

## Caracterización fisicoquímica y comportamiento térmico del aceite de "almendra" de guanábana (*Annona muricata*, L)

Por J. A. Solís-Fuentes,\* C. Amador-Hernández, M. R. Hernández-Medel y M. C. Durán-de-Bazúa<sup>1</sup>

Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Veracruzana. Av. Dos Vistas s/n carretera Xalapa-Las Trancas, 91000 Xalapa, Ver., México

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Química. Facultad de Química, UNAM Edificio "E", Labs 301-303, Cd. Universitaria, 04510 México, D.F.

(\*Autor para la correspondencia: jsolis@uv.mx, juliosolis@lycos.com)

### RESUMEN

#### Caracterización fisicoquímica, comportamiento térmico del aceite de "almendra" de guanábana (*Annona muricata*, L)

En esta investigación se estudiaron las propiedades fisicoquímicas y el comportamiento térmico, mediante calorimetría diferencial de barrido y termogravimetría, del aceite extraído de las "almendras" de las semillas de guanábana (*Annona muricata*, L). Los resultados mostraron que las almendras de las semillas de guanábana contienen 2.5% de cenizas, 17.9% de fibra cruda, 15.7% de proteínas, 26.0% de carbohidratos y 37.7% de aceite (base seca). El aceite de las almendras de guanábana mostró una composición con predominio de ácidos grasos insaturados (68.5%) mayoritariamente oleico y linoleico y menores cantidades de palmitoleico y linoleico, principalmente; los ácidos grasos saturados fueron principalmente palmítico y esteárico (31.5%), el índice de refracción fue de 1.468, el valor de saponificación y de yodo fueron de 168.2 y 87.0 respectivamente. El análisis térmico mostró que este aceite inicia su cristalización a  $-4.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  y termina a los  $-79.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  con una entalpía de cristalización de  $48.2\text{ J/g}$  y funde en un intervalo que va de  $-42.4$  a  $16.9\text{ }^{\circ}\text{C}$  con un máximo de fusión a los  $-15.4\text{ }^{\circ}\text{C}$  y una entalpía de fusión de  $80.5\text{ J/g}$ . El contenido de grasa sólida (SFC) fue mínimo a temperaturas de refrigeración, manteniéndose líquido y libre de cristales a temperaturas superiores a los  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El análisis termogravimétrico mostró que la descomposición térmica del aceite en atmósfera inerte se inicia a los  $380\text{ }^{\circ}\text{C}$  y termina a los  $442\text{ }^{\circ}\text{C}$  con un valor máximo en la velocidad de descomposición a los  $412\text{ }^{\circ}\text{C}$ . En atmósfera oxidante el aceite inicia su descomposición a los  $206\text{ }^{\circ}\text{C}$  y concluye a  $567\text{ }^{\circ}\text{C}$ . De acuerdo con las características estudiadas las almendras de las semillas de guanábana tiene un alto contenido de aceite y éste posee características propias de los aceites de mesa.

**PALABRAS CLAVE:** Aceite de almendra de guanábana – Aceites vegetales – *Annona muricata* – Calorimetría diferencial de barrido – Termogravimetría

### SUMMARY

#### Physicochemical characterization and thermal behavior of guanabana (*Annona muricata*) seed "almond" oil

In this work some physicochemical properties and the thermal behavior and stability of sour sop or guanabana (*Annona muricata*) seed "almond" oil were studied by means

of chemical, DSC and TG analysis. The results showed that the almond has 2.5% ash, 17.9% crude fiber, 15.7% protein, 26.0% of carbohydrates and 37.7% oil (dry base). The composition of almond oil showed 68.5% unsaturated fatty acids, mainly oleic and linoleic, and some palmitoleic acids, and 31.5% saturated, principally palmitic and stearic fatty acids; refraction index was 1.468 and saponification and iodine value were 168.2 and 87.0, respectively. DSC thermal analysis showed that oil crystallization initiates at  $-4.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  and ends at  $-79.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  with a crystallization enthalpy of  $48.2\text{ J/g}$ ; the oil melts in a temperature range from  $-42.4$  to  $+16.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , with a maximum peak at  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  and a fusion enthalpy of  $80.5\text{ J/g}$ . The oil remained liquid at refrigeration temperatures with minimal SFC and free of crystals at temperatures over  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . TG analysis showed that the thermal decomposition of the oil in a  $\text{N}_2$  atmosphere starts at  $380\text{ }^{\circ}\text{C}$  and ends at  $442\text{ }^{\circ}\text{C}$ , with a maximum decomposition rate at  $412\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Under oxidizing conditions its decomposition begins at  $206\text{ }^{\circ}\text{C}$  and concludes at  $567\text{ }^{\circ}\text{C}$ . In accordance with this study, sour sop almond seed contains large amounts of an oil that possesses similar characteristics to those of salad and cooking oils.

**KEY-WORDS:** *Annona muricata* – Sour sop – Sour sop almond oil – DSC analysis – TG analysis – Vegetable oils.

### 1. INTRODUCCIÓN

La guanábana (*sour sop* en inglés) es una planta originaria de Sudamérica que actualmente está ampliamente distribuida en Asia y África; de creciente industrialización e importancia desde el punto de vista alimentario y farmacológico. Más de 100 especies de árboles y arbustos distribuidos en las regiones tropicales y subtropicales del mundo agrupa el género *Annona*. Algunas *Annonaceae* son de importancia económica, particularmente *A. muricata* conocida como guanábana y *A. cherimolia* o chirimoya, mismas que son apreciadas por sus frutos comestibles y fuente de insumos para perfumería. En los últimos años han despertado gran interés de investigación científica (Damico *et al.*, 2003).

El tallo, las hojas y semillas de las plantas de la familia *Annonaceae* han sido usadas históricamente en medicina tradicional por los pueblos indíge-

nas dadas sus capacidades antitumorales, parasiticidas y antidiarreicas (Bories *et al.*, 1991; Santos Pimenta, *et al.*, 2003). En la Amazonia brasileña, por ejemplo, las hojas son usadas para problemas de hígado; el aceite de las hojas y de los frutos inmaduros mezclado con aceite de oliva se ha usado en aplicaciones tópicas para el tratamiento de neuralgias, reumatismo y dolores artríticos; y las semillas se han utilizado para el combate de insectos y parásitos (Branch y da Silva, 1983).

Desde el punto de vista fitoquímico plantas de esta familia han sido investigadas intensamente en las diferentes partes de las plantas y frutos, motivadas inicialmente por el aislamiento de varios alcaloides (Hiroshi *et al.*, 2000) y después por la detección de acetogeninas annonáceas, productos naturales de diversidad estructural y amplio rango de actividades biológicas citotóxicas, antitumorales y pesticidas (Bories *et al.*, 1991; Gleye *et al.*, 1998; Kim *et al.*, 2001; Son *et al.*, 2003) y de ciclopéptidos que debido a sus características estructuras y estabilidad presentan relevante actividad biológica antitumoral, antifungal y antiviral (We'le *et al.*, 2004a, 2004b, 2005; Wu *et al.*, 2007).

No obstante ser la guanábana mayormente conocida por su fruto, altamente apreciado para su consumo en fresco y en productos elaborados (Peters *et al.*, 2001), poca atención se ha puesto a su estudio desde una perspectiva alimentaria y nutricional. Onimawo (2002) estudió la composición proximal de las semillas y algunas características fisicoquímicas de la almendra de las semillas de guanábana, mostrando que éstas pueden ser una fuente potencial de aceite comestible.

Las grasas y los aceites vegetales (GyA) son altamente apreciados por sus diversos usos industriales y culinarios debido a las propiedades nutricias y funcionales que proporcionan a los alimentos; éstas tradicionalmente se obtienen de las llamadas semillas oleaginosas. En los últimos tiempos extensa investigación se ha desarrollado por ubicar y ampliar las fuentes no convencionales de grasas y aceites lo que incluye además la generación de conocimiento en relación a su composición, propiedades físicas y térmicas. Entre estas últimas el comportamiento de fase y la estabilidad son aspectos importantes que determinan sus usos potenciales. Por sus ventajas en términos de precisión y sensibilidad, la calorimetría diferencial de barrido (DSC, por sus siglas en inglés) y el análisis termogravimétrico (TGA, por sus siglas en inglés) han sido utilizados recientemente para evaluar la calidad, el comportamiento térmico de fase y la estabilidad de GyA (Gouveia de Souza *et al.*, 2004; Santos *et al.* 2001, 2002; Sathivel *et al.* 2003; Tan y Che-Man 2000).

En este trabajo se estudiaron las características fisicoquímicas de la almendra y del aceite de la semilla de guanábana así como la conducta y estabilidad térmica del aceite como una manera de evaluar la posibilidad de aprovechar los residuos de la industrialización de esta importante fruta tropical.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Obtención de las muestras

Frutos de *Annona muricata* provenientes de la ciudad de Actopan, en la región central del estado de Veracruz, en México, fueron seleccionados y adquiridos tomando en cuenta su estado de madurez fisiológica, frutos con pericarpio (cáscara) color verde claro y brillante, y consistencia suave.

Los frutos fueron caracterizados en términos de su longitud, diámetro y peso así como en el porcentaje en peso de cada una de sus porciones anatómicas cáscara, pulpa, receptáculo y semillas.

### 1.2. Obtención y análisis químico de las semillas

Las semillas obtenidas de los frutos se lavaron y trituraron para la remoción de la capa rígida y la obtención de las "almendras". Estas últimas fueron sujetas a un proceso de acondicionamiento previo, y almacenadas a 5°C hasta su uso para análisis y/o extracción. Las almendras se analizaron, por triplicado, en sus contenidos de humedad, cenizas, grasa cruda, proteína, fibra cruda de acuerdo con los métodos oficiales de análisis (Horwitz, 1980).

### 1.3. Acondicionamiento de las "almendras", extracción y purificación del aceite de guanábana(AAG)

Las almendras fueron deshidratadas en estufa de aire hasta una humedad de aproximadamente 14%, trituradas en un molino manual y extraídas en aparato Soxhlet con hexano hasta su agotamiento. La micela resultante fue evaporada en un rotavapor hasta la obtención del aceite libre de disolvente. El AAG fue purificado mediante una adaptación del método de Wesson (Mehlenbacher, 1970; Solís-Fuentes y Durán de Bazúa, 2004). El aceite purificado fue mantenido en un congelador (-5°C) y protegido de la luz hasta su procesamiento y/o análisis.

### 1.4. Composición y caracterización fisicoquímica del aceite

#### *Patrón de ácidos grasos*

Los ácidos grasos presentes en el AAG fueron analizados usando cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas adaptando la metodología descrita por Bannon *et al.* (1982) y Hendrikse *et al.* (1994). El aceite fue convertido en sus correspondientes ésteres metílicos de los ácidos grasos. Éstos fueron disueltos en heptano, separados por una columna cromatográfica empacada y pasados a través del espectrómetro de masas para su identificación por la comparación de los espectros resultantes con los de estándares previamente analizados.

### *Preparación de los ésteres metílicos de los ácidos grasos*

Se usó el método del trifluoruro de boro (Horwitz, 1980) para la preparación de los metil ésteres de los ácidos grasos. Aproximadamente 1 mL de la capa de heptano resultante fue transferida a un tubo de ensayo e inyectada al cromatógrafo. Fueron obtenidos los cromatogramas y los espectros de masas de los ésteres metílicos correspondientes.

### *Cromatografía de gases-espectrometría de masas*

El análisis de los ésteres metílicos de los ácidos grasos fue realizado en un cromatógrafo de gases marca Agilent Technologies mod. 6890 (Santa Clara, CA) acoplado a un espectrómetro de masas provisto de un detector selectivo de masas. El sistema contó con una columna capilar DB-5 (Agilent 122-5062) de 60 m de longitud, 250  $\mu\text{m}$  de diámetro interno y un grosor de película de 0.25  $\mu\text{m}$ . El gas acarreador fue helio a un flujo de 1.0 mL/min y a una presión de 24.8 psi. La temperatura inicial fue de 150°C mantenida durante 5 min y con rampas de incremento de temperatura a velocidad variable hasta llegar los 280°C.

### **1.5. Propiedades fisicoquímicas del AAG**

El índice de refracción del AAG se determinó en un refractómetro Abbe (Modelo RG 70), el índice de yodo de acuerdo con el método de Kaufman (Melenbacher, 1970) y el índice de saponificación y el valor de ácido de acuerdo con las técnicas oficiales de análisis (Horwitz, 1980).

### **1.6. Perfil térmico**

Muestras de AAG fueron analizadas en un calorímetro diferencial de barrido DSC Q100 con sistema de refrigeración RCS90, TA Instruments (New Castle, DE) equipado con una estación de análisis de datos (Thermal Analysis 2100). El gas de purga fue nitrógeno a un flujo de 20 mL/min. El instrumento fue calibrado con Indio (punto de fusión 156.6°C;  $\Delta H_f$ , 28.45 J/g). Muestras entre 5 y 10 mg fueron pesadas en una termobalanza (TA instruments) en cápsulas SFI de aluminio con una precisión de  $\pm 0.1\text{mg}$  y selladas herméticamente. Una capsula vacía y sellada se usó como referencia. Con la finalidad de borrar la historia térmica de las muestras, éstas fueron previamente calentadas a 90 °C durante 5 minutos previo al análisis de la conducta térmica de las muestras.

El programa de temperatura en el calorímetro fue: a) Calentamiento a 90°C por 10 min y enfriamiento a 5°C/min hasta -80°C. Registro del perfil de cristalización, entalpía de cristalización y las temperaturas de inicio (*onset*) y terminación (*offset*) de los cambios de fase; b) Luego desde -80°C calentamiento a 5°C/min hasta 90°C. Registro del perfil de

fusión, entalpía y las temperaturas de inicio (*onset*) y terminación (*offset*) de los cambios de fase.

Las entalpías de fusión necesarias para fundir los cristales de aceite así como las entalpías de cristalización necesarias para solidificarlo se calcularon mediante integración de las curvas de fusión y cristalización con el paquete de computo Origin (Microcal, 1999). Los rangos de temperatura de fusión y de cristalización fueron determinados utilizando los termogramas a través de la identificación en las curvas, de las temperaturas de inicio y fin de los cambios de fase.

### **1.7. Contenido de grasa sólida**

La cantidad de sólidos en las muestras de aceite como una función de la temperatura se calcularon en base a los experimentos en el calorímetro, la metodología delineada por Lambelet y Raemy (1983) y con el uso del paquete de cómputo Origin (Microcal, 1999). Dado que los contenidos de grasa sólida dependen de la temperatura estos valores pueden ser presentados como una función de ella. Las áreas parciales de los termogramas fueron calculadas y correlacionadas con el porcentaje de sólidos considerando que a -80°C las muestras de aceite son 100% sólidas.

### **1.8. Análisis termogravimétrico**

La estabilidad térmica del AAG fue analizada mediante termogravimetría en atmósferas de nitrógeno y aire en un TGA Hi-Res 2950; TA Instruments, con purgas de 60 mL/min y flujos de 40 mL/min a una velocidad de calentamiento de 10°C/min. Los cambios de masa fueron monitoreados en un intervalo de trabajo de 25 a 1000°C.

## **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los frutos de *A. muricata* estudiados tuvieron una longitud, diámetro y peso promedio de 14.6 cm, 11.0 cm y 766g respectivamente. Fisiológicamente maduros dado el color verde oscuro de la cáscara y la consistencia suave de su pulpa, estos frutos proporcionaron en promedio 18.8 % de cáscara, 70.3% de pulpa, 5.3 % de receptáculo y 5.4 % de semillas en peso de estas porciones tal cual son.

### **3.1. Análisis bromatológico de la “almendra” de la semilla de guanábana**

La Tabla 1 muestra los resultados de los análisis químicos realizados a la almendra de la semilla de guanábana. En ella puede observarse que la porción lipídica es aproximadamente 38 % b.s., lo que muestra un nivel superior al de muchas de las semillas oleaginosas convencionales. Las almendras tuvieron además un 2.5 % de cenizas, un 17.9 % de fibra cruda, un 15.7 % de proteína (N x 6.25) y un 26.1 % de carbohidratos.

Tabla 1  
Análisis bromatológico de la "almendra" de la semilla de guanábana (*A. muricata*)

	Promedio $\pm$ DE*
Humedad	34.6 $\pm$ 3.04
<b>% base seca</b>	
Cenizas	2.5 $\pm$ 0.06
Grasa cruda	37.7 $\pm$ 2.89
Fibra cruda	17.9 $\pm$ 0.92
Proteínas	15.7 $\pm$ 0.56
Comp. no nitrogenados	26.1 $\pm$ 4.42

\*valores promedio de tres determinaciones.

### 3.2. PROPIEDADES FISCOQUÍMICAS Y COMPOSICIÓN DEL AAG

El aceite de la almendra de guanábana extraído con hexano y purificado de acuerdo con la metodología delineada en Materiales y Métodos, rindió en un líquido ámbar claro con un índice de refracción de 1.468, un valor de saponificación de 168.28 mg de KOH/g de muestra, un índice de ácidos grasos libres como ácido oléico de 0.1316 y un índice de yodo de 87.09 centigramos de l/ g muestra. Los resultados de estas determinaciones se presentan en la Tabla 2.

La Tabla 3 presenta el porcentaje promedio de los ésteres metílicos de los principales ácidos grasos que constituyen el AAG. En ella se puede observar el predominio de los ácidos grasos insaturados que aportan el 68.5 % principalmente los ácidos oleico, linoleico y palmitoleico. Los ácidos grasos saturados están presentes en un 31.5 % principalmente los ácidos palmítico y esteárico. Esta composición explica el que el aceite de almendras de guanábana permanezca líquido a temperaturas inferiores a las ambientales de los países tropicales.

### 3.3. Conducta térmica del AAG

La Figura 1 muestra la curva de cristalización del AAG analizado mediante calorimetría diferencial de barrido. Aún cuando presenta tres valores máximos de temperatura el comportamiento térmico de este aceite durante la cristalización es rela-

vamente simple que coincide con su composición también relativamente sencilla que incluye triacilglicéridos con predominio de tres ácidos grasos mayoritarios diferentes. El cambio de fase líquido sólido da inicio a los  $-4.5^{\circ}\text{C}$  y concluye a los  $-79^{\circ}\text{C}$  con un calor de solidificación de 48.2 J/g. La temperatura de inicio de la cristalización que equivale a la temperatura de turbidez del aceite (Blaine, 1975) por debajo de los cero grados centígrados indica que los triacilglicéridos del aceite se mantienen líquidos y sin cristales a las temperaturas de refrigeración comunes y por tanto, claro y libre de turbidez. La Tabla 4 muestra un resumen de las temperaturas de los puntos de transición más características del AAG durante su cristalización.

La Figura 1 presenta, también, la curva de fusión del AAG previamente solidificado por enfriamiento a  $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$  hasta  $-80^{\circ}\text{C}$  y posteriormente calentado a una velocidad de  $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$  hasta los  $90^{\circ}\text{C}$ . Al igual que durante la cristalización el comportamiento en la fusión del aceite se muestra relativamente simple acorde con su composición. La fusión da inicio a los  $-42^{\circ}\text{C}$  y termina a los  $16.9^{\circ}\text{C}$ , mostrando un pico máximo a los  $-15.4^{\circ}\text{C}$ . El proceso se completa con una entalpía de fusión de 80.5 J/g. La Tabla 4 muestra un resumen de los principales puntos de transición ocurridos durante la fusión del aceite de almendras de guanábana.

### 3.4. Contenido de grasa sólida

La Figura 2 muestra las relaciones sólido/líquido (contenido de grasa sólida) del AAG para un intervalo amplio de temperaturas. La gráfica muestra que el aceite permanece prácticamente líquido a temperaturas de refrigeración (1.3 % de sólidos a  $10^{\circ}\text{C}$ ) resultado acorde con la composición de ácidos grasos con marcado predominio de ácidos grasos insaturados.

Como es sabido, la función primaria de las grasas y aceites en productos alimenticios son la lubricidad y la estructura. La lubricidad describe la suavidad proporcionada en adición a la riqueza y mejora en las propiedades comestibles de los alimentos. La lubricidad también provee esa sensación de saciedad después de la ingesta de alimentos (O'Brien, 1998). Las propiedades estructurales

Tabla 2  
Propiedades fisicoquímicas del aceite de "almendra" de guanábana

	Valor promedio $\pm$ D.E.*
Índice de refracción a $40^{\circ}\text{C}$	1.468 $\pm$ 0.001
Valor de saponificación	168.28 $\pm$ 0.01 mg de KOH/g muestra
Valor de acidez	0.262 $\pm$ 0.064 mg NaOH/ g muestra
Ácidos grasos libres	0.233 $\pm$ 0.057 %
Índice de ácidos grasos libres	0.1316 $\pm$ 0.032 mg ac. Oleico/g muestra
Índice de yodo	87.09 $\pm$ 2.21 centigramos de l/ g muestra

\*Valores promedio de tres determinaciones.

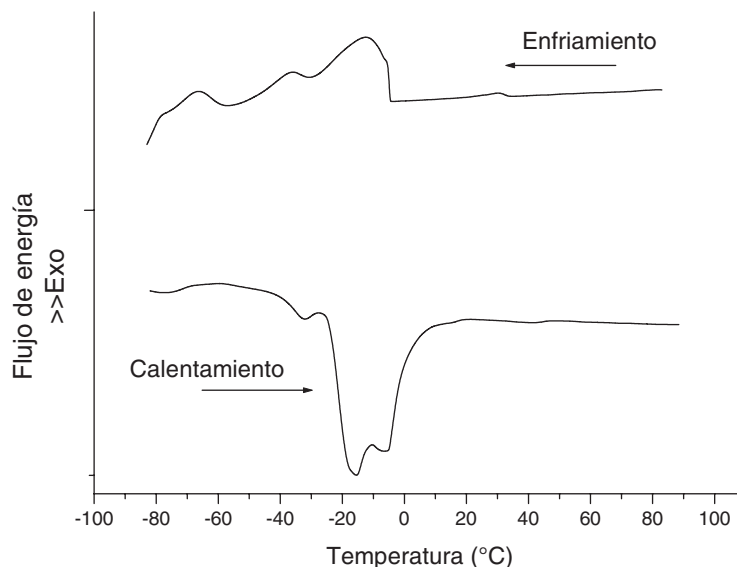


Figura 1. Curvas de cristalización y de fusión del AAG a 5 °C/min.

de las grasas y aceites afectan la consistencia de los alimentos a través de la aeración, la capacidad para formar crema, conducta de fusión, untabilidad, retención de humedad, etc. Las propiedades funcionales de los productos grasos se relacionan directamente con los tipos de triglicéridos en el sistema y éstos a su vez con la composición de ácidos grasos. De acuerdo con O'Brien (1998) los aceites vegetales de altos contenidos de ácidos oleico-linoleico y linolénico no tienen características estructu-

rales dado que se ubican de acuerdo a su composición en la zona 1 de liquidez de triacilglicéridos que corresponde a la temperatura de refrigeración, por lo que su funcionalidad deriva de sus propiedades nutricias, claridad y lubricidad. Dichas características son básicas para los aceites de cocina, de ensalada y de aceites de alta estabilidad.

### 3.5. Estabilidad térmica

La estabilidad térmica es la habilidad de una sustancia para mantener sus propiedades tan cercanamente incambiables como sea posible durante el calentamiento.

La Figura 3 presenta las curvas termogravimétricas (TG y derivada DTG) del AAG cuando éste fue analizado en una atmósfera inerte de nitrógeno, esto representa considerar solamente el efecto de la temperatura sobre la estabilidad del aceite. La temperatura inicial de descomposición fue de 380°C cuando el aceite se calentó en ausencia de oxígeno; a partir de allí se inició una rápida descomposición térmica, registrada como una pérdida de peso por efecto de la volatilidad de los componentes del aceite al incrementarse la temperatura. La descomposición total en este caso se completa a 442.1°C. La primera temperatura puede considerarse como la temperatura de ebullición del material. Bajo estas condiciones la descomposición del

Tabla 3  
Porcentaje promedio de los ésteres metílicos de los ácidos grasos del aceite de "almendra" de guanábana

Ácido graso	% Área
Caprílico	trazas
Pelargónico	trazas
Palmítico	25.5
Palmitoleico	1.5
Esteárico	6.0
Oleico	39.5
Linoleico	27.0
Araquídico	trazas
Gondoico	0.5
AGS (%)	31.5
AGMI (%)	41.5
AGPI (%)	27.0

Tabla 4  
Comparación de las temperaturas de transición durante la cristalización y fusión del aceite de "almendras" de guanábana

Curva	$\Delta H$ (J/g)	$T_F - T_0$ (°C)	Temperatura de transición (°C)				
			$T_0$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_F$
Cristalización	48.2	74.4	-4.5	-12.4	-35.8	-66.2	-79.0
Fusión	80.5	59.3	-42.4	-6.9	-15.4	-31.9	16.9

$\Delta H$ : Entalpía de transición;  $T_F - T_0$ : Intervalo de temperatura de transición;  $T_0, T_F$ : Temperaturas inicial y final;  $T_{1,2,3}$ : Temperaturas de transición.

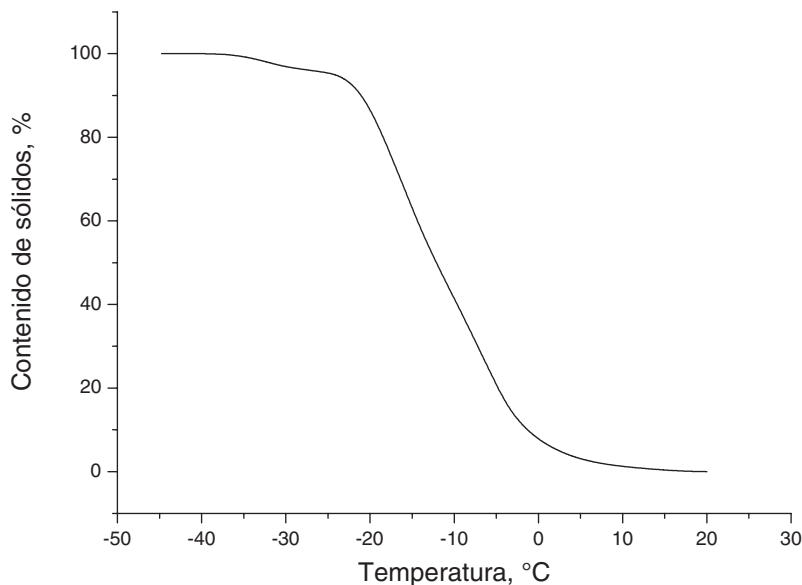


Figura 2.  
Perfil del contenido de grasa sólida del AAG.

aceite se da en una sola etapa a lo largo de un intervalo de temperatura de 73.7°C y una velocidad máxima de degradación ocurrida a los 412.3°C, como lo muestra la curva termogravimétrica derivada de la misma Figura. El efecto de la temperatura sobre el AAG da como resultado la formación de un 99.9 % en peso de volátiles y un 0.09 % de residuos no volátiles.

La Figura 4 muestra las curvas termogravimétricas cuando las muestras de aceite fueron analizadas en una atmósfera normal de aire. Aquí se muestra el efecto combinado de la temperatura y del ambiente reactivo de la atmósfera conteniendo oxígeno. Es importante destacar aquí que una ruta principal de degradación de los aceites vegetales es a través de la oxidación. Como es sabido, el aire contiene aproxi-

madamente un 21 % de oxígeno por lo que la curva comparada con la obtenida en atmósfera inerte presenta importantes diferencias por efecto de las posibles reacciones ocurridas durante el calentamiento de las muestras en atmósferas diferentes. En este caso la temperatura inicial de degradación del aceite se encuentra en 206.4°C y la temperatura final registrada fue de 567.7°C. Es observable una temperatura de inicio en la pérdida de peso de las muestras, inferior a la reseñada anteriormente y una velocidad de pérdida de peso mucho más lenta que la anterior debido a que la pérdida de peso ocasionada por la volatilidad de los componentes del aceite se ve en algo compensada por la absorción de oxígeno producto de las reacciones de oxidación de los ácidos grasos constituyentes.

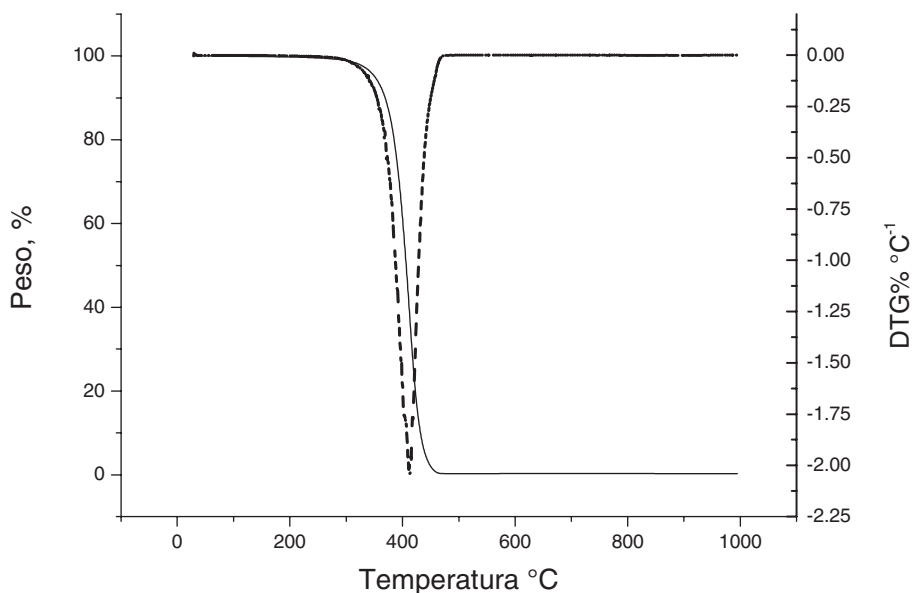


Figura 3.  
Curvas termogravimétricas del AAG en atmósfera de N<sub>2</sub> a 10 °C/min.

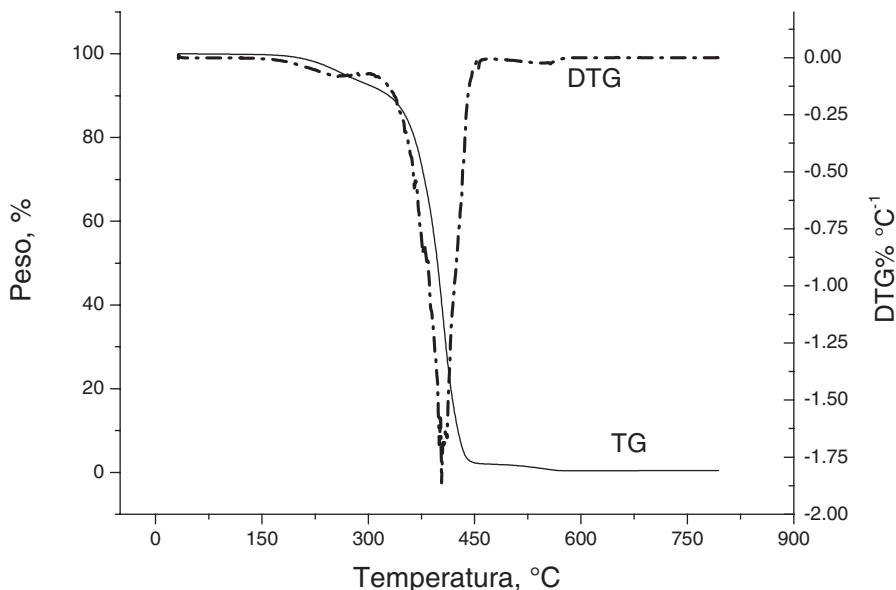


Figura 4. Curvas termogravimétricas del AAG en atmósfera de aire a 10 °C/min.

Por otro lado, la degradación del aceite se presenta en 3 etapas, siendo la intermedia la más rápida y la que mayor descomposición provoca sucede con un máximo de velocidad a los 404.7°C. Las etapas inicial y final mucho más lentas tienen picos máximos a los 242.6 y 555.2°C. La Tabla 5 presenta un resumen de los principales datos obtenidos de las curvas resultantes del análisis termogravimétrico obtenidas en el presente trabajo.

Es importante destacar que para este caso la degradación inicia a baja temperatura en comparación con la temperatura inicial utilizando N<sub>2</sub> se infiere a causa de la oxidación que sufre el aceite en presencia del oxígeno lo que acelera su degradación. En otras investigaciones (Gouveia de Souza *et al.* 2004) se ha puesto de manifiesto que la oxidación y degradación de los aceites en atmósferas oxidantes son precedidas por una ganancia de peso de las muestras por efecto de la absorción de oxígeno seguida de la pérdida de los compuestos oxidados. Sin embargo la pequeña etapa de inicio mostrada en las muestras de AAG estaría conside-

rando la volatilización de AG de más bajo peso molecular seguida de la absorción de cantidades menores de oxígeno y seguido en etapas posteriores de reacciones de oxidación y otras sucedidas entre los productos aparecidos de puntos de ebullición mayores a los compuestos constituyentes de los triacilgliceroles del AAG. Bajo estas condiciones la descomposición del aceite da como resultado la formación de un 99.4% en peso de productos volatilizados por efecto del incremento de la temperatura y 0.58 % de residuos no volátiles.

#### 4. CONCLUSIONES

*Annona muricata* es una planta de origen americano, conocida y apreciada mundialmente, primero por sus frutos comestibles y después por la presencia en las diferentes porciones de la planta de compuestos con propiedades terapéuticas. Las almendras de las semillas de guanábana contienen un porcentaje de aceite de 37.7% en base seca, mis-

Tabla 5 Principales datos obtenidos del análisis termogravimétrico del aceite de “almendra” de guanábana

Etapas	Atmósfera de N <sub>2</sub>				Atmósfera de aire			
	$\Delta_{temp}^*$ (°C)	T <sub>p</sub> <sup>DTG</sup> (°C)	- $\Delta_{masa}$ (%)	Velocidad (%min/°C)	$\Delta_{temp}$ (°C)	T <sub>p</sub> <sup>DTG</sup> (°C)	- $\Delta_{masa}$ (%)	Velocidad (%min/°C)
1	380-442	412.3	99.9	4.94	206-357	242.6	11	0.09
2					357-505	404.7	86.5	4.13
3					505-567	555.2	1.92	0.02
Total	380-442		99.9		206-567		99.4	
Residuo			0.09				0.58	

\* $\Delta_{temp}$ : Intervalo de temperatura de descomposición; T<sub>p</sub><sup>DTG</sup>: Temperatura de la velocidad máxima de descomposición; - $\Delta_{masa}$ : Porcentaje de pérdida de masa.

mo que tiene una composición con predominio de AG no saturados (principalmente oleico y algo de palmitoleico y linoleico) y estando presentes en cantidades importantes los ácidos palmítico y esteárico.

El AAG tiene un índice de refracción de 1.468; un valor de saponificación de 168.28 mg de KOH/g muestra y un índice de yodo de 87.09 centigramos de I/g muestra.

El análisis térmico realizado a muestras de AAG mostró que el aceite se mantiene líquido a temperaturas ambientales iniciando la cristalización a alrededor de los  $-4^{\circ}\text{C}$  e iniciando la fusión después de haber sido solidificado completamente a los  $-42^{\circ}\text{C}$ . El perfil del contenido de grasa sólida evidenció que el AAG tiene tan solo un 1.3% de sólidos a  $10^{\circ}\text{C}$ . La estabilidad térmica del aceite analizada mediante TG mostró que por efecto único de la temperatura el aceite comienza su degradación a los  $380^{\circ}\text{C}$  y que por efecto de la temperatura y un ambiente de oxidación los componentes del aceite comienzan a degradarse a  $206.4^{\circ}\text{C}$ .

Dadas las cantidades de aceite contenido en las almendras de guanábana, su composición y características fisicoquímicas y térmicas, el AAG es un aceite potencialmente utilizable en las diversas industrias del ramo alimentario, farmacéutico o de cosméticos consumidores de aceites vegetales naturales.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al SARA de la Universidad Veracruzana su apoyo en las determinaciones cromatográficas de la composición de ácidos grasos y al Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM por su apoyo para los análisis calorimétricos efectuados en este estudio.

## REFERENCIAS

- Bannon CD, Craske JD, Hai NT, Harper NL, O'Rourke K. 1982. Analysis of fatty acid methyl esters with high accuracy and reliability II. Methylation of fats and oils with boron trifluoride-methanol. *J. Chrom. A* **247**, 63-69.
- Blaine RL. 1975. Thermal analytical characterization of lube oils and greases. In *Proceedings of the 43 Annual Meeting of NLGI*. St. Louis Missouri, EE.UU.
- Bories C, Loiseau P, Cortes D, Myint SH, Hocquemiller R, Gayral P, Cavé A, Laurens A. 1991. Antiparasitic activity of *Annona muricata* and *Annona cherimolia* seeds *Planta Medica* **57**, 434-436.
- Branch LC, da Silva IMF. 1983. Folk Medicine of Alter do Chao, Para, Brazil, *Acta Amazonica* **13**, 737-797.
- Damico DCS, Freire MGM, Gomes VM, Toyama MH, Marangoni S, Novello JC, Macedo MLR. 2003. Isolation and Characterization of a Lectin from *Annona muricata* Seeds. *Journal of Protein Chemistry* **22**, 655-661.
- Gleye C, Laurens A, Hocquemiller R, Faucheur N, Serani L, Laprévotte O. 1998. Mass spectrometry and structure elucidation of 15-palmitoyl- and 15-oleylsolin, the first known fatty acid esters of acetogenins from *Annona muricata* L. *Rapid Commun. Mass Spectrom* **12**, 1051-1056.
- Gouveia de Souza A, Oliveira Santos JC, Conceição MM, Dantas Silva MC, Prasad A. 2004. Thermoanalytic and kinetic study of sunflower oil. *Brazilian Journal of Chemical Engineering* **21**, 265-273.
- Hendrikse PW, Harwood JL, Kates M. 1994. Analytical methods. In *The Lipids Handbook*, Gunstone, F.D. y Hornwood, J. L. (Ed) Chapman and Hall Chemical Database. Nueva York, EE.UU.
- Hiroshi M, Yumiko S, Kit-Lam C, Chee-Yan C, Hideji I, Koichi T, Jun'ichi K. 2000. Samoquasine A, a Benzquinazoline Alkaloid from the Seeds of *Annona squamosa* J. *Nat. Prod.* **63**, 1707-1708.
- Horwitz W. 1980. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. AOAC. Washington, DC. EE.UU.
- Kim DH, Ma ES, Suk KD, Son JK, Lee JS, Woo MH. 2001. Annonin and Annocherimolin, new cytotoxic Annonaceous acetogenins from *Annona cherimolia* seeds. *J. Nat. Prod.* **64**, 502-506.
- Lambelet P, Raemy A. 1983. Isosolid diagrams of fat from thermal analysis data. *JAOCS*, **60**, 845-847.
- Mehlenbacher VC. 1970. *Análisis de grasas y aceites*. Ediciones Urmo. Bilbao, España.
- Microcal (1999). *Origin 6.0*. Microcal Software Inc. Northampton, MA, EE.UU.
- O'Brien R. 1998. *Fats and Oils*. Technomic Pub. Co. Lancaster, Penn. EE.UU.
- Onimawo IA. 2002. Proximate composition and selected physicochemical properties of the seed pulp and oil of sour sop (*Annona Muricata* L.). *Plant Foods for Human Nutrition* **57**, 165-171.
- Peters M, Badrie N, Comissiong E. 2001. Processing and quality evaluation of sour sop (*Annona Muricata* L.) *Journal of Food Quality Nectar*, **24**, 361-374.
- Santos Pimenta LP, Pinto GB, Takahashi JA, Silva LGF, Boaventura MAD. 2003. Biological screening of Annonaceous Brazilian Medicinal Plants using *Artemia salina* (Brine Shrimp Test). *Phytomedicine* **10**, 209-212.
- Santos JCO, Santos AV, Souza AG. 2001. Thermal Analysis in Quality Control of the Olive Oil. *Europ. J. Pharm. Sci.* **13**, 23-S24.
- Santos JCO, Santos AV, Souza AG, Prasad S, Santos IMG. 2002. Thermal Stability and Kinetic Study on Thermal Decomposition of Commercial Edible Oils by Thermogravimetry. *J. Food Science* **67**, 1393-1398.
- Sathivel S, Prinyawiwatkul W, Negulescu I, King JM, Basnayake BFA. 2003. Thermal Degradation of FA and Catfish and Menhaden Oils at Different Refining Steps *JAOCS* **80**, 1131-1134.
- Solís-Fuentes JA, Durán-de-Bazúa MC. 2004. Mango seed uses: Thermal behaviour of mango seed almond fat and its mixtures with cocoa butter. *Biore-source Technology* **92**, 71-78.
- Son JK, Kim DH, Woo MH. 2003. Two new epimeric pairs of acetogenins bearing a carbonyl group from *Annona cherimolia* seeds *J. Nat. Prod.* **66**, 1369-1372.
- Tan CP, Che-Man YB. 2000. Differential scanning calorimetric analysis of edible oils: Comparison of thermal properties and chemical composition. *JAOCS* **77**, 143-155.
- We'le' A, Landon C, Labbe' H, Vovelle F, Zhang Y, Bodo B. 2004a. Sequence and solution structure of cherimolacyclopeptides A and B, novel cyclooctapeptides from the seeds of *Annona cherimolia*. *Tetrahedron* **60**, 405-414.



We'le' A, Zhang Z, Ndoye I, Brouard JP, Pousset JL, Bodo B, 2004b. A cytotoxic cyclic heptapeptide from the seeds of *Annona cherimola*. *J. Nat. Products* **67**, 1577-1579.

We'le' A, Ndoye I, Zhang Y, Brouard JP, Bodo B. 2005. Cherimolacyclopeptide D, a novel cycloheptapeptide from the seeds of *Annona cherimola*. *Phytochemistry* **66**, 693-696.

Wu L, Lu Y, Zheng QT, Tan NH, Li CM, Zhou J. 2007. Study on the spatial structure of anomuricatin A, a cyclohexapeptide from the seeds of *Annona muricata*. *Journal of Molecular Structure* **827**, 145-148

Recibido: 1/6/09  
Aceptado: 18/8/09