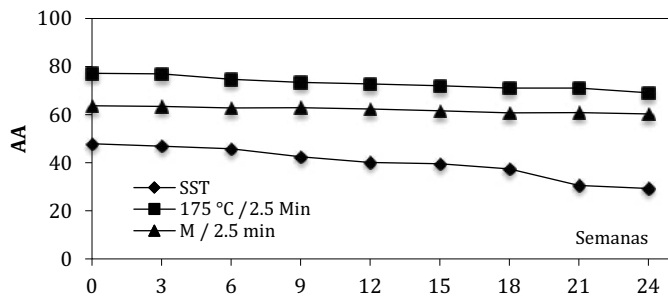


Figura 2. Actividad antioxidante de semilla de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) sin y con tratamiento térmico durante su almacenamiento.

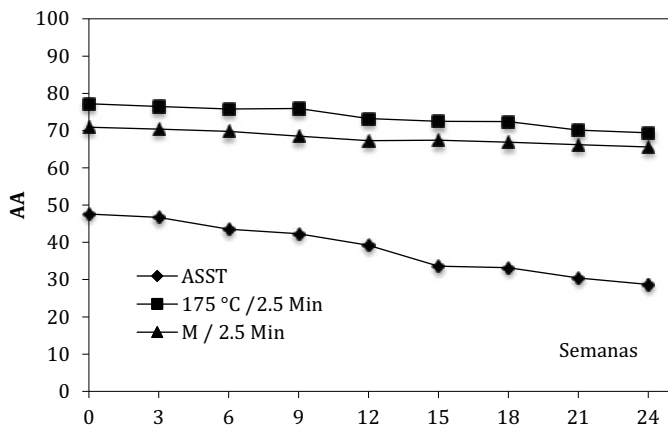


Figura 3. Actividad antioxidante de aceite de semilla de *Sesamum indicum* L. sin y con tratamiento térmico durante su almacenamiento.

y 175 °C) y microondas en tiempos cortos (2.5 min) mejora la AA de la semilla y aceite de ajonjolí, así como su estabilidad durante seis meses de almacenamiento a temperatura ambiente. La generación de sustancias antioxidantes durante el tratamiento térmico y su interacción explican en parte este comportamiento sin embargo estudios sobre el efecto antagónico o sinérgico de estas sustancias debe realizarse.

LITERATURA CITADA

Abou-Gharbia H.A., Shehata A.A.Y., Shahidi F. 2000. Effect of processing on oxidative stability and lipid classes of sesame oil. *Food Research International* 33(5): 331-340.

Abou-Gharbia H.A., Shahidi F., Adel A., Shehata Y., Youssef M.M. 1997. Effects of processing on oxidative stability of sesame oil extracted from intact and dehulled seeds. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 74(3): 215-221.

Association of Official Analytical Chemists. *Official Methods of Analysis AOAC*. 1984. Vol. 1. Ed. Sidney Williams. USA. p 437, 259, 249, 159, 160.

American Association of Cereal Chemists. 1983. *Approved Methods of the Association of Cereal Chemists*. Vol I. Edit. Paul Minn. USA. p. 10-10 B.

Codex Alimentarius. *Grasas, Aceites y Productos derivados*. FAO-OMS.

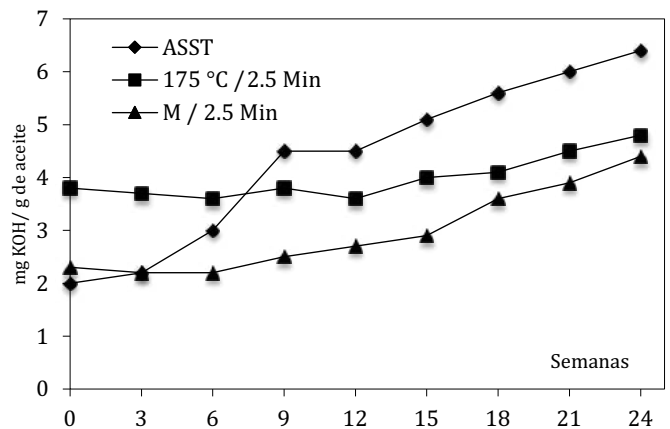


Figura 4. Índice de acidez de aceites extraídos de semillas de *Sesamum indicum* L., tratadas térmicamente.

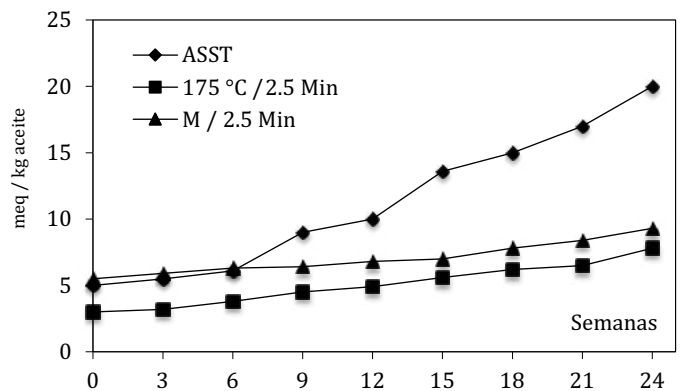


Figura 5. Índice de peróxidos de aceites extraídos de semillas de *Sesamum indicum* L. tratadas térmicamente.

Norma del Codex para el aceite de sesámo comestible. Stan 26-1981.

Chávez R., Plaza A., de Ugaz O.L. 2013. Antioxidantes de origen vegetal. *Revista de Química* 10(1): 71-101.

Gharby S., Harhar H., Bouzoubaa Z., Asdadi A., El Yadini A., Charrouf Z. 2017. Chemical characterization and oxidative stability of seeds and oil of sesame grown in Morocco. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 16(2): 105-111.

Jeong S.M., Kim S.Y., Kim D.R., Nam K.C., Ahn D.U., Lee S.C. 2004. Effect of seed roasting conditions on the antioxidant activity of defatted sesame meal extracts. *Journal of Food Science*, 69(5).

Kavuncuoglu H., Capar T.D., Karaman S., Yalcin H. 2017. Oxidative stability of extra virgin olive oil blended with sesame seed oil during storage: an optimization study based on combined design methodology. *Journal of Food Measurement and Characterization* 11(1): 173-183.

Kim H.W. 2000. Studies on the antioxidative compounds of sesame oils with roasting temperature. *Korean Journal of Food Science and Technology* 32(2): 246-251.

Lee S.W., Jeung M.K., Park M.H., Lee S.Y., Lee J. 2010. Effects of roasting conditions of sesame seeds on the oxidative stability of pressed oil during thermal oxidation. *Food Chemistry* 118(3): 681-685.

- Ramarathnam N., Osawa T., Ochi H., Kawakishi S. 1995. The contribution of plant food antioxidants to human health. *Trends in Food Science & Technology* 6(3): 75-82.
- Suja K.P., Jayalekshmy A., Arumughan C. 2004. Free radical scavenging behavior of antioxidant compounds of sesame (*Sesamum indicum* L.) in DPPH• system. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52(4): 912-915.
- Velioglu Y.S., Mazza G., Gao L., Oomah B.D. 1998. Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46(10): 4113-4117.
- Villa M. 2005. Determinación de actividad antioxidante en la semilla de ajonjolí (*Sesamum indicum*). Tesis Ingeniero Bioquímico. ENCB. IPN.
- Wan Y., Li H., Fu G., Chen X., Chen F., Xie M. 2015. The relationship of antioxidant components and antioxidant activity of sesame seed oil. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 95(13): 2571-2578.
- Yoo M.A., Kim H.W., Kim K.H., Kang M.H. 2004. Antioxidant effect of brown substances separated from defatted roasted sesame dregs. *Food Science and Biotechnology* 13(3): 274-278.
- Yoshida H., Takagi S. 1997. Effects of seed roasting temperature and time on the quality characteristics of sesame (*Sesamum indicum*) oil. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 75(1): 19-26.

