

Estudio de la Conservación del Aceite de Amaranto Utilizando Diversos Antioxidantes

José Alberto Ariza*, Fernando López, Claudia Montalvo, Amicla Arellano, Silvia Luna y Raúl Rene Robles.

Centro de Investigación en Biotecnología Avanzada-IPN, Tlaxcala. Sn. J. Molino s/n km 1,5 carretera estatal Sta. I. Tecuexcomac-Tepetitla de Lardizábal.90600
Tel. 01 (248) 487-0765, Fax. 487-0766.
e-mail: ariza_ortega@yahoo.com.mx

Palabras clave: *Amaranthus hypochondriacus*, aceite de amaranto, ácidos grasos insaturados, conservación de aceites.

RESUMEN

La semilla de amaranto contiene ácidos grasos esenciales y escualeno. Refinado y con antioxidantes se lograría un aceite competitivo. En este trabajo se estudió la conservación del aceite de amaranto midiendo los peróxidos en presencia y ausencia de antioxidantes naturales (vitamina E y semilla de uva) y uno sintético (butilhidroxitolueno). Se determinó el punto de humo y se sometió a pruebas de foto-oxidación. En los tres casos los resultados fueron analizados estadísticamente por medio del ANAVAR y la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Primeramente se encontró que la vitamina E al 0.02 (v/v) mostró un mayor efecto protector con 54% de poder antioxidante. En la segunda prueba el punto de humo se presentó a los 220 °C, por lo que se recomienda su empleo para freír. Sin embargo, se encontró que el índice de peróxido fue de 15 meq kg⁻¹ a un tiempo de 35 h, lo que indica la formación de los peróxidos, por lo que es necesario mantenerlo en oscuridad.

Key words: *Amaranthus hypochondriacus*, amaranth oil, unsaturated fatty acids, oil preservation.

ABSTRACT

The amaranth seed contains essential fatty acids and squalene. Refined and added with antioxidants it would be obtained a highly competitive oil. In this work, the preservation of amaranth oil was studied measuring the formation of peroxides with and without natural (vitamin E and grape seed) and synthetic antioxidants (butylated hydroxytoluene). The smoke point was also determined and the amaranth oil was submitted to the test photo-oxidation. In all three cases the results were statistically analyzed by the ANAVAR and Tukey test ($p \leq 0.05$). In the first case it was found that vitamin E at 0.02 (v/v) showed an increased protective effect of 54% for the conservation of oxidation. The smoke point was presented to the 220 °C, indicating that can be used for frying. For the photo-oxidation it was found a maximum rate of 15 meq kg⁻¹ at a time of 35 h, and the peroxides increasing, that is why this oil should be kept in dark conditions.

INTRODUCCIÓN

El amaranto pertenece a la familia *Amaranthaceae*, de la cual sólo se cultivan de manera importante *Amaranthus hypochondriacus*, *Amaranthus cruentus*, *Amaranthus pumilus*, *Amaranthus tricolor*, *Amaranthus retroflexus* y *Amaranthus hybridus* (Tudor & Bean, 1985, Marcone, 2000). El amaranto es una planta herbácea de origen tropical, adaptable a climas templados y semiáridos (Marcone, 2000). En México la producción anual es de 4,227,000 Kg, siendo el Estado de Puebla el principal productor con 3,059,000 Kg (SAGARPA, 2004). Con la semilla de amaranto se elaboran diversos productos, pero se conoce principalmente por el dulce tradicional denominado "alegría". La semilla de amaranto contiene compuestos nutritivos, entre ellos se encuentran los lípidos, como el escualeno, ácidos grasos y tocoferoles. El primero tiene una concentración de 9.26-10.34%, en los segundos predominan los ácidos grasos del tipo 18:1 (22.70%), 18:2 (40.83%) y 18:3 (7.7%), y los terceros se encuentran en un 60.45 por g de semilla (Marcone, 2000). Diversos estudios han demostrado que el amaranto presenta diversas aplicaciones nutraceuticas, como es la disminución del nivel de glucosa en sangre, combinado con otros cereales equilibra el patrón de aminoácidos, minerales y presenta un efecto hipocolesterolémico (Chaturvedi *et al.*, 1997). Además, los ácidos grasos 18:2 y 18:3 son importantes para producir las prostaglandinas que regulan muchos procesos corporales, por ejemplo, la inflamación y la coagulación de la sangre. Por otro lado, el escualeno presenta propiedades biológicas que ayudan a disminuir la presencia de los radicales libres y aumenta la resistencia inmunológica. Además, se usa en la industria de cosméticos para la elaboración de cremas y

bronceadores (He *et al.*, 2002, Amunziata *et al.*, 1999, Lehmann, 1996).

Los aceites son más susceptibles que las grasas a sufrir reacciones de deterioro por su contenido de ácidos grasos insaturados. Estas reacciones son aceleradas por el calor, la luz, la humedad y por trazas de metales (Badui, 1998, Fennema, 2000).

La baja estabilidad de los aceites puede ser prevenida por la adición de antioxidantes, de los cuales se recomiendan el α -tocoferol, butilhidroxianisol (BHA), butilhidroxitolueno (BHT), terbobutilhidroxiquinona (TBHQ), galato de propilo, tocoferoles mixtos y palmitato de ascorbilo (CODEX, 1981). El efecto protector depende de la composición y de las propiedades químicas del aceite o grasa.

Los aceites durante su almacenamiento sufren una degradación que afecta su vida útil. Para determinar los daños en el aceite se emplean métodos acelerados como el oxígeno activo, la bomba de oxígeno o la incubación en estufa. Además, para verificar la oxidación se usan pruebas sensoriales que son poco precisas y muy subjetivas, y los métodos físico-químicos, que aportan más información acerca del grado de oxidación, por ejemplo: los carbonilos totales, el índice de anisidina, índice de peróxido, ácido tiobarbitúrico, fluorescencia y cromatografía de gases (Fennema, 2000).

La finalidad de este trabajo fue: i) evaluar el efecto de antioxidantes naturales (vitamina E y aceite comercial de semilla de uva) y uno sintético (BHT) sobre el aceite de amaranto y ii) determinar la actividad protectora de la vitamina E, sometiendo al aceite de amaranto a pruebas termo-oxidativas y foto-oxidativas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó aceite de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) proporcionado por la industria San Miguel de Productos Agropecuarios, localizada en el Estado de Hidalgo, México; el aceite se refinó mediante el método de Ariza et al. (2004). El índice de acidez (IA) del aceite de amaranto refinado fue 0.05% expresado como porcentaje de ácido oleico y el índice de peróxido fue de 1.4 meq Kg⁻¹. Los disolventes utilizados fueron grado reactivo, los antioxidantes vitamina E y el BHT fueron adquiridos de Sigma-Aldrich, St Louis, Missouri. El antioxidante aceite comercial de semilla de uva, marca Medinatural, fue adquirido en una farmacia local, (Cd. de Puebla, México).

Efecto de los antioxidantes sobre el índice de peróxido del aceite de amaranto

Para determinar la actividad antioxidante de los aditivos empleados se desarrollaron pruebas de estabilidad, utilizando antioxidantes naturales como aceite de semilla de uva y vitamina E al 0.01 y 0.02 (v/v) y el antioxidante sintético BHT a 0.01 y 0.02 (g/L). Los antioxidantes fueron mezclados directamente en el aceite. Cada tratamiento se realizó por duplicado. La prueba de oxidabilidad se llevó a cabo por el método de Matissek et al. (1999). Para cuantificar el grado de oxidabilidad en el aceite, se realizaron 11 análisis en vasos de precipitado de 100 mL cada uno con 3g de muestra de aceite, se depositaron dentro de una estufa previamente calentada a 60 °C, donde se anotó el tiempo inicial (t=1), y se determinó el índice de peróxido usando la técnica de SECOFI (1987). Primero se cuantificó el índice de peróxido del aceite sin calentar (tiempo t=1). A continuación se llevaron a cabo los análisis de los 11 tratamientos restantes. Al cabo de 1 h se sacó uno de los vasos y se determinó el índice de peróxido (t=1 h). Se realizó la misma operación

en el resto de las muestras al cabo de 2, 3, 5, 7, 8, 20, 30, 40, 60 y 80 h (t=2 hasta 80 h).

Cuantificación de la actividad antioxidante de los conservadores en el aceite de amaranto

De la prueba anterior la actividad antioxidante (AA) de los conservadores se determinó por duplicado comparando la pendiente del índice de peróxido en función del tiempo de cada antioxidante: semilla de uva y vitamina E a 0.01 y 0.02 v/v, y BHT a 0.01 y 0.02 g/L (A_E), con la pendiente producida por el aceite sin conservador (A_C). Los valores obtenidos se sustituyeron en la ecuación reportada por Hudson & Mahgoub (1981) para obtener la gráfica que describe la capacidad de los antioxidantes para inhibir o disminuir el proceso oxidativo.

$$\% AA = \frac{A_C - A_E}{A_C} \times 100$$

Tratamiento termo-oxidativo en el aceite de amaranto

Una vez que se encontró que la vitamina E al 0.02 (v/v) era el mejor antioxidante, el aceite de amaranto se sometió a una prueba termo-oxidativa en presencia de dicha vitamina. Para ello se siguió la metodología reportada por Matissek et al. (1999). El tratamiento termo-oxidativo se realizó por duplicado en vasos de precipitado de 100 mL a temperatura de 50, 70, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 220 y 240 °C por 15 minutos. Se midió el color fotométrico inicial y final, empleando el método reportado por Allen et al. (1982) y el índice de acidez mediante la técnica de SECOFI (1987).

Tratamiento de foto-oxidación en el aceite de amaranto

La prueba de foto-oxidación se realizó sobre aceite de amaranto en presencia de vitamina E al 0,02(v/v) y se colocó dentro de una cámara

de luz incandescente (1650 luxes). El área de la cámara de luz fue de 120 cm², el aceite se depositó en frascos cerrados transparentes a 55 °C. Los tratamientos se realizaron por duplicado. La prueba de foto-oxidación, se determinó por el método de Matissek et al. (1999), que mide el índice de peróxido del aceite a dos temperaturas diferentes, la ambiental (24 °C) y a una temperatura superior (60 °C), de manera intermitente a diferentes tiempos para formar la cinética de oxidación; el índice de peróxido se cuantificó usando la técnica de SECOFI (1987).

Cuantificación del escualeno en el aceite de amaranto

La determinación del contenido de escualeno en el aceite de amaranto se realizó según la técnica del AOAC (1990).

Análisis estadístico

Se hizo un análisis de varianza mediante el procedimiento ANAVAR y se compararon las medias de los tratamientos mediante la prueba de Tukey, $p < 0.05$, (SAS, 1996).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de los antioxidantes sobre el índice de peróxido del aceite de amaranto

Los resultados de la cinética de oxidación del aceite de amaranto en términos del índice de peróxido con y sin antioxidantes a una concentración de 0.01 (v/v) y a 60 °C son mostrados en la Fig. 1.

Se observa un incremento del índice de peróxido en los diferentes tratamientos con

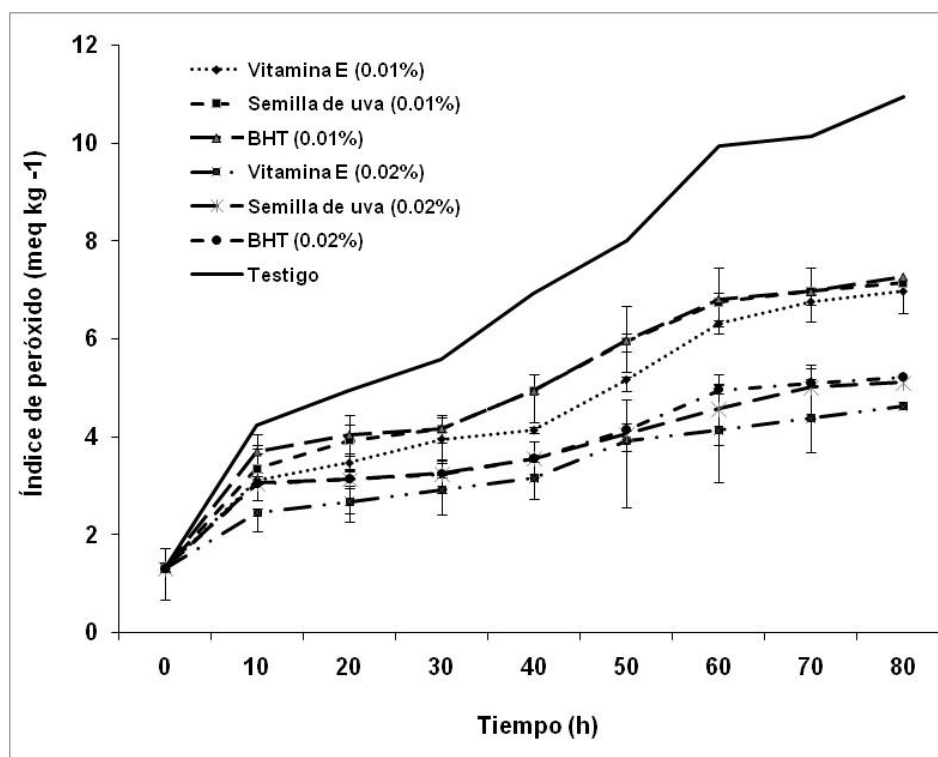


Fig. 1. Determinación del índice de peróxido del aceite de amaranto con antioxidantes naturales: vitamina E y semilla de uva al 0.01 y 0.02 (v/v) y un sintético: BHT (g/L), empleando el método

antioxidantes al 0.01 (v/v) con respecto al tiempo. A las 70 h el índice de peróxido aumentó en promedio 6.5 meq kg^{-1} en los tres antioxidantes probados; en este mismo lapso de tiempo el grupo testigo mostró un índice de peróxido de 10 meq kg^{-1} . Los tratamientos con los antioxidantes (vitamina E, semillas de uva y BHT), no mostraron diferencia significativa ($p > 0.05$) entre ellos, pero el grupo testigo sí fue diferente a los grupos tratados ($p \leq 0.05$).

Cuando se incrementó la concentración de los antioxidantes se observaron cambios cualitativos y cuantitativos (Fig. 1). En este estudio, se observó que a las 70 h el índice de peróxido de los tratamientos aumentó a 4 meq kg^{-1} , mientras que en el testigo el índice de peróxido fue de 10 meq kg^{-1} . La concentración de antioxidante de 0.02 (v/v) fue más efectiva ($p \leq 0.05$) que la de 0.01 (v/v) para preservar el aceite. Reische et al. (2002) estudiaron diferentes concentraciones de antioxidantes e indicaron que la estabilidad antioxidante del conservador debe presentar las siguientes características, tener una estabilidad oxidativa, adicionado a bajas concentraciones, obtener una máxima actividad antioxidante, y no ser prooxidante.

Por otro lado, Matissek et al. (1999) proponen una clasificación de las grasas y los aceites sometidas a pruebas aceleradas ($60 \text{ }^\circ\text{C}$ a 48 h): aceites con un índice de peróxido de 8 a 12 meq kg^{-1} se consideran estables, con un IP de 20 a 24 meq kg^{-1} la estabilidad esta condicionada de tres a cuatro meses, y si es mayor a 24 meq kg^{-1} los aceites deben refinarse ya que no son estables. Así se determinó que el aceite de amaranto refinado es estable por tiempos superiores a cuatro meses cuando se adicionan antioxidantes como los usados en este trabajo, debido a que su índice de peróxido es menor a 8 meq kg^{-1} a 70 h.

Cuantificación de la actividad antioxidante de los conservadores en el aceite de amaranto

Los resultados del efecto de los conservadores en el aceite de amaranto, se observan en la (Fig. 2).

Todos los conservadores mostraron actividad antioxidante a una concentración de 0.01 (v/v), dando una actividad antioxidante menor a

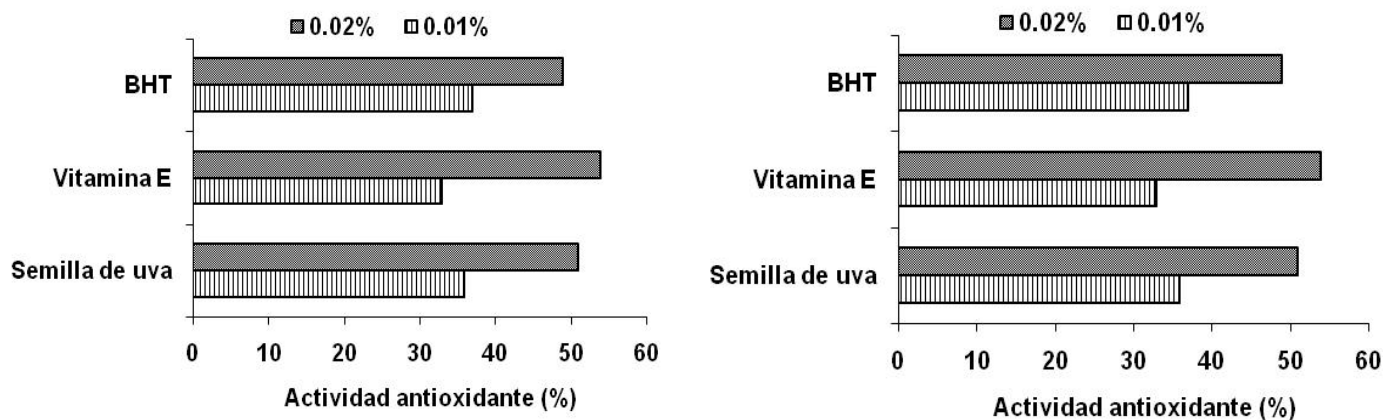


Fig. 2. Cuantificación de la conservación del aceite de amaranto con antioxidantes naturales: vitamina E y semilla de uva al 0.02 (v/v) y sintético: BHT (g/L), empleando el método acelerado a $60 \text{ }^\circ\text{C}$.

35.3%; el antioxidante sintético (BHT) presentó una mayor actividad con 37%. Cuando la concentración de los conservadores se incrementó a 0.02 (v/v), la actividad antioxidante aumentó en la mayoría de los casos (51.3%). La vitamina E fue mejor al presentar 54% de actividad (Fig. 2), debido a que los tocoferoles donan un átomo de hidrógeno de su anillo cromano del grupo 6-hidroxi al radical peroxi, originando hidroperóxidos y radicales tocoferol-peroxi. El electrón no apareado del antioxidante se deslocaliza dentro del anillo aromático lo que estabiliza el compuesto formado y deteniendo de esta manera la oxidación del aceite (Liebler *et al.*, 1990, Simic, 1980).

El aceite de amaranto se preservó satisfactoriamente con vitamina E (α -tocoferol) a 0.02 (v/v) y 60 °C, es decir a una baja concentración del α -tocoferol y a una temperatura en la cual difícilmente se almacenaría. Al respecto, Jung & Min (1990), analizaron distintas concentraciones de tocoferoles para disminuir la oxidación del aceite de soya almacenado en la oscuridad a 55 °C, el mejor resultado fue a una concentración de 100 ppm en comparación con

las mejores concentraciones recomendadas a 250 y 500 ppm. Por otro lado, Hiroaki & Kenji (1997) utilizaron α -tocoferoles al 0.2 (m/m) sobre el aceite de sardina, el cual almacenaron a 40 °C, obtuvieron una actividad antioxidante de 71% en el aceite de sardina.

Según las Normas Mexicanas (SECOFI, 1985a y 1985b) la concentración máxima para el empleo de α -tocoferol es 0.03 (v/v) para preservar los aceites de maíz y cártamo. Entonces, se propone usar 0.02 (v/v) de α -tocoferol y almacenarlo a temperatura ambiente o en refrigeración. Al respecto, hay que mencionar que de acuerdo a la literatura, la semilla de amaranto de la especie *A. hypochondriacus* contiene 374 ppm de α -tocoferol, después de la extracción se reportan 370 ppm, (Sun *et al.*, 1997). Sin embargo se sabe que durante los procesos de refinación y blanqueo, debido al material empleado, gran parte del α -tocoferol se pierde.

Tratamiento termo-oxidativo en el aceite de amaranto

Los resultados de la prueba termo-oxidativa en el aceite de amaranto se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros realizados al aceite de amaranto.

Aceites	PH (°C)	Cfi (unidades)	Cff (unidades)	IAi	IAf	Ipi (meq kg ⁻¹)	Ipf (meq kg ⁻¹)
Testigo	150±0.047	3.2±0.087	4.6±0.033	0.05±0.004	1.87±0.051	1.4±0.072	15±0.080
AAE	220±0.032	3.2±0.010	4.3±0.021	0.05±0.007	0.88±0.030	1.4±0.011	11±0.045

PH: Punto de humo. Cfi y Cff: Color fotométrico, inicial y final, IAi e IAf: Índice de acidez, inicial y final (expresado como porcentaje de ácido oleico). Ipi e Ipf: Índice de peróxido inicial y final: Ipi e Ipf. Testigo: Aceite de amaranto sin antioxidante, AAE: Aceite de amaranto con vitamina E (0.02%).

Como se puede observar, el aceite de amaranto con vitamina E tuvo un índice de acidez de 0.88 expresado como porcentaje de ácido oleico y un punto de humo superior a los 215 °C, el aceite de amaranto sin antioxidante (testigo) presentó un índice de acidez de 1.87 y un punto de humo menor a 215 °C, (Tabla 1), éste último no es adecuado para freír porque se cuantificaron una mayor cantidad de ácidos grasos libres debido a la oxidación térmica, y estos no son un buen indicador de calidad del aceite, porque reaccionan rápidamente para formar polímeros y compuestos volátiles (Paul & Mittal, 1997). Por otra parte, Psomiadou & Tsimidou (2002) reportaron que el α -tocoferol a una concentración de 100 mg kg⁻¹ retardó la degradación del aceite de oliva, siendo más apropiada cuando los productos de oxidación alcanzan concentraciones críticas, ya que este antioxidante es consumido en las primeras etapas de la oxidación, preservando el aceite.

Con respecto al cambio en el color, los tratamientos de aceite de amaranto (testigo y con antioxidante) presentaron una oxidación en el color de 1 unidad, esto debido al contenido de pigmentos como carotenos, que al incrementar la temperatura se oxidaron rápidamente (Psomiadou & Tsimidou, 2002).

En la degradación de los ácidos grasos, el testigo presentó un incremento de 6 veces en el índice de peróxido y en el aceite con antioxidante se incrementó a 5 veces este índice. Romero *et al.* (2000), reportaron que los peróxidos presentan una mayor inestabilidad bajo condiciones extremas de temperatura y estos forman productos de oxidación secundaria (compuestos polares, volátiles y polímeros) y al cuantificarlos, éste valor es bajo porque los peróxidos tienden a descomponerse a 180 °C.

El aceite de amaranto con antioxidante y

posiblemente el contenido de escualeno se mantuvo estable, ya que se encontró un total 12 g de escualeno por kg de aceite; este hidrocarburo insaturado presenta propiedades antioxidantes, como lo reportaron Bolland & Hughes (1949), cuando investigaron la autooxidación del escualeno a 55 °C y dedujeron que por cada molécula oxidada de escualeno dos moléculas de oxígeno son consumidas, debido a la reacción del escualeno con el radical libre y la formación final de un diperoxido. Indicaron que los radicales ciclan de forma más eficiente la molécula de escualeno que un átomo de hidrógeno, debido al espacio entre los dobles enlaces del escualeno que favorece la ciclización de los radicales peroxi. Además, mencionan que los productos de la oxidación del escualeno permanecen invariables durante un parámetro de absorción de oxígeno, de modo que no pueden participar enérgicamente en la propagación de las reacciones. Hay que destacar que el contenido de escualeno en el aceite de amaranto se encuentra en el intervalo descrito en la Legislación de la Comunidad Europea, que es de 8 a 12 g kg⁻¹, para evaluar la calidad del aceite de oliva virgen (Lanzón *et al.*, 1994).

Tratamiento de foto-oxidación en el aceite de amaranto

Los resultados de la prueba de foto-oxidación en el aceite de amaranto se muestran en la Fig. 3. Como se puede observar, en general, existe un incremento del índice de peróxido en los diferentes tratamientos con el antioxidante al 0.02 (v/v) con respecto al tiempo. A las 35 h de estudio el índice de peróxido se incrementó en promedio 15 meq kg⁻¹ con el antioxidante probado, lo cual incrementó la oxidación de los ácidos grasos por la formación de los hidroperóxidos. La alta

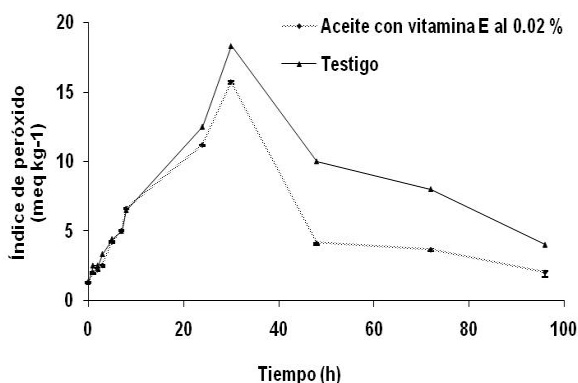


Fig. 3. Tratamiento de foto-oxidación del aceite de amaranto

reactividad del grupo metileno adyacente al doble enlace, es acelerado por la luz, debido a que la energía luminosa presenta longitudes de onda más corta que origina efectos perjudiciales en un menor tiempo en comparación con la oxidación por el oxígeno (Sattar *et al.*, 1976). En el aceite de amaranto se formaron reacciones de oxidación y esto ocasionó la presencia de olor a rancio, indicativo de la producción de compuestos carbonílicos, hidrocarburos, furanos sustituidos, aldehídos, alcoholes y cetonas (Ceballos *et al.*, 2003); por otro lado en este mismo lapso de tiempo el grupo testigo mostró un índice de peróxido de 18 meq kg^{-1} . Es decir, el antioxidante retardó la degradación del aceite ($p < 0.05$), sin embargo se presentó al mismo tiempo que en el testigo.

Es muy probable que la presencia de escualeno en el testigo (12 g kg^{-1} de aceite) haya favorecido su conservación como reportan Psomiadou & Tsimidou (1999), quienes indican que 7 g kg^{-1} de escualeno es suficiente para retardar los efectos de la oxidación en el aceite de oliva virgen.

CONCLUSIONES

La vitamina E a una concentración de 0.02 (v/v) proporcionó al aceite de amaranto un efecto protector de 54% de actividad antioxidante, lo cual mantuvo estables a los ácidos grasos y no presentó el olor a rancio característico de deterioro, ya que los productos de oxidación (hidroperóxidos) y los procesos de auto-oxidación de los ácidos grasos fueron mínimos. Por tanto, la vitamina E al 0.02 (v/v) es el mejor antioxidante de los tres estudiados y, además, es un producto natural. El resultado del 54% de efecto protector indica que el aceite de amaranto se puede almacenar por cuatro meses, de lo cual se infiere que si el aceite se almacena a temperatura ambiente, el índice de peróxidos sería menor y se podría almacenar por periodos más prolongados. El aceite de amaranto con vitamina E a una concentración de 0.02 (v/v), se puede utilizar para freír porque tiene un punto de humo de $220 \text{ }^\circ\text{C}$, manteniendo su olor y sabor característico. Además, tiene un efecto protector sobre los ácidos grasos, sin embargo al exponerlo a la luz, el aceite incrementó los productos de oxidación (hidroperóxidos) y los procesos de auto-oxidación de los ácidos grasos y presentó el olor a rancio característico de deterioro, por lo tanto el aceite de amaranto debe almacenarse donde no incidan los rayos de luz directamente.

REFERENCIAS

- Allen RR, Formo MW, Krishnamurthy RG, Mcdermott GN, Norris AF & Sonntag OV (1982) *Bailey's industrial oil and fat products. In: Physical properties of fats and fatty acids.* Swern D (ed). John Wiley & Sons, New York, pp. 666-679.
- Amunziata C, Massaro M & Siculella L (1999) Oleic acid inhibits endothelial activation. *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol.* 19: 220-228.

Artículos

AOAC (2005) Official methods of analysis of AOAC international. *In: Fats and oils*. Horwitz W (ed). AOAC International, Maryland, USA., pp. 963-967.

Ariza OJA, López VF, Montalvo PC, Arellano HA & Luna SS (2004) Desgomado y neutralizado del aceite de amaranto. *C. Tecnol. Alim. (Cuba)*. 14: 28-32.

Badui JS (1998) Química de los alimentos. *En: Lípidos*. Longman de México (eds). Alambra, España., pp. 158-200

Belton PS & Taylor JRN (2002) Grain properties and utilization potential, pseudocereals and less common cereals. Springer-Verlag, Berlin.

Bolland JL & Hughes H (1949) The primary thermal oxidation product of squalene. *J. Chem. Soc.* 26: 492-497.

Chaturvedi A, Sarojini G, Nirmala G, Nirmalamma N & Satyanarayana D (1997) Glycemic index of amaranth grain, wheat and rice in NIDDM subjects. *Plant Foods Hum. Nutr.* 50: 171-178.

Ceballos C, Moyano MJM, Vicario I & Heredia JF (2003) Chromatic evolution of virgin olive oil submitted to an accelerated oxidation test. *J. Ass. Oil Chem. Soc.* 80: 257-262.

CODEX (1981) Norma del CODEX para Grasas y Aceites Comestibles No Regulados por Normas Individuales, Secretaría del Programa Conjunto FAO/OMS sobre Normas Alimentarias. FAO, Roma., pp. 1-5.

Fennema OR (2000) Química de los Alimentos. Acirbia, España. Fritch CW (1981) Measurements of frying-fat deterioration: a brief review. *J. Ass. Oil Chem. Soc.* 54: 234-238.

He H, Cai PY, Sun M & Corke H (2002) Extraction and purification of squalene from *Amaranthus* grain. *J. Agric. Food Chem.* 50: 368-372.

Hiroaki S & Kenji I (1997) Antioxidant activity and active sites of phospholipids as antioxidants. *J. Ass. Oil Chem. Soc.* 74: 1531-1536.

Hudson BJ & Mahgoub SE (1981) Synergism between phospholipids and naturally occurring antioxidants in leaf lipids. *J. Sci. Food Agric.* 32: 208-210.

Jung MY & Min DB (1990) Effects of α -, γ -, and δ -tocopherols on the oxidative stability of soybean oil. *J. Food Sci.* 55: 1464-1465.

King JM & Min DB (2002) Riboflavin-photosensitized singlet oxygen oxidation of vitamin D2. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 79: 583-587.

Lanzón A, Albi T, Cert A & García J (1994) The hydrocarbon fraction of virgin olive oil and changes resulting from refining. *J. Ass. Oil Chem. Soc.* 71: 285-291.

Lehman JW (1996) Case history of grain amaranth as an alternative crop. *Cereal Foods World.* 41: 369-441.

Liebler DC, Baker PF & Kaysen KL (1990) Oxidation of vitamin E: evidence for competing autoxidation and peroxy radical trapping reaction of the tocopheroxyl radical. *J. Am. Chem. Soc.* 112: 6995-7000.

Marcone FM (2000) First report of the characterization of the threatened plant species *Amaranthus pumilus* (Seabeach Amaranth). *J. Agric. Food Chem.* 48: 378-382.

Martirosyan DM, Miroshnichenko LA, Kulakova SN, Pogojeva AV & Zolodov VI (2007)

Amaranth oil application for coronary heart disease and hypertension. *Lipids Health Dis.* 6: 1-12.

Matissek R, Schnepel MF & Sterner G (1999) Análisis de los Alimentos. *En: Fundamentos, Métodos y Técnicas.* Bosch JM (ed). Acirbia, España., pp. 297-302.

Paul S & Mittal GS (1997) Regulating the use of degraded oil/fat in deep-fat /oil food frying. *Critical Rev. Food Sci. Nutr.* 37: 635-662.

Peeled N, Gutfinger T & Letan A (1975) Effect of water and BHT on stability of cottonseed oil during frying. *J. Food Sci. Agric.* 26: 1655-1668.

Psomiadou E & Tsimidou M (1999) On the role of squalene in olive oil stability. 2. *J. Agric. Food Chem.* 47: 4025-4032.

Psomiadou E & Tsimidou M (2002) Stability of virgen olive. 2. Photo-oxidation studies, *J. Agric. Food Chem.* 50: 722-727.

Reische DW, Lillard DA & Eitenmiller RR (2002) Antioxidants. *In: Food lipids.* Akoh CC & Min DB (ed). New York: Marcel Dekker, pp. 489-516.

Romero A, Cuesta C & Sánchez-Muñiz FJ (2000) Cyclic fatty acid monomers and thermoxidative alteration compounds formed during frying of frozen foods in extra virgin olive oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 77: 1169-1175.

SAGARPA (2004) Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. *En: Anuario Estadístico de Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos.* Por Cultivo., Secretaría de Salud, p. 65.

SAS Institute (1996) SAS User's Guide Statistics. *Statistical Analysis System.* Cary NC

versión 6.1.

Sattar A, DeMan JM & Alexander JC (1976) Effect of wavelength on light-induced quality deterioration of edible oils and fats. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.* 9: 108-113.

SECOFI (1985a) Norma Mexicana NMX-F-030-1985. *En: Alimentos-Aceite comestible puro de maíz.* Diario Oficial de la Federación. México, D.F., p. 7

SECOFI (1985b). Norma Mexicana NMX-F-161-1985. *En: Alimentos-Aceite comestible puro de cártamo.* Diario Oficial de la Federación. México, D.F., p. 5.

SECOFI (1987a). Norma Mexicana NMX-F-154-1987. *En: Determinación del índice deperóxido.* Diario Oficial de la Federación. México, D.F., pp. 1-5.

SECOFI (1987b). Norma Mexicana NMX-F-101-1987. *En: Determinación del índice de acidez.* Diario Oficial de la Federación. México, D.F., pp. 1-5.

Simic MG (1980) Kinetic and mechanistic studies of peroxy, vitamin E, and anti-oxidant free radicals by pulse radiolysis. *In: Autoxidation in food biological systems.* Simic MG & Karel M (eds). New York: Plenum Press, pp. 17-26.

Soren BE (1997) Explorative spectrometric evaluations of frying oil deterioration. *J. Ass. Oil Chem. Soc.* 74: 1495-1508.

Sun H, Wiesenborn D, Rayas-Duarte P, Mohamed A & Hagen K (1997) Bench-scale Processing of amaranth seed for oil. *J. Ass. Oil Chem. Soc.* 17: 413-418.

Tudor F & Bean G (1985) A comparison of the fatty acids and sterols of seeds of weedy and vegetable species of *Amaranthus spp.* *J. Ass. Oil Chem. Soc.* 62: 89-91.