

Propiedades mecánicas de aceites y grasas vegetales

Por Juan de Dios Alvarado*

Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Universidad Técnica de Ambato.
Casilla 18-01-0334. Ecuador.

* Coordinador Nacional de la Red Iberoamericana de Propiedades Físicas de Alimentos para el Diseño Industrial (RIPFADI), parte del Subprograma XI Tratamiento y Conservación de Alimentos del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED).

RESUMEN

Propiedades mecánicas de aceites y grasas vegetales

Se presentan los valores de las principales propiedades mecánicas determinadas en aceites crudos extraídos de pulpa de aguacate, granos o semillas de sésamo, algodón, altramuz o chocho, ricino, linaza, maní o cacahuate, maracuyá y soja; aceites refinados provenientes de semillas de girasol, germen de maíz, maní, oliva y soja; grasas extraídas de cacao, copra de coco, pulpa de palma africana y almendras de palma africana.

Con los datos experimentales se establecen ecuaciones de correlación que describen el efecto de la temperatura sobre el índice de refracción, la densidad, la viscosidad y la tensión superficial. En cada producto, con los datos de la densidad se calcula el coeficiente volumétrico de expansión térmica y con los de la viscosidad la energía de activación.

PALABRAS-CLAVE: *Aceite vegetal — Grasa vegetal — Propiedades físicas.*

SUMMARY

Mechanical properties of vegetable oils and fats

Data of mechanical properties are presented for crude oils from avocado pulp, lupin grain, peanuts, soybean, sesame, cotton, castor-oil, linseed and passion fruit seeds; refined oils from sunflower, corn, peanut, olive and soybean; and cocoa, coconut, palm-oil and kernel palm-oil fats.

Correlation equations which describe the effect of temperature on the refractive index, density, viscosity and surface tension are obtained, and values of coefficient of expansion and activation energy for flow are calculated.

KEY-WORDS: *Physical properties — Vegetable fat — Vegetable oil.*

1. INTRODUCCIÓN

Las propiedades físicas de aceites y grasas son de importancia práctica por varias razones. Swern (1979) indicó las siguientes: Muchas aplicaciones de materiales grasos, incluyendo sus usos en productos alimenticios, dependen de la capacidad de formar películas lubricantes, de su actividad superficial, solubilidad, comportamiento de fusión y otras propiedades físicas características de los compuestos de cadena larga. En la manufactura de productos comerciales grasos, se aplican tratamientos térmicos que involucran o no cambios de fase, las propiedades físicas están directamente asociadas con los procesos químicos que ocurren. En los últimos años se observa que los métodos físicos de análisis, reemplazan favora-

blemente a métodos químicos que requieren más tiempo, y en ciertos casos se constituyen en herramientas poderosas para obtener información que no puede ser obtenida mediante aproximaciones químicas.

Babazan, en Johnson y Peterson (1974), señaló que las características físicas de los aceites y de las grasas dependen esencialmente de cuatro factores. El grado de insaturación. La longitud de la cadena de átomos de carbono de los ácidos grasos. Las formas isoméricas de los ácidos grasos. La configuración molecular del triglicérido.

Existen varias publicaciones en las cuales se reportan o recopilan datos de las propiedades físicas y térmicas de aceites y grasas, entre ellas se citaran: Alvarado (1994), Lewis (1987), Rao y Rizvi (1986), Le Maguer y Jelen (1986), Prentice (1984), Singh y Heldman (1984), Peleg y Bagley (1983), Jowitt y colaboradores (1983), Toledo (1981), Heldman y Singh (1981), Charm (1981), Polley y colaboradores (1980), Farrall (1976), Earle (1968), Kirschenbauer (1964). Sin embargo, la información está dispersa y en muchos casos es incompleta, pues no existen datos para algunos aceites en especial a diferentes temperaturas y algunas propiedades no se presentan, como la tensión superficial y el coeficiente volumétrico de expansión térmica.

El propósito del trabajo es presentar un conjunto de datos técnicos de las principales propiedades mecánicas, de aceites y grasas utilizadas de manera común en el sector alimentario.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Previamente se procedió a la obtención de muestras del extracto etéreo procedente de semillas trituradas o pulpa de quince productos. Se utilizó hexano como solvente en equipos soxhlet seguido de desolventización con agitación a 40 °C. En todos los casos se obtuvieron dos muestras diferentes y todas las determinaciones se realizaron por duplicado.

Se trabajó con: Pulpa deshidratada a 50 °C por 48 horas de aguacate o palta (*Persea gratissima*. Var. Guatemalteco). Semilla de sésamo (*Sesamum indicum*). Semilla de algodón (*Gossypium hirsutum*). Almendras de cacao (*Theobroma cacao*). Copra deshidratada a 50 °C por

48 horas de coco maduro (*Coco nucifera*). Granos secos de altramuz o chocho (*Lupinus mutabilis*). Aceite refinado de girasol (*Helianthus annuus*). Semillas de ricino de la Costa (*Ricinus communis*). Linaza (*Linum usitatissimum*). Aceite comercial refinado de germen de maíz (*Zea mays*). Maní o cacahuate (*Arachis hypogaea*), otra muestra corresponde a aceite refinado comercial. Semillas de maracuyá (*Passiflora edulis*, Var. Amarillo). Aceite refinado comercial de oliva (*Olea europaea*). Grasa extraída de la pulpa y de la almendra de palma africana (*Elaeis guineensis*). Granos de soja (*Glycine max*), para comparación se consideró una muestra de aceite refinado comercial.

Las propiedades cuyos datos se presentan son: Densidad, las determinaciones se realizaron en las muestras líquidas con picnómetros de tubo capilar, balanza analítica y baños termostáticos con precisión de 0,5°C, regulados a intervalos de 10°C entre 20° a 70°C en el caso de los aceites y de 30° a 70°C en el caso de las grasas, según el método indicado por Wilson y colaboradores (1966). Coeficiente volumétrico de expansión térmica calculado a base de los valores de densidad.

Viscosidad, las determinaciones se realizaron con un viscosímetro rotacional Brookfield LVTD, con el adaptador UL que corresponde al tipo de cilindros coaxiales de abertura estrecha, previa termostatación de 16 cm³ de muestra entre 20 ó 30°C hasta 70°C, a intervalos de 10°C con una precisión de 0,2°C. Para cada temperatura se realizaron lecturas por lo menos a dos velocidades de rotación, calculándose los valores de la viscosidad promedio en

mPa.s según los factores indicados por la casa fabricante del equipo (Brookfield, s.f.), las diferencias al trabajar a 60 y 30 revoluciones por minuto fueron pequeñas, en la mayoría de casos inferiores a una unidad; excepto en el aceite de ricino que presentó diferencias mayores cuando se trabajó a 1,5, 0,6 y 0,3 revoluciones por minuto. Energía de activación para flujo, calculada a base de los datos de viscosidad con el modelo de Arrhenius.

Tensión superficial, con el estalagmómetro de Traube (Wilson y colaboradores, 1966), a intervalos de 10°C entre 30°C hasta 70°C, utilizando baños termostáticos con una precisión de 0,5°C.

Los análisis de regresión y correlación se realizaron con los programas del paquete estadístico de una calculadora Hewlett Packard.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Densidad

En términos absolutos la densidad se expresa en kilogramos por metro cúbico; sin embargo, en aceites es práctica común utilizar el valor de la densidad relativa que corresponde a la razón entre la masa de la sustancia y la masa de un volumen igual de agua a 4°C.

En la Tabla I se presentan los valores de la densidad correspondientes a aceites crudos, refinados y grasas fundidas, determinados a diferentes temperaturas y utilizando agua destilada como referencia.

Tabla I
Valores de la densidad (kg/m³) y de los términos de la ecuación de regresión lineal como función de la temperatura (°C) determinados en aceites y grasas vegetales

| PRODUCTO | TEMPERATURA | | | | | | $\rho = a - bT$ | | r ² |
|-------------------------|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----------------|-------|----------------|
| | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | a | b | |
| ACEITES CRUDOS | | | | | | | | | |
| <i>Aguacate</i> | 916 | 911 | 905 | 899 | 891 | 886 | 929 | 0,617 | 0,996 |
| <i>Sésamo</i> | 922 | 915 | 908 | 901 | 895 | 890 | 934 | 0,649 | 0,996 |
| <i>Algodón</i> | 921 | 913 | 907 | 900 | 892 | 886 | 935 | 0,700 | 0,998 |
| <i>Altramuz</i> | 916 | 909 | 903 | 896 | 890 | 883 | 929 | 0,654 | 0,999 |
| <i>Ricino</i> | 956 | 949 | 943 | 936 | 929 | 923 | 969 | 0,663 | 0,999 |
| <i>Linaza</i> | 928 | 922 | 915 | 908 | 901 | 894 | 942 | 0,686 | 0,999 |
| <i>Maní</i> | 914 | 908 | 901 | 895 | 887 | 880 | 928 | 0,683 | 0,998 |
| <i>Maracuyá</i> | 921 | 915 | 908 | 901 | 894 | 887 | 935 | 0,686 | 0,999 |
| <i>Soja</i> | 918 | 912 | 907 | 899 | 893 | 886 | 931 | 0,643 | 0,997 |
| ACEITES REFINADOS | | | | | | | | | |
| <i>Girasol</i> | 921 | 913 | 907 | 902 | 896 | 889 | 932 | 0,617 | 0,996 |
| <i>Maíz</i> | 918 | 912 | 906 | 898 | 892 | 887 | 931 | 0,637 | 0,997 |
| <i>Maní</i> | 913 | 908 | 901 | 894 | 887 | 881 | 927 | 0,657 | 0,998 |
| <i>Oliva</i> | 912 | 907 | 899 | 893 | 886 | 880 | 926 | 0,654 | 0,998 |
| <i>Soja</i> | 920 | 913 | 906 | 899 | 892 | 884 | 934 | 0,714 | 0,999 |
| GRASAS FUNDIDAS | | | | | | | | | |
| <i>Cacao</i> | | | 894 | 886 | 879 | 872 | 923 | 0,730 | 0,999 |
| <i>Coco</i> | | 916 | 909 | 903 | 893 | 888 | 938 | 0,720 | 0,992 |
| <i>Palma (pulpa)</i> | | 896 | 891 | 883 | 875 | 869 | 918 | 0,700 | 0,994 |
| <i>Palma (almendra)</i> | | 909 | 903 | 896 | 889 | 882 | 930 | 0,680 | 0,999 |

Weast (1970) reportó valores de la gravedad específica y de la densidad de los principales aceites vegetales a 15°C. Estos datos comparan en forma satisfactoria con los valores determinados o extrapolados en cada uno de los aceites analizados, se destaca el aceite de ricino que presentó los valores más altos de densidad, seguido del aceite de linaza.

En la tabla I se incluyen los términos de las ecuaciones de regresión lineal que asocian la densidad con la temperatura, con su respectivo coeficiente de determinación, para cada uno de los productos considerados. Los valores del coeficiente de determinación próximos a la unidad establecen en todos los casos, que la regresión lineal es apropiada para predecir la densidad a las diferentes temperaturas, confirmando lo indicado previamente por diversos autores.

Los valores de la ordenada en el origen muestran una ligera variación que va desde 918 en la grasa de pulpa de palma hasta 969 kg/m³ en aceite crudo de ricino que presentó los datos más altos de densidad; sin embargo, la variación es pequeña, expresada como porcentaje corresponde al 6%. Los valores del coeficiente de regresión que corresponden a la pendiente de la ecuación, son muy próximos a otros publicados. Hall y colaboradores (1978), señalaron que en términos generales entre 66° y 260°C la densidad de aceites comunes disminuye en 0,64 por cada grado Celsius de incremento, en el presente caso la disminución está entre 0,61 a 0,73. En general, las ecuaciones presentadas calculan con bastante exactitud la densidad de

cada uno de los aceites y grasas en estado líquido en un intervalo amplio de temperaturas.

3.2. Coeficiente volumétrico de expansión térmica

Directamente relacionado con los cambios de la densidad con la temperatura, está el coeficiente volumétrico de expansión térmica. La relación entre el volumen específico expresado en m³/kg y la temperatura en °C fue lineal, con coeficientes de determinación superiores a 0,99. En la Tabla II se presentan los términos de la ecuación de regresión lineal para los diferentes productos con sus respectivos coeficientes de determinación. Los valores de la ordenada en el origen y de la pendiente son comparables con los reportados por Flores Luque y colaboradores (1982), las diferencias para el caso de los aceites de girasol, oliva y soja en unidades equivalentes son mínimas, al considerar la procedencia y posibles cambios durante la refinación.

Se anota que incluido el aceite de ricino, los coeficientes volumétricos de expansión térmica de los aceites están en un intervalo estrecho de valores, entre 0,0007 y 0,0008 por cada grado Celsius o Kelvin de diferencia de temperaturas. Valores ligeramente superiores se presentan en las grasas.

Perry (1963), reportó el coeficiente cúbico de expansión para aceite de oliva a 20°C, el valor 0,000721 es similar a 0,00076 presentado. Cálculos realizados considerando datos de densidad publicados, confirmaron la variación pequeña de este coeficiente, el cual es útil para cálculos en ingeniería o como índice de control de calidad.

Tabla II
Términos de la ecuación de regresión lineal y valores del coeficiente volumétrico de expansión térmica (1/°C o 1/K) de aceites y grasas vegetales. (* Entre 20 y 70°C; ** Entre 35 y 70°C)

| PRODUCTO | $1/\rho_T = 1/\rho_0 + (\beta/\rho_0)T$ | | r^2 | β (1/K)10 ⁴ |
|---------------------------|---|----------------------|-------|---------------------------------|
| | $(1/\rho_0) 10^3$ | $(\beta/\rho_0)10^7$ | | |
| ACEITES CRUDOS* | | | | |
| <i>Aguacate</i> | 1,075 | 7,603 | 0,995 | 7,1 |
| <i>Sésamo</i> | 1,069 | 7,909 | 0,997 | 7,4 |
| <i>Algodón</i> | 1,069 | 8,583 | 0,998 | 8,0 |
| <i>Altramuz</i> | 1,076 | 8,089 | 0,999 | 7,5 |
| <i>Ricino</i> | 1,031 | 7,513 | 0,999 | 7,3 |
| <i>Linaza</i> | 1,060 | 8,262 | 0,999 | 7,8 |
| <i>Maní</i> | 1,076 | 8,486 | 0,997 | 7,9 |
| <i>Maracuyá</i> | 1,068 | 8,391 | 0,998 | 7,9 |
| <i>Soja</i> | 1,073 | 7,901 | 0,996 | 7,4 |
| ACEITES REFINADOS* | | | | |
| <i>Girasol</i> | 1,072 | 7,539 | 0,996 | 7,0 |
| <i>Maíz</i> | 1,073 | 7,827 | 0,997 | 7,3 |
| <i>Maní</i> | 1,078 | 8,167 | 0,997 | 7,6 |
| <i>Oliva</i> | 1,079 | 8,150 | 0,998 | 7,6 |
| <i>Soja</i> | 1,069 | 8,779 | 0,999 | 8,2 |
| GRASAS FUNDIDAS** | | | | |
| <i>Cacao</i> | 1,081 | 9,365 | 0,999 | 8,7 |
| <i>Coco</i> | 1,065 | 8,856 | 0,991 | 8,3 |
| <i>Palma (pulpa)</i> | 1,088 | 8,988 | 0,994 | 8,3 |
| <i>Palma (almendra)</i> | 1,074 | 8,479 | 0,999 | 7,9 |

3. 3. VISCOSIDAD.

En general, el comportamiento reológico de los aceites comestibles, es descrito en forma suficiente por el coeficiente de viscosidad o simplemente la viscosidad a una determinada temperatura.

En la Tabla III se presentan los valores determinados en los aceites y grasas fundidas analizados. En el aceite de ricino se registraron los valores más altos, dos órdenes de magnitud superiores, debido al ácido ricinoleico que forma fácilmente enlaces de hidrógeno intermoleculares (Swern, 1979).

Tabla III

Valores de la viscosidad (mPa.s) y de los términos de la ecuación de regresión cúbica como función de la temperatura (°C) determinados en aceites y grasas vegetales

| PRODUCTO | TEMPERATURA | | | | | | $\mu = a_2 - b_2 T + b_3 T^2 - b_4 T^3$ | | | | r ² |
|--------------------------|-------------|-------|-------|-------|------|------|---|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | a ₂ | b ₂ | b ₃ | b ₄ | |
| ACEITES CRUDOS | | | | | | | | | | | |
| <i>Aguacate</i> | 63,3 | 46,7 | 36,5 | 29,0 | 20,2 | 15,1 | 113,0 | 3,266 | 0,043 | 0,000236 | 0,998 |
| <i>Sésamo</i> | 67,9 | 48,6 | 35,1 | 24,5 | 19,1 | 16,0 | 123,1 | 3,394 | 0,034 | 0,000098 | 1,000 |
| <i>Algodón</i> | 62,2 | 42,8 | 30,5 | 22,5 | 17,3 | 12,9 | 128,7 | 4,464 | 0,063 | 0,000333 | 1,000 |
| <i>Altramuz</i> | 75,6 | 55,4 | 35,4 | 25,5 | 18,8 | 13,7 | 141,1 | 4,001 | 0,040 | 0,000127 | 0,998 |
| <i>Ricino</i> | 763,0 | 346,0 | 193,0 | 116,0 | 72,0 | 51,0 | 2423,0 | 120,36 | 2,099 | 0,012352 | 0,997 |
| <i>Linaza</i> | 47,7 | 35,2 | 25,9 | 20,1 | 15,9 | 12,7 | 88,2 | 2,618 | 0,033 | 0,000155 | 1,000 |
| <i>Maní</i> | 74,2 | 48,8 | 34,3 | 25,7 | 18,8 | 13,7 | 165,1 | 6,262 | 0,096 | 0,000538 | 1,000 |
| <i>Maracuyá</i> | 60,4 | 41,0 | 29,4 | 23,0 | 17,0 | 14,1 | 127,1 | 4,526 | 0,066 | 0,000351 | 0,999 |
| <i>Soja</i> | 63,5 | 41,9 | 30,1 | 22,6 | 15,7 | 12,6 | 135,6 | 4,894 | 0,071 | 0,000381 | 0,998 |
| ACEITES REFINADOS | | | | | | | | | | | |
| <i>Girasol</i> | 71,3 | 49,1 | 34,0 | 25,1 | 19,9 | 15,7 | 148,2 | 5,113 | 0,071 | 0,000352 | 1,000 |
| <i>Maíz</i> | 58,3 | 47,2 | 32,8 | 23,5 | 17,3 | 13,2 | 81,5 | 0,934 | -0,014 | 0,000194 | 0,998 |
| <i>Maní</i> | 72,9 | 47,4 | 38,2 | 27,2 | 20,7 | 16,1 | 154,6 | 5,663 | 0,087 | 0,000492 | 0,994 |
| <i>Oliva</i> | 83,9 | 56,3 | 38,7 | 27,6 | 21,6 | 16,4 | 179,8 | 6,428 | 0,091 | 0,000465 | 1,000 |
| <i>Soja</i> | 66,9 | 43,3 | 30,6 | 23,3 | 17,1 | 13,6 | 151,1 | 5,820 | 0,090 | 0,000499 | 0,999 |
| GRASAS FUNDIDAS | | | | | | | | | | | |
| <i>Cacao</i> | | | 45,8 | 30,7 | 21,5 | 17,2 | 185,2 | 5,397 | 0,054 | 0,000167 | 1,000 |
| <i>Coco</i> | | 68,5 | 49,7 | 36,7 | 27,3 | 20,1 | 176,5 | 5,254 | 0,064 | 0,000300 | 1,000 |
| <i>Palma (pulpa)</i> | | 61,9 | 40,1 | 27,6 | 20,3 | 15,4 | 215,6 | 8,031 | 0,114 | 0,000575 | 1,000 |
| <i>Palma (almendra)</i> | | 49,1 | 28,9 | 20,6 | 14,5 | 10,3 | 216,9 | 9,330 | 0,149 | 0,000833 | 0,999 |

Los valores de la viscosidad presentados, varían en un intervalo relativamente estrecho para cada aceite, no obstante ser extraídos de productos cultivados en diferentes regiones y épocas del año o luego de ser refinado.

Se anota que las diferencias de la viscosidad entre los distintos aceites y grasas son mayores a temperaturas bajas, a temperaturas mayores hasta 70°C los valores convergen, las diferencias son menores y en ciertos casos existen productos que presentan valores más altos al contrario de lo observado a 20°C.

En varios casos se conoce que las ecuaciones polinómicas de tercer grado, son adecuadas para calcular las variaciones de la viscosidad con la temperatura con bastante exactitud. Utilizando técnicas de regresión se definieron las ecuaciones indicadas en la Tabla III, para calcular la viscosidad entre 20° y 70°C. La principal limitación para su aplicación es que no pueden ser utilizadas para otras temperaturas fuera del intervalo señalado; sin embargo, por

los coeficientes de determinación muy próximos a la unidad se establece que para los aceites y las grasas vegetales, las ecuaciones polinómicas de tercer grado permiten calcular con exactitud las variaciones de la viscosidad con la temperatura, en cada uno de los productos analizados.

Se realizaron intentos para ajustar los datos experimentales obtenidos con el reómetro rotacional al modelo propuesto por Kubota y colaboradores (1982); sin embargo, los coeficientes de determinación fueron inferiores a los establecidos para las ecuaciones cúbicas.

3.4. Energía de activación para flujo

En fluidos alimenticios se conoce que el efecto de la temperatura sobre las características del flujo puede ser descrito por la ecuación de Arrhenius.

$$\ln \mu = \ln \mu_0 + (E_a/R_g T_a)$$

Donde μ es la viscosidad expresada en mPa.s, μ_0 , es una constante, R_g es el valor de la constante de los gases (8,314 J/g.mol K), T_a es la temperatura absoluta en K y E_a es la energía de activación para el flujo expresada en J/g.mol. La energía de activación puede ser determinada de datos experimentales con la última ecuación por técnicas adecuadas de regresión, considerando el valor de la pendiente.

En la Tabla IV se presentan los términos de la ecuación de Arrhenius linealizada, determinados para los productos

grasos analizados, considerando los datos de la viscosidad a las diferentes temperaturas. Los valores del coeficiente de determinación superiores a 0,99 indican que las variaciones de la viscosidad de aceites y grasas con la temperatura son descritas en forma apropiada por este modelo, con la ventaja adicional que permite calcular la viscosidad en un intervalo más amplio de temperaturas, que es común durante el procesamiento y uso de los aceites.

Tabla IV
Términos de la ecuación de Arrhenius y valores de la energía de activación para flujo (kJ/g.mol) de aceites y grasas vegetales

| PRODUCTO | $\ln \mu = \ln \mu_0 + (E_a/R_g T_a)$ | | r^2 | Ea (KJ/g.mol) |
|--------------------------|---------------------------------------|-----------|-------|------------------|
| | $\ln \mu_0$ | E_a/R_g | | |
| ACEITES CRUDOS | | | | |
| <i>Aguacate</i> | -5,512 | 2842 | 0,991 | 23,6 |
| <i>Sésamo</i> | -6,016 | 2997 | 0,995 | 24,9 |
| <i>Algodón</i> | -6,580 | 3136 | 0,999 | 26,1 |
| <i>Altramuz</i> | -7,536 | 3485 | 0,998 | 29,0 |
| <i>Ricino</i> | -11,956 | 5417 | 0,993 | 45,0 |
| <i>Linaza</i> | -5,240 | 2667 | 0,999 | 22,2 |
| <i>Maní</i> | -7,105 | 3340 | 0,999 | 27,8 |
| <i>Maracuyá</i> | -5,941 | 2932 | 0,996 | 24,4 |
| <i>Soja</i> | -6,997 | 3262 | 0,998 | 27,1 |
| ACEITES REFINADOS | | | | |
| <i>Girasol</i> | -6,182 | 3054 | 0,996 | 25,4 |
| <i>Maíz</i> | -6,416 | 3093 | 0,994 | 25,7 |
| <i>Maní</i> | -5,937 | 2989 | 0,996 | 24,9 |
| <i>Oliva</i> | -6,791 | 3281 | 0,997 | 27,3 |
| <i>Soja</i> | -6,696 | 3182 | 0,996 | 26,5 |
| GRASAS FUNDIDAS | | | | |
| <i>Cacao</i> | -7,544 | 3552 | 0,991 | 29,5 |
| <i>Coco</i> | -6,231 | 3174 | 0,999 | 26,4 |
| <i>Palma (pulpa)</i> | -7,826 | 3613 | 0,997 | 30,0 |
| <i>Palma (almendra)</i> | -9,271 | 3977 | 0,995 | 33,1 |

3.5. Tensión superficial

Los valores registrados en las muestras líquidas a las diferentes temperaturas, constan en la Tabla V.

Se aprecia que la variación es mínima entre los valores registrados a igual temperatura en todos los aceites considerados, inclusive las grasas fundidas presentaron valores similares. A 30°C los valores están entre 23,6 a 27,6 mN/m.

Swern (1979) señaló que la relación entre la tensión superficial de los aceites y la temperatura es esencialmente lineal. La afirmación pudo ser comprobada al con-

siderar las ecuaciones de regresión lineal correspondientes a cada producto, indicadas en la Tabla V. En el intervalo de 30° a 70°C los altos coeficientes de determinación señalan que sobre el 97% de la variación de la tensión superficial con los cambios de temperatura, es descrita por esta regresión.

Los valores del punto de corte en ordenadas cambiaron entre límites estrechos, desde 23,7mN/m, en grasa de pulpa de palma que presentó los valores más bajos de tensión superficial, hasta 29,9 mN/m, en aceite refinado de soja, que con los otros aceites refinados presentaron valores superiores.

Tabla V
Valores de la tensión superficial (mN/m) y términos de la ecuación de regresión lineal como función de la temperatura (°C) determinados en aceites y grasas vegetales

| PRODUCTO | TEMPERATURA | | | | | $\gamma = a_4 - b_6 T$ | | |
|--------------------------|-------------|------|------|------|------|------------------------|-------|-------|
| | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | a_4 | b_6 | r^2 |
| ACEITES CRUDOS | | | | | | | | |
| <i>Aguacate</i> | 24,1 | 23,5 | 22,9 | 22,3 | 21,6 | 26,0 | 0,062 | 0,999 |
| <i>Sésamo</i> | 25,2 | 24,5 | 23,7 | 23,0 | 22,3 | 27,4 | 0,073 | 0,999 |
| <i>Algodón</i> | | 24,2 | 23,8 | 23,3 | 22,8 | 26,1 | 0,047 | 0,997 |
| <i>Altramuz</i> | 24,9 | 23,9 | 22,8 | 21,7 | 21,4 | 27,5 | 0,092 | 0,974 |
| <i>Ricino</i> | | 23,3 | 22,9 | 22,4 | 22,0 | 25,1 | 0,044 | 0,998 |
| <i>Linaza</i> | 25,3 | 24,7 | 24,3 | 23,2 | 22,6 | 27,5 | 0,069 | 0,978 |
| <i>Maní</i> | 25,2 | 24,3 | 23,8 | 23,3 | 22,5 | 27,0 | 0,064 | 0,987 |
| <i>Maracuyá</i> | 24,8 | 24,3 | 23,7 | 23,1 | 22,5 | 26,6 | 0,058 | 0,999 |
| <i>Soja</i> | 23,6 | 23,3 | 22,8 | 22,2 | 21,4 | 25,4 | 0,055 | 0,972 |
| ACEITES REFINADOS | | | | | | | | |
| <i>Girasol</i> | 24,3 | 23,9 | 23,4 | 23,0 | 22,6 | 25,6 | 0,043 | 0,998 |
| <i>Maíz</i> | 26,3 | 25,6 | 25,0 | 24,4 | 23,7 | 28,2 | 0,064 | 0,999 |
| <i>Maní</i> | 25,9 | 25,1 | 24,7 | 24,2 | 23,6 | 27,5 | 0,055 | 0,989 |
| <i>Oliva</i> | 25,8 | 25,2 | 24,8 | 24,4 | 23,9 | 27,1 | 0,046 | 0,994 |
| <i>Soja</i> | 27,6 | 26,8 | 26,0 | 25,3 | 24,5 | 29,9 | 0,077 | 0,999 |
| GRASAS FUNDIDAS. | | | | | | | | |
| <i>Cacao</i> | | 24,0 | 23,5 | 23,0 | 22,5 | 26,0 | 0,050 | 1,000 |
| <i>Coco</i> | 24,1 | 23,5 | 22,8 | 22,2 | 21,5 | 26,1 | 0,065 | 0,999 |
| <i>Palma (pulpa)</i> | | 22,4 | 22,0 | 21,7 | 21,4 | 23,7 | 0,033 | 0,995 |
| <i>Palma (almendra)</i> | 23,9 | 23,3 | 22,8 | 22,1 | 21,6 | 25,6 | 0,058 | 0,998 |

AGRADECIMIENTO

Al Consejo Nacional de Universidades y Escuelas Politécnicas del Ecuador (CONUEP) por financiar la realización de los trabajos.

BIBLIOGRAFIA

- Alvarado, J. de D. (1994).- "Variación de las propiedades físicas de la grasa de cacao con la temperatura".-Grasas y Aceites **45**, 318-322.
- Brookfield, Inc. (s.f).- "Viscosimeters/Rheometers".- Brookfield Engineering Laboratories. Stoughton. (Mass).
- Charm, S.E. (1981).- "The Fundamentals of Food Engineering".- 3rd.ed.- The AVI Pub. Co. Inc., Westport. (Conn).
- Earle, R. L. (1968).- "Ingeniería de los Alimentos".- Traducido por J. Alemán Vega.- Editorial Acribia, Zaragoza. España.
- Farrall, A.W. (1976).- "Food Engineering Systems".- V.1.- The AVI Pub. Co. Inc., Westport. (Conn).
- Flores Luque, V., Cabrera Martín, J. y Gómez Herrera, C. (1982).- "Variaciones de la viscosidad y de la densidad con la temperatura en aceites de oliva, girasol y soja españoles".- Grasas y Aceites **33**, 334-339.
- Hall, C. W., Farrall, A. W. y Rippen, A. L. (1978).- "Encyclopedia of Food Engineering".- V.1.- The AVI Pub. Co. Inc., Westport. (Conn).
- Heldman, D. R. y Singh, R. P. (1981).- "Food Process Engineering".- 2nd Ed.- The AVI Pub. Co. Inc., Westport. (Conn).
- Johnson, A. H. y Peterson, M. S. (1974).- "Encyclopedia of Food Technology".- V.2.- The AVI Pub. Co. Inc., Westport. (Conn).
- Jowitt, R., Escher, F., Hallström, B., Meffert, H. F., Spiess, W. E. L. y Vos, G. (1983).- "Physical Properties of Foods".- Elsevier Applied Science Pub. Ltd., Essex. England.
- Kirschenbauer, H. G. (1964).- "Grasas y Aceites. Química y Tecnología".- Traducido por P. Gurza Bracho.- Editorial Continental. México.
- Kubota, K., Kurisu, S., Suzuki, K., Matsumoto, T. y Hosaka, K. (1982).- "Study on the viscosity and density equations respected temperature of vegetable oils and salad and frying oils".- Nippon Shokugin Kogyo Gakkaichi **29**(4), 195-201.
- Le Maguer, M. y Jelen, P. (1986).- "Food Engineering and Process Applications".- V.1. Elsevier Applied Science Pub. Ltd., Essex. England.
- Lewis, M. J. (1987).- "Physical Properties of Foods and Food Processing Systems".- Ellis Herwood Ltd., Chichester. England.
- Peleg, M. y Bagley, E. B. (1983).- "Physical Properties of Foods".- The AVI Pub. Co. Inc., Westport. (Conn).
- Perry, J. H. (1963).- "Chemical Engineers Handbook".- 4th Ed. Section 3.- McGraw Hill Book Company., Tokyo.
- Polley, S. L., Snyder, O. P. y Kotnour, P. (1980).- "A compilation of thermal properties of foods".- Food Technol. **34**(11), 76-94.
- Prentice, J. H. (1984).- "Measurements in the Rheology of Foodstuffs".- Elsevier Applied Science Pub. Ltd., Essex. England.
- Rao, M. A. y Rizvi, S. S. H. (1986).- "Engineering Properties of Foods".- Marcel Dekker Inc., New York.
- Singh, R. P. y Heldman, D. R. (1984).- "Introduction to Food Engineering". Academic Press, Inc., Orlando. (Fla).
- Swern, D. (1979).- "Bailey's Industrial Oil and Fat Products".- 4th Ed. V.1, Ch.3.- Interscience Publishers, John Wiley & Sons., New York.
- Toledo, R. T. (1981).- "Fundamentals of Food Process Engineering".- The AVI Pub. Co. Inc., Westport. (Conn).
- Weast, R. C. (1970).- "Handbook of Chemistry and Physics".- 51st Ed.- The Chemical Rubber Co., Cleveland. (Ohio).
- Wilson, J. M., Mewcombe, R. J., Denaro, A. R. y Reckett, R. M. W. (1966).- "Prácticas de Química-Física".- Traducido por Gutiérrez, F. - Editorial Acribia. Zaragoza. España.

Recibido: Enero 1995
Aceptado: Julio 1995