

*Universidad Iberoamericana*

INCORPORADA A LA U.N.A.M.

**ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS**

**EVALUACION FOTOMETRICA DEL GRADO DE  
DECOLORACION DE ACEITES VEGETALES Y  
ESTUDIO DE ALGUNAS VARIABLES EN LA  
ADSORCION POR ARCILLAS ACTIVADAS**

**TESIS PARA OPTAR POR EL TITULO DE  
QUIMICO**

**ENRIQUE GARCIA CORONA**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA**

**Incorporada a la U. N. A. M.**

**ESCUELA DE QUIMICA**

**EVALUACION FOTOMETRICA DEL GRADO DE  
DECOLORACION DE ACEITES VEGETALES, Y  
ESTUDIO DE ALGUNAS VARIABLES EN LA  
ADSORCION POR ARCILLAS ACTIVADAS.**

**TESIS**

**que para obtener el título de**

**QUIMICO**

**presenta**

**ENRIQUE GARCIA CORONA**

**México, D. F.**

**1964**

**Deseo expresar mi reconocimiento a la Dirección Técnica y supervisores del Instituto Mexicano de Investigaciones Tecnológicas, A. C., a la Sección de Ingeniería de Procesos del mismo, y particularmente al Ing. Pedro Reyes, por la asistencia y facilidades que me fueron brindadas para la realización de esta tesis.**

**A mis padres y hermanos**

**A mis maestros y compañeros**

**A la Srta. Rosa M. Carrera**

## CONTENIDO

### INTRODUCCION.

#### I. - CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL FENOMENO Y LA TECNICA DE ADSORCION.

A. Teoría General.

B. Técnicas de adsorción.

C. Decoloración de aceites vegetales.

D. Teoría de la adsorción aplicada a la decoloración de aceites.

E. Variables que afectan el proceso de adsorción.

#### II. - EL COLOR EN LOS ACEITES.

A. Pigmentos de los aceites.

B. Revisión de métodos para la determinación de color.

## INTRODUCCION

### **III. - TRABAJO EXPERIMENTAL.**

- A. Selección de un método eficaz para determinar la eficiencia de la decoloración por adsorción.**
- B. Efecto de algunas variables del sistema en la decoloración por adsorción.**
- C. Discusión de Resultados.**

### **IV. - CONCLUSIONES.**

#### **LISTA DE TABLAS.**

**APENDICE "A". - CARACTERISTICAS GENERALES DE ALGUNOS PIGMENTOS DE LOS ACEITES.**

**APENDICE "B". - CARACTERISTICAS DEL ADSORBENTE UTILIZADO.**

**APENDICE "C". - RESULTADOS DE LAS DECOLORACIONES.**

**APENDICE "D". - CONSTANTES DE LA ECUACION DE FREUNDLICH.**

**APENDICE "E". - DIAGRAMAS DEL ESPECTROFOTOMETRO BAUSCH & LOMB, MODELO SPECTRONIC 20.**

#### **BIBLIOGRAFIA.**



A

I

**INTRODUCCION**

El Instituto Mexicano de Investigaciones Tecnológicas, A. C., por intermedio de su Sección de Química Mineral y Metalúrgica, ha venido realizando diversos estudios experimentales sobre arcillas nacionales, entre las que destacan por su importancia las activadas, que la industria emplea en procesos de decoloración de aceites de diversos tipos, entre los que se incluyen los de origen vegetal.

Un capítulo de especial interés es el de los métodos para determinar la eficiencia de la decoloración, y en particular los basados en la determinación fotométrica instrumental del color del aceite, antes y después de efectuarse el proceso de decoloración.

La selección, y en su caso el desarrollo de métodos fotométricos precisos, es de suma importancia para cuantificar el efecto que tienen sobre el color final las principales variables del sistema de decoloración, bien como resultado de la naturaleza del adsorbente, como por cuanto hace a las características propias del aceite, y a las condiciones de operación.

Los objetivos de este trabajo fueron:

a). Desarrollar un método fotométrico que pudiera adaptarse al mayor número de los aceites habituales en el

país, en vista de que los sistemas convencionales de colorimetría suelen conducir a resultados un tanto distorsionados, o no permiten en muchos casos obtener valores de alta precisión.

b). Utilizar el método desarrollado para juzgar el efecto de las principales variables en los procesos de coloración.

c). Disponer de una técnica fotométrica adecuada para determinar la eficiencia relativa de los distintos tipos de arcillas, en términos más realistas.

**I. - CONSIDERACIONES GENERALES  
SOBRE EL FENOMENO Y LA  
TECNICA DE ADSORCION.**

## A. TEORIA GENERAL.

El término adsorción se refiere al fenómeno consistente en la transferencia de algunos de los componentes de un sistema determinado sobre la superficie de una fase sólida o líquida, lo que dá lugar a una mayor concentración de dichos componentes en las áreas de fijación (28).

Esta mayor concentración es el resultado de las fuerzas superficiales que existen entre gases, vapores, líquidos, así como de solutos, dispersiones y coloides, frente a ciertos materiales sólidos; estos sólidos, llamados adsorbentes, pueden producir una concentración, localización, fijación o separación de gases respecto de otros gases, vapores de gases, líquidos de líquidos y solutos o material disperso de soluciones (35, 39, 45).

Existen dos tipos de adsorción, aquélla en la que las fuerzas de asociación entre el material adsorbido y la superficie del sólido, son físicas, y se denomina adsorción física o de Van der Waals, y aquélla en que se establecen uniones electrovalentes y que se denomina adsorción química (1, 20, 28, 35, 39, 45).

La distinción entre la adsorción física y la química, se puede hacer midiendo el calor de adsorción. Para la adsorción física, este calor es del mismo orden de magni

tud que los calores de licuefacción de gases, o los de su blimación, y muy raras veces es mayor de 5,000 calorías por mol. El calor de adsorción química generalmente es mayor de 10,000 calorías por mol. y puede llegar a ser hasta de 220,000 calorías por mol. o más, siendo por lo tanto, del orden de magnitud de las combinaciones químicas (1, 39).

Aunque industrialmente los adsorbentes se utilizan principalmente en el tratamiento de líquidos impurificados por productos solubles, dispersoides, o materia coloidal, grandes esfuerzos han sido dedicados a trabajos teóricos relacionados con adsorción de gases (1, 20, 28, 35, 39, 45).

De las ecuaciones que se han desarrollado para explicar la adsorción de gases, una de las más antiguas es la ecuación exponencial. Esta ecuación se ha atribuido a Boedecker (1859) y a Van Bemmelen (1888), pero se conoce generalmente con el nombre de ecuación de Freundlich, que la revisó en 1922. (1, 20, 28, 35, 39, 45). Esta tiene la siguiente forma:

$$X = KC^n \quad (I - 1)$$

en donde X es la cantidad adsorbida por gramo de adsorbente, C es la concentración de equilibrio de la sustancia adsorbible, y K y n son constantes adimensionales que dependen de la naturaleza del sistema. Esta ecuación es sin embargo, empírica y se aplica únicamente para casos en los que las concentraciones son relativamente pequeñas. Se ha encontrado que es muy útil especialmente en la adsorción de líquidos.

Langmuir propuso una teoría en donde supone que

las fuerzas de adsorción son semejantes a las que tienen lugar en las combinaciones químicas, y que la adsorción del material se efectúa sobre la superficie del sólido a través de la formación de capas monomoleculares. Para gases, esta ecuación es la siguiente:

$$X = \frac{a b p}{1 + a p} \quad (I - 2)$$

en donde X es la masa adsorbida por unidad de superficie, p es la presión del gas, y a y b son constantes que dependen del sistema.

Se admite en general que esta ecuación es más representativa de los datos obtenibles experimentalmente, que la ecuación de Freundlich; sin embargo, a presiones altas, los datos experimentales no coinciden con los derivables de dicha ecuación (39). La ecuación de Langmuir se utiliza para explicar la adsorción química. La adsorción física admite la posibilidad de la formación de varias capas de moléculas y se explica con la ecuación de Brunauer-Emmet-Teller (B. E. T.) (1, 20, 28, 35, 39, 45).

$$\frac{1}{C V_m} + \frac{C - 1}{C V_m} \cdot \frac{P}{P_0} = \frac{P}{V (P_0 - P)} \quad (I - 3)$$

en donde V es el volumen de gas adsorbido; V<sub>m</sub> es el volumen necesario para formar una capa monomolecular, C es un parámetro, P es la presión del gas y P<sub>0</sub> es su presión de vapor.

## B.- TÉCNICAS DE ADSORCIÓN.

Las técnicas de adsorción más importantes se encuentran a continuación, en la Tabla I.

**TABLA I.**  
**TECNICAS DE ADSORCION.**

TECNICA	ADSORBENTES USADOS	APLICACIONES
Separación de gases y de mezclas de vapores y gases.	Alúmina, bauxita, carbón activado, gel de sílice, bentonita, magnesia.	Deodorización y secado de aire, eliminación de gases tóxicos, recuperación de disolventes.
Separación de solutos, coloides y sólidos en suspensión, de líquidos.	Tierra Fuller, alúmina, carbón activado, materiales cambiadores de iones, bentonita, magnesia.	Refinación y decoloración de azúcar, grasas y aceites, tratamiento de aguas, eliminación de sustancias venenosas.
Fraccionamiento por adsorción selectiva.	Alúmina, bauxita, gel de sílice, materiales cambiadores de iones, magnesia.	Adsorción cromatográfica, análisis, recuperación de metales preciosos y alcaloides.



Industrialmente la adsorción se lleva a cabo por dos procesos principales, y sus variantes. El más antiguo es el de percolación, en el cual el adsorbente se mantiene fijo, y el gas, líquido o solución que se va a tratar, se hace pasar a través de un lecho de adsorbente en forma granular. El otro procedimiento es el de contacto, en el cual el adsorbente, en forma pulverizada, se mezcla íntimamente con el líquido o solución que se trata, se agita durante un tiempo determinado, y se separa por filtración o combinando decantación y filtración.

### C. DECOLORACION DE ACEITES VEGETALES.

Los diversos procesos de blanqueo de aceites vegetales son:

1. - Decoloración por el empleo de sustancias químicas.
2. - Extracción líquido - líquido.
3. - Tratamiento a altas temperaturas, y principalmente,
4. - Adsorción (12, 14, 26, 27, 38).

1. - Los métodos de decoloración con sustancias químicas generalmente no se aplican a grasas y aceites de tipo comestible, sino únicamente para grasas de usos industriales. Esto se debe a que el tratamiento químico, además de cambiar las sustancias coloridas en otras incoloras, modifica algunos glicéridos, especialmente los no saturados, a los antioxidantes naturales de los aceites como son los tocoferoles y muchos otros, además de que generalmente se producen sabores indeseables (12, 14,

26, 27, 38).

Estos métodos pueden ser: (a) de oxidación; y (b) de reducción.

(a) Dentro de los procedimientos de oxidación, se pueden considerar los tratamientos con oxígeno atmosférico, ozono, peróxidos de hidrógeno, sodio, calcio y benzoilo, perborato de sodio, empleo de la luz solar, e incluso de ultravioleta, soluciones ácidas de dicromato o permanganato de sodio o potasio; y compuestos clorados como hipocloritos, cloritos, cloratos y dióxido de cloro (12, 14, 63).

(b) Las sustancias reductoras utilizadas en el blanqueo son el bisulfito de sodio en solución ácida, el hidrosulfito de sodio en solución alcalina, y además, el hidrógeno que tiene un efecto blanqueador bastante considerable (12).

2.- La extracción líquido - líquido se lleva a cabo utilizando disolventes como el propano y el furfural, que tienen gran selectividad hacia ciertas impurezas de las grasas y aceites, incluyendo muchos compuestos coloridos. Esta operación se utiliza principalmente en la refinación industrial de aceites de pescado, de soya y otros muchos (12).

3.- El tratamiento con calor y al vacío también tiene un efecto blanqueador; este efecto se aprovecha sobre todo en el proceso de deodorización al vacío, usando altas temperaturas (12).

Además de los procedimientos mencionados, durante

te el proceso de la refinación usual de un aceite, también se efectúa una reducción en el color en la fase de neutralización con sosa cáustica, ya que el jabón formado arrastra parte de las sustancias coloridas, del tipo de gomas, resinas y proteínas, actuando tanto mecánicamente, como por coagulación e interacción electrostática (12, 29).

4. - El procedimiento de adsorción es el de mayor uso industrial, sobre todo para aceites comestibles. Los adsorbentes tienen la facultad de retener no solamente los compuestos coloridos, sino también otras sustancias suspendidas coloidales, como gomas, resinas y otros productos de degradación. Se hace la aclaración que desde el punto de vista de la teoría de la adsorción, no importa si las sustancias colorantes están disueltas, o únicamente dispersas (12, 14).

#### D. TEORIA DE LA ADSORCION APLICADA A LA DECOLORACION DE ACEITES.

Como la concentración de las sustancias coloridas suele no pasar del 1% del peso del aceite (26, 29) muchos autores (12, 14, 17, 22, 26, 27, 29, 30, 32, 33, 38, 51) coinciden en que dentro de estos límites de concentración del soluto y dadas las temperaturas usuales del proceso, la decoloración sigue con bastante exactitud la ley de Freundlich. Fontana (23) sostiene sin embargo, que esta ley no es lo suficientemente exacta, y que es más conveniente utilizar la ley de Langmuir. En el estudio que nos ocupa se utilizará la ecuación de la ley de Freundlich, según la cual:

$$X = K C^n \quad (I - 1)$$

en donde, como se indicó, X es la cantidad adsorbida por gramo de adsorbente, y C es la concentración de la sustancia adsorbible. Ya que no es práctico medir directamente estas cantidades, se utiliza un método indirecto. Se supone que el color del aceite es directamente proporcional a la concentración de las impurezas colorantes o sea:

$$X = \frac{C_0 - C_r}{m}$$

$$\text{y } C = C_r$$

en donde  $C_0$  es el color original del aceite,  $C_r$  el color residual después de la decoloración, y  $m$  la cantidad de adsorbente usado y expresado como por ciento del peso de aceite tratado.

Substituyendo en la ecuación de Freundlich se obtiene:

$$\frac{C_0 - C_r}{m} = K C_r^n \quad (I - 4)$$

La expresión de esta relación en su forma logarítmica queda:

$$\log \frac{C_0 - C_r}{m} = \log K + n \log C_r \quad (I - 5)$$

y al graficar en papel logarítmico los valores de  $\frac{C_0 - C_r}{m}$  contra  $C_r$ , se obtienen puntos que están en la línea recta que tiene como ordenada de origen el valor de  $K$ , siendo  $n$  su pendiente.

El interés que presenta el estudio de la adsorción

en esta forma queda explicado a continuación:

Las constantes  $K$  y  $n$  dependen del adsorbente, del soluto adsorbido y de las condiciones de adsorción.  $K$  representa el valor de adsorción del material adsorbente, o la adsorción en la concentración unitaria y se puede considerar como indicador del poder decolorante.

$n$  es el exponente de adsorción, e indica la calidad o eficiencia de la adsorción a diversas concentraciones del soluto, o sea la forma como transcurre la adsorción y hasta que grado de decoloración es más eficaz un sistema que otro.

De acuerdo con lo anterior, los siguientes ejemplos indican como se lleva a cabo la adsorción en los sistemas de decoloración, según los valores que tengan  $K$  y  $n$ :

(a) Cuando en distintos sistemas los valores de  $K$  y  $n$  son iguales, los dos sistemas son idénticos, o equivalentes, y es indiferente utilizar cualquiera de ellos.

(b) Si el valor de  $n$  es el mismo para los dos sistemas, pero el  $K$  es diferente, las dos tierras pueden adsorber distinta cantidad de materia colorante, pero en la misma forma, y entonces, la cantidad de adsorbente necesario para decolorar un aceite hasta el mismo color, estará en razón inversa al valor de  $K$ ,

(c) Cuando tanto el valor de  $n$  como el valor de  $K$  son diferentes, ya que los valores de  $n$  generalmente no son iguales, es posible que un adsorbente sea más eficaz que otro en la decoloración de un aceite hasta un determinado color, y menos eficiente para decolorar el mismo aceite hasta otro nivel de color. Si el valor de  $n$  es alto,

el adsorbente será eficaz para separar las primeras porciones de la materia colorante, pero inadecuado para efectuar una decoloración intensa. Si el valor de  $n$  es bajo, ocurre lo contrario.

En general se puede decir que mientras mayor sea el valor de  $K$ , y menor el de  $n$ , es mejor el sistema de decoloración (12, 14, 17).

### E. VARIABLES QUE AFECTAN EL PROCESO DE ADSORCIÓN.

En la decoloración de los aceites por adsorción existen numerosas variables que afectan el proceso, siendo las principales:

#### (a) Tipo de adsorbente.

Los adsorbentes más usados son las arcillas decolorantes naturales, las arcillas activadas y los carbones activados. Las arcillas decolorantes naturales, conocidas también como tierras Fuller son principalmente silicatos de aluminio y magnesio pertenecientes al grupo de las montmorillonitas. Es difícil saber si una tierra es decolorante o no, a juzgar únicamente por su composición o estructura física aparente. La constitución química de una tierra sin capacidad de adsorción puede ser similar o equivalente a la de una tierra muy adsorbente. Algunas arcillas no adsorbentes, del tipo de las bentonitas, se pueden activar tratándolas con ácidos tales como el sulfúrico o clorhídrico, y adquirir un poder decolorante mayor que las tierras naturales (12, 14, 39).

Los carbones activados se pueden preparar a partir de carbón vegetal, mineral o animal. Entre los reactivos

que se emplean para la activación se encuentran: vapor, bióxido de carbono y otros gases capaces de ceder oxígeno, cloruro de zinc y carbonatos alcalinos (12, 39). En general, los carbones tienen mayor poder decolorante que las tierras, pero son más caros y retienen mayor cantidad de aceite.

Recientemente se ha encontrado que la alúmina, activada en forma tal que contenga una pequeña cantidad (cerca del 0.22%) de ácido sulfuroso adsorbido resulta altamente satisfactoria en la decoloración de ciertos aceites de algodón cuyo color residual ya no es posible eliminar con las arcillas ordinarias (51, 52).

Generalmente no se usa un solo tipo de adsorbente, sino mezclas de varias arcillas comerciales, y muy frecuentemente mezclas de arcillas con carbón. Para este último caso se emplea generalmente, una parte de carbón por 10 á 20 partes de arcilla, y en esta ~~mezcla se~~ obtienen resultados parecidos a los que se obtendrían utilizando el carbón solo en el mismo porcentaje que la mezcla (12, 14).

El tipo de adsorbente o mezcla de adsorbentes que es conveniente utilizar, se escoge no sólo por su poder decolorante, sino también por su precio, su retención de aceite, su facilidad de filtración y el efecto que tenga sobre las propiedades organolépticas del aceite.

(b) Porcentaje de adsorbente.

La cantidad de adsorbente utilizada en la industria varía usualmente del 0.25 al 3 por ciento para la mayoría de los aceites, aunque algunos requieren hasta el 7 u 8 por ciento (14). La relación entre la cantidad de adsorben

te y el color obtenido, se puede expresar por la ley de Freundlich.

(c) Grado de pulverización.

Ya que el poder adsorbente de un material depende de su superficie activa total, o sea incluyendo tanto la su superficie externa como la superficie interna formada por los poros y capilares microscópicos del material, en el caso de que las sustancias adsorbibles no puedan adecuadamente penetrar y fijarse en los poros, el poder de adsorción no se aprovecha en su totalidad y sólo se utiliza el de la superficie externa.

Por esta razón es conveniente aumentar la superficie externa del adsorbente, pulverizándolo lo mejor posible dentro de los límites en los cuales la filtración no ocasione problemas. La mayor parte de los adsorbentes comerciales están molidos para pasar la criba 200, a menos que se utilicen en procedimientos de percolación, en los que se tiene que utilizar partículas granulares usualmente de 15 a 60 mallas (39).

(d) Humedad del adsorbente.

Las tierras decolorantes contienen cierta cantidad de agua, que se presenta en dos formas: Ligada y Adherente. La primera constituye una parte inseparable de la arcilla; es la llamada agua de constitución y no es conveniente eliminarla, ya que entonces la arcilla pierde su poder decolorante (17).

El agua adherente puede variar en cantidad, pero no debe faltar, pues si se pierde, también disminuye su poder decolorante. Tampoco debe estar en exceso, ya que



se ha encontrado que una tierra que se ha mojado no vuelve a recuperar todo su poder decolorante inicial, después de secada (17, 61).

El contenido más favorable de humedad es de 4 a 5 por ciento, pero lo normal es que esté comprendido entre el 3 y el 8 por ciento. La velocidad de filtración y la retención de aceite por la tierra, varían con el contenido de humedad (17).

(e) Acidez del adsorbente.

Las tierras decolorantes naturales tienen un pH entre 7 y 10 mientras que las activadas lo tienen entre 3 y 7. La mayoría de los carbones activados son alcalinos (pH entre 8 y 11), pero hay algunos con componentes minerales, que bajan el pH hasta 3 ó 4 (17, 26, 27).

Las tierras naturales, y aquellas activadas que se han lavado hasta su neutralización, son inertes con respecto a los glicéridos, y no cambian las constantes químicas de los aceites durante la decoloración. Sin embargo, para aceites muy difíciles de decolorar, o que contienen pigmentos del grupo de la porfirina (clorofila) es mejor utilizar tierras ácidas, ya que estos pigmentos suelen ser inestables en medio ácido. Por otra parte debe tenerse en cuenta que el empleo de estas tierras provoca un aumento en el contenido de ácidos grasos, y además le puede conferir al aceite un sabor "terroso", que en ciertos casos se puede eliminar después, durante el proceso de deodorización (12, 14, 17, 26, 27).

(f) Tipo de aceite.

La cantidad de adsorbente que es necesario utilizar

para llegar a un color determinado, depende del tipo de aceite, ya que unos se decoloran más fácilmente que otros, y además el manejo inadecuado que haya sufrido la semilla puede hacer cambiar su cantidad y tipo de materiales coloridos y por lo tanto, su facilidad de decoloración, aún en el caso de aceites del mismo tipo de semilla.

(g) Humedad del aceite.

En general es conveniente que el aceite esté totalmente seco, ya que si contiene agua, el adsorbente tiende a retenerla, disminuyendo así su capacidad para adsorber las sustancias colorantes. Sin embargo, en ciertos casos, trazas de humedad producen una mejor decoloración (12). Las normas de calidad generalmente establecen un máximo para el aceite refinado, de 0.05 por ciento (18, 19).

(h) Viscosidad del aceite.

La viscosidad del aceite es importante porque limita el contacto que pueda haber entre el adsorbente y las sustancias adsorbibles. Según la teoría, hay mayor adsorción mientras menor es la temperatura (28, 39), y sin embargo en la práctica se obtienen mejores resultados elevando la temperatura, ya que de este modo disminuye la viscosidad del aceite, y puede penetrar más fácilmente en los intersticios del adsorbente, por lo que aumenta la velocidad de adsorción y la cantidad de materia adsorbida (22).

(i) Color del aceite.

La cantidad de adsorbente que es necesario utilizar en un proceso de decoloración está determinada tanto por el color original del aceite como por el color final que se

desea obtener.

**(j). Impurezas adicionales del aceite.**

Si el aceite contiene impurezas adicionales, tales como gomas, resinas, mucflagos y jabones, el adsorbente los retendrá, disminuyendo así su capacidad de adsorción. Según la A. O. C. S., un aceite refinado debe contener de 0,05 a 0,15 por ciento de jabón, dependiendo del aceite y del método de neutralización, y después del blanqueo este contenido se debe reducir a menos de 0,005 por ciento. El contenido de jabón no influye en el color del aceite después de la decoloración, si se observa con luz transmitida, pero si se observa con luz transmitida y reflejada, el aceite con exceso de jabón adquiere un tinte parduzco (43).

**(k). Forma y secuencia de las operaciones.**

La industria aceitera generalmente utiliza el método de contacto para el proceso de adsorción, el cual, con algunas variaciones se efectúa de la siguiente manera (12, 14, 26, 27).

El aceite previamente refinado mediante neutralización y secado, se mezcla íntimamente con la cantidad apropiada de adsorbente, se calienta, se agita durante un tiempo determinado y se filtra utilizando filtros prensa. La operación puede ser intermitente o continua, presentando mayores ventajas el método continuo (12, 14, 54).

Después de la filtración en filtro - prensa, el adsorbente todavía tiene una cantidad apreciable de aceite, por lo que se le aplica aire o vapor a presión, para recuperar la mayor cantidad posible de aceite. Si el sopiado se

hace con aire, existe el peligro de que el aceite se oxide. Si se hace con vapor, se puede recuperar un poco más de aceite, pero también se arrastran compuestos oxidados. Generalmente, primero se sopla con aire, y después con vapor. El aceite así recuperado es de calidad inferior al aceite decolorado obtenido antes del soplado.

El residuo del filtro prensa tiene de un 18 a un 55 por ciento de aceite, que se puede recuperar hirviendo con una solución alcalina diluida, y separando la capa de aceite de la superficie, o por extracción utilizando disolventes. Esta última es más eficiente, siempre y cuando no se utilicen disolventes polares, ya que junto con el aceite extraerían gran cantidad de pigmentos y compuestos oxidados y polimerizados (12, 14, 22).

(L) Temperatura de operación.

La temperatura a la cual se efectúa la decoloración varía según el tipo de aceite, desde 70°C para aceites fácilmente oxidables, hasta 170 y 200°C para aceites difícilmente decolorables. Puede decirse que para la mayoría de los casos se utilizan temperaturas de 80 a 120°C (12, 14, 26, 27).

(m) Agitación de la mezcla.

La agitación debe ser lo bastante eficiente como para mantener al adsorbente en suspensión y favorecer el contacto entre éste y el aceite. Dentro de ciertos límites, mientras más eficiente sea la agitación, mejor resulta la decoloración (5, 7, 12, 14).

(n) Atmósfera de trabajo.

La decoloración se puede efectuar en recipientes

abiertos, cerrados, con atmósfera inerte y al vacío. Los mejores resultados se obtienen en ausencia de oxígeno, ya sea trabajando al vacío o en atmósfera inerte, ya que así se puede efectuar la decoloración a mayor temperatura sin peligro de oxidación del aceite (12, 14, 23, 33, 54).

(o) Tiempo de contacto.

El tiempo de contacto varía según el tipo de aceite, temperatura utilizada y agitación desde unos cinco minutos hasta una hora, siendo lo más usual de 20 a treinta minutos (5, 7, 12, 14, 25, 26, 27, 61). En general, cuanto mayor sea el tiempo de contacto, se obtiene mejor decoloración, pero se puede llegar a un tiempo del cual no es conveniente pasar, pues puede venir un retroceso en la decoloración (61).

Además de estas variables, pueden existir otras todavía no bien estudiadas, como por ejemplo el efecto que sobre la adsorción tenga la operación industrial de filtración, misma que puede ser responsable en parte de que se obtengan mejores decoloraciones en la industria que en el laboratorio. Al parecer la torta en el filtro actúa como un lecho adsorbente, y permite una decoloración adicional (14).

## II. - EL COLOR EN LOS ACEITES.

## A. PIGMENTOS DE LOS ACEITES.

Las grasas y aceites vegetales constan principalmente de triglicéridos, los cuales forman entre el 95 y el 99 por ciento de la constitución de los aceites. El porcentaje restante está formado por sustancias llamadas secundarias en cuanto a su concentración; sin embargo, desde el punto de vista bioquímico, la importancia de algunas es muy grande (14, 21, 26).

Estas sustancias se pueden dividir en varios grupos:

1.- Impurezas ocasionales, como agua, sustancias albuminoideas, goma y mucílagos.

2.- Productos de la hidrólisis de los triglicéridos, como son los diglicéridos, monoglicéridos, ácidos grasos y glicerina.

3.- Sustancias ligadas al sabor y al olor, como son algunas cetonas de elevado peso molecular e hidrocarburos de muy baja volatilidad como escualeno, gadoseno, resinas y otras.

4.- Fosfátidos, fosfolípidos o fosfolipinas, como la lecitina, cefalina y lipositol.

5.- Estructuras esteroideas, como el colesterol, y los fitosteroles. Entre éstos se encuentran el sitosterol, estigmasterol, ergosterol, campesterol, y brasicasterol.

6.- Antioxidantes naturales (inhibidores), como los tocoferoles, croman - 5, 6-quinona, gossipol y sesamol.

7.- Pigmentos; como los lipocromos y clorofilas.

8.- Vitaminas liposolubles como la vitamina A, D, E, y K, y el ácido vaccénico. Algunas de éstas provienen de otras sustancias existentes en los aceites. La vitamina A se puede considerar como derivada del  $\beta$ -caroteno, y la vitamina D<sub>2</sub> (calciferol), del ergosterol, mientras que la vitamina E la constituyen los tocoferoles.

9.- Flora microbiana normal, incluyendo hongos, levaduras y bacterias.

10.- Enzimas lipolíticas, como la lipasa.

11.- Sustancias minerales, como fosfatos y jabones de sodio, cobre, hierro, níquel y manganeso.

De estos compuestos, los más importantes desde el punto de vista del estudio del color, son los pigmentos, cuya concentración generalmente no pasa del 1 por ciento del peso del aceite crudo (26, 29). La cantidad y el tipo de los pigmentos depende de varios factores, tales como el tipo de material del cual se extrae el aceite, el método de extracción, la madurez de la semilla, su calidad, el daño que puede haber sufrido por humedad, heladas, almacenamiento y las temperaturas que haya soportado durante la extracción. Si el crecimiento, cosecha o almacenamiento de las semillas ha sido defectuoso, desarrollan ciertos



TABLA II

PIGMENTOS USUALMENTE ENCONTRADOS EN LOS ACEITES.

Pigmento	Color	Longitud de onda de máxima absorción (m $\mu$ )
$\alpha$ -caroteno	Amarillo	509, 477
$\beta$ -caroteno	Amarillo	521, 485, 450
$\gamma$ -caroteno	Amarillo	533, 496, 463
Licopeno	Anaranjado	526, 490, 457
Xantófila	Amarillo	508, 475, 444
$\alpha$ -clorofila	Verde azulado	660, 613
$\beta$ -clorofila	Verde amarillento	642, 593
$\alpha$ -feofitina	Verde oliva	667, 610
$\beta$ -feofitina	Verde oscuro	660, 602
Gosipol	Amarillo pálido	288, 364
Gosifulvin	Anaranjado	312, 440
Gosicerulin	Azul	605
Gosipurpurin	Morado	370, 530, 565
Flavona	Amarillo	
Xantona	Amarillo	
Antoxantina	Amarillo	
Antocianina	Rojo	
Croman-5, 6-quinona	Rojo oscuro	

pigmentos difíciles de eliminar, cuya naturaleza todavía no es bien conocida (21).

En la tabla II se encuentran algunos de los pigmentos más importantes, y sus características generales se encuentran en el Apéndice A.

## B. REVISIÓN DE METODOS PARA LA DETERMINACIÓN DE COLOR.

"El color consiste en aquellas características de la luz que no son inhomogeneidades espaciales y temporales, siendo la luz el aspecto de la energía radiante del cual se da cuenta un observador humano por medio de las sensaciones visuales provocadas por la estimulación de la retina del ojo" (41).

Esta definición relaciona el color y la luz con la energía radiante, únicamente si esta última produce un efecto visual en el observador, siendo por lo tanto, entidades psicofísicas, y en su evaluación sólo es necesario tomar en cuenta la banda de energía radiante comprendida entre las longitudes de onda de 380 m $\mu$ , y la de 770 m $\mu$ , ya que la retina únicamente puede captar la energía comprendida dentro de esta banda (41).

Otra definición (37) establece que el color es "la respuesta mental a un estímulo provocado por la luz, la cual se ha modificado en sus características espectrales por medios físicos o químicos".

El color de un aceite tiene gran influencia en el precio de éste, y está íntimamente ligado con la calidad. El aceite extraído de semillas normales tiene mejor color (o sea, color más claro, y de eliminación más fácil) que el

aceite extraído de semillas verdes (inmaduras), o que han sido maltratadas por el calor, el frío, o el almacenamiento (80).

Existe una gran variedad de métodos para medir el color de un aceite, unos de los cuales son subjetivos, y otros objetivos. Los más usados industrialmente son los métodos subjetivos, aunque últimamente se ha empezado a extender el uso de los métodos objetivos.

Los métodos subjetivos son aquéllos que se basan en la apreciación personal del color que se determina, y por lo tanto, los resultados no son estrictamente reproducibles; los principales son los siguientes:

1. - Apreciación puramente personal, utilizada por los catadores de Italia y Francia, y que clasifican un color con términos tales como amarillo muy claro, amarillo claro, amarillo limón, amarillo rojizo, amarillo verdoso, y verdoso amarillento (27).

2. - Uso de diccionarios de colores, en los que se señalan los colores y sus nombres, como el atlas de colores de E. y J. Villalobos, con 7,279 colores; las tarjetas del Textile Color Card Association of the United States con 216 colores; el diccionario de Ridgway, con cerca de 1,000 colores, el Wilson Color Chart, el Horticultural Color Chart, y el Munsell Book of Color (27, 37, 41).

3. - Sistema Lovibond. - El sistema Lovibond se desarrolló en Inglaterra en 1887 para medir el color de la cerveza, pero se ha extendido grandemente y en la actualidad se utiliza para cerámica, aceites, pinturas, vinos, cosméticos, productos farmacéuticos, alimenticios, de petróleo, textiles y muchos otros.

Consiste en tres juegos de filtros rojos, amarillos y azules, coloreados con oro, plata y cobalto respectivamente. Su graduación es arbitraria, pero se relacionan entre sí de modo que la combinación de una unidad de rojo, una de amarillo y una de azul, observada a la luz del día, se ve acromática, y el resultado es una unidad neutra (gris) (27, 37, 41). Para aceites vegetales se ha establecido la utilización únicamente de los colores rojos y amarillos. Los filtros rojos se calibran y verifican según la escala Priest-Gibson "N" por el National Bureau of Standards; los filtros amarillos no se verifican, ya que el ojo humano no puede captar variaciones relativamente grandes, en este color (14, 27, 41). El método oficial del American Oil Chemists' Society (A. O. C. S.) utiliza el colorímetro Wesson; un mínimo de 26 filtros rojos, graduados desde 0.1 hasta 20.0 y 10 filtros amarillos, desde 1.0 hasta 70.0; y tubos que indiquen una longitud de paso de luz de 133.35 mm (5.25 pulgadas) y 25.4 mm (1 pulgada). El procedimiento es el siguiente:

El tubo se llena de aceite filtrado hasta la marca de 133.35 mm. y se iguala el color usando relaciones determinadas de rojo a amarillo. Si el aceite es muy oscuro, se utiliza la marca 25.4 mm (9, 14, 27, 41, 55).

Según la A. O. C. S., este método es aplicable a todos los aceites y grasas normales, con tal de que no presenten turbidez (9); sin embargo, si el aceite tiene tonalidades verdes o cafés, resulta muy difícil, y a veces imposible, el hacer una buena comparación entre el aceite y los filtros (14, 27, 31, 32, 46, 50, 53, 56, 60).

4.- Soluciones Army.- Consisten en grupos de soluciones cuyas concentraciones están ajustadas para producir el color deseado. El grupo más usado es una triada

de soluciones acuosas de cloruro de cobalto (rojo), cloruro férrico (amarillo) y sulfato de cobre (azul), en ácido clorhídrico al 1 por ciento; este grupo puede producir cualquier color excepto el rojo oscuro y azul oscuro. Se puede suplementar con una tríada de soluciones acuosas amoniacales de sales de cobalto, cromo y cobre, y un par de soluciones acuosas de permanganato de potasio y dicromato de potasio. Las soluciones se usan para medir el color del aceite de hígado de bacalao, según el método de la United States Pharmacopeia (41).

5. - Colorímetro Union. - La comparación de color se efectúa por medio de 12 filtros calibrados, numerados del 1 al 8. Se utiliza sobre todo para aceites lubricantes y petrolato, según el método de la A. S. T. M. (38).

6. - Cronómetro Saybolt. - Compara la altura de una columna de aceite con 3 filtros amarillentos, según el número usado de filtros y la altura de la columna de aceite, se obtienen los colores, que van desde + 30 para el más claro, hasta - 16 para el más oscuro. Generalmente se usa para derivados de petróleo, pero también se llega a usar en aceites vegetales (41).

7. - Métodos usados en la industria de pinturas:

(a) Estándares de Hellige. - Es un comparador con 18 filtros de colores, calibrados individualmente (41).

(b) Comparador Pfund. - Compara el grosor de un estándar cuneiforme con el grosor de el aceite puesto en un recipiente también cuneiforme (41).

(c) Estándares de Parlin (o Cargille). - Es un juego de 35 soluciones. Las 10 primeras son soluciones de pla-

tino-cobalto, (cloro platinato de potasio y cloruro cobalto so), utilizadas también para medir el color de las aguas naturales por la American Public Health Association y la American Water Works Association, y las restantes son soluciones de caramelo (37, 41).

(d) Colorímetro Du Pont. - Emplea 6 placas de vidrio y una cuña del mismo vidrio que permite variaciones continuas de color entre cada placa (41).

(e) Estándares de Gardner. - Son 18 tubos herméticamente cerrados, con combinaciones de soluciones Army rojas y amarillas. Cada color equivale a dos tercios de la intensidad correspondiente al número superior, siendo el número 18 del mismo color que una solución de 3 gramos de dicromato potásico en 100 mililitros de ácido sulfúrico. Se utiliza para vehículos de pinturas (11, 14, 37, 41, 60).

8. - Colores del Fat Analysis Committee. - Es una serie de 26 tubos con soluciones de varias sales inorgánicas, numerados del 1 al 45 en números impares, para cinco tipos de aceite. Del 1 al 9, sirven para aceites ligeramente coloreados. Los números 11, 11A, 11B, y 11C sirven para aceites muy amarillos; del 13 al 19, para aceites rojizos; del 21 al 29 para aceites verdosos, y del 31 al 45 para aceites muy oscuros (8, 14, 60).

9. - Sistema Ostwald. - Caracteriza los colores con un número y dos letras. El número indica el tono del color, en una escala arbitraria relacionada con la longitud de onda, y las dos letras indican su "contenido de blanco" y "contenido de negro" respectivamente (41).

10. - Sistema Munsell. - Describe los colores según

tino-cobalto, (cloro platinato de potasio y cloruro cobalto so), utilizadas también para medir el color de las aguas naturales por la American Public Health Association y la American Water Works Association, y las restantes son soluciones de caramelo (37, 41).

(d) Colorímetro Du Pont. - Emplea 6 placas de vidrio y una cuña del mismo vidrio que permite variaciones continuas de color entre cada placa (41).

(e) Estándares de Gardner. - Son 18 tubos herméticamente cerrados, con combinaciones de soluciones Army rojas y amarillas. Cada color equivale a dos tercios de la intensidad correspondiente al número superior, siendo el número 18 del mismo color que una solución de 3 gramos de dicromato potásico en 100 mililitros de ácido sulfúrico. Se utiliza para vehículos de pinturas (11, 14, 37, 41, 60).

8.- Colores del Fat Analysis Committee. - Es una serie de 26 tubos con soluciones de varias sales inorgánicas, numerados del 1 al 45 en números impares, para cinco tipos de aceite. Del 1 al 9, sirven para aceites ligeramente coloreados. Los números 11, 11A, 11B, y 11C sirven para aceites muy amarillos; del 13 al 19, para aceites rojizos; del 21 al 29 para aceites verdosos, y del 31 al 45 para aceites muy oscuros (8, 14, 60).

9.- Sistema Ostwald. - Caracteriza los colores con un número y dos letras. El número indica el tono del color, en una escala arbitraria relacionada con la longitud de onda, y las dos letras indican su "contenido de blanco" y "contenido de negro" respectivamente (41).

10.- Sistema Munsell. - Describe los colores según

su tono, luminosidad y saturación. La luminosidad indica el equivalente acromático (gris) que le corresponde al color. El tono determina si un color se percibe como rojo, azul, amarillo, verde, violeta, o algún color intermedio. La saturación indica la cantidad de color que lo separa del gris de su misma claridad. La claridad se llama valor Munsell, la saturación se llama croma munsell, y el tono se llama tono munsell.

Como estos métodos son cómodos y rápidos, industrialmente tienen mucha aplicación, especialmente el sistema Lovibond, a tal grado que las normas oficiales del American Oil Chemists' Society y de la Secretaría de Industria y Comercio (5-7, 18, 19), especifican colores Lovibond para clasificar los aceites. Sin embargo, debido a que en todos estos métodos la comparación es personal, está sujeta a las siguientes fuentes de error (55, 65):

1. Que el observador no pueda juzgar los colores adecuadamente.
2. Sensibilidad de la visión, la cual varía con las diferentes concentraciones de color.
3. Fatiga y cansancio del ojo.
4. Error en la lectura de la escala.
5. Errores mecánicos del colorímetro.
6. Errores de variación de la luz.
7. Errores de los estándares artificiales.

Además la mayor parte de los métodos son muy limi



tados en su aplicación; en muchas ocasiones no se obtiene equivalencia entre el aceite y los estándares, y los resultados son poco reproducibles.

Desde 1931 existe el método fotométrico de la Commission Internationale de l'Eclairage (C. I. E.), o International Commission on Illumination (I. C. I.), que utiliza el sistema tristímulus, en el cual el rojo se representa con la letra X, el verde con Y, y el azul con Z. Generalmente los colores se representan con las coordenadas cromáticas,  $x = X/X + Y + Z$ ,  $y = Y/X + Y + Z$ , y su luminosidad, que está asociada al valor de Y. Los valores de X, Y y Z se obtienen sumando los valores de la transmitancia, o porcentaje de transmisión, en 40 longitudes de onda, desde 380 m $\mu$  hasta 770 m $\mu$ , multiplicadas por un factor. Este método es el que indica con mayor exactitud el color, sin embargo, es demasiado complicado y lento, y no siempre es práctico desde el punto de vista de su utilización industrial (41).

En 1943 se empezó a buscar un método para la medición del color de los aceites a base de observaciones fotométricas que permitiera mayor exactitud y reproducibilidad de resultados (2, 57).

Los métodos que se han desarrollado son los siguientes:

1.- Whyte (64) en 1947, calculó el tono y la saturación de un color utilizando las relaciones de absorbancia (anteriormente llamada densidad óptica), obtenidas por medio de 3 filtros, rojo, verde, y azul.

2.- También en 1947 Thompson (62) propuso dos fórmulas para relacionar valores fotométricos a unida-

des Lovibond rojas.

$$L. R. = 11.2 A_{550} - 0.4 \quad (II - 1)$$

$A_{550}$ : Absorbancia en 550 m $\mu$ , calculada para una celda de 10 cm de paso de luz.

$$L. R. = 6.34 - \frac{T}{28} \quad (II - 2)$$

T: suma de las transmisiones en 430 m $\mu$  y 480 m $\mu$  usando una celda rectangular de 15 mm.

3. - En 1948, Agee (2) propuso una fórmula utilizando celdas de 21.3 mm.

$$L. R. = \frac{100 A_{550}}{1.3} \quad (II - 3)$$

4. - Presnell (51) en 1949 propuso un método simple para sacar valores tristímulus, usando la transmisión en 3 longitudes de onda (53).

5. - En 1949 Miner y Weil (42) proponen fórmulas para los colores Lovibond rojo y amarillo, usando celdas de 13 mm.

$$\text{Rojo: } L. R. = 80.7 A_{520} - 0.55 \quad (II - 4)$$

$$\text{Amarillo: } L. Y. = 153 A_{440} - 5.7 \quad (II - 5)$$

6. - Nuevamente en 1949, Agee (3) propuso dos fórmulas para Lovibond rojo, con celdas de 21.8 mm.

$$\text{Para densidad hasta 0.085, } L. R. = 42 A_{525} \quad (II - 6)$$

$$\text{Para densidades mayores de 0.085, } L. R. = 23.4 A_{525} - 1.52 \quad (II - 7)$$

tados en su aplicación; en muchas ocasiones no se obtiene equivalencia entre el aceite y los estándares, y los resultados son poco reproducibles.

Desde 1931 existe el método fotométrico de la Commission Internationale de l'Eclairage (C. I. E.), o International Commission on Illumination (I. C. I.), que utiliza el sistema tristimulus, en el cual el rojo se representa con la letra X, el verde con Y, y el azul con Z. Generalmente los colores se representan con las coordenadas cromáticas,  $x = X/X + Y + Z$ ,  $y = Y/X + Y + Z$ , y su luminosidad, que está asociada al valor de Y. Los valores de X, Y y Z se obtienen sumando los valores de la transmitancia, o porcentaje de transmisión, en 40 longitudes de onda, desde 380 m $\mu$  hasta 770 m $\mu$ , multiplicadas por un factor. Este método es el que indica con mayor exactitud el color, sin embargo, es demasiado complicado y lento, y no siempre es práctico desde el punto de vista de su utilización industrial (41).

En 1943 se empezó a buscar un método para la medición del color de los aceites a base de observaciones fotométricas que permitiera mayor exactitud y reproducibilidad de resultados (2, 57).

Los métodos que se han desarrollado son los siguientes:

1.- Whyte (64) en 1947, calculó el tono y la saturación de un color utilizando las relaciones de absorbancia (anteriormente llamada densidad óptica), obtenidas por medio de 3 filtros, rojo, verde, y azul.

2.- También en 1947 Thompson (62) propuso dos fórmulas para relacionar valores fotométricos a unida-

des Lovibond rojas.

$$L. R. = 11.2 A_{550} - 0.4 \quad (II - 1)$$

$A_{550}$ : Absorbancia en 550 m $\mu$ , calculada para una celda de 10 cm de paso de luz.

$$L. R. = 6.34 - \frac{T}{20} \quad (II - 2)$$

T: suma de las transmisiones en 430 m $\mu$  y 480 m $\mu$  usando una celda rectangular de 15 mm.

3.- En 1948, Agee (2) propuso una fórmula utilizando celdas de 21.3 mm.

$$L. R. = \frac{100 A_{550}}{1.3} \quad (II - 3)$$

4.- Presnell (51) en 1949 propuso un método simple para sacar valores tristímulus, usando la transmisión en 3 longitudes de onda (53).

5.- En 1949 Miner y Weil (42) proponen fórmulas para los colores Lovibond rojo y amarillo, usando celdas de 13 mm.

$$\text{Rojo: } L. R. = 80.7 A_{520} - 0.55 \quad (II - 4)$$

$$\text{Amarillo: } L. Y. = 153 A_{440} - 5.7 \quad (II - 5)$$

6.- Nuevamente en 1949, Agee (3) propuso dos fórmulas para Lovibond rojo, con celdas de 21.8 mm.

$$\text{Para densidad hasta } 0.085, L. R. = 42 A_{525} \quad (II - 6)$$

$$\text{Para densidades mayores de } 0.085, L. R. = 23.4 A_{525} - 1.52 \quad (II - 7)$$

7. - En 1950 la A. O. C. S. (4, 10) adoptó como método tentativo una correlación de valores en cuatro longitudes de onda, usando celdas de 21.8 mm.

$$\text{Color} = 1.29 A_{460} + 69.7 A_{550} + 41.2 A_{620} - 56.4 A_{670} \quad (\text{II} - 8)$$

8. - Como esta fórmula no era adecuada para aceites verdes, en 1953 Stillman (56) propuso dos fórmulas para obtener valores Lovibond rojo, y una fórmula para determinar el color de un aceite basado en el grado de decoloración, usando celdas de 21.8 mm.

Para aceites con clorofila:

$$\text{L. R.} = 77.4 A_{550} - 31.2 A_{670} \quad (\text{II} - 9)$$

Para aceites sin clorofila:

$$\text{L. R.} = 4.6 A_{460} - 34 A_{550} \quad (\text{II} - 10)$$

Color basado en el grado de decoloración:

$$\text{Color} = 70.6 A_{550} - 10.7 A_{670} \quad (\text{II} - 11)$$

9. - En 1955, Jacini y Carola (31) propusieron que el color se mida por el área bajo la curva de absorción, desde 400 m $\mu$  hasta 700 m $\mu$ , tomando valores cada 20 m $\mu$ .

$$\text{Color} = \int_{\lambda = 400}^{\lambda = 700} \left[ 2.5 (A_{\lambda} + A_{\lambda + 20}) \right] \quad (\text{II} - 12)$$

10. - En 1957, Pohle y Tierney (46) proponen usar como valor de color, la absorbancia a una sola longitud de onda, usando celdas de 21.8 mm.

Color = 100 A<sub>500</sub>

(II - 13)

11. - Pons, Kuck y Frampton (50), en 1960, sugieren seguir el método del área bajo la curva de absorción, pero únicamente desde las 400 mμ hasta las 550 mμ, considerando que la mayor parte del color está comprendida en esa región.

$$\text{Color} = \int_{\lambda = 400}^{\lambda = 550} \left[ 10 (A_{\lambda} + A_{\lambda + 10}) \right] \quad (\text{II} - 14)$$

Como parte importante de la aplicación de cualquiera de estos métodos, el comité de color de la A. O. C. S., menciona la calibración del instrumento, usando soluciones fijas de sulfato de níquel, dicromato de potasio y sulfato cobaltoso - amónico (10, 58).

7.- En 1950 la A. O. C. S. (4, 10) adoptó como método tentativo una correlación de valores en cuatro longitudes de onda, usando celdas de 21.8 mm.

$$\text{Color} = 1.29 A_{460} + 69.7 A_{550} + 41.2 A_{620} - 56.4 A_{670} \quad (\text{II} - 8)$$

8.- Como esta fórmula no era adecuada para aceites verdesos, en 1950 Stillman (56) propuso dos fórmulas para obtener valores Lovibond rojo, y una fórmula para determinar el color de un aceite basado en el grado de decoloración, usando celdas de 21.8 mm.

Para aceites con clorofila:

$$\text{L. R.} = 77.4 A_{550} - 31.2 A_{670} \quad (\text{II} - 9)$$

Para aceites sin clorofila:

$$\text{L. R.} = 4.6 A_{460} - 34 A_{550} \quad (\text{II} - 10)$$

Color basado en el grado de decoloración:

$$\text{Color} = 70.6 A_{550} - 10.7 A_{670} \quad (\text{II} - 11)$$

9.- En 1955, Jacini y Carola (31) propusieron que el color se mida por el área bajo la curva de absorción, desde 400 mμ hasta 700 mμ, tomando valores cada 20 mμ.

$$\text{Color} = \int_{\lambda=400}^{\lambda=700} \left[ 2.5 (A_{\lambda} + A_{\lambda+20}) \right] \quad (\text{II} - 12)$$

10.- En 1957, Pohle y Tierney (46) proponen usar como valor de color, la absorbancia a una sola longitud de onda, usando celdas de 21.8 mm.

Color = 100 A<sub>500</sub>

(II - 13)

11. - Pons, Kuck y Frampton (50), en 1960, sugieren seguir el método del área bajo la curva de absorción, pero únicamente desde las 400 m $\mu$  hasta las 550 m $\mu$ , considerando que la mayor parte del color está comprendida en esa región.

$$\text{Color} = \int_{\lambda = 400}^{\lambda = 550} \left[ 10 (A_{\lambda} + A_{\lambda} + 10') \right] \quad (\text{II} - 14)$$

Como parte importante de la aplicación de cualquiera de estos métodos, el comité de color de la A. O. C. S., menciona la calibración del instrumento, usando soluciones fijas de sulfato de níquel, dicromato de potasio y sulfato cobaltoso - amónico (10, 58).



### III. - TRABAJO EXPERIMENTAL.

**A. SELECCION DE UN METODO EFICAZ PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA DE LA DECOLORACION POR ADSORCION.**

Teniendo en cuenta que la determinación de la eficiencia de la decoloración por adsorción de las arcillas varía con la naturaleza de los aceites, y deseando disponer de un método que conviniera para determinar dicha eficiencia, tanto en aceites con color rojo como en los que tienen colores verdes, se decidió investigar de entre los diversos métodos de determinación fotométrica de color, aquél que ofreciera mayor exactitud, y al mismo tiempo que no resultara lento o complicado.

El grado de exactitud de los métodos se comprobó según su forma de seguir la ley de Beer-Lambert, o Beer Bouguer (38), que a continuación se presenta:

$$I = I_0 e^{-k' c d} \quad (\text{III} - 1)$$

En donde I es la intensidad de la luz transmitida, I<sub>0</sub> es la intensidad de la luz incidente, c es la concentración de la solución, y d es la longitud del paso de la luz.

En forma logarítmica la ecuación queda:

$$\log \frac{I}{I_0} = -k c d \quad (\text{III} - 2)$$

la relación  $\frac{I}{I_0}$  corresponde a la transmisión T, y por definición la absorbancia es:

$$A = -\log T \quad (\text{III} - 3)$$

por lo que:

$$A = k c d \quad (\text{III} - 4)$$

Esta relación indica que la absorbancia es proporcional a la concentración de la solución, si la longitud del paso de la luz es constante, o sea que si se grafica en las ordenadas el color de un aceite, medido por algún método aditivo, como por ejemplo: el color Lovibond, el fotométrico de la A. O. C. S., o el índice de color de Pons, Kuck y Frampton, y en las abscisas el porcentaje de dilución de ese aceite, si el método es exacto, se debe de obtener una línea recta.

Con objeto de establecer la exactitud del método para diversos aceites, se escogieron tres tipos: aceite de ajonjolí, algodón y cártamo. Se escogieron estos tipos de aceite por ser de los de mayor producción en el país, y por tener diferentes tonalidades antes de la decoloración, ya que el aceite de ajonjolí es verdoso, el de algodón es rojizo, y el de cártamo es amarillo. Los aceites utilizados en el trabajo fueron proporcionados por dos empresas aceiteras y fueron previamente refinados. El término aceite refinado se refiere a aquéllos que han sufrido un proceso de filtración, neutralización y secado, pero que todavía no han sido decolorados. Un aceite decolorado es aquél que después de la refinación ha sufrido una decoloración con adsorbentes.

La figura 1 muestra las curvas de absorción de los

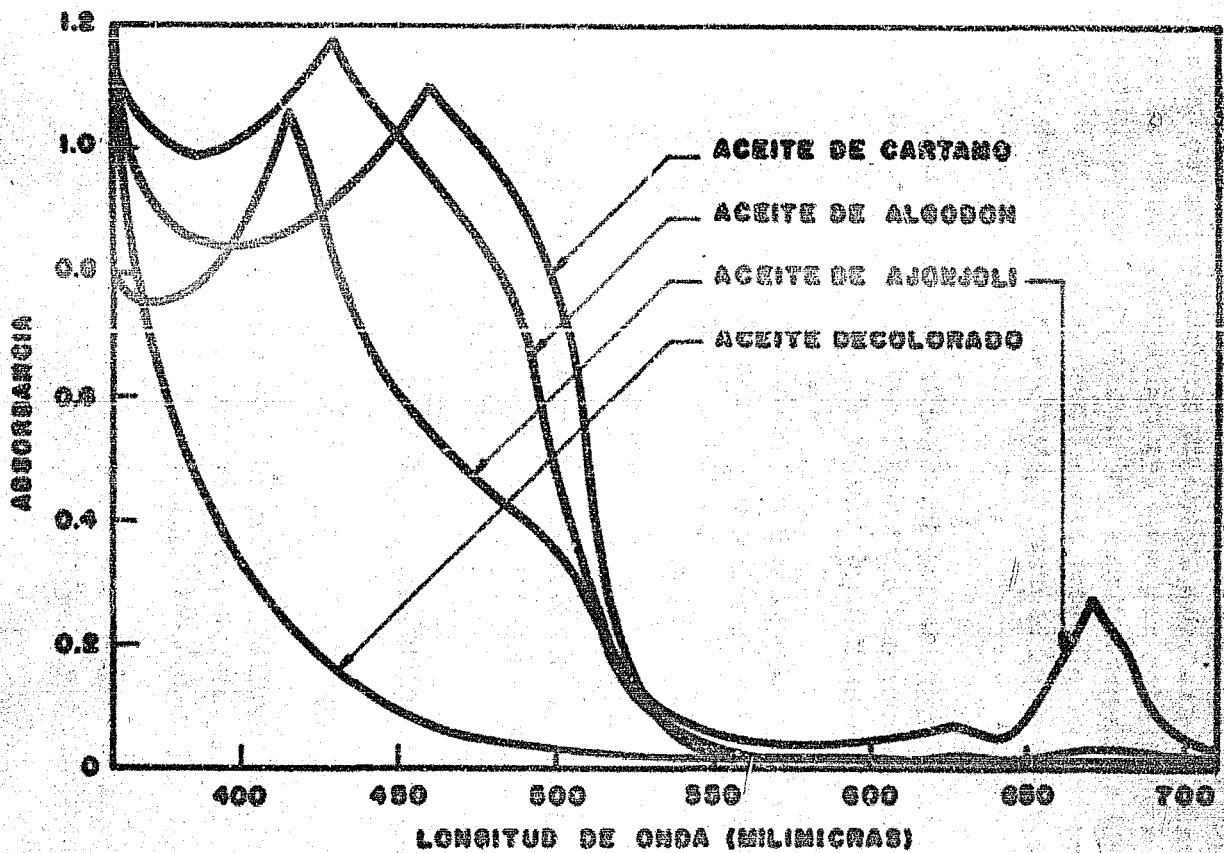


Fig. 1. Curvas de absorción de los aceites de ajonjolí, algodón y cártamo sin decolorar, y un aceite decolorado.

tres aceites refinados usados en la experimentación y una curva característica de un aceite decolorado. Estas curvas se obtuvieron utilizando un espectrofotómetro Bausch & Lomb, modelo Spectronic 20, con una banda de 20 m $\mu$  en celdas de 11.4 mm de diámetro interno, usando tetracloruro de carbono como testigo para el 100% de transmisión (cero de adsorbancia).

Para hacer la dilución de los aceites, primero se obtuvo un aceite muy claro, tratando los aceites con 10% de tierra activada, más 1% de carbón activado.

Los aceites así decolorados se mezclaron con aceite refinado, en varias proporciones, y se obtuvo su color utilizando los siguientes métodos.

1. Método Lovibond.
2. Método espectrofotométrico de la A. O. C. S.  
(COLOR = 1.29 A<sub>460</sub> + 69.7 A<sub>550</sub> +  
41.2 A<sub>620</sub> - 56.4 A<sub>670</sub>).
3. Método que sugiere R. C. Stillman para colores Lovibond.  
(COLOR = 77.4 A<sub>550</sub> - 31.2 A<sub>670</sub>)
4. Método que sugiere R. C. Stillman basado en el grado de decoloración del aceite.  
(COLOR = 70.6 A<sub>550</sub> - 10.7 A<sub>670</sub>)
5. Método de Jacini y Carola, y éste mismo método modificado según Pons, Kuck y Frampton.

$$\text{COLOR} = \int_{\lambda = 400}^{\lambda = 700} [ 2.5 (A_{\lambda} + A_{\lambda} + 20) ]$$

$$\text{Y COLOR} = \int_{\lambda = 400}^{\lambda = 550} [ 10 (A_{\lambda} + A_{\lambda} + 10) ]$$

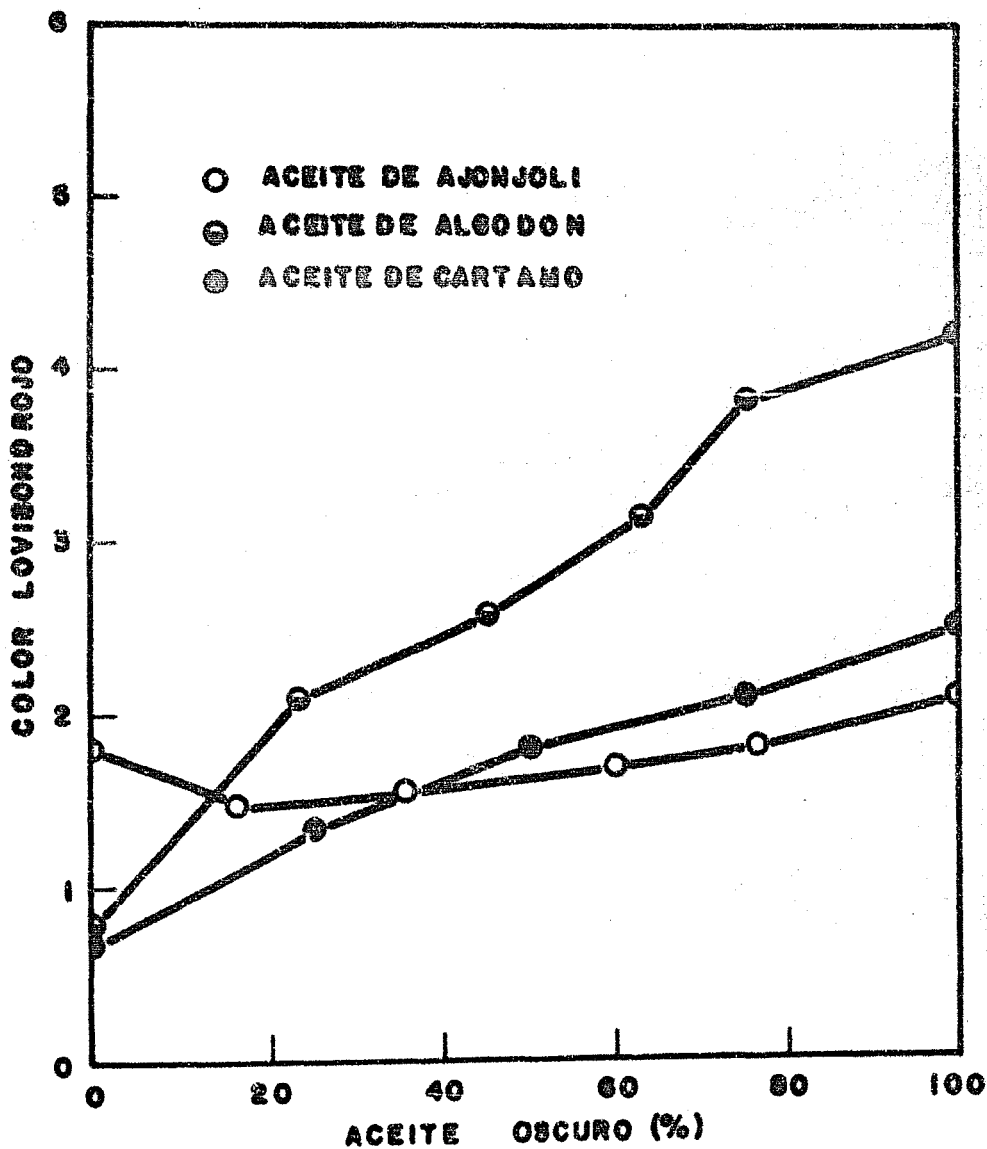
6. Método de Pohl y Tierney, modificado para utilizar no únicamente la longitud de onda de 500  $\mu$  sino además otras longitudes de onda.

$$\text{COLOR} = A_{\lambda}$$

Los resultados de estos métodos y su discusión se presentan en el mismo orden a continuación.

1.- El método Lovibond no siguió la ley de Beer (Figura 2); esto se debe a las razones antes expuestas de la subjetividad del método. En adición a lo anterior y para el caso del aceite de ajonjolí la tonalidad verde del aceite refinado provoca un descenso en los valores, al grado de mostrar el mismo color rojo el aceite decolorado y la mezcla al 76%, teniendo además las otras mezclas un color más bajo que el aceite decolorado. El aceite de algodón y el de cártamo muestran valores ascendentes, pero que no caen sobre una línea recta.

2.- El método fotométrico de la A. O. C. S. tampoco siguió la ley de Beer (Figura 3); esto puede deberse al factor tan grande que usa la fórmula del cálculo en la longitud de onda de 550  $\mu$ , que hace que pequeños errores en la medición de la absorbancia causen una diferen-



**Fig. 2.** Relación entre el color Lovibond rojo y la mezcla de un aceite oscuro y un aceite decolorado. Nótese que los puntos no siguen la proporcionalidad que exige la ley de Beer.

$$\text{COLOR} = \int_{\lambda = 400}^{\lambda = 700} [ 2.5 (A_{\lambda} + A_{\lambda} + 20) ]$$

$$\text{Y COLOR} = \int_{\lambda = 400}^{\lambda = 550} [ 10 (A_{\lambda} + A_{\lambda} + 10) ]$$

6. Método de Ponce y Tierney, modificado para utilizar no únicamente la longitud de onda de 500 mμ sino además otras longitudes de onda.

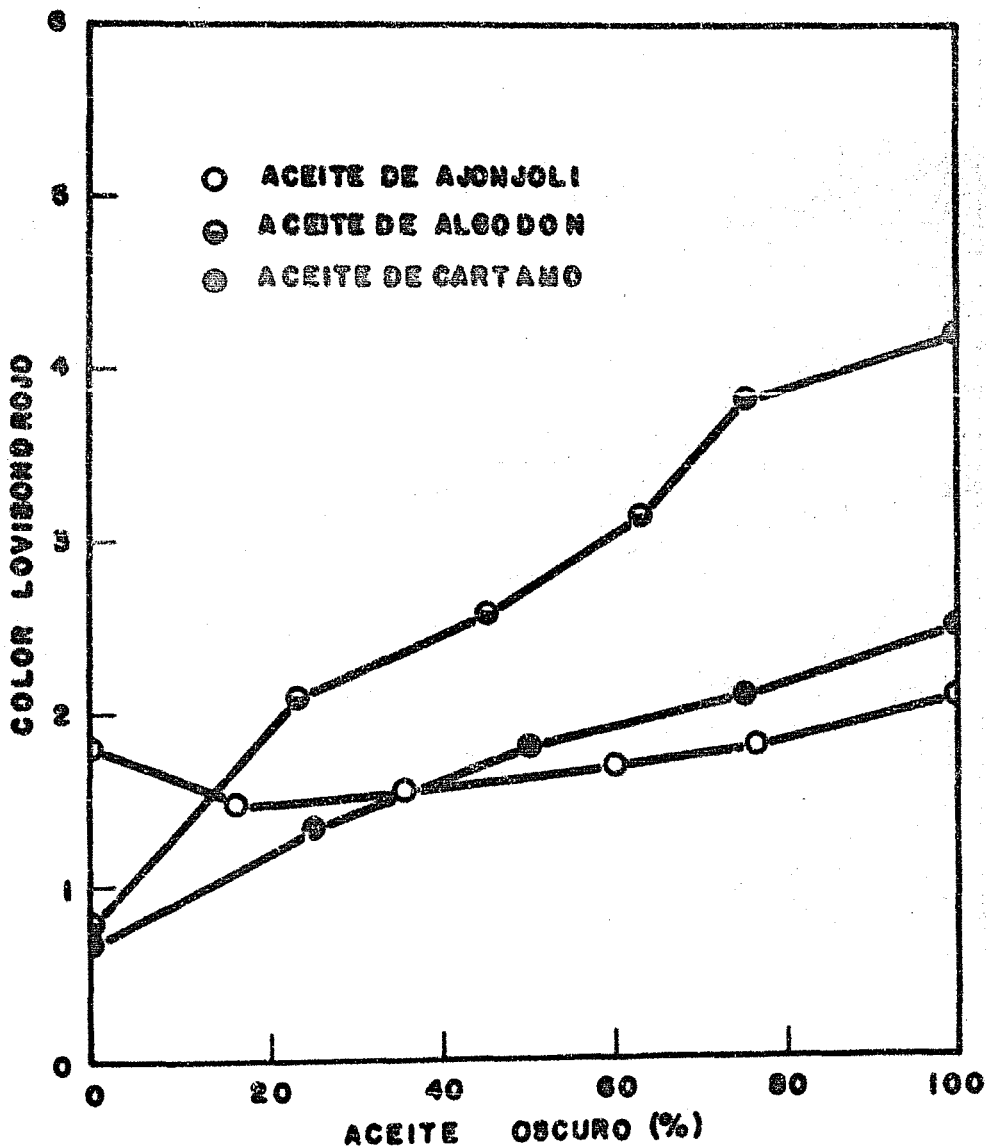
$$\text{COLOR} = A_{\lambda}$$

Los resultados de estos métodos y su discusión se presentan en el mismo orden a continuación.

1.- El método Lovibond no siguió la ley de Beer (Figura 2); esto se debe a las razones antes expuestas de la subjetividad del método. En adición a lo anterior y para el caso del aceite de ajonjolí la tonalidad verde del aceite refinado provoca un descenso en los valores, al grado de mostrar el mismo color rojo el aceite decolorado y la mezcla al 76%, teniendo además las otras mezclas un color más bajo que el aceite decolorado. El aceite de algodón y el de cártamo muestran valores ascendentes, pero que no caen sobre una línea recta.

2.- El método fotométrico de la A. O. C. S. tampoco siguió la ley de Beer (Figura 3); esto puede deberse al factor tan grande que usa la fórmula del cálculo en la longitud de onda de 550 mμ, que hace que pequeños errores en la medición de la absorbancia causen una diferen-





**Fig. 2. Relación entre el color Lovibond rojo y la mezcla de un aceite oscuro y un aceite decolorado. Nótese que los puntos no siguen la proporcionalidad que exige la ley de Beer.**

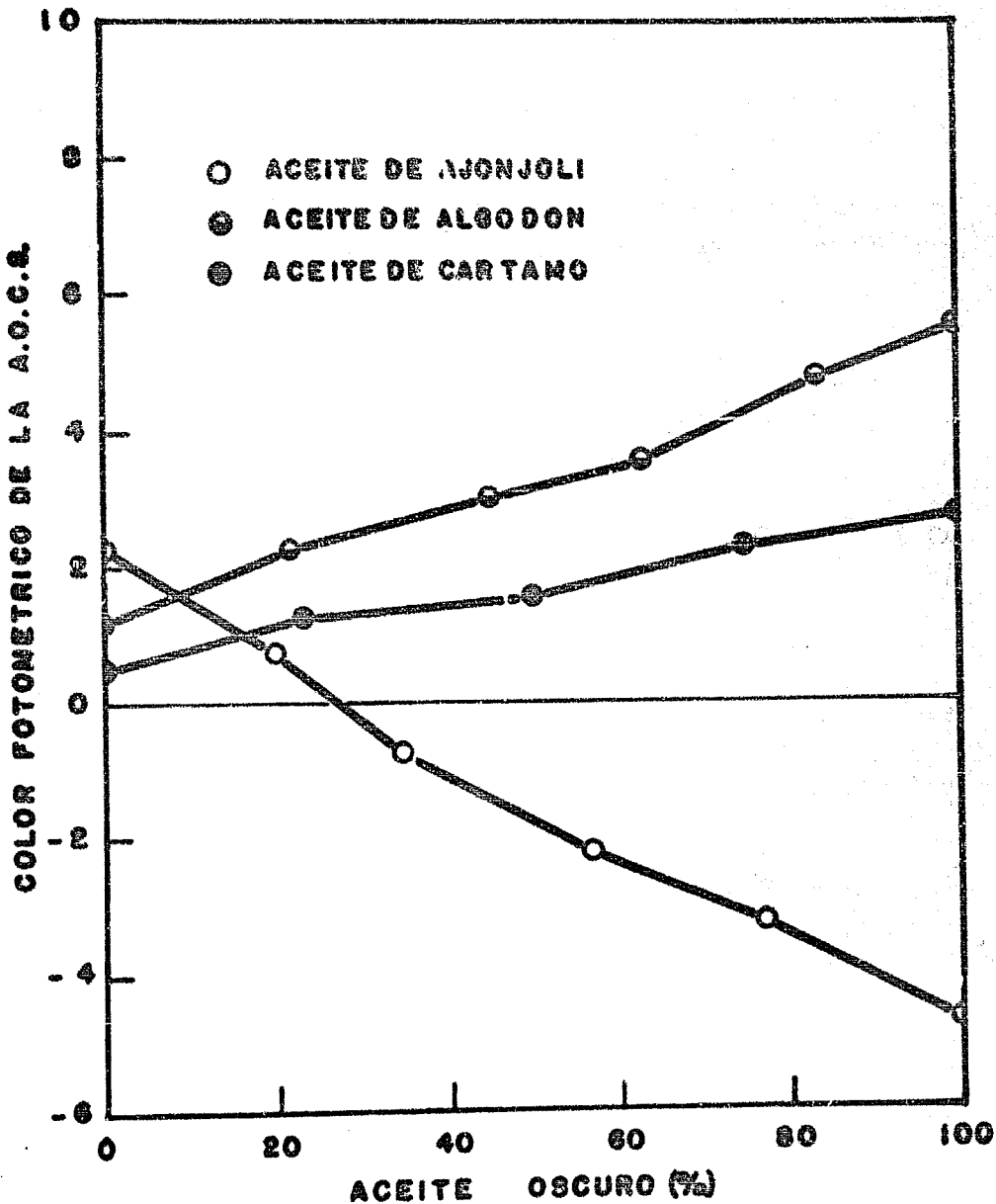


Fig. 3. Relación entre el color fotométrico de la A.O.C.S. y el porcentaje de aceite oscuro. Nótese que los puntos no siguen la proporcionalidad que exige la ley de Beer.

cia apreciable en el resultado final. Además, el factor negativo en las 760 m $\mu$  ocasiona un descenso bastante considerable del resultado en los aceites de tonalidades verdosas, como el ajonjolí, ofreciendo resultados absurdos e irrealistas, como son los colores negativos que se obtienen.

3. - El método de R. C. Stillman para obtener valores equivalentes a los colores Lovibond rojo tampoco siguió la ley de Beer (Figura 4), por las mismas razones que el método fotométrico de la A. O. C. S.

4. - El método de R. C. Stillman basado en el grado de decoloración de los aceites (Figura 5), sigue la ley de Beer con cierta aproximación en los aceites de ajonjolí y cártamo, pero se desvió en el aceite de algodón.

5. - Tanto para el método de Jacini y Carola como para la modificación de Pons, Kuck y Frampton (Figura 6), se obtienen resultados que siguieron con precisión la ley de Beer en los tres aceites.

6. - Pohle y Tierney sugieren que se tome como índice de color la absorbancia en las 500 m $\mu$ , multiplicado por 100. Sin embargo, en esa región generalmente las curvas de absorción tienen una gran pendiente, por lo que pequeños errores en el ajuste de la longitud de onda hacen cambiar grandemente los resultados.

Estos errores en el ajuste de la longitud de onda sólo lo tienen importancia en el caso de que se use un espectrofotómetro que utilice un monocromador de suficiente poder de resolución. Los monocromadores más usuales son, según su poder de resolución, en orden decreciente, los siguientes:

1. - **Rejillas de difracción.**
2. - **Prismas.**
3. - **Filtros de Interferencia.**
4. - **Filtros coloridos.**

Con estos dispositivos generalmente no se obtiene una luz realmente monocromática, sino una banda de longitudes de onda, que será más grande cuanto menor sea el poder de resolución. Esto puede causar, si la banda es muy ancha, que los valores de absorción se aparten de la ley de Beer para concentraciones muy altas. Si se utiliza una rejilla de difracción, se puede efectuar la medición en un punto muy agudo de la curva de absorción, mientras que con filtros coloridos es conveniente escoger una zona relativamente plana de la curva, ya que así se obtendrían resultados más reproducibles.

En general se puede decir que los valores obtenidos en las mediciones de absorción dependen no sólo de la curva de absorción de la sustancia examinada, sino también de la distribución de intensidad de longitudes de onda del foco luminoso, de la curva de transmisión de longitudes de onda del monocromador, y de la sensibilidad del receptor (38 - A).

En vista de lo anterior, se efectuó la medida de la absorción en varias longitudes de onda, y se encontró que los tres aceites siguen la ley de Beer para la longitud de onda en donde el aceite refinado muestra su máxima absorción (Figura 7), y conforme la medición se aleja de esa longitud de onda, los valores que se obtienen se van alejando de la ley de Beer. Estas longitudes de onda de

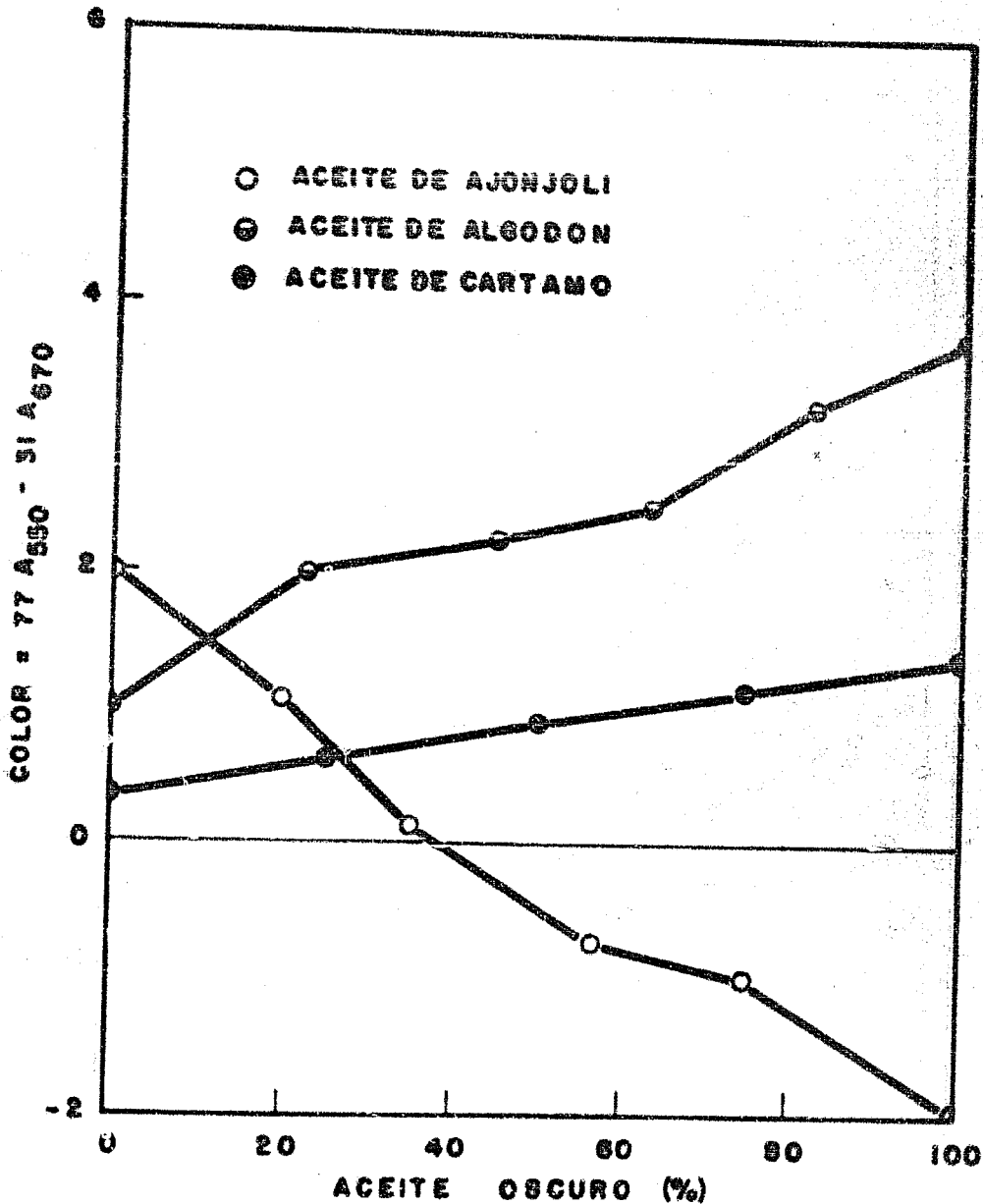


Fig. 4. Relación entre el método de R. C. Stillman para obtener colores Lovibond rojo y el porcentaje de aceite oscuro. Nótese que los puntos no siguen la proporcionalidad que exige la ley de Beer.

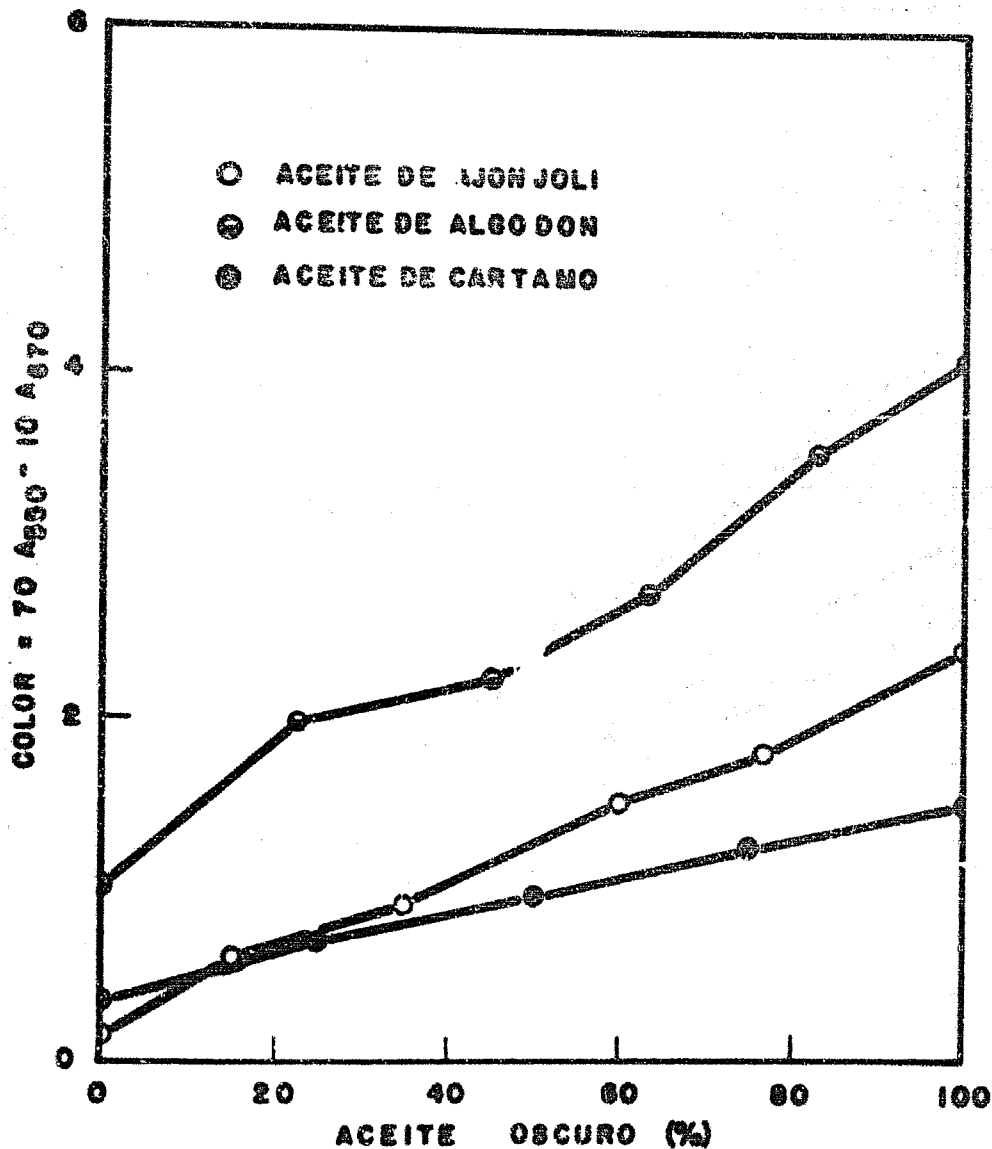


Fig. 5. Relación entre los valores del método de R. C. Stillman basado en la blanqueabilidad de los aceites, y el porcentaje de aceite oscuro. Nótese que los puntos no siguen la proporcionalidad que exige la ley de Beer.

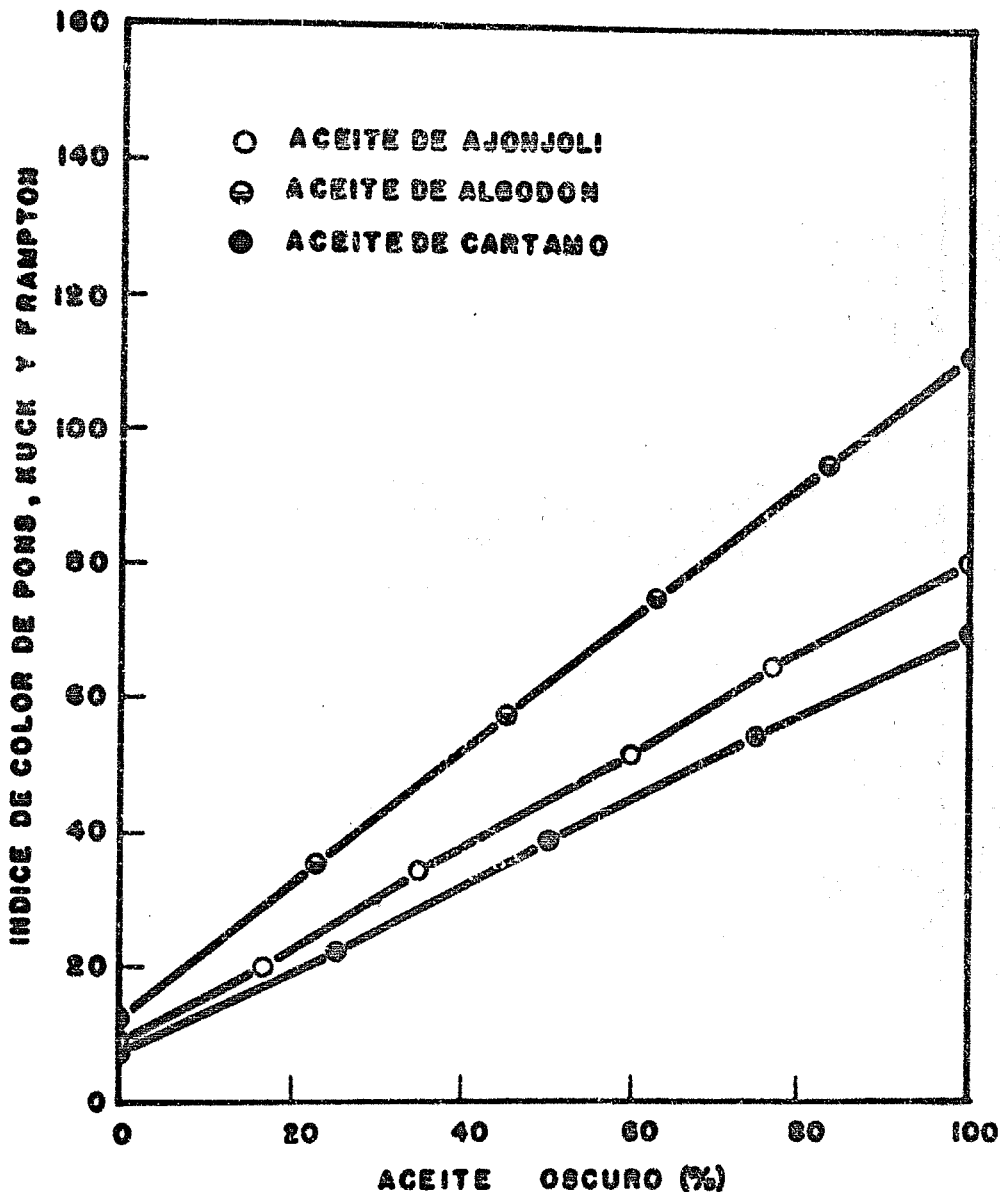


Fig. 6. Relación entre los resultados del método basado en el área determinada por la curva de absorción y el porcentaje de aceite oscuro. Nótese que los puntos siguen la proporcionalidad que exige la ley de Beer.

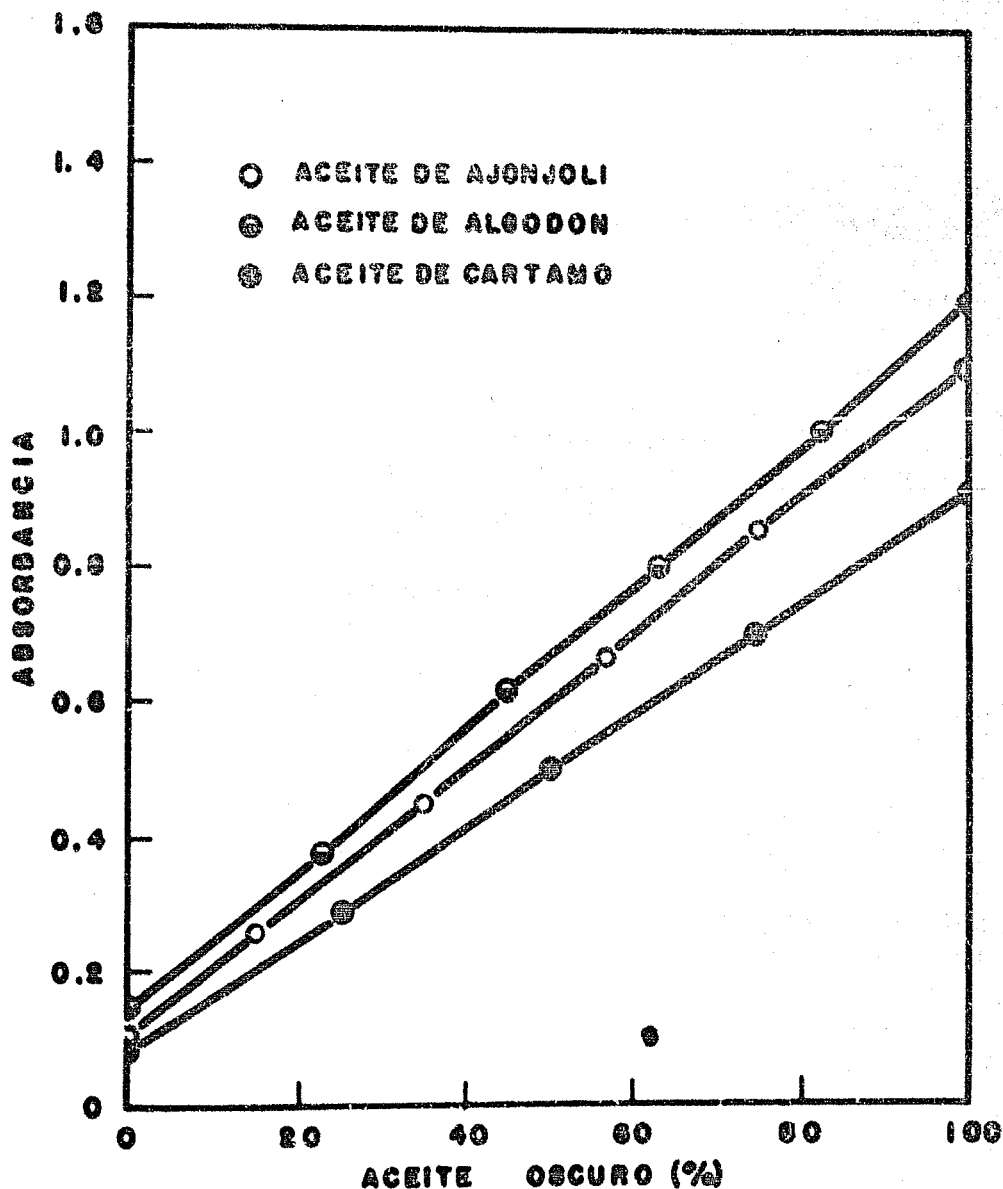


Fig. 7 Relación entre la absorbancia de los aceites en su longitud de onda característica y el porcentaje de aceite oscuro. Nótese que los puntos siguen la proporcionalidad que exige la ley de Beer.



máxima absorción, en las muestras usadas en el trabajo, fueron las siguientes:

- |                              |             |
|------------------------------|-------------|
| a. - Para aceite de ajonjolí | 415 m $\mu$ |
| b. - Para aceite de algodón  | 430 m $\mu$ |
| c. - Para aceite de cártamo  | 460 m $\mu$ |

Estas longitudes de onda son válidas para las muestras con las que se trabajó, y pueden variar tratándose de otros aceites de las mismas semillas.

Según los resultados anteriores, los métodos más exactos son:

- La medición de color según el método del área bajo la curva de absorción, y
- Midiendo la absorbancia a una longitud de onda característica para cada aceite.

El método del área tiene el inconveniente de utilizar un gran número de mediciones de la absorbancia, y algunas operaciones matemáticas, por lo que a pesar de su exactitud, resulta poco práctico, sobre todo si se tiene que medir el color de un número grande de muestras.

El método de la máxima absorbancia es de gran exactitud y simplicidad, ya que sólo se necesita una lectura para cada muestra, una vez que se ha determinado en qué longitud de onda tiene el aceite esa máxima absorbancia.

Por las razones expuestas, se decidió utilizar el 7o. método o sea aquél que utiliza como color el resultado de

la absorbancia en la longitud de onda característica para cada aceite, en la cual éste presenta su máxima absorción.

## B. EFECTO DE ALGUNAS VARIABLES DEL SISTEMA EN LA DECOLORACION POR ADSORCION.

1.- Variables investigadas.- De las variables de un proceso de adsorción, mencionadas en el capítulo primero, las siguientes se mantuvieron constantes durante toda la experimentación:

- a.- Tipo de adsorbente.
- b.- Grado de pulverización.
- c.- Humedad del adsorbente.
- d.- Acidez del adsorbente.
- e.- Tipos de aceite.
- f.- Humedad del aceite.
- g.- Impurezas adicionales del aceite.
- h.- Tipo de Proceso.
- i.- Agitación de la mezcla.
- j.- Atmósfera de trabajo.

El adsorbente utilizado fue una arcilla activada, cuyas características se encuentran en el Apéndice B.

Los aceites fueron de tres tipos: ajonjolí, algodón, cártamo, todos previamente refinados.

Las variables que se investigaron fueron las siguientes:

- (a). - Porcentaje de adsorbente.
- (b). - Temperatura de trabajo.
- (c). - Viscosidad del aceite.
- (d). - Tiempo de contacto y
- (e). - Color final del aceite.

a. - Porcentaje de adsorbente. - Se trabajó con porcentajes cercanos a los utilizados en la industria, para aceites fácilmente decolorables. Estos porcentajes fueron: 0.5%, 1.0% y 1.5%.

b. - Temperatura de trabajo. - La experimentación se hizo ajustándose a las temperaturas de 25°C, 60° y 120°C.

c. - Viscosidad del aceite. - La viscosidad de los aceites a 25°C fue de 56 cp., a 60°C disminuyó a 18 cp, y a 120°C fue de 10 cp. El aceite disuelto al 33% con tetracloruro de carbono tuvo una viscosidad de 11 cp. a 25°C y de 8 cp. a 60°C. Las mediciones fueron hechas en un viscosímetro Brookfield, modelo R. V. F.

d. - Tiempo de contacto. - El efecto del tiempo se observó tomando muestras durante el proceso de la decoloración a 1, 3, 5, 10, 15, 30 y 45 minutos.

e. - **Color final del aceite.** - El color final del aceite que se obtuvo para cada una de las condiciones de trabajo y se midió según el método propuesto en la primera parte de este capítulo.

2. - **Aparatos y procedimientos.** - Para efectuar las decoloraciones se utilizaron vasos de 600 ml. de capacidad, de 85 mm de diámetro interno por 118 mm de altura, y de 1000 ml. de capacidad de 102 mm de diámetro interno por 142 mm de altura.

Se agitó por medio de un agitador de vidrio con 2 aspas de 65 mm. de longitud por 11 mm. de ancho, girando a  $250 \pm 10$  R. P. M.

El calentamiento se efectuó con llama de gas, y la temperatura se midió con un termómetro de bulbo de mercurio graduado desde  $-10^{\circ}\text{C}$  hasta  $250^{\circ}\text{C}$ , con divisiones de un grado.

La filtración se hizo con papel filtro E. & D. No. 512, de 125 mm. de diámetro, colocado en embudos de  $60^{\circ}\text{C}$ .

El procedimiento de decoloración fue el siguiente: se pesaron 250 g. de aceite en un vaso de 600 ml. de capacidad, se empezó a agitar, y se calentó hasta la temperatura deseada  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ , se agregó la cantidad necesaria de arcilla decolorante, y se continuó la agitación.

Las muestras se tomaron mediante succión a los tiempos correspondientes, y sin detener la agitación para que no variara la proporción aceite - arcilla.

Además se efectuaron decoloraciones con el aceite

disuelto al 33% en tetracloruro de carbono, a 25°C y 60°C. El procedimiento fue semejante, sólo que se utilizaron los vasos de 1000 ml. de capacidad, en los que se pusieron unos 200 ml. de aceite, se pesaron, y se diluyeron con 400 ml. de tetracloruro. La cantidad de tierra se agregó tomando en cuenta únicamente el peso del aceite. A cada una de las muestras se le determinó su peso específico después de filtrada, con un hidrómetro graduado desde 1.200 hasta 1.400, con divisiones de 0.002 unidades; como el por ciento en volumen sigue una línea recta al graficarse contra el peso específico (Figura 8), conociendo éste se pudo saber la concentración del aceite.

La lectura de la absorción de la muestra se hizo directamente con el aceite disuelto, y como la absorbancia es directamente proporcional a la concentración del aceite disuelto (Figura 9), dividiendo esta lectura entre el porcentaje de aceite, se obtuvo la absorbancia correspondiente al aceite sin disolver.

Se obtuvieron 105 muestras para cada aceite, o sea 315 muestras en total, a las cuales se les determinó su color utilizando el espectrofotómetro Bausch & Lomb, Modelo Spectronic 20.

El porcentaje de decoloración que sufrió el aceite se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de decoloración} = \frac{C_o - C_r}{C_o} \times 100$$

en donde  $C_o$  : Color original.

y  $C_r$  : Color residual.

Los valores de la decoloración obtenida para cada

una de las muestras se encuentra en el apéndice C, y los valores de las constantes de la ecuación de Freundlich, correspondiente a las diversas condiciones de trabajo, están en el apéndice D.

Utilizando estos resultados, se construyeron 86 gráficas, de las cuales se seleccionaron las más características, cuya explicación se presenta en la discusión de resultados.

### C. DISCUSION DE RESULTADOS.

a. - Efecto del tiempo. - Como se menciona en el capítulo I, en la industria la decoloración se efectúa en un tiempo entre 15 y 30 minutos, y las pruebas oficiales indican un tiempo de 5 minutos, en el cual ya se ha efectuado la mayor parte de la decoloración. En este trabajo se encontró que en el primer minuto ya se ha efectuado un gran porcentaje de la decoloración. En los siguientes minutos, el grado de decoloración sigue aumentando hasta los diez o quince minutos, a partir de los cuales la decoloración varía según el procedimiento seguido. Si se trabaja a bajas temperaturas, el grado de decoloración sigue aumentando ligeramente, mientras que si la temperatura es alta, entonces ocurre una disminución del grado de decoloración, probablemente debido a efectos de oxidación. Las figuras 10 y 11 muestran este fenómeno, y corresponden a aceite de ajonjolí, con 1% de adsorbente; para otros aceites y otros porcentajes de adsorbentes, las gráficas que se obtuvieron son semejantes.

b. - Efecto de la temperatura. - Para una cantidad determinada de adsorbente se obtuvieron más altos porcentajes de decoloración a mayores temperaturas. La figura 12 muestra que el efecto de la temperatura fue más

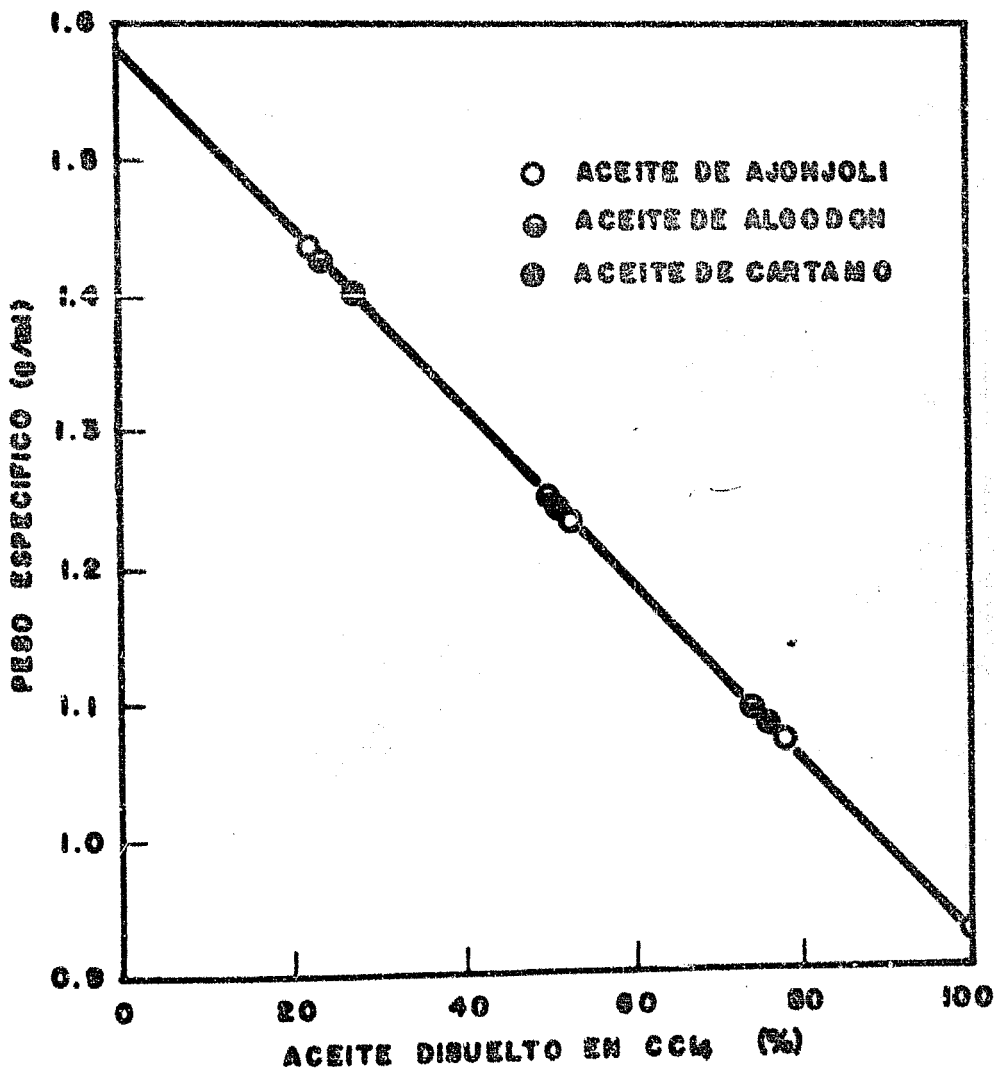


Fig. 3. Relación entre el peso específico y la concentración de los aceites de ajonjolí, algodón y cártamo, disueltos en tetracloruro de carbono.

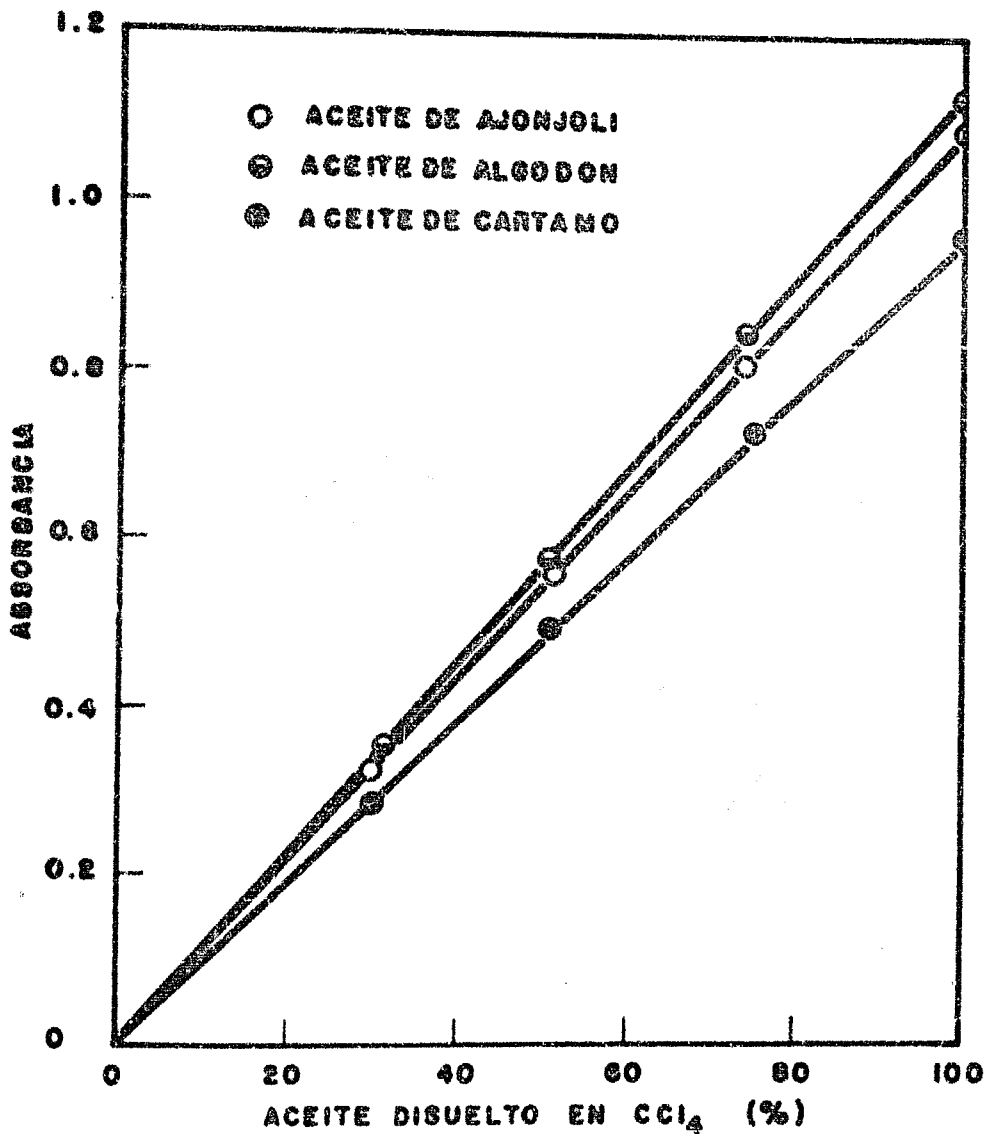


Fig. 9. Relación entre la absorbancia y la concentración de los aceites sin decolorar, disueltos en tetracloruro de carbono.



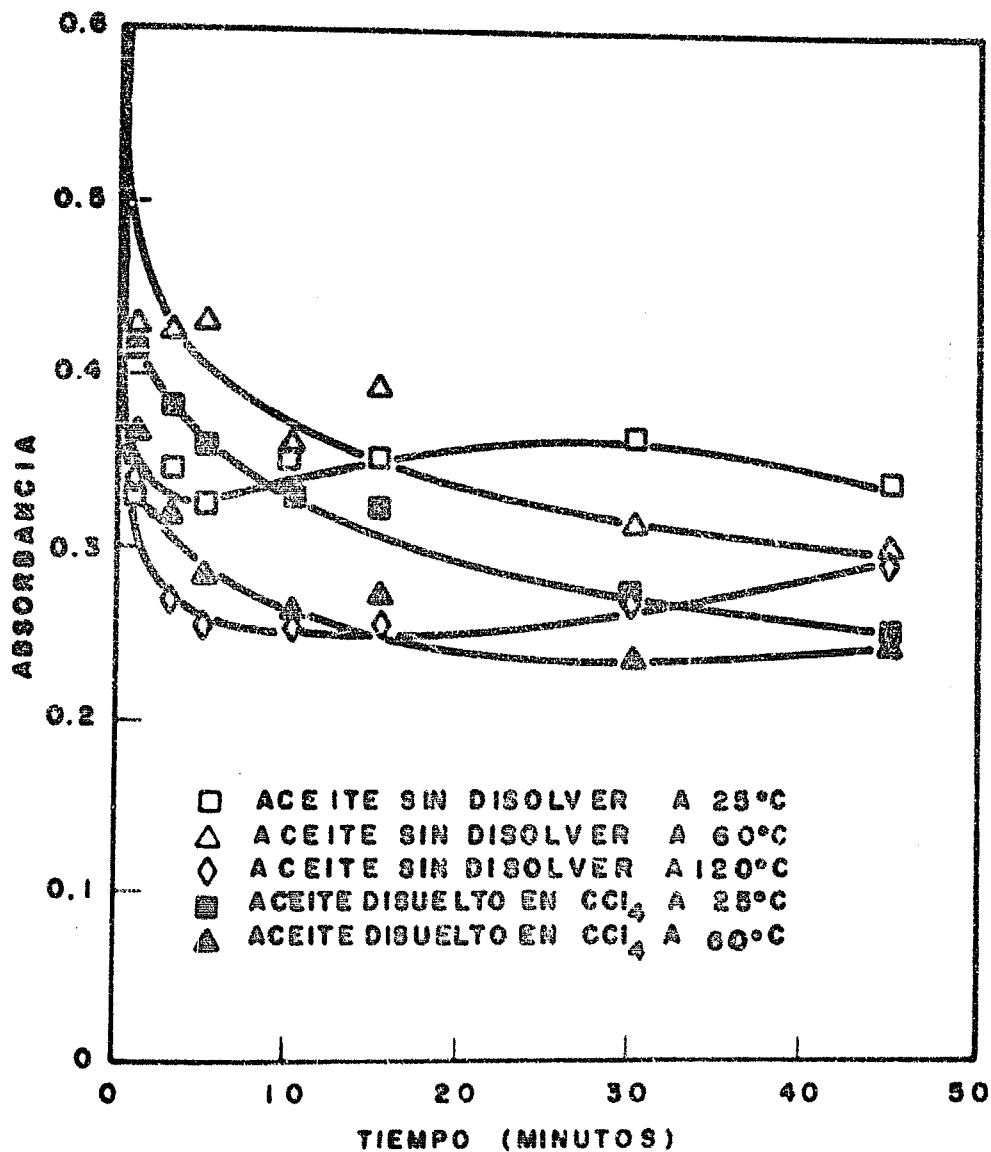


Fig. 10. Efecto del tiempo en la absorbancia, durante la decoloración del aceite de ajonjolí.

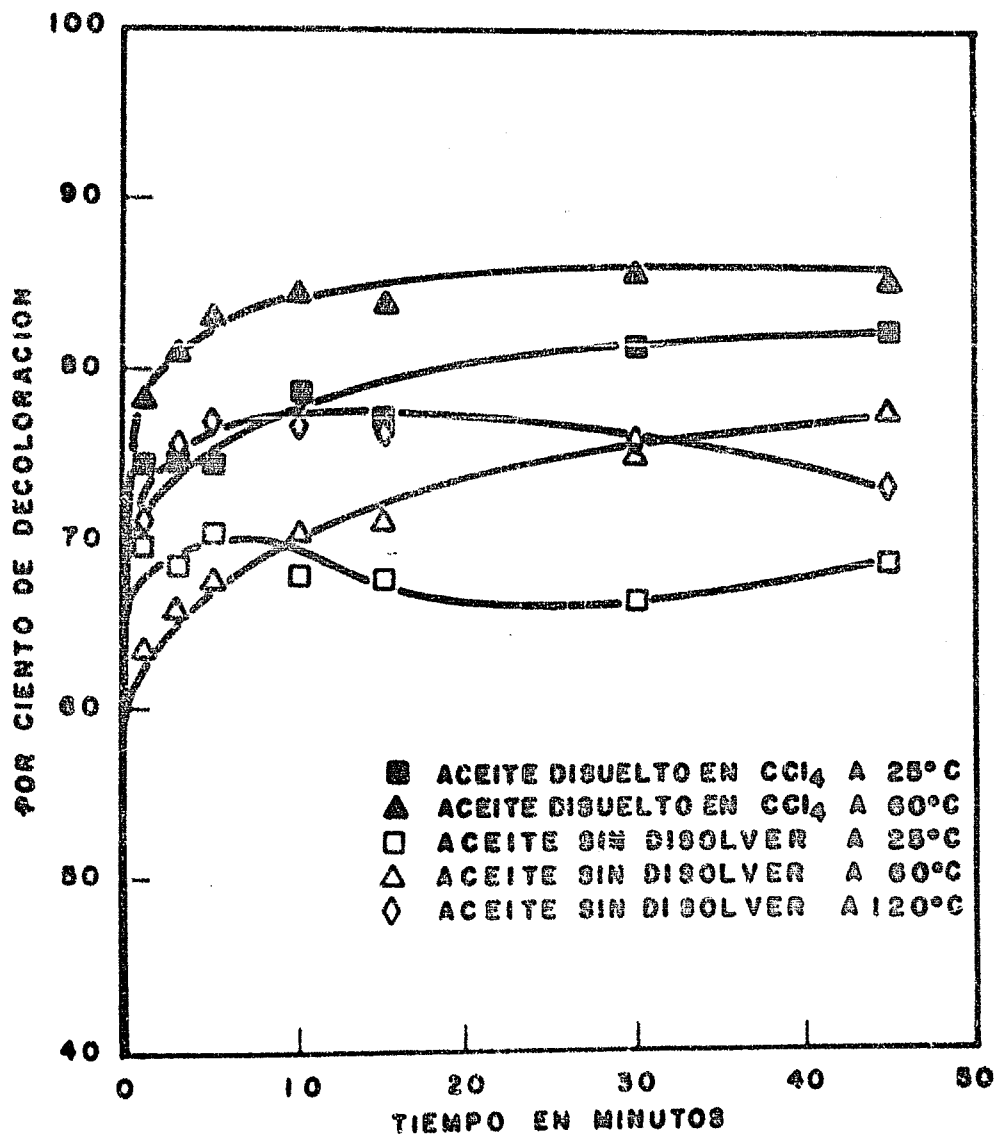


Fig. II. Efecto del tiempo en el porcentaje de decoloración sufrido por el aceite de ajonjolí.

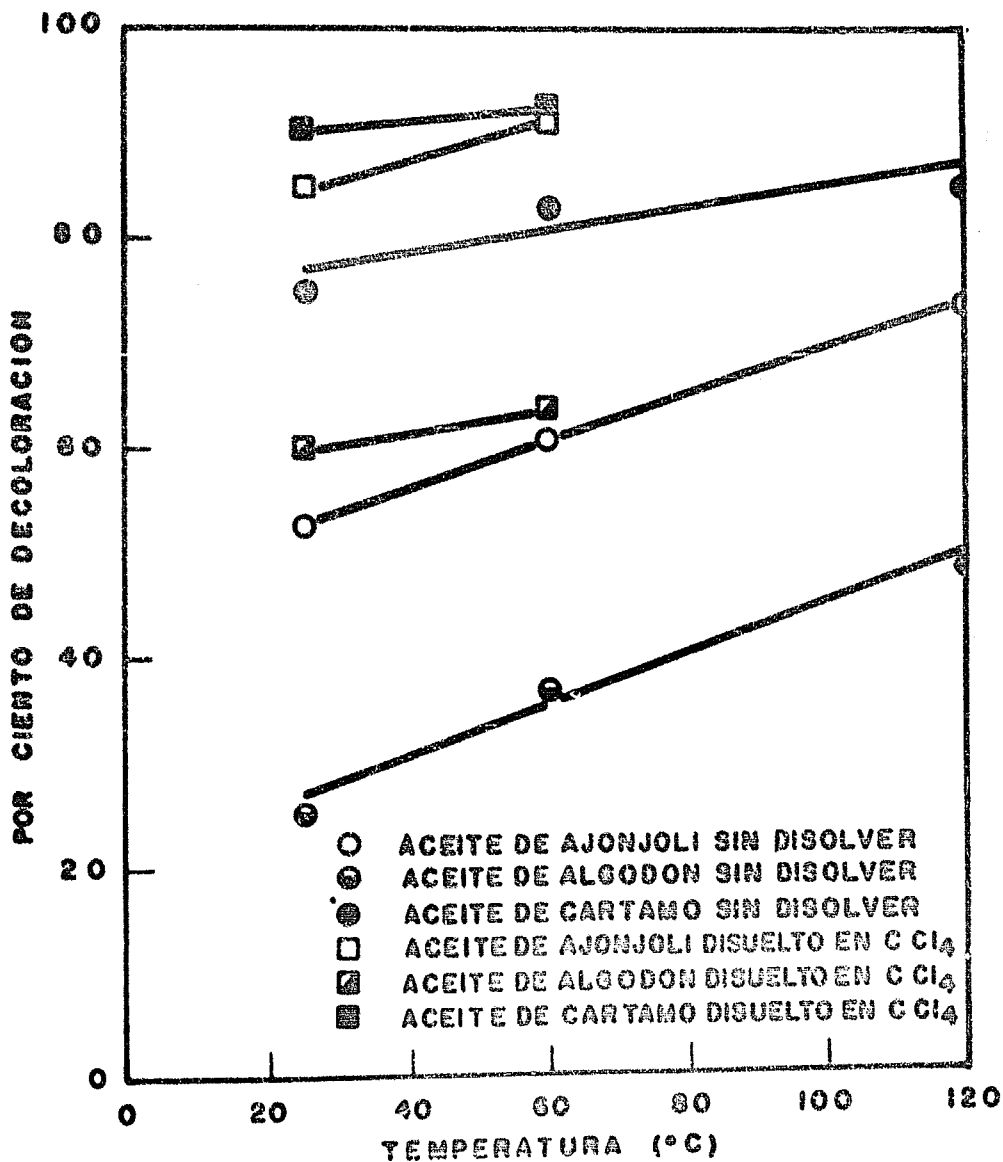


Fig. 12 Efecto de la temperatura en la decoloración del aceite de ajonjolí, algodón y cártamo.

pronunciado cuando se utilizaron menores porcentajes de adsorbente, tanto para el aceite disuelto en tetracloruro de carbono, como para los no disueltos.

c. - Teniendo en cuenta que el grado de decoloración obtenido con aceite disuelto es mayor, se efectuaron pruebas a diferentes diluciones, las cuales se muestran en la figura 13. El análisis de la gráfica indica que existe una relación lineal entre el grado de decoloración y el porcentaje de dilución, por lo menos para concentraciones mayores del 10%.

d. - En vista de que al aumentar la temperatura se obtiene mejor decoloración, aunque teóricamente debería ser a la inversa, se puede suponer que el aumento de temperatura y la dilución con disolvente ocasiona un mayor contacto entre las partículas del adsorbente y las sustancias coloridas, debido a una disminución de la viscosidad. Con base en dicha suposición, se trató de encontrar una relación entre la viscosidad y el grado de decoloración. En la figura 14 se observa que para el aceite no disuelto se obtiene una línea recta si se utilizan coordenadas logarítmicas, y que aunque los datos para el aceite disuelto no caen sobre esta línea, de todas maneras se nota un aumento en la decoloración al disminuir la viscosidad.

e. - Efecto de la cantidad de adsorbente. - La relación entre el grado de decoloración y la cantidad de adsorbente utilizado, para los aceites en presencia de disolvente, mostró que es posible obtener mayores decoloraciones con menor cantidad de adsorbente; la figura 15, muestra un ejemplo de este efecto.

Ya que es más fácil el estudio de esta relación utili

zando la representación gráfica de la ley de Freundlich, se construyeron las isotermas para cada serie de pruebas con los datos obtenidos de la experimentación. De estas isotermas se tomaron los valores medios de las constantes para aceite de ajonjolí, y se obtuvo la gráfica de la figura 16.

Los valores de las constantes se encuentran anotados en la Tabla III.

TABLA III

VALORES MEDIOS DE LAS CONSTANTES DE LA ECUACION DE FREUNDLICH PARA ACEITE DE AJONJOLI SIN DISOLVER Y DISUELTO EN TETRACLORURO DE CARBONO.

Disuelto	t°C	K	n
No	25	1.30	0.61
No	60	2.51	0.99
No	120	75.97	2.96
Sí	25	2.74	0.60
Sí	60	6.07	1.08

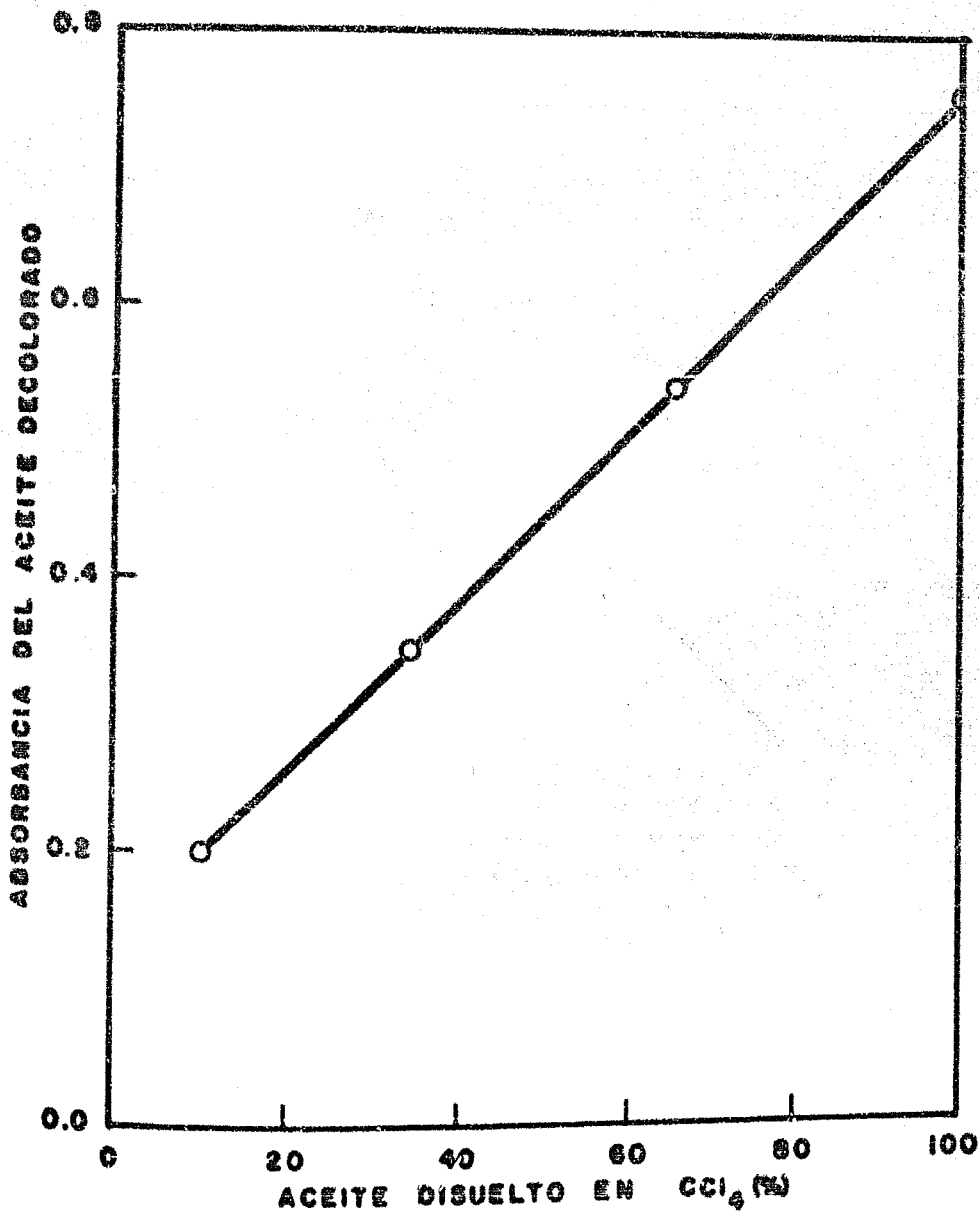


Fig. 13. Efecto de la dilución en la decoloración de aceite de cártamo.

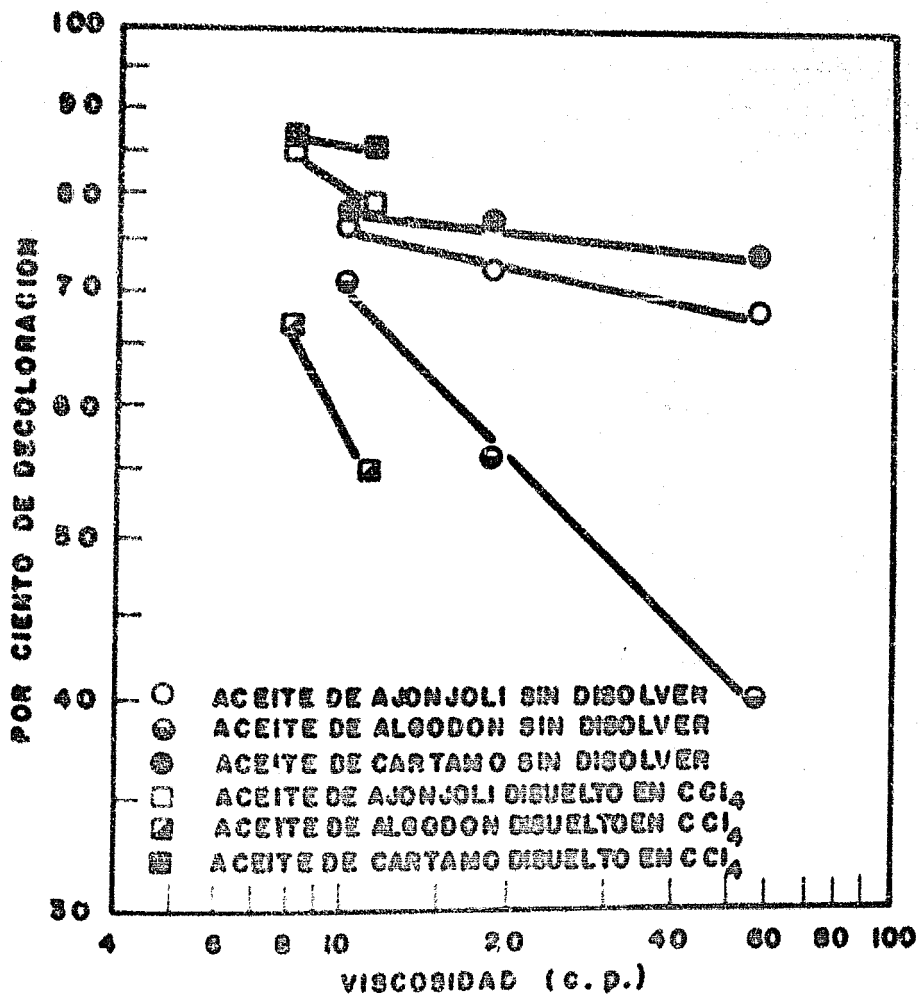


Fig. 14. Efecto de la viscosidad en el grado de decoloración de los aceites de ajonjolí, algodón y cártamo.

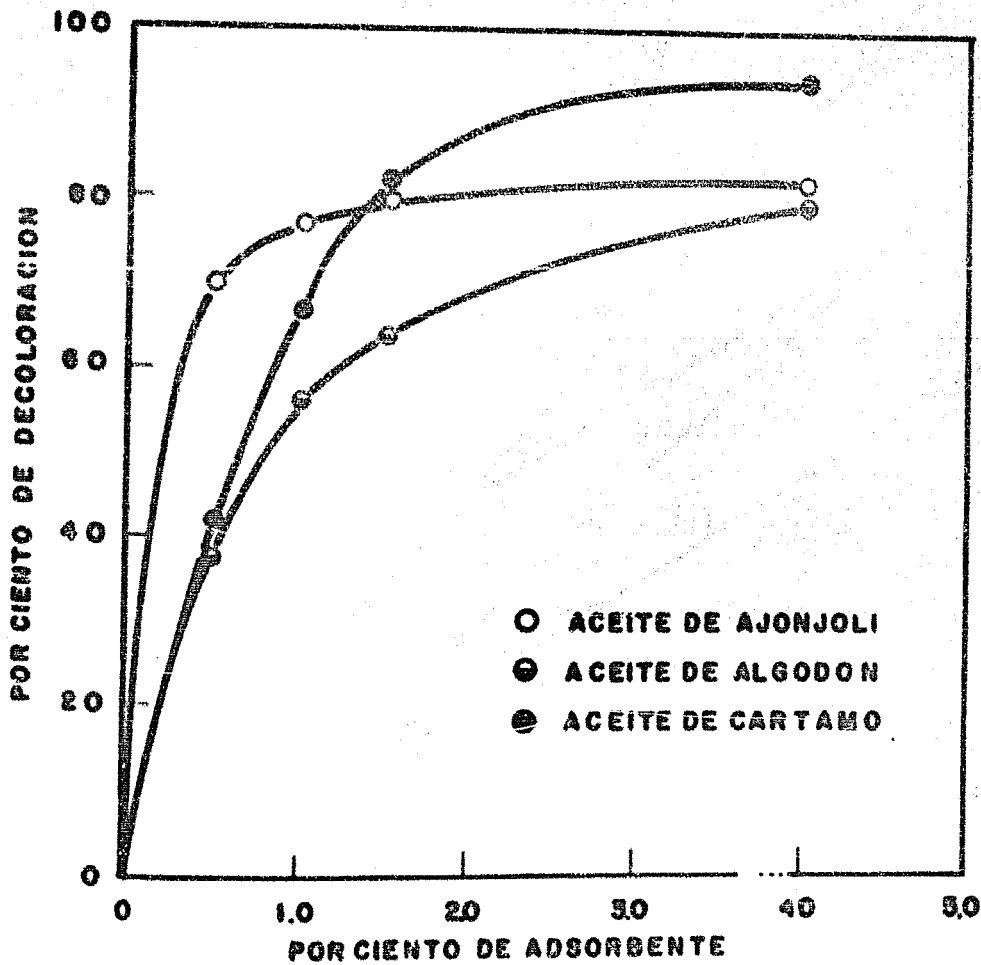


Fig. 15 Efecto del porcentaje de adsorbente en el grado de decoloración de los aceites de ajonjolí, algodón y cartamo.



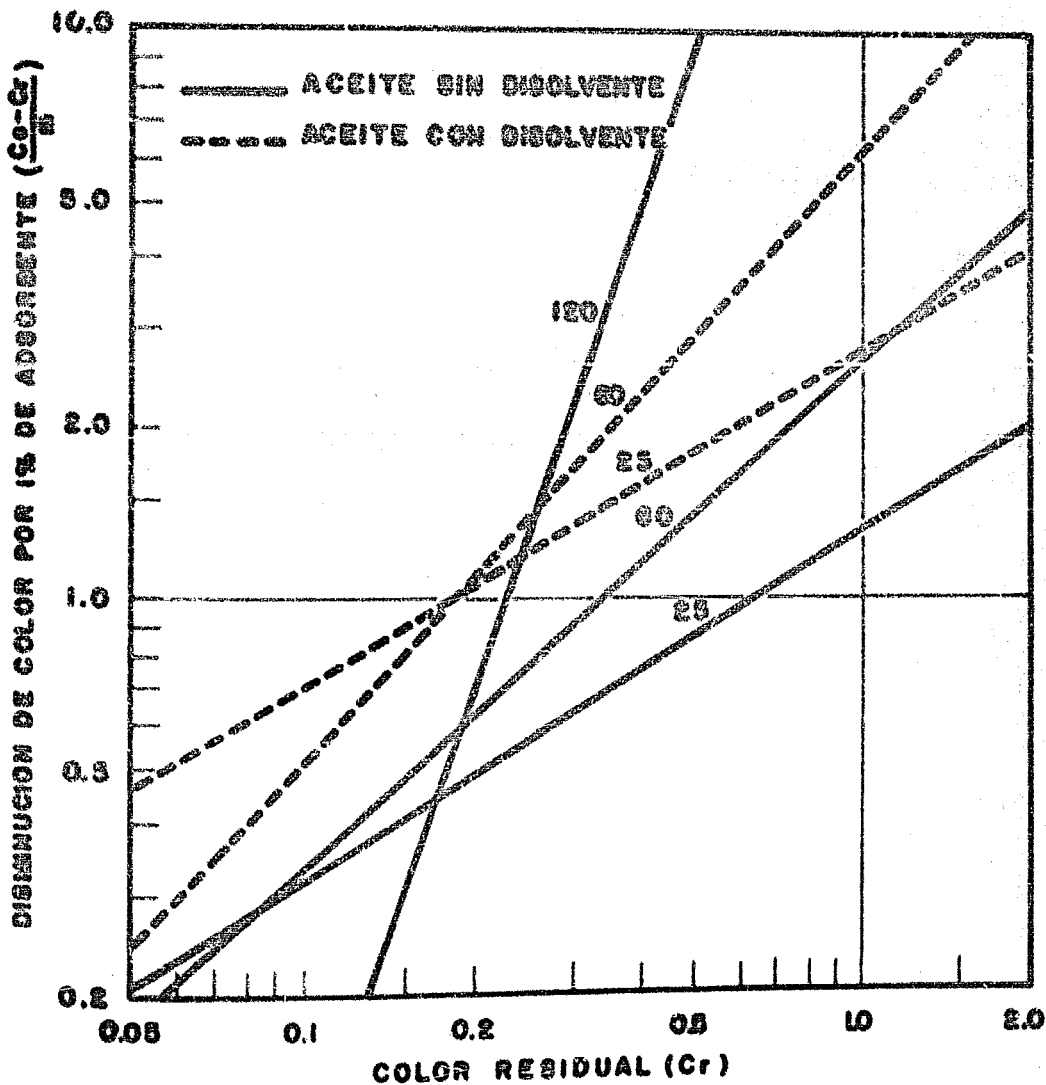


Fig. 18. Isothermas de Freundlich en la decoloración de aceite de ajonjolí. Los números indican la temperatura en grados centígrados.

En la figura 16 se observa que para las mismas temperaturas, la pendiente de la recta correspondiente al aceite disuelto es muy parecida a la del aceite no disuelto, o sea que sus valores de  $n$  son semejantes, pero la posición de la recta en la gráfica corresponde a un valor de  $K$  mayor para el aceite disuelto, lo cual significa que se puede alcanzar un color determinado utilizando menor cantidad de adsorbente si la decoloración se efectúa en presencia del disolvente, que si se efectúa sin él.

Por la gráfica también se nota que el procedimiento que se debe escoger depende no únicamente de los valores de  $K$  y  $n$ , sino del color final que se desea obtener. Por ejemplo, si se desea un valor de absorbancia de 0.300, que corresponde aproximadamente a un color Lovibond rojo de 4, se puede alcanzar con menor cantidad de adsorbente si se opera sin disolvente, a  $120^{\circ}\text{C}$ ; si se desea un valor de 0.200 (aproximadamente Lovibond rojo de 2.5), es mejor operar con disolvente a  $60^{\circ}\text{C}$ , y si se quiere llegar hasta un valor de 0.100 (aproximadamente Lovibond rojo de 1), se utiliza menos adsorbente haciendo la decoloración a  $25^{\circ}\text{C}$  y utilizando disolvente. Usando la misma figura 16, se obtuvo la tabla IV que indica las cantidades de adsorbente requeridas utilizando cada uno de los métodos, para obtener los tres colores finales mencionados, si el aceite tiene un color original de 1.000 de absorbancia (aproximadamente Lovibond rojo de 10).

La variación de los valores  $K$  y  $n$  con el tiempo, se encuentra en las figuras 17 y 18, según se ve, el tiempo tiende a aumentar estos valores, aún cuando no en una forma regular.

Ai aumentar la temperatura, tanto  $K$  como  $n$  aumentaron para los aceites de ajonjolí y cártamo, en tanto que

TABLA IV

CANTIDAD DE ADSORBENTE NECESARIO PARA  
 ALCANZAR UN COLOR DETERMINADO, SI EL COLOR  
 ORIGINAL VALE 1,000 PARA ACEITE DE AJONJOLI.

Aceite disuelto	°C	Por ciento de adsorbente necesario para un color final de:		
		0,300	0,200	0,100
No	25	1.13	1.67	2.81
No	60	0.81	1.33	2.73
No	120	0.32	1.18	10.59
Sí	25	0.53	0.76	1.29
Sí	60	0.41	0.73	1.76

para el aceite de algodón se mantuvieron constantes y dis  
 minuyeron en el de cártamo disuelto; la figura 19 y 20 pre  
 senta dichas variaciones.

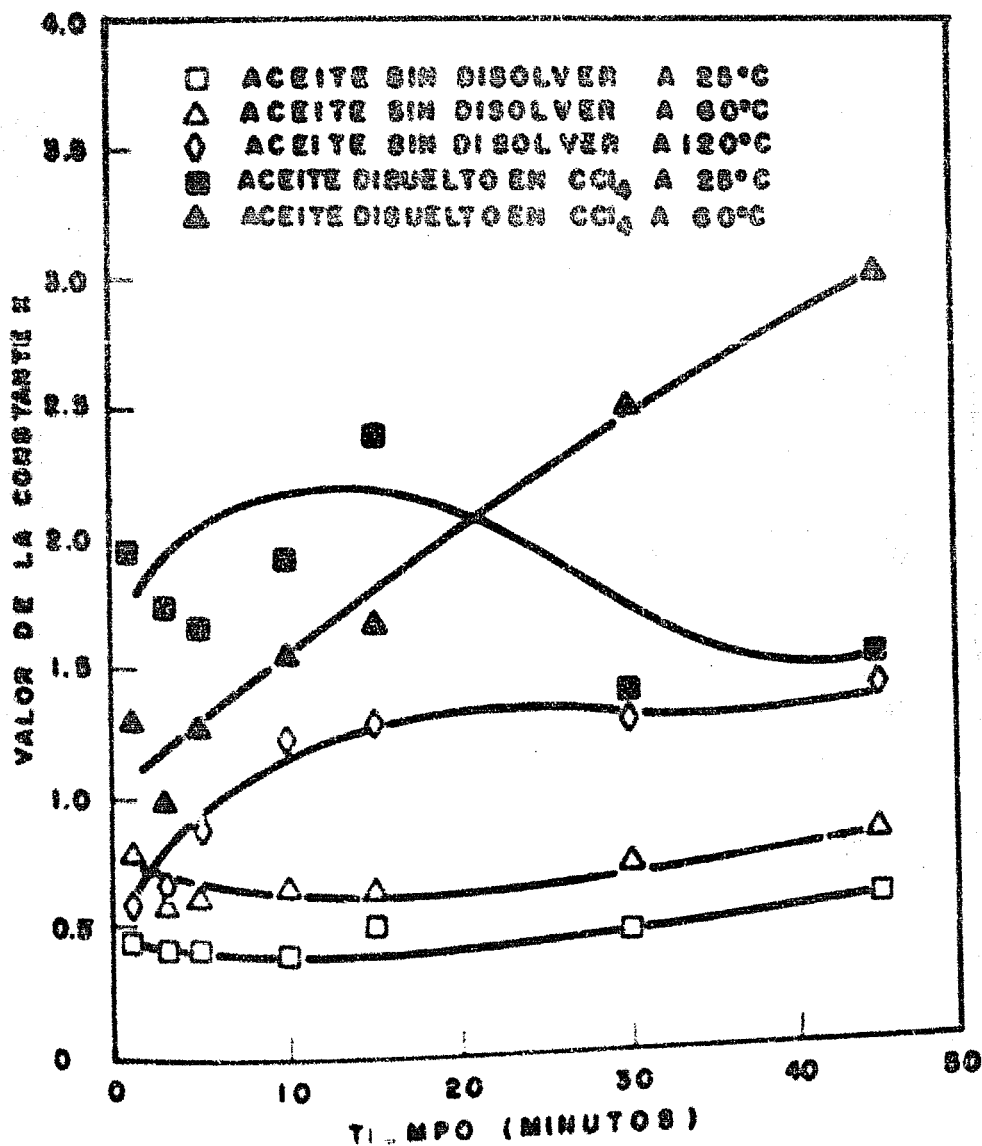


Fig. 17. Variación con el tiempo del valor de la constante de adsorción K de la ecuación de Freundlich para aceite de cártamo.

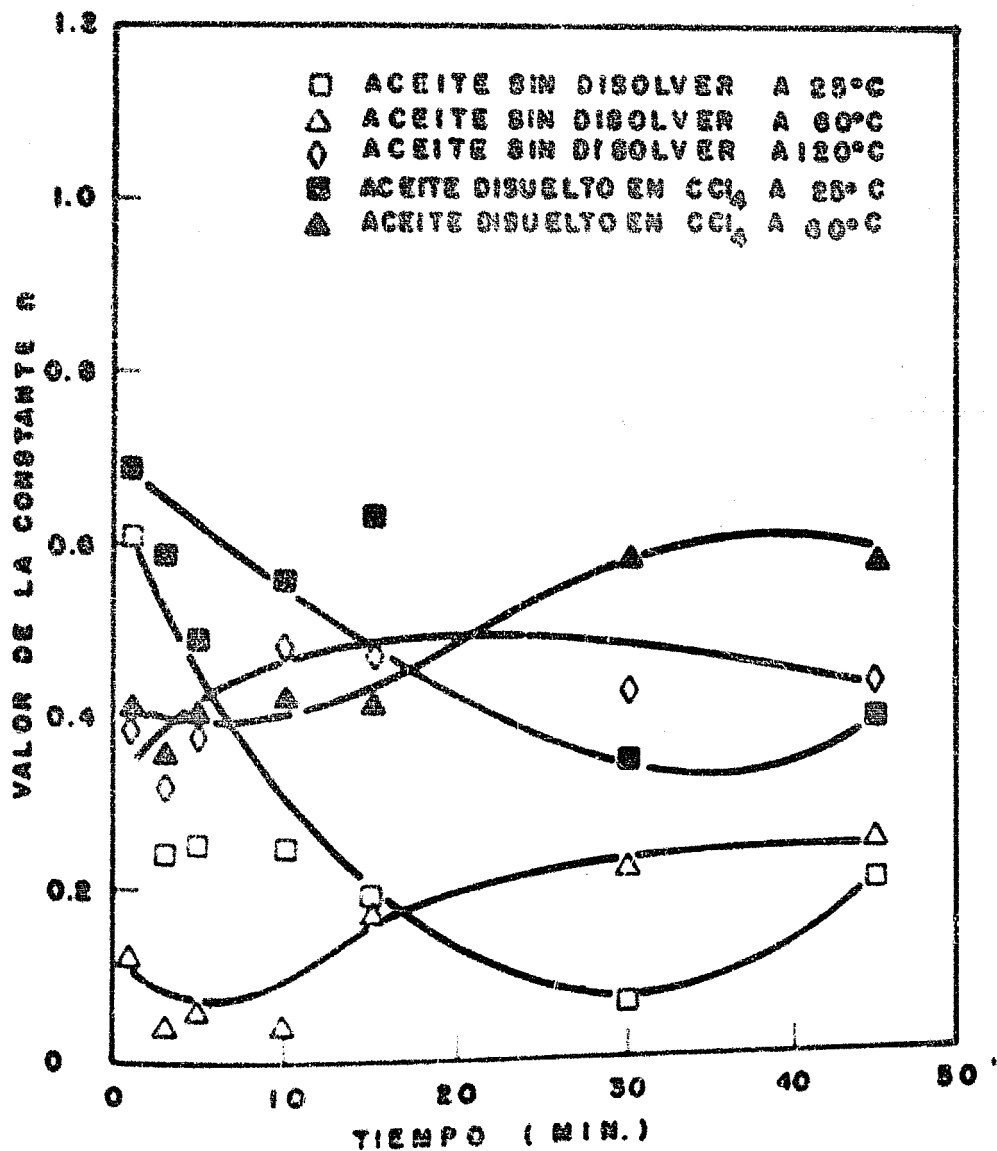


Fig. 10. Variación con el tiempo del valor de la constante de adsorción  $n$  de la ecuación de Freundlich para aceite de cártamo.

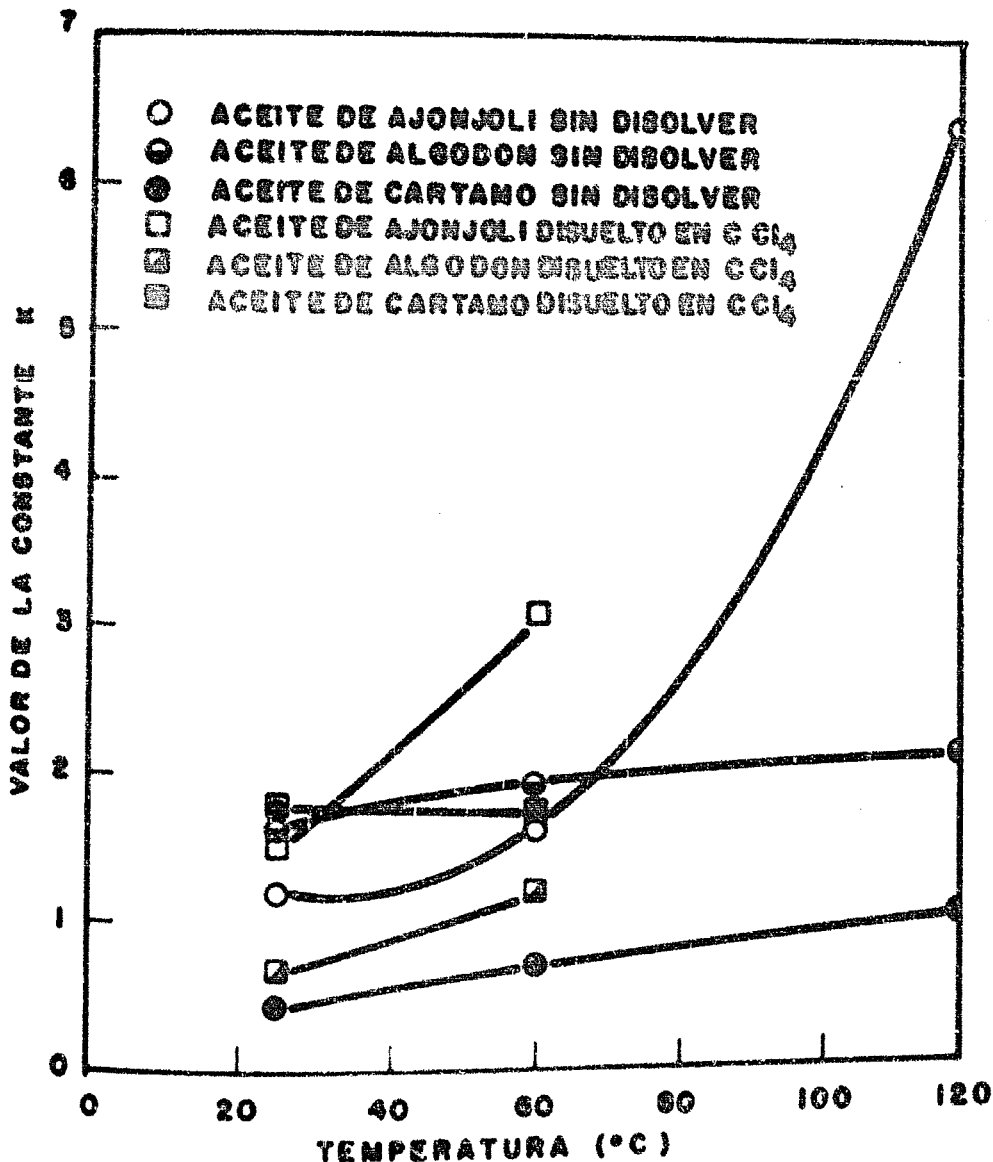


Fig. 19. Efecto de la temperatura en el valor de la constante de adsorción  $K$ , de la ecuación de Freundlich.

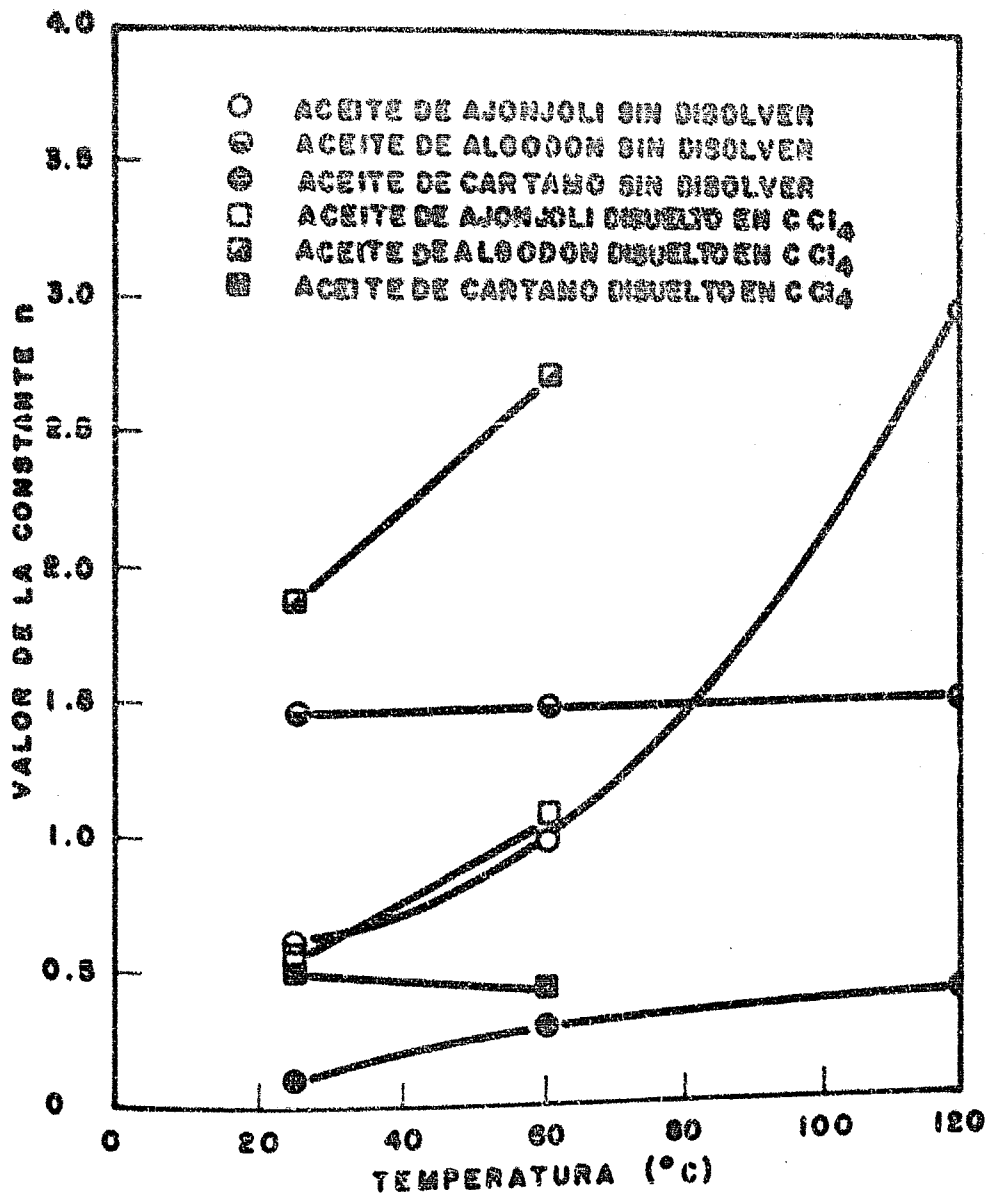


Fig. 20. Efecto de la temperatura en el valor de la constante de adsorción  $n$ , de la ecuación de Freundlich.

**IV.- CONCLUSIONES.**



1. - Habiendo estudiado los métodos más usuales para la determinación del color de los aceites, se desarrolló una técnica fotométrica sencilla y flexible, que es una modificación al método propuesto por Pohle y Tierney. A diferencia de este método, en el que se determina la absorbancia en las 500 m $\mu$ , en el método modificado se utiliza la longitud de onda en la cual los aceites refinados muestran su máxima absorbancia, determinada según la curva de absorción propia de cada tipo de aceite.

2. - Para los aceites refinados que sirvieron de muestra se encontraron absorbancias máximas en las siguientes longitudes de onda:

Ajonjolí	415 m $\mu$
Algodón	430 m $\mu$
Cártame	460 m $\mu$

3. - El método propuesto siguió la ley de Beer para los aceites investigados, y mostró suficiente exactitud y reproducibilidad para usarse en la determinación de la eficiencia de decoloración por adsorción, con preferencia al método Wesson usando filtros Lovibond de acuerdo con las especificaciones A. O. C. S. y al método Fotométrico A. O. C. S.

4.- El efecto de algunas variables en el proceso de decoloración con la arcilla activada probada y en pruebas de laboratorio dio las siguientes conclusiones:

a.- El tiempo favorece los resultados, exceptuando cuando se trabajó a altas temperaturas, en cuyo caso existe un tiempo óptimo comprendido entre los 15 y 30 minutos, después del cual sobreviene una regresión de color.

b.- La temperatura y el grado de disolución tuvieron un efecto favorable, probablemente debido a la disminución de la viscosidad provocada por el aumento de cualquiera de las dos variables. Se encontró que el proceso a seguir depende del grado de decoloración deseado, pero en general se obtienen mejores resultados trabajando con el aceite disuelto, que sin disolver. Esto último es factible en el caso de extracción del aceite por medio de disolventes, los que se eliminan al final.

5.- El análisis del proceso de decoloración usando isotermas de adsorción de la ecuación de Freundlich presentó el método más adecuado para el estudio comparativo de las variables. En la práctica industrial, en forma similar se pueden determinar los sistemas para varios tipos de tierras adsorbentes, mezclas con otras tierras o con carbones activados y a 3 ó 4 diferentes temperaturas. La información que proveen puede ser de gran ayuda en la selección más adecuada de las mezclas y porcentajes de adsorbentes y temperaturas a seleccionarse para un tipo de aceite y color final deseado.

**LISTA DE TABLAS.**

## LISTA DE TABLAS

- TABLA I** Técnicas de adsorción.
- TABLA II** Pigmentos usualmente encontrados en los aceites.
- TABLA III** Valores medios de las constantes de la ecuación de Freundlich para aceite de ajonjolí sin disolver y disuelto en tetracloruro de carbono.
- TABLA IV** Cantidad de adsorbente necesario para alcanzar un color determinado, si el color original vale 1.000 para aceite de ajonjolí.

## LISTA DE FIGURAS

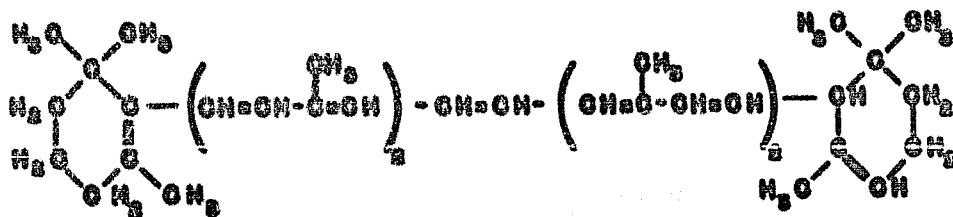
- FIG. 1** Curvas de absorción de los aceites de ajonjolí, algodón y cártamo sin decolorar, y un aceite decolorado.

- FIG. 2** Relación entre el color Lovibond rojo y la mezcla de un aceite oscuro y un aceite decolorado.
- FIG. 3** Relación entre el color fotométrico de la A. O. C. S. y el porcentaje de aceite oscuro.
- FIG. 4** Relación entre el método de R. C. Stillman para obtener colores Lovibond rojo y el porcentaje de aceite oscuro.
- FIG. 5** Relación entre los valores del método de R. C. Stillman basado en la blanqueabilidad de los aceites, y el porcentaje de aceite oscuro.
- FIG. 6** Relación entre los resultados del método basado en el área determinada por la curva de absorción y el porcentaje de aceite oscuro.
- FIG. 7** Relación entre la absorbancia de los aceites en su longitud de onda característica y el porcentaje de aceite oscuro.
- FIG. 8** Relación entre el peso específico y la concentración de los aceites disueltos en tetracloruro de carbono.
- FIG. 9** Relación entre la absorbancia y la concentración de los aceites sin decolorar, disueltos en tetracloruro de carbono.
- FIG. 10** Efecto del tiempo en la absorbancia, durante la decoloración del aceite de ajonjolí.
- FIG. 11** Efecto del tiempo en el porcentaje de decoloración sufrido por el aceite de ajonjolí.

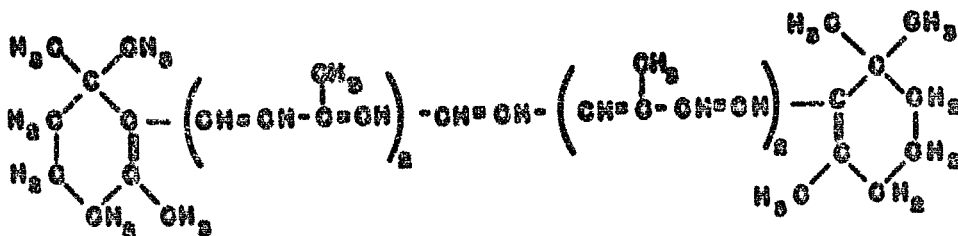
- FIG. 12** Efecto de la temperatura en la decoloración de los aceites de ajonjolí, algodón, y cártamo.
- FIG. 13** Efecto de la dilución en la decoloración de aceite de cártamo.
- FIG. 14** Efecto de la viscosidad en el grado de decoloración de los aceites de ajonjolí, algodón y cártamo.
- FIG. 15** Efecto del porcentaje de adsorbente en el grado de decoloración de los aceites de ajonjolí, algodón y cártamo.
- FIG. 16** Isotermas de Freundlich en la decoloración de aceite de ajonjolí.
- FIG. 17** Variación con el tiempo del valor de la constante de adsorción  $K$ , en la ecuación de Freundlich.
- FIG. 18** Variación con el tiempo del valor de la constante de adsorción  $n$ , de la ecuación de Freundlich.
- FIG. 19** Efecto de la temperatura en el valor de la constante de adsorción  $K$ , de la ecuación de Freundlich.
- FIG. 20** Efecto de la temperatura en el valor de la constante de adsorción  $n$ , de la ecuación de Freundlich.

**APENDICE "A". - FORMULAS DE  
ALGUNOS PIGMENTOS DE LOS  
ACEITES.**

a.  $\alpha$  - caroteno ( $C_{40} H_{56}$ )

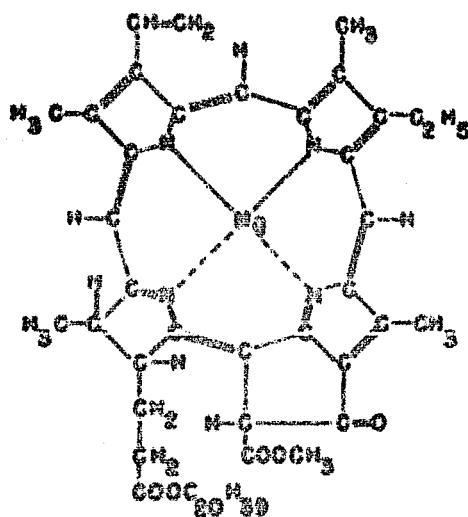


b.  $\beta$  - caroteno ( $C_{40} H_{56}$ )

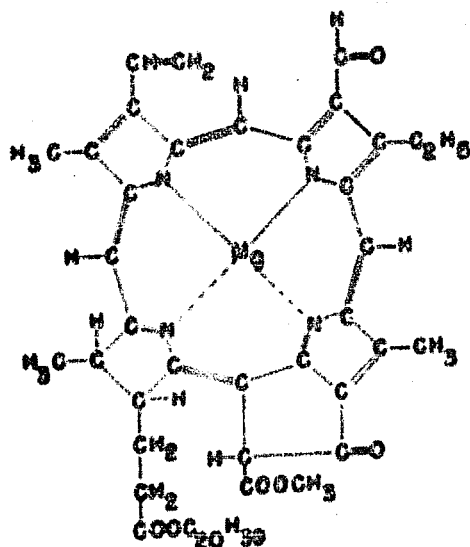




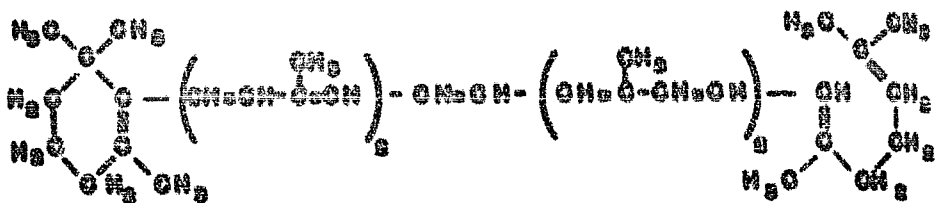
a.  $\alpha$  - clorofila



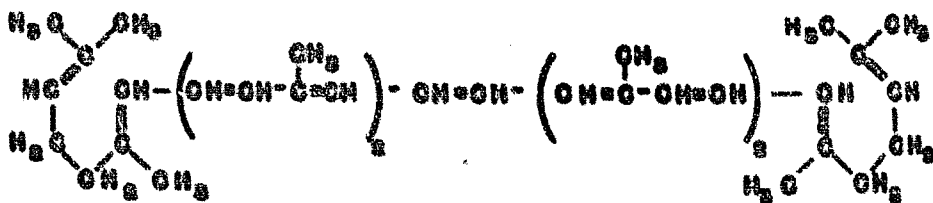
b.  $\beta$  - clorofila



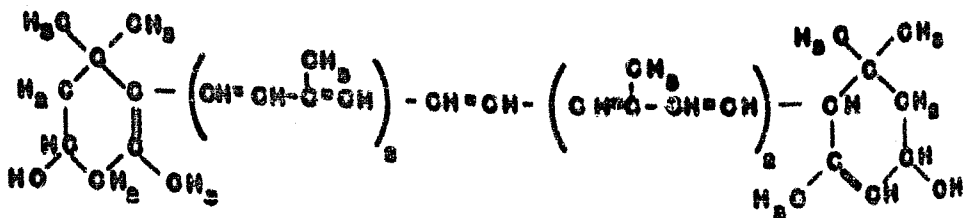
c.  $\gamma$  - caroteno ( $C_{40} H_{56}$ )



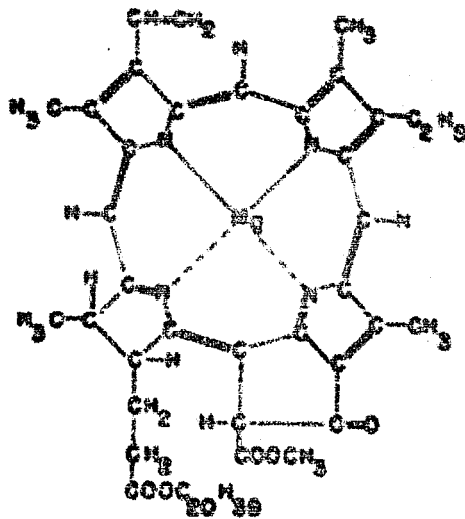
d. Licopeno ( $C_{40} H_{56}$ )



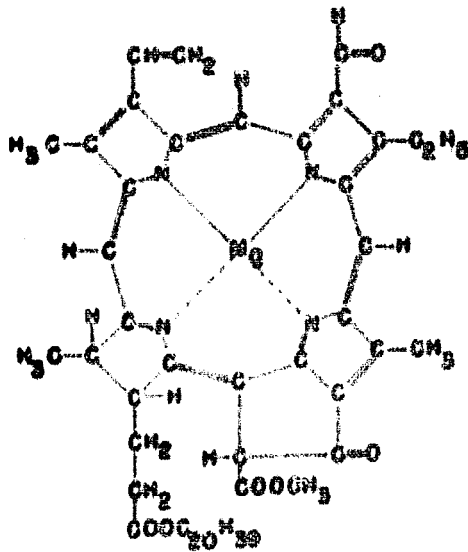
e. Xantofila ( $C_{40} H_{56} O_2$ )



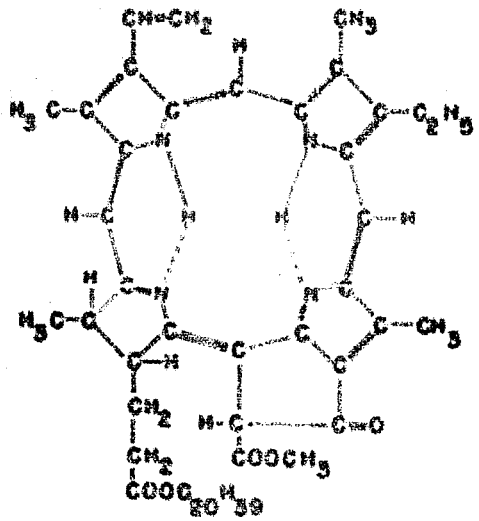
a.  $\alpha$  - clorofila



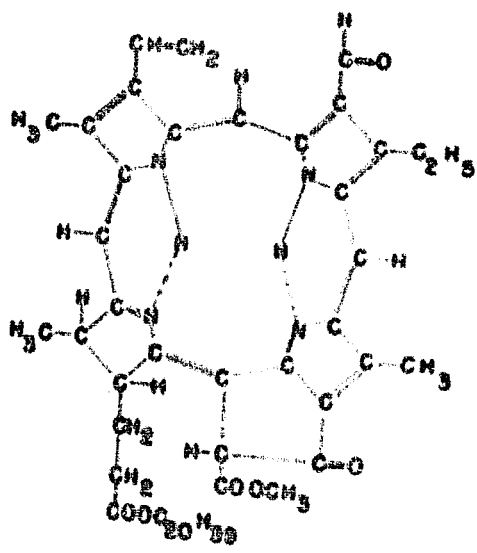
b.  $\beta$  - clorofila



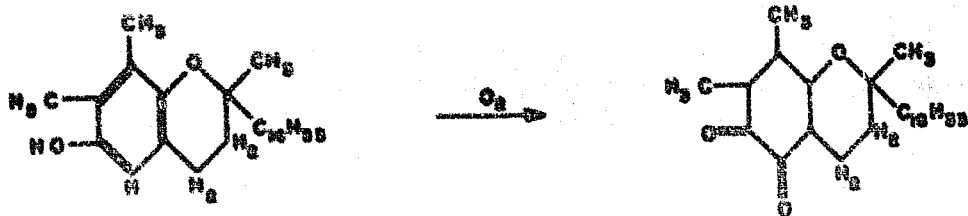
c.  $\alpha$  - feofitina



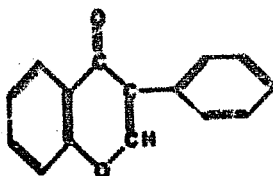
d.  $\beta$  - feofitina



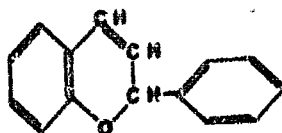
a. Croman-5,6-quinona ( $C_{28}H_{46}O_3$ )



a. Flavona (3-fenil benzo- $\gamma$ -pirona)



b. Antocianos (fenil-benzo-piroxonio)



## 1. - Carotenoides.

Los pigmentos más conocidos son los carotenoides. Este es un grupo grande de sustancias, de las cuales se conocen unas 65 ó 70. Su coloración varía del amarillo al violado, y son los principales responsables del color amarillo-rojizo de los aceites. Los más importantes son el  $\alpha$ -,  $\beta$ -, y  $\gamma$ -caroteno, y el licopeno, que son hidrocarburos con la misma fórmula condensada ( $C_{40}H_{56}$ ). Los demás carotenoides son derivados de estos hidrocarburos, de tipo hidroxí, alcoxi, epoxi, carbonilo, carboxilo y estéricos (14, 21, 28, 34).

Se encuentran en las sustancias vegetales en pequeñas concentraciones (del 0.07 al 0.20 por ciento en las hojas verdes); de los aceites vegetales más comunes, el que tiene mayor concentración de carotenoides es el aceite de palma, con 0.05 a 0.20 por ciento en el aceite crudo (21).

El término xantofila, que se usaba anteriormente para designar a cualquiera de los hidroxicarotenos, actualmente se utiliza para el 3, 3' dioxi  $\alpha$ -caroteno, el cual es un pigmento amarillo.

Los carotenoides generalmente se encuentran en mezclas. El aceite de palma contiene  $\alpha$ - y  $\beta$ -caroteno, el aceite de germen de trigo contiene xantofila (luteína), criptoxantina (3-oxi  $\beta$ -caroteno),  $\gamma$ -caroteno, y rubixantina (3-oxi  $\gamma$ -caroteno); y el aceite de germen de centeno contiene  $\alpha$ - y  $\beta$ -caroteno, xantofila y zeaxantina (3, 3' dioxi  $\beta$ -caroteno) (21).

Algunos carotenoides, como  $\alpha$ -y  $\gamma$ -caroteno y especialmente  $\beta$ -caroteno, se llaman provitaminas A, debido a que se pueden convertir en esta vitamina; no así otros

de los carotenoides, de modo que la intensidad de color de una grasa no siempre es indicación de su contenido provitamínico, aunque en ciertas grasas, como la mantequilla, existe una cierta relación entre ambos. Los aceites que contienen mayor cantidad de provitamina A son el de palma, lino, soya, algodón, colza y mostaza, mientras que los aceites de coco, ajonjolí, palmisto y cacahuate no la contienen (14, 21, 26).

Los carotenoides, también llamados lipocromos, son inestables al calor, y a los agentes oxidantes y reductores, por lo que con estos tratamientos disminuye el color de algunos aceites. Además son fácilmente adsorbibles por las tierras decolorantes y el carbón activado (14, 26).

Los carotenos tienen su máxima absorción de energía radiante en la región azul del espectro, desde 400 a 480 m $\mu$  aproximadamente (44).

## 2.- Clorofila y sus derivados.

El color verdoso de los aceites de oliva, soya, ajonjolí y semilla de uva, se debe a la presencia de clorofila, o compuestos relacionados con ella.

Existen dos tipos de clorofila:  $\alpha$ -clorofila y  $\beta$ -clorofila. Ambas son sustancias de alto peso molecular, que contienen nitrógeno y magnesio; su estructura es similar con la diferencia que en la  $\beta$ -clorofila están sustituidos dos hidrógenos por un oxígeno.

El  $\alpha$ -clorofila tiene su absorción característica en la longitud de onda de 660 m $\mu$ , que corresponde a un color verde azulado y la  $\beta$ -clorofila absorbe en las 642

que corresponde a un color verde amarillento (26, 59).

Las feofitinas son derivados de la clorofila, en los cuales el átomo de magnesio se ha sustituido por dos átomos de hidrógeno. La  $\alpha$ -feofitina (tiene un color verde oliva, y la  $\beta$ -feofitina es de color rojo pardo.

Se ha encontrado que los aceites verdosos en general no presentan la absorción correspondiente a la clorofila (21, 24, 44, 59), sino más bien absorben en las 670 m $\mu$ , que es la longitud de onda característica de la  $\alpha$ -feofitina, lo cual parece indicar que el color verde en la mayoría de los aceites se debe a este compuesto, y no a la clorofila (21, 44).

La tonalidad verde de los aceites vegetales generalmente es indeseable (con excepción del tono característico del aceite de oliva), y suele causar problemas, ya que no es muy fácil de eliminar. Los aceites hidrogenados suelen presentar tonos verdes, debido a que la hidrogenación destruye los colores amarillos y rojizos que enmascaran al verde y al desaparecer aquéllos, éste resalta más. Los pigmentos verdes son muy estables a pH altos, por lo que es difícil su adsorción con tierras o carbones neutros, y es necesario utilizar arcillas o carbones activados ácidos, con lo cual se facilita su eliminación (12, 14, 21, 26, 51).

### 3. - Gosipol.

El color del aceite de semilla de algodón presenta un caso especial, debido a la complejidad de su sistema pigmentario. La mayor parte de su color se puede atribuir al gosipol y sus derivados. Este es un compuesto polifenólico, de estructura química compleja, presente en ciertas celdillas de la semilla, y que generalmente se puede



eliminar durante la neutralización (14, 16, 21).

La máxima absorción del gósipol se presenta en la región ultravioleta del espectro, en las 288 m $\mu$  y 364 m $\mu$ , pero en la región visible todavía tiene la suficiente absorción para presentar un color amarillo pálido (16, 44).

Sus principales derivados son el gósifulvín, con absorción en las 312 y 440 m $\mu$ , de color anaranjado; el gósicerulín, en las 605 m $\mu$ , de color azul y el gósipurpurín de color morado, que tiene sus máximos en las 326 m $\mu$ , 370 m $\mu$ , 530 m $\mu$  y 565 m $\mu$  (16).

Puede suceder que durante el almacenamiento del aceite, el gósipol se fije, probablemente por esterificación con glicerina, haciendo muy difícil su decoloración (15, 49).

Si no se ha fijado, se puede eliminar con adsorbentes, o por tratamiento con calor (48, 52).

#### 4. - Pigmentos varios.

Otros pigmentos menos comunes que se encuentran en los aceites, son la flavona, xantona y antoxantinas que son derivados de la benzo- $\gamma$ -pirona y son de color amarillo (26).

Los antocianos son pigmentos derivados del pirilío, rojos en medio ácido y azules en alcalino. Son los principales colorantes de los pétalos de las flores y los pericarpios de las frutas (26). La antocianina es uno de los colorantes rojos del aceite de semilla de algodón (47).

Uno de los productos de oxidación que producen co-

lor, es el Croman-5, 6-Quinona, de color rojo oscuro y que se forma por la oxidación atmosférica del  $\gamma$ -tocoferol. Si la oxidación continúa, desaparece el color rojo (14, 21, 26). Existen otros pigmentos cuya constitución no se conoce. Entre ellos están ciertos pigmentos de color café y pardo, que se encuentran en aceites de semillas maltratadas, y probablemente sean productos de descomposición de proteínas y carbohidratos.

A veces la manteca presenta un color azul pálido, que no se debe a la clorofila, sino a algún pigmento desconocido que se puede destruir por oxidación. Ciertos productos como la margarina, que contienen humedad, pueden tomar coloraciones rosadas, debido a pigmentos liposolubles producidos por algunos microorganismos (14).

**APENDICE "B". - CARACTERISTICAS  
DEL ADSORBENTE UTILIZADO.**

## CARACTERISTICAS DEL ADSORBENTE UTILIZADO.

El adsorbente utilizado fue una arcilla activada en la sección de Química Mineral y Metalúrgica, del Instituto Mexicano de Investigaciones Tecnológicas, A. C.

Procedimiento de activación: Una sub-bentonita de origen nacional se activó por tratamiento con ácido sulfúrico al 35%, durante dos horas a 85°C, en proporción de 14 ml. de solución por gramo de arcilla (0.62 gramos de ácido sulfúrico por gramo de arcilla).

### Características:

#### 1. - Análisis granulométrico:

Material retenido:	Por ciento
Criba No. 100	0
Criba No. 200	5
Criba No. 325	35
Recibidor	<u>60</u>
TOTAL:	100

- |      |   |                        |
|------|---|------------------------|
| 2. - | Peso específico aparente:   | 0.83 g/cm <sup>3</sup> |
| 3. - | pH en suspensión en agua destilada a 20°C   | 2.8                    |
| 4. - | Humedad (base húmeda):  | 4 %                    |
| 5. - | Adsorción física (medida por la cantidad de querosina que retiene la arcilla sin mojarse):  | 33%                    |
| 6. - | Adsorción química (medida en porcentaje de decoloración de los aceites refinados de ajonjolí, algodón y cártamo, según los métodos oficiales de la American Oil Chemists' Society, Cc 8a - 52 y Cc 8b - 52. |                        |

**PORCIENTO DE DECOLORACION**

Tipo de Aceite	Arcilla Activada		Oficial Natural	Oficial Activada
	IMIT	SBY	A. O. C. S. Lote Z 1075	A. O. C. S. Lote Z 1077
Ajonjolí	82.0		80.0	80.3
Algodón	79.5		76.0	82.5
Cártamo	93.3		90.2	92.7

APENDICE "C". - RESULTADOS  
DE LAS DECOLORACIONES.

**TABLA C - 1**

**ACEITE DE AJONJOLI A 25°C**

No. de muestra	Absorbente %	Tiempo (min)	Color original	Color final	Por ciento de decoloración
1		1		-	-
2		3		0.828	42.0
3		5		0.667	39.1
4	0.5	10	1.096	0.657	40.0
5		15		0.610	44.3
6		30		0.575	47.5
7		45		0.508	48.1
8		1		0.330	69.9
9		3		0.345	68.5
10		5		0.325	70.3
11	1.0	10	1.096	0.350	69.0
12		15		0.352	67.9
13		30		0.365	69.6
14		45		0.340	68.9
15		1		0.260	76.2
16		3		0.281	75.1
17		5		0.265	75.8
18	1.5	10	1.096	0.285	73.9
19		15		0.255	76.7
20		30		0.242	77.8
21		45		0.245	77.5

Absorbancia a 415 m $\mu$ .



TABLA C - 2

ACEITE DE AJONJOLI A 60°C

No. de Muestra	Absorbente %	Tiempo (min)	Color original	Color final	Por ciento de decoloración
22		1		0.549	51.2
23		3		0.592	47.4
24		5		0.539	52.1
25	0.5	10	1.125	0.495	58.0
26		15		0.490	56.4
27		30		0.458	59.3
28		45		0.406	63.9
29		1		0.415	63.5
30		3		0.380	66.0
31		5		0.360	67.9
32	1.0	10	1.125	0.330	70.5
33		15		0.323	71.1
34		30		0.275	75.4
35		45		0.250	77.7
36		1		0.253	77.0
37		3		0.253	77.0
38		5		0.260	76.7
39	1.5	10	1.125	0.244	78.2
40		15		0.242	78.3
41		30		0.215	80.8
42		45		0.200	82.0

**TABLA C - 3**

**ACEITE DE AJONJOLI A 120°C**

No. de Muestra	Absorbente %	Tiempo (min)	Color original	Color final	Por ciento de decoloración
43				0.487	56.6
44		3		0.360	57.3
45		5		0.360	69.6
46	0.5	10	1.125	0.325	70.8
47		15		0.310	71.7
48		30		0.310	73.3
49		45		0.340	89.6
50		1		0.321	71.2
51		3		0.270	75.9
52		5		0.257	77.0
53	1.0	10	1.125	0.257	77.0
54		15		0.259	76.6
55		30		0.270	75.9
56		45		0.205	73.7
57		1		0.245	76.1
58		3		0.230	78.5
59		5		0.231	79.3
60	1.5	10	1.125	0.245	78.2
61		15		0.271	75.6
62		30		0.305	72.8
63		45		0.335	70.2

TABLA C - 4

ACEITE DE AJONJOLI DISUELTO EN TETRACLORURO  
DE CARBONO A 35°C.

No. de Muestra	Adsorbente %	Tiempo (min)	Color original	Color final	Por ciento de decoloración
1		1		0.985	42.0
2		3		0.907	46.6
3		5		0.844	50.3
4	0.5	10	1.699	0.767	54.8
5		15		0.716	57.9
6		30		0.608	64.2
7		45		0.573	66.3
8		1		0.429	74.7
9		3		0.427	74.8
10		5		0.430	74.6
11	1.0	10	1.699	0.359	78.9
12		15		0.392	76.9
13		30		0.312	81.6
14		45		0.300	82.3
15		1		0.263	84.5
16		3		0.282	83.4
17		5		0.250	85.3
18	1.5	10	1.699	0.251	85.2
19		15		0.255	85.0
20		30		0.240	85.8
21		45		0.226	86.6

TABLA C - 5

ACEITE DE AJONJOLI DISUELTO EN TETRACLORURO  
DE CARBONO A 60°C.

No. de Muestra	Adsorbente %	Tiempo (min)	Color original	Color final	Por ciento de decoloración
22		1		0.768	54.8
23		3		0.702	58.7
24		5		0.652	61.3
25	0.5	10	1.699	0.561	67.0
26		15		0.502	70.4
27		30		0.457	73.1
28		45		0.395	76.7
29		1		0.366	78.5
30		3		0.319	81.2
31		5		0.284	83.2
32	1.0	10	1.699	0.261	84.6
33		15		0.272	84.0
34		30		0.237	86.0
35		45		0.244	85.6
36		1		0.332	80.4
37		3		0.293	82.7
38		5		0.290	82.9
39	1.5	10	1.699	0.243	85.6
40		15		0.268	84.2
41		30		0.224	86.8
42		45		0.234	86.2

TABLA C - 6

ACEITE DE ALGODON A 25°C.

No. de Muestra	Adsorbente %	Tiempo (min)	Color original	Color final	Por ciento de decoloración
1		1		0.658	37.3
2		3		0.609	36.2
3		5		0.667	39.3
4	0.5	10	1.097	0.648	40.6
5		15		0.688	37.3
6		30		0.657	39.3
7		45		0.710	35.3
8		1		0.520	52.6
9		3		0.505	54.0
10		5		0.520	52.6
11	1.0	10	1.097	0.510	53.5
12		15		0.480	56.3
13		30		0.500	54.4
14		45		0.505	54.0
15		1		0.480	56.3
16		3		0.455	58.5
17		5		0.450	59.0
18	1.5	10	1.097	0.435	60.4
19		15		0.435	61.3
20		30		0.402	63.4
21		45		0.410	62.7

Absorbancia a 430 mμ.

TABLA C - 7

ACEITE DE ALGODON A 60°C.

No. de Muestra	Adsorbente $\frac{g}{g}$	Tiempo (min)	Color original	Color final	Por ciento de decoloración
22	0.5	1	1.125	0.680	41.4
23		3		0.680	39.5
24		5		0.877	39.8
25		10		0.680	41.3
26		15		0.690	41.3
27		30		0.620	44.9
28		45		0.600	46.6
29	1.0	1	1.125	0.530	52.9
30		3		0.520	53.7
31		5		0.505	55.1
32		10		0.485	56.8
33		15		0.490	56.4
34		30		0.485	56.8
35		45		0.455	59.4
36	1.5	1	1.125	0.405	58.6
37		3		0.420	62.5
38		5		0.410	63.4
39		10		0.403	64.1
40		15		0.460	64.4
41		30		0.390	65.2
42		45		0.375	68.6

TABLA C - B

ACEITE DE ALGODON A 120°C.

No. de Muestra	Adsorbente %	Tiempo (min)	Color original	Color final	Por ciento de decoloración
43		1		0.789	31.6
44		3		0.721	35.9
45		5		0.699	37.8
46	0.5	10	1.125	0.688	38.8
47		15		0.657	41.5
48		30		0.611	45.7
49		45		0.585	47.9
50		1		0.545	51.6
51		3		0.495	55.9
52		5		0.490	56.4
53	1.0	10	1.125	0.480	57.3
54		15		0.470	58.1
55		30		0.460	59.0
56		45		0.470	58.1
57		1		0.450	60.0
58		3		0.413	63.2
59		5		0.410	63.5
60	1.5	10	1.125	0.397	64.8
61		15		0.400	64.4
62		30		0.435	61.3
63		45		0.435	61.3

TABLA C - 9

ACEITE DE ALGODON DISUELTO EN TETRACLORURO  
DE CARBONO A 25°C.

No. de Muestra	Adsorbente $\frac{g}{ml}$	Tiempo (min)	Color original	Color final	Por ciento de decoloración
1	0.5	1	1.370	1.058	22.8
2		3		1.050	23.4
3		5		1.058	22.8
4		10		1.011	25.2
5		15		0.995	27.4
6		30		0.960	30.0
7		45		0.950	30.7
8	1.0	1	1.398	0.935	31.8
9		3		0.927	32.4
10		5		0.921	32.8
11		10		0.900	34.3
12		15		0.885	35.4
13		30		0.855	37.8
14		45		0.837	38.9
15	1.5	1	1.398	0.816	40.5
16		3		0.794	42.0
17		5		0.758	44.7
18		10		0.734	46.5
19		15		0.733	46.6
20		30		0.718	47.6
21		45		0.692	49.5



TABLA C - 10

ACEITE DE ALGODON DISUELTO EN TETRACLORURO DE CARBONO A 60°C.

No. de Muestra	Adsorbente %	Tiempo (min)	Color original	Color final	Por ciento de decoloración
22	0.5	1	1.398	0.976	26.8
23		3		0.939	31.5
24		5		0.889	35.1
25		10		0.925	32.5
26		15		0.921	32.8
27		30		0.908	33.9
28		45		0.904	34.1
29		1.0		1	1.398
30	3		0.868	35.2	
31	5		0.838	38.9	
32	10		0.815	40.6	
33	15		0.795	42.0	
34	30		0.808	41.1	
35	45		0.802	41.5	
36	1.5	1	1.368	0.771	43.7
37		3		0.726	47.0
38		5		0.703	46.7
39		10		0.680	50.4
40		15		0.696	49.2
41		30		0.663	50.2
42		45		0.702	48.8

TABLA C - 11

ACEITE DE CARTAMO A 25°C.

No. de Muestra	Adsorbente %	Tiempo (min)	Color original	Color final	Por ciento de decoloración
1		1		0.677	24.9
2		3		0.668	23.6
3		5		0.657	26.0
4	0.5	10	0.903	0.677	24.9
5		15		0.647	26.2
6		30		0.677	24.9
7		45		0.619	31.3
8		1		0.412	54.1
9		3		0.421	53.1
10		5		0.415	53.0
11	1.0	10	0.903	0.430	52.1
12		15		0.415	53.0
13		30		0.335	62.7
14		45		0.330	63.2
15		1		0.262	70.0
16		3		0.250	71.0
17		5		0.235	73.7
18	1.5	10	0.903	0.218	75.6
19		15		0.255	71.3
20		30		0.240	73.2
21		45		0.240	73.2

Absorbancia a 460 mμ.

TABLA C - 12

ACEITE DE CARTAMO A 60°C

No. de Muestra	Adsorbente %	Tiempo (min)	Color original	Color final	Por ciento de decoloración
23		1		0.595	36.4
24		3		0.600	34.8
25		5		0.600	34.8
26	0.5	10	0.921	0.500	37.0
28		15		0.593	35.4
27		30		0.366	39.6
28		45		0.538	41.8
29		1		0.445	51.7
30		3		0.415	55.0
31		5		0.405	56.0
32	1.0	10	0.921	0.360	61.0
33		15		0.330	64.2
34		30		0.303	67.2
35		45		0.268	70.0
36		1		0.375	70.1
37		3		0.300	76.3
38		5		0.291	78.2
39	1.5	10	0.921	0.170	81.5
40		15		0.160	82.7
41		30		0.138	85.9
42		45		0.128	88.0

TABLA C - 19

ACEITE DE CARTAMO A 120°C.

No. de Muestra	Adsorbente %	Tiempo (min)	Color original	Color final	Por ciento de decoloración
43	0.5	1	0.903	0.610	32.3
44		3		0.580	35.6
45		5		0.622	42.0
46		10		0.459	49.2
47		15		0.431	52.1
48		30		0.440	51.1
49		45		-	-
50	1.0	1	0.921	0.361	57.6
51		3		0.340	63.1
52		5		0.310	66.4
53		10		0.250	72.9
54		15		0.228	75.2
55		30		0.180	80.6
56		45		0.155	83.3
57	1.5	1	0.921	0.248	73.1
58		3		0.190	79.4
59		5		0.169	81.7
60		10		0.146	84.3
61		15		0.129	86.0
62		30		0.120	87.0
63		45		0.126	86.5

TABLA C - 14

ACEITE DE CARTAMO DISUELTO DE TETRACLORURO  
DE CARBONO A 35°C.

No. de Muestra	Adsorbente %	Tiempo (min)	Color original	Color final	Por ciento de decoloración
1		1		0.376	57.9
2		3		0.360	58.5
3		5		0.375	58.3
4	0.5	10	0.603	0.360	59.9
5		15		0.323	63.3
6		30		0.330	63.2
7		45		0.287	68.0
8		1		0.180	77.3
9		3		0.149	81.2
10		5		0.128	83.7
11	1.0	10	0.760	0.119	84.9
12		15		0.117	85.2
13		30		0.091	88.5
14		45		0.081	89.6
15		1		0.100	85.8
16		3		0.099	86.7
17		5		0.074	90.0
18	1.5	10	0.767	0.075	89.8
19		15		0.737	90.9
20		30		0.050	93.1
21		45		0.046	93.3

**TABLA C - 15**

**ACEITE DE CARTAMO DISUELTO EN TETRACLORURO DE  
CARBONO A 60°C.**

No. de Muestra	Adeorbente %	Tiempo (min)	Color original	Color final	Por ciento de decoloración
22	0.5	1	0.757	0.368	51.3
23		3		0.354	53.1
24		5		0.354	53.1
25		10		0.293	61.2
26		15		0.265	64.6
27		30		0.231	69.3
28		45		0.193	74.2
29		1.0		1	0.757
30	3		0.100	85.5	
31	5		0.072	90.1	
32	10		0.056	91.0	
33	15		0.060	91.8	
34	30		0.056	92.1	
35	45		0.045	93.7	
36	1.5	1	0.757	0.096	87.0
37		3		0.078	89.4
38		5		0.079	89.2
39		10		0.061	91.6
40		15		0.046	93.6
41		30		0.058	92.1
42		45		0.043	94.0

APENDICE "D".- CONSTANTES  
DE LA ECUACION DE FREUNDLICH.

TABLA D - 1

ACEITE DE AJONJOLI.

Temperatura °C	Tiempo min.	K	n
25	1	-	-
	3	1.20	0.59
	5	1.01	0.43
	10	1.20	0.62
	15	1.30	0.51
	30	1.50	0.73
	45	1.60	0.74
PROMEDIO		1.30	0.61
60	1	1.80	0.85
	3	1.63	0.82
	5	2.10	0.80
	10	2.00	1.05
	15	2.70	1.08
	30	2.00	1.00
	45	3.00	1.08
PROMEDIO		2.51	0.90
120	1	2.80	1.11
	3	6.40	1.52
	5	28.00	2.41
	10	125.00	3.50
	15	130.00	3.70
	30	240.00	4.50
	45	158.00	4.00
PROMEDIO		75.97	2.95



**TABLA D - 2**

**ACEITE DE AJONJOLI DISUELTO EN TETRACLORURO DE CARBONO.**

Temperatura °C	Tiempo min.	K	n
25	1	1.40	0.90
	3	1.60	0.43
	5	1.76	0.46
	10	2.04	0.57
	15	2.40	0.68
	30	3.60	0.60
	45	3.76	0.88
	<b>PROMEDIO</b>		2.74
60	1	2.85	0.97
	3	3.10	0.88
	5	2.40	0.40
	10	4.60	1.03
	15	6.20	1.30
	30	8.10	1.30
	45	14.60	1.66
	<b>PROMEDIO</b>		6.07

TABLA D - 3

ACEITE DE ALGODON.

Temperatura °C	Tiempo min.	K	n
25	1	2.00	1.91
	3	1.48	1.42
	5	2.02	1.78
	10	2.18	1.60
	15	1.40	1.20
	30	1.48	1.20
	45	1.09	0.63
PROMEDIO		1.65	1.48
60	1	2.61	2.19
	3	1.52	1.34
	5	1.52	1.27
	10	1.79	1.38
	15	1.69	1.30
	30	2.15	1.53
	45	2.30	1.47
PROMEDIO		1.93	1.49
120	1	1.00	1.03
	3	1.21	1.03
	5	1.35	1.10
	10	1.29	1.00
	15	1.71	1.34
	30	4.10	2.36
	45	4.20	2.57
PROMEDIO		2.12	1.49

**TABLA D - 4**

**ACEITE DE ALGODON DISUELTO EN TETRACLORURO DE CARBONO.**

Temperatura °C	Tiempo min.	K	n
25	1	0.61	2.01
	3	0.60	1.94
	5	0.55	1.39
	10	0.70	1.63
	15	0.60	2.11
	30	0.64	2.23
	45	0.60	1.91
PROMEDIO		0.72	1.69
60	1	0.88	3.00
	3	1.15	3.67
	5	1.40	3.01
	10	1.05	2.05
	15	1.26	2.46
	30	1.32	2.75
	45	1.50	3.10
PROMEDIO		1.23	2.72

TABLA D - 5

ACEITE DE CARTAMO.

Temperatura °C	Tiempo min.	K	n
25	1	0.45	0.12
	3	0.42	0.04
	5	0.43	0.08
	10	0.42	0.04
	15	0.50	0.19
	30	0.46	0.03
	45	0.59	0.20
PROMEDIO		0.46	0.10
60	1	0.79	0.61
	3	0.69	0.24
	5	0.61	0.25
	10	0.67	0.25
	15	0.64	0.18
	30	0.73	0.22
	45	0.82	0.75
PROMEDIO		0.69	0.28
120	1	0.62	0.39
	3	0.67	0.25
	5	0.99	0.38
	10	1.22	0.48
	15	1.30	0.47
	30	1.30	0.43
	45	1.39	0.43
PROMEDIO		1.05	0.40

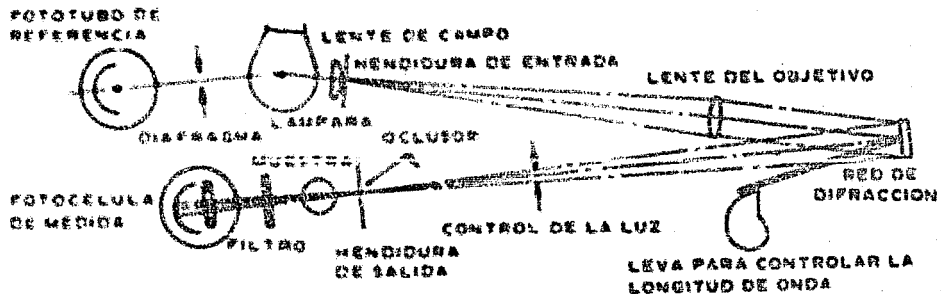
**TABLA D - 6**

**ACEITE DE CARTAMO DISUELTO EN TETRACLORURO DE CARBONO.**

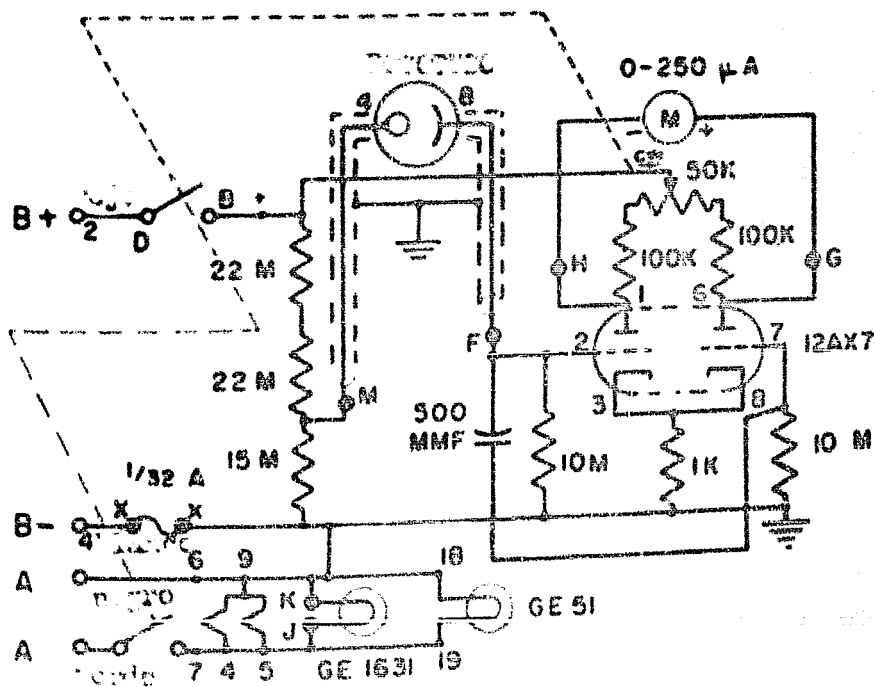
Temperatura °C	Tiempo min.	K	n
25	1	1.86	0.69
	3	1.75	0.59
	5	1.64	0.49
	10	1.91	0.56
	15	2.40	0.63
	30	1.39	0.35
	45	1.51	0.39
PROMEDIO		1.79	0.52
60	1	1.39	0.41
	3	0.98	0.25
	5	1.27	0.39
	10	1.55	0.43
	15	1.65	0.42
	30	2.50	0.58
	45	3.02	0.57
PROMEDIO		1.75	0.43

## APENDICE E

### Diagramas del Espectrofotómetro Bausch & Lomb, modelo Spectronic 20.



### Diagrama óptico esquemático



### Diagrama eléctrico.

**BIBLIOGRAFIA**

- (1) Adam, N. K.  
"Physical Chemistry, p. 539 - 62,  
Oxford University Press, London, 1958.
- (2) Agee, G. W.,  
J. Am. Oil Chem. Soc. 25, 271 - 6, (1948).
- (3) Ibid, 26, 312 - 6, (1949).
- (4) Ibid, 27, 233 - 4, (1950).
- (5) American Oil Chemists' Society  
"Official and Tentative Methods", 2a. Edición  
Cc 8a - 52, Am. Oil Chem. Soc., Chicago, 1961.
- (6) Ibid, Cc 8b - 52.
- (7) Ibid, Cc 8c - 47.
- (8) Ibid, Cc 13a - 43.
- (9) Ibid, Cc 13b - 45.
- (10) Ibid, Cc 13c - 50.
- (11) Ibid, Ka 3 - 47.



- (12) Andersen, A. J. C.  
"Refining of Oils and Fats"  
p 90 - 135, Academic Press, New York, 1953.
- (13) Armstrong, M. R. and Ireland, C. E.,  
J. Am. Oil Chem. Soc. 35, 425 - 8, (1958).
- (14) Bailey, A. E.,  
"Industrial Oil and Fat Products", 2a. Ed., p. 4-36,  
521 - 33, Interscience Publishers, Inc., New York,  
1951.
- (15) Berardi, L. C., and Frampton, V. L.,  
J. Am. Oil Chem. Soc. 34, 399 - 401 (1957).
- (16) Boatner, C. H., Hall, C. M., O'Connor, R. T.,  
Castillon, L. E. and Curet, M. C., Ibid 24,  
97 - 106, (1947).
- (17) Castro Ramos, R.,  
Grasas y Aceites, 12, Fasc. 1, 23 - 32, (1961).
- (18) Dirección General de Normas, Norma Oficial de  
Calidad D. G. N., F2-44, Sría. de Industria y  
Comercio, México, 1962.
- (19) Ibid, D. G. N. F4 - 44.
- (20) Duffey, G. H.,  
"Physical Chemistry", p. 470 - 8, McGraw Hill  
Book Co, Inc., New York, 1962.
- (21) Eckey, E. W.,  
"Vegetable Fats and Oils", p. 19 - 67,  
Reinhold Publ. Corp., New York, 1954.

- (22) Feuge, R. O., and Janssen, H. J.,  
J. Am. Oil Chem. Soc. 28, 429 - 32, (1951).
- (23) Fontana, P. E., e Colagrande, O.  
Riv. Ital. Sost. Grasse 4, 180 - 7, (1962).
- (24) De Francesco, F.,  
Olearia 36, 73 - 6, (1959).
- (25) Freyer, E., J. Am. Oil Chem. Soc. 24,  
297 - 9, (1947).
- (26) Garoglio, P. G.  
"Tecnología de los Aceites Vegetales", Tomo I,  
p. 119 - 86, 881 - 7, Universidad Nacional de  
Cuyo, Mendoza, Argentina, 1950.
- (27) Ibid, Tomo II, p. 1015 - 24, 1039 - 46.
- (28) Glasstone, S.,  
"Textbook of Physical Chemistry", 2a. Ed.  
p. 1119 - 210, D. van Nostrand Co. Inc., New  
York, 1946.
- (29) Hilditch, T. P.,  
"Industrial Chemistry of the Fats and Waxes"  
2a. Ed. p. 36, 220 - 9, D. van Nostrand Co. Inc.,  
New York, 1941.
- (30) Hinners, H. F., McCarthy, J. J. and Bass, R. E.,  
Oil and Soap 23, 22 - 5, (1946).
- (31) Jacini, G., e Carola C.  
Olli Minerali, Grassi e Saponi,  
Colori e Vernici 32, 215 - 6, (1956).

- (32) Jamieson, G. S.,  
"Vegetable Fats and Oils," 2a. Ed, p. 452 - 4,  
Reinhold Publ. Corp., New York, 1943.
- (33) King, R. R.,  
J. Am. Oil Chem. Soc. 26, 201 - 7, (1949).
- (34) Kirschenbauer, H. G.,  
"Fats and Oils", p. 48 - 50,  
Reinhold Publ. Corp., New York, 1944.
- (35) Kirk, R. E., and Othmer, D. F.  
"Encyclopedia of Chemical Technology, Vol. 1,  
p. 206 - 32, Interscience Encyclopedia, Inc.  
New York, 1947.
- (36) Ibid, Vol. 3, p. 371 - 82, 1949.
- (37) Ibid, Vol. 4, p. 242 - 51, 1949.
- (38) Ibid, Vol. 6, p. 140 - 72, 1951.
- (38-A) Lothian, G. F.,  
"Absorption Spectrophotometry", 2a. Ed., p. 25 -  
29, 137 - 141,  
Hilger & Watts Ltd., London, 1958.
- (39) Mantell, C. L.,  
"Adsorption", 2a. Ed. p. 1 - 69, 100 - 39,  
McGraw Hill Book Co, Inc., New York, 1951.
- (40) Mattikow, M.  
J. Am. Oil Chem. Soc. 37, 211 - 3, (1960).
- (41) Mellon, A. G.,  
"Analytical Absorption Spectroscopy, p. 515 - 97,  
J. Wiley and Sons, Inc., New York, 1953.

- (42) Miner, C. S., Jr., and Weil, C. M.,  
J. Am. Oil Chem. Soc. 26, 301 - 4, (1949).
- (43) Newby, W., Ibid, 24, 375 - 8 (1947).
- (44) O'Connor, R. T., Pominsky, C. H., Heinzelman,  
D. C., Howell, H. and von der Haar, P.,  
Ibid, 29, 220 - 4, (1950).
- (45) Perry, J. H.  
"Chemical Engineers' Handbook", 3a. Ed.,  
p. 885 - 916 McGraw Hill Book Co. Inc.  
New York, 1950.
- (46) Pohle, W. D., and Tierney, S. E.  
J. Am. Oil Chem. Soc. 34, 485 - 9, (1957).
- (47) Pominsky, C. H., von der Haar, P., and O'Connor,  
R. T., Ibid, 30, 365 - 8, (1953).
- (48) Pominski, J. and Pack, F. C.,  
Ibid, 34, 299 - 301, (1957).
- (49) Pons, W. A. Jr., Berardi, L. C. and Frampton,  
V. L.  
Ibid, 36, 337 - 9, (1959).
- (50) Pons, W. A. Jr., Kuck, J. C., and Frampton,  
V. L. Ibid, 37, 671 - 3, (1960).
- (51) Ibid, 38, 104 - 7, (1961).
- (52) Ibid, 40, 10 - 3, (1963).
- (53) Presnell, A. K., Ibid, 26, 13 - 5, (1949).

- (54) Singleton, W. A., and McMichael, C. E.  
J. Am. Oil Chem. Soc. 32, 1 - 6, (1955).
- (55) Snell, F. D., and Snell, C. T.  
"Colorimetric Methods of Analysis", 3a. Ed.,  
Vol. I, p. 27 - 36, 131, D. van Nostrand,  
Princeton, N. J. 1950.
- (56) Stillman, R. C.,  
J. Am. Oil Chem. Soc. 30, 159 - 62, (1953).
- (57) Ibid, 31, No. 3, 4, (1954).
- (58) Ibid, 31, 347 - 50, (1954).
- (59) Ibid, 31, 469 - 72, (1954).
- (60) Ibid, 32, 587 - 8, (1955).
- (61) Süd-Chemie, Catálogo Tensil 1960, p. 12 - 7,  
Süd - Chemie, München, 1960.
- (62) Thomson, P.,  
J. Am. Oil Chem. Soc. 24, 387 - 8, (1947).
- (63) Thomssen, E. G., and McCutcheon, J. W.,  
"Soaps and Detergents", p. 43 - 51, MacNair-  
Derland Co., New York, 1949.
- (64) Whyte, L. K.,  
J. Am. Oil Chem. Soc. 24, 137 - 40, (1947).
- (65) Yoe, J. H.,  
"Photometric Chemical Analysis", p. 83 - 90,  
J. Wiley and Sons, Inc., New York, 1928.