



Evaluación comparativa de los rendimientos  
obtenidos mediante el proceso de extracción  
en aceites vegetales a partir  
de semillas oleaginosas  
*Benchmarking of the process of vegetal oil  
extraction from oily seeds*

CATHY PÉREZ A.<sup>1</sup>

Universidad de Carabobo.  
[cathy@cathyperez](mailto:cathy@cathyperez)

LUIS GONZÁLEZ V.<sup>2</sup>

Refinería El Palito  
[gonzalez.luisdaniel@gmail.com](mailto:gonzalez.luisdaniel@gmail.com)

ALEJANDRO COLÓN<sup>3</sup>

Alimentos Heinz  
[alejandro.colon@ve.hjheinz.com](mailto:alejandro.colon@ve.hjheinz.com)

CARINA MORELLO P.<sup>4</sup>

Universidad de Carabobo.  
[carinamorello@hotmail.com](mailto:carinamorello@hotmail.com)

VIKY MUJICA<sup>5</sup>

Universidad de Carabobo.  
[vc mujica@gmail.com](mailto:vc mujica@gmail.com)

ALBERTO MARTÍNEZ<sup>6</sup>

Universidad de Carabobo  
[mmae20@hotmail.com](mailto:mmae20@hotmail.com)

Recibido: 06/07/2006

Aceptado: 05/03/2008

<sup>1</sup> Ingeniero Químico. Magíster en Administración de Empresas. Mención: Gerencia. Universidad de Carabobo y MSc Engineering Management. Major Process and Environmental. Florida. USA. Profesor Titular Jubilado. Dedicación Exclusiva. Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería. Universidad de Carabobo.



## Resumen

En la actualidad, los procesos de extracción de productos naturales han adquirido gran importancia, especialmente en la industria alimenticia. La investigación pretende evaluar el comportamiento del porcentaje de rendimiento en el proceso de extracción de aceite a partir de semillas oleaginosas. Para el desarrollo de la investigación se identifican todos los aspectos relacionados con la extracción de aceites vegetales, así como los factores que afectan el rendimiento del proceso. Se estudian las variedades de semillas de ajonjolí, maní y mostaza. Luego, mediante un análisis causa-efecto se identifican las variables influyentes en el proceso, tales como: tamaño de partícula, cantidad de semilla alimentada y volumen de solvente, estableciéndose los niveles de los factores que serán considerados en la investigación. El estudio experimental se realiza en el equipo de extracción sólido-líquido Soxhlet del Laboratorio de Ingeniería Química: se selecciona un diseño experimental factorial cruzado de efectos fijos, para observar las interacciones existentes entre los factores previamente seleccionados y analizar la incidencia en el proceso de extracción. El mayor rendimiento se obtuvo para 8.000 mL de solvente, 1.500 g de semilla con tamaño de partícula de 50 mesh, para las tres variedades de semillas estudiadas. El mejor rendimiento obtenido para las semillas de ajonjolí, maní y mostaza es de 48,15%, 38,73% y 32,38% respectivamente.

**Palabras clave:** Extracción, Soxhlet, semillas oleaginosas, diseño factorial, rendimiento.

---

<sup>2</sup> Ingeniero Químico. Universidad de Carabobo. Ingeniero de Procesos en el área de Servicios Industriales de la Refinería al Palito, PDVSA. Profesor contratado en el área de Termodinámica del Departamento de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo.

<sup>3</sup> Ingeniero Químico. Universidad de Carabobo. Investigador Senior de Investigación y Desarrollo de Alimentos Heinz.

<sup>4</sup> Médico Cirujano. Universidad de Carabobo.

<sup>5</sup> MSc. en Ingeniería Ambiental. Mención: Tratamiento de Aguas. Universidad de Carabobo. Profesor Agregado. Dedicación exclusiva en el área de Termodinámica. Departamento de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería. Universidad de Carabobo.

<sup>6</sup> Ingeniero Químico. Universidad de Carabobo. Profesor Instructor. Tiempo Convencional en el área de Termodinámica. Departamento de Física. Facultad de Ingeniería. Universidad de Carabobo.



## Abstract

At the present time the extraction of natural products has great relevance in the nutritional industry. Due to this necessity the present has as primary target comparatively evaluate the process of oil extraction from oily seeds. For the development of the investigation, it takes account the related aspects in the vegetal oil obtaining, as well as of the factors that affect the yield in the oil extraction. One settles down the varieties of seeds to use in the investigation, and by means of an analysis it causes-effect the influential variables in the extraction process are selected, as they are its variety, size and amount of seed and volume of reliable, everything to establish the factors with their respective levels to be treated experimentally. The experimental study is made in the solid equipment of extraction-liquid Soxhlet of the Laboratory of Chemical Engineering, and once established the levels of the experiments and the varieties of seeds to use, it selects seeds of a crossed factorial experimental design of fixed effects, to observe the existing interactions between the factors previously selected and thus to analyze if they have incidence or not in the extraction process. Once obtaining all the interactions between the studied factors, the important conclusions that they are derived from the same one are: for the variety of seed sesame the best obtained yield was of 48,15% and 49,23%; for the seed peanut the best yield was of 38,73 % and 36,15% and for the seed mustard the best yield were of 32,38% and 32,12%, all the seeds with conditions of 1500g of seed, a 8000 ml volume ml and 50 size of mesh.

**Key words:** Extraction, Soxhlet, oil seeds, factorial design, yield

## 1. Introducción

La investigación tiene como finalidad evaluar comparativamente el porcentaje de rendimiento en un proceso de extracción de aceites a partir de semillas oleaginosas, a fin de disponer de las mejores condiciones de operación. Antes de llevar a cabo el trabajo experimental se analiza cualitativamente, mediante el diagrama de Ishikawa, las variables que inciden en el proceso de extracción. Asimismo se seleccionan las semillas a utilizar durante la investigación. El trabajo experimental consiste en llevar a cabo la extracción de los aceites a partir de las diferentes semillas seleccionadas



en el equipo SOXHLET, obteniéndose una mezcla de hexano-aceite. Luego dicha mezcla se somete a un proceso de rectificación para recuperar el solvente y obtener un aceite más limpio.

## 2. Metodología

### 2.1. Procedimiento experimental

#### 2.1.1. Identificación y selección de las variables que inciden en el proceso de extracción

Para la identificación de las variables que pueden incidir en el proceso de extracción se desarrolla el diagrama Ishikawa (Kolarik, 1996), enfocándose en los siguientes aspectos: equipos, calidad de la mano de obra, calidad de la medición, materia prima, método operacional y condiciones ambientales (ver Figura N° 1).

Sobre este conjunto de aspectos se realiza un análisis de las diferentes variables relacionadas con cada una de ellos, analizando las limitaciones, capacidad de control y aporte de información relevante que implica cada variable, para seleccionar las más importantes a incluir en el diseño de experimento.

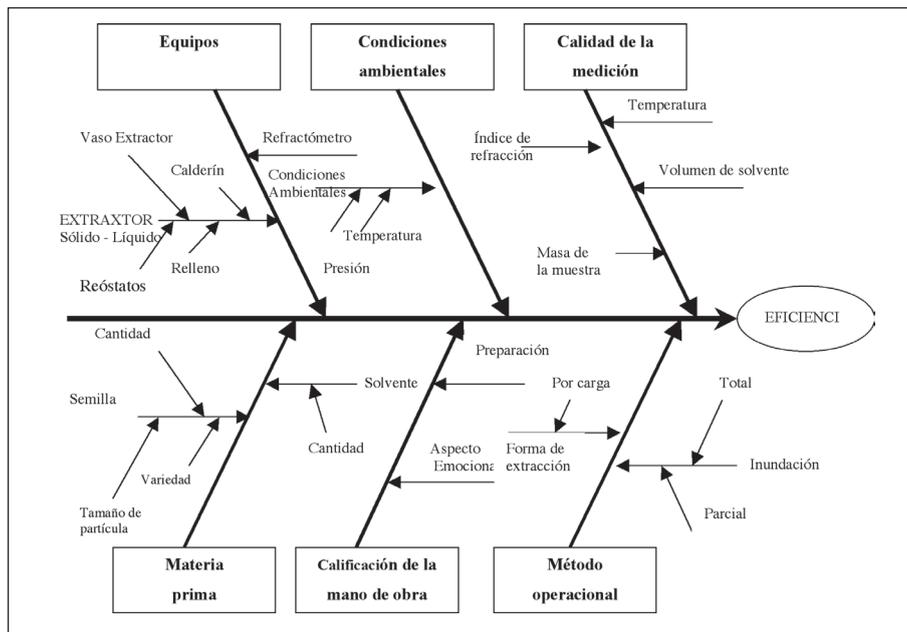
En relación a los equipos, el SOXHLET consta básicamente de cuatro partes fundamentales, las cuales son: vaso extractor, calderín, torre de relleno y reóstatos. Adicionalmente, se tiene un distribuidor de flujo a la entrada del vaso extractor para lograr un mejor esparcimiento del hexano sobre la torta de extracción. En las condiciones ambientales se observan los factores ambientales que ejercen influencia en el proceso a estudiar. Las condiciones ambientales del equipo están controladas por la presión y la temperatura ambientes, que determinan los valores de las propiedades fisicoquímicas reportadas en la literatura de los compuestos involucrados.

Entre las distintas mediciones llevadas a cabo para la extracción de los diferentes aceites están: índice de refracción de la mezcla aceite-hexano a la salida del vaso extractor, temperatura en el calderín y en el tope de la



FIGURA N° 1

**DIAGRAMA DE ISHIKAWA DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO**



columna, masa de aceite extraído, volumen de hexano alimentado al calderín y masa de semilla alimentada al proceso.

La muestra para medir el índice de refracción se toma a la salida del vaso extractor (éste valor permite determinar si la extracción se está realizando efectivamente), las temperaturas se miden con termómetros de pozo profundo; la masa de semilla es cuantificada con una balanza digital y el volumen de hexano con un cilindro graduado. El solvente debe poseer características particulares, tanto fisicoquímicas como toxicológicas, empleándose para la investigación el hexano por sus propiedades. Las semillas a emplear deben ser oleaginosas, es decir, que posean aceite dentro de su estructura química para llevar a cabo la extracción de un determinado aceite.



La calificación de la mano de obra en las distintas facetas de la investigación es indispensable, y por ende, existe la necesidad de que los individuos involucrados posean ciertas habilidades y destrezas en la labor a desempeñar, para minimizar el tiempo de trabajo y garantizar eficiencia en los resultados a obtener.

El método operacional se refiere a los mecanismos involucrados en el proceso en sí. El protocolo empleado para lograr la obtención de aceites es a través de un proceso por carga, donde están continuamente en contacto un solvente y las semillas, siendo el solvente constantemente recirculado.

### *2.1.2. Extracción del aceite de las distintas semillas seleccionadas*

Para la selección de las semillas a utilizar durante la investigación, es necesario conocer los distintos tipos de semillas oleaginosas que existen en el país que poseen un alto contenido de aceite, así como su disponibilidad en el mercado. Entre éstas se tienen las siguientes: maní, neem, mostaza, coroso, linaza, ajonjolí, sorgo y mijo; de ellas se seleccionan tres de interés para llevar a cabo la investigación.

## *2.2. Diseño experimental*

### *2.2.1. Determinación de la interacción de las variables que más afectan el proceso de extracción*

La metodología para realizar un diseño del experimento se basa en la aplicación de cuatro pasos básicos (Taguchi, 1990): planificación, diseño de experimento, conducción y análisis de resultados.

En la planificación es necesario establecer el grupo para llevar a cabo la experimentación, conformado por los investigadores, dos (2) técnicos del Laboratorio de Ingeniería Química y uno del Laboratorio de Alimentos. Asimismo se establece el objetivo del experimento, que consiste en identificar y calificar la influencia de las variables que afectan el proceso de extracción y la interacción entre ellas. También es necesario definir la función



(o variable dependiente) respuesta, que en este caso resulta ser la masa de aceite extraída en el proceso por unidad de masa de semilla cargada al mismo (rendimiento).

Finalmente, para la planificación del experimento, se definen las variables independientes o factores que afectan la cantidad de semilla extraída, identificadas a través de la aplicación del diagrama de Ishikawa. Entre los factores identificados están la variedad de semilla, tamaño de partícula de semilla, masa de la semilla y volumen de solvente alimentado al calderín. En el diseño del experimento se selecciona y asigna el arreglo a emplear. Por tanto, para examinar el comportamiento de la función respuesta es necesario estudiar el efecto que sobre ella tiene cada variable en forma independiente, y el efecto de las interacciones entre ellas.

En función de las variables seleccionadas, se realiza un conjunto de experimentos gobernados por un diseño multifactorial  $2^k$  de efectos cruzados, donde  $k$  representa el número de factores seleccionados para el diseño experimental y el 2 indica el número de niveles que toman dichos factores (Montgomery, 1991). En la tabla N° 1 se visualizan los niveles de los factores experimentales a considerar. Para cada variedad de semilla en estudio se realizan ocho (8) corridas, resultado de la combinación de las variables. Se realiza una réplica del experimento para cada tratamiento, resultando 16 corridas para cada variedad de semilla. Finalmente, se tiene un total de 48 corridas para determinar la influencia de cada uno de los factores en el porcentaje de rendimiento del proceso de extracción.

En la conducción del experimento se definen los equipos a utilizar: el equipo de extracción Soxhlet a escala piloto, con una capacidad de 18L de solvente en el calderín y 4L en el vaso extractor, un refractómetro tipo Abbe modelo 320 para la medición del índice de refracción, un molino eléctrico para la molienda de las semillas. Asimismo, se diseñan los instrumentos para la recolección de datos que permiten realizar el estudio del proceso de extracción de los diferentes aceites vegetales.

Para la extracción del aceite se utiliza como disolvente el n-hexano grado técnico por poseer un bajo costo, toxicidad moderada y de fácil disponibilidad. En la tabla N° 2 se muestran sus principales propiedades:



TABLA N° 1

**FACTORES EXPERIMENTALES SELECCIONADOS CON SUS RESPECTIVOS NIVELES**

<b>FACTOR</b>	<b>SÍMBOLO</b>	<b>NIVELES</b>
Masa de semilla	M	2000 g
		1500 g
Volumen de solvente	V	8000 mL
		6000 mL
Tamaño de partícula de semilla	Tp	50mesh
		Entero
Variedad de semilla	S	Ajonjolí
		Maní
		Mostaza

TABLA N° 2

**PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DEL HEXANO**

<b>PROPIEDAD</b>	<b>VALOR</b>
Fórmula	$C_6H_{14}$
Peso molecular, g/gmol	86,18
Punto de ebullición, °C	69
Punto de fusión, °C	-95
*Densidad, g/mL	0,659
*Presión de vapor, kPa	16
*Índice de refracción, adim	1,3750
Punto de inflamación, °C	-22
Temperatura de autoignición, °C	240
*Propiedades a 20 °C	



Es una sustancia química manufacturada del petróleo, compuesta esencialmente de hidrocarburos acíclicos saturados que contienen seis átomos de carbono. Es un líquido incoloro de olor levemente desagradable, sumamente inflamable y cuyos vapores pueden causar explosión (Mehlenbacher, 1977). El n-hexano posee propiedades fisicoquímicas apropiadas para la extracción de grasas y aceites; ya que posee un punto de ebullición relativamente bajo que permite ser separado del extracto mediante un proceso de destilación simple, no posee polaridad, lo que contribuye a disolver las grasas y aceites presentes en la matriz celular de las semillas vegetales.

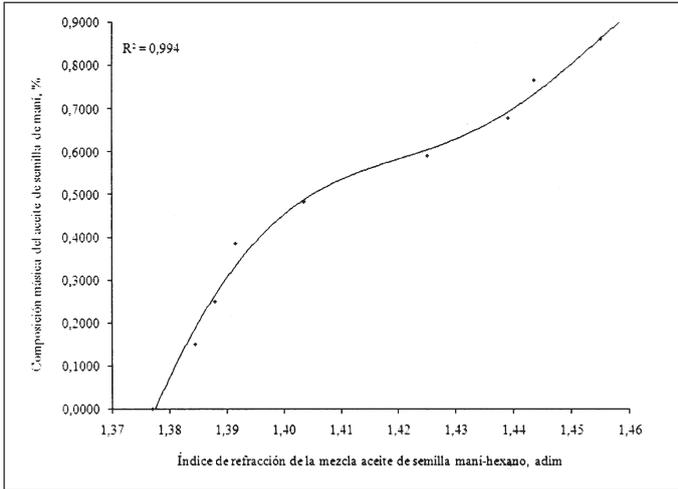
Entre las propiedades físicas del hidrocarburo se encuentran baja densidad y tensión superficial –comparadas con el agua–, por ejemplo que posee valores de la tensión superficial de 72 dinas/cm<sup>2</sup> y densidad de 1 gr/ml– lo que favorece el proceso de extracción y disolución, valores del calor de vaporización bajo que disminuye la cantidad de energía utilizada para llevar el solvente a las condiciones de temperatura requeridas. Estas observaciones permiten fundamentar la selección del n-hexano como solvente en la investigación.

La elaboración de la curva de calibración para el índice de refracción de la mezcla hexano-aceite constituye una herramienta fundamental, ya que a través de la misma se logra conocer la concentración de la mezcla aceite-hexano que desciende del vaso extractor, así como el momento en que se debe detener el proceso extractivo. La curva de calibración se construye preparando soluciones de cada mezcla a diferentes concentraciones conocidas, midiéndoles a cada una el índice de refracción asociado. La preparación de las distintas mezclas se lleva a cabo midiendo volúmenes conocidos de aceite y de hexano, para posteriormente mezclar y determinarle mediante un refractómetro el índice de refracción. Una vez obtenidos varios puntos a diferentes concentraciones, se grafica la composición másica de la mezcla aceite-hexano en función de su índice de refracción, tal como se muestra en las figuras Nos. 2, 3 y 4 para cada variedad de semilla estudiada.

Ya diseñados los experimentos y establecidos los factores relacionados con el mismo, es necesario llevar a cabo la experiencia en sí. Se toman las



**FIGURA N° 2**  
**CURVA DE CALIBRACIÓN DEL REFRACTÓMETRO DE LA MEZCLA**  
**ACEITE DE SEMILLA DE MANÍ-HEXANO**



**FIGURA N° 3**  
**CURVA DE CALIBRACIÓN DEL REFRACTÓMETRO DE LA MEZCLA**  
**ACEITE DE SEMILLA DE AJONJOLÍ-HEXANO**

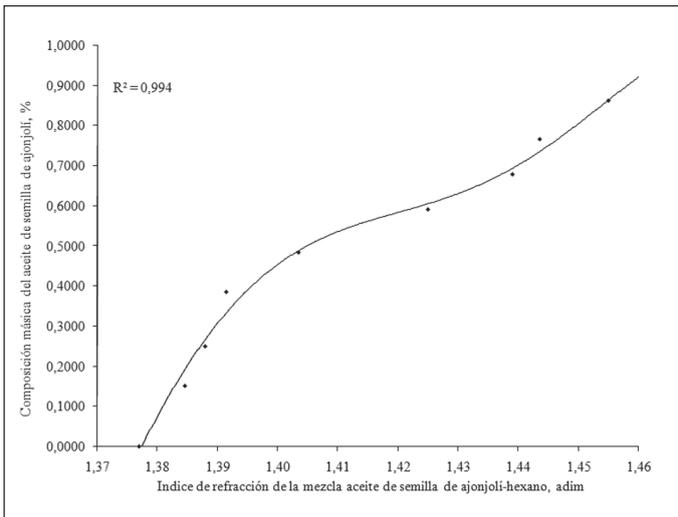
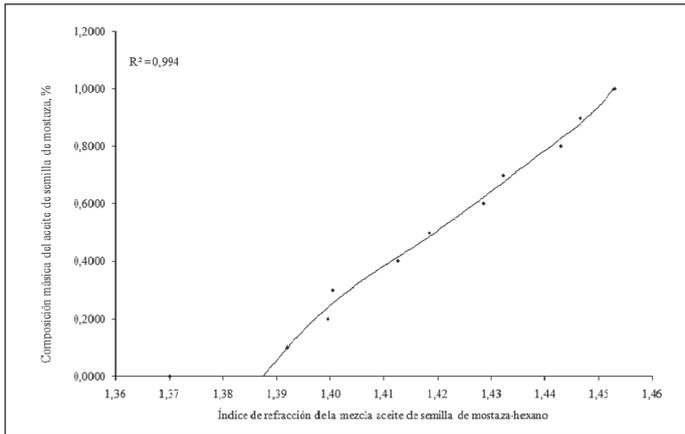




FIGURA N° 4  
CURVA DE CALIBRACIÓN DEL REFRACTÓMETRO DE LA MEZCLA  
ACEITE DE SEMILLA DE MOSTAZA-HEXANO



mediciones establecidas mediante el instrumento de recolección de datos diseñado, como lo son el índice de refracción de la mezcla hexano-aceite a la salida del vaso extractor, la temperatura del calderín y la temperatura del tope de la torre.

Una vez realizados todos los experimentos se determina el rendimiento de cada extracción, ya que dicho valor es indispensable para el análisis mencionado. El cálculo del rendimiento consiste en relacionar la cantidad de aceite obtenido y la cantidad de semilla alimentada (Badui, 1997 y Mazzani, 1963), empleando la siguiente ecuación:

$$\mathfrak{R} = \frac{m_{Aceite}}{m_{Semilla}} * 100 \quad (1)$$

donde:

$\mathfrak{R}$  : Rendimiento, adim

m *Aceite*: Cantidad de aceite obtenido, g

m *Semilla*: Cantidad semilla alimentada, g



Luego, mediante el tratamiento estadístico basado en un análisis de varianza, se determina la interacción que existe entre las variables bajo estudio, así como la relación que tiene la combinación de los factores con la variable respuesta. Dicho tratamiento estadístico se realiza mediante la aplicación de un diseño factorial cruzado de efectos fijos, en donde se determina el factor de Fischer experimental que posteriormente se compara con el factor Fischer bibliográfico para el nivel de confianza requerido y los grados de libertad que correspondan, a fin de verificar el efecto de las variables independientes y de su interacción sobre la función respuesta, que en este caso es el rendimiento obtenido.

Una vez seleccionado el tipo de diseño experimental a utilizar, se procede a la aplicación del software estadístico MINITAB 13,2 para Windows, el cual una vez introducidos los valores de las variables independientes utilizados en la realización de los experimentos y los resultados obtenidos, estima los factores Fischer asociados a cada una de las variables y a la interacción entre ellas. Se procede a crear el diseño, asignando los niveles de cada factor y el número de réplicas para cada tratamiento; el programa muestra los niveles de los factores para todas las corridas y permite introducir los resultados de las mismas, como se muestra en la Figura N° 5. Finalmente, la opción Analyze Factorial Design muestra los resultados de la interacción de las variables estudiadas, como se muestra en la Figura N° 6.

Una vez que se han extraído los distintos tipos de aceites y conocidos sus respectivos rendimientos, es necesario realizar una comparación entre los resultados obtenidos. El mecanismo empleado para elaborar la comparación, es un análisis lógico en primera instancia y luego el análisis estadístico; se identifican los valores de la función respuesta, cantidad de aceite extraído y rendimiento para las condiciones del proceso correspondiente. Así se pueden determinar por análisis estadístico los factores de mayor incidencia y su interacción, para luego inferir sobre las causas que originan los comportamientos obtenidos.



FIGURA N° 5  
VENTANA CON LOS DATOS SUMINISTRADOS AL PROGRAMA  
MINITAB 13,2 PARA LA SEMILLA DE AJONJOLÍ

RunOrder	Blocks	Masa de semilla ajonjolí	Volumen de solvente	Tamaño de partícula	Rendimiento
1	1	1500	6000	16	17,39
2	2	2000	8000	50	41,42
3	3	1500	8000	16	21,23
4	4	1500	6000	50	42,38
5	5	2000	6000	50	37,55
6	6	1500	6000	50	42,56
7	7	1500	8000	16	23,54
8	8	2000	8000	50	43,69
9	9	2000	8000	16	14,22
10	10	2000	6000	16	12,53
11	11	1500	8000	50	48,15
12	12	2000	6000	50	35,02
13	13	2000	6000	16	12,87
14	14	1500	8000	50	49,23
15	15	2000	8000	16	12,65
16	16	1500	6000	16	18,50

FIGURA N° 6  
VENTANA CON LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS  
DE LA SEMILLA DE AJONJOLÍ EN EL PROGRAMA MINITAB 13,2

16/05/04 4:28:51

Welcome to Minitab, press F1 for help.

**Factorial Design**

General Factorial Design

Factors: 3 Factor Levels: 2, 2, 2  
Runs: 16 Replicates: 2

General Linear Model: Rendimiento versus Masa de semi. Volumen de s. ...

Factor	Type	Levels	Values
Masa de semilla	fixed	2	1500 2000
Volumen de solvente	fixed	2	6000 8000
Tamaño de partícula	fixed	2	16 50

Analysis of Variance for Rendimiento, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Masa de semilla	1	175,76	175,76	175,76	128,40	0,000
Volumen de solvente	1	65,57	65,57	65,57	47,90	0,000
Tamaño de partícula	1	2679,87	2679,87	2679,87	1957,78	0,000
Masa de semilla * Volumen de solvente	1	6,57	6,57	6,57	4,80	0,060
Masa de semilla * Tamaño de partícula	1	0,88	0,88	0,88	0,64	0,446
Volumen de solvente * Tamaño de partícula	1	19,29	19,29	19,29	14,10	0,006
Masa de semilla * Volumen de solvente * Tamaño de partícula	1	6,83	6,83	6,83	4,99	0,056
Error	8	10,95	10,95	1,37		



### 3. Análisis de resultados

Al analizar los equipos empleados para llevar a cabo el proceso de extracción, se observa que la misma consta de cuatro (4) partes fundamentales; dichos elementos no influyen en el rendimiento de extracción debido a que la misma sólo proporciona el lugar para llevar a cabo el experimento. Los componentes de los equipos son los mismos durante todos los experimentos, por tanto no influyen en los valores obtenidos. Las condiciones de operación permanecen prácticamente constantes a lo largo de toda la experiencia práctica, no considerándose como un factor que incide en la eficiencia del proceso; así se trata de homologar condiciones de experimentación.

De la calidad de la medición de las variables involucradas en el proceso, se derivan los resultados más confiables. Las mediciones llevadas a cabo para la extracción de los diferentes aceites son: índice de refracción de la mezcla aceite-hexano, temperatura en el calderín, temperatura en el tope de la torre, masa de aceite extraído y el volumen de solvente alimentado.

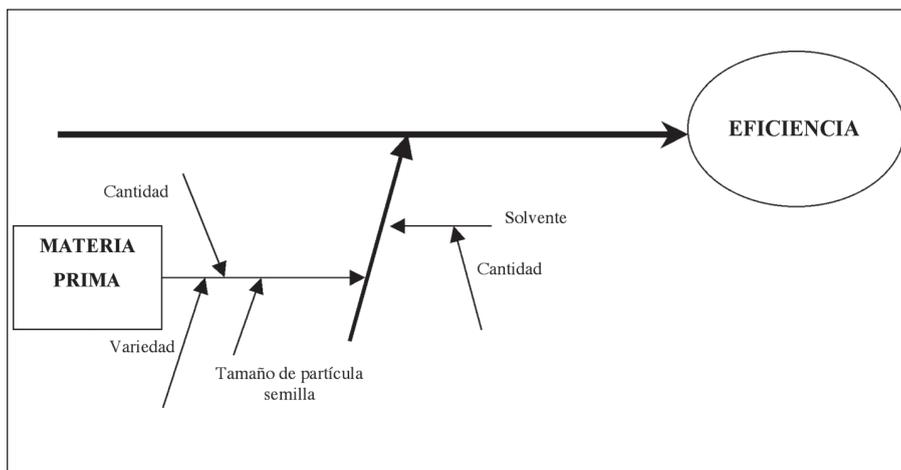
En cuanto a la calificación de la mano de obra, ésta no se considera un factor que influya en la eficiencia de la extracción, ya que las personas que desarrollaron la presente investigación están capacitadas para llevar a cabo y cumplir los pasos que se encuentran estipulados en el método operacional. Esta última y los equipos utilizados tienen una estrecha relación, ya que dependiendo del equipo utilizado, se tiene el método que puede ser aplicado. Por tanto, los equipos y el método no tienen carácter diferenciador entre las experiencias, toda vez que cada una de ellos se mantiene constante para todos los experimentos.

El volumen del solvente es una variable que es analizada; debido a que en anteriores experimentos con otras semillas se ha reflejado que el mismo ejerce influencia en el rendimiento del proceso de extracción (Gallagos, 1982). Investigaciones anteriores han demostrado que el rendimiento del proceso se ve afectado por la cantidad de semilla a emplear y el volumen del solvente (Báez, 2000). El tamaño de partícula de semilla también es analizado debido al área de contacto entre la semilla y el solvente, requiriéndose el estudio de dicho efecto en el rendimiento. Para ello se consideran

dos niveles: un primer nivel con un tamaño de partícula de 50mesh producto de un proceso de molienda, y un segundo nivel para el grano entero de semilla. Finalmente, el tipo de semilla es analizado, ya que cada semilla posee un comportamiento diferente y particular.

Una vez analizadas las partes que conforman las “6M” del diagrama de Ishikawa, se obtiene el siguiente diagrama simplificado (Figura N° 7) con las variables que influyen en el proceso de extracción.

FIGURA N° 7  
DIAGRAMA CAUSA-EFECTO RESULTADO DEL ANÁLISIS DEL PROCESO  
DE EXTRACCIÓN SÓLIDO-LÍQUIDO



En la Tabla N° 3 se muestra la información sobre el rendimiento teórico sobre la cantidad de aceite obtenido. Se observa que el mayor contenido de aceite es para las semillas de ajonjolí, maní y mostaza respectivamente. Estas semillas poseen el mayor número de aplicaciones en la actualidad y mayormente conocidas, por ello son las seleccionadas para desarrollar la evaluación comparativa del proceso de extracción a través de un mecanismo de lixiviación por carga de lecho fijo.



TABLA N° 3  
**VALORES DE RENDIMIENTO TEÓRICO PARA LAS DISTINTAS  
SEMILLAS OLEAGINOSAS MÁS IMPORTANTES**

<b>SEMILLA</b>	<b>PORCENTAJE DE RENDIMIENTO TEÓRICO (%)</b>
Ajonjolí	40-60
Coroso	38-45
Linaza	35-41
Maní	46-48
Mostaza	38-45
Neem	35-40
Sorgo	5-10

Fuente: BÁEZ H y Pérez C. (2000).

Al realizar el proceso de extracción, para cada una de las semillas seleccionadas se observó –tal como se muestra en las figuras 8, 9, 10–, que la composición másica del aceite extraído disminuye debido a la cantidad de aceite disponible en la semilla. De las figuras Nos. 8, 9, 10 se concluye que a mayor cantidad de solvente y menor tamaño de partícula, el proceso de extracción se realiza con mayor rapidez, independientemente de la cantidad de semilla utilizada dentro del rango en estudio analizado. Esto se debe al hecho de existir mayor cantidad de medio extractor (solvente), trayendo como consecuencia que la transferencia de masa interfacial se vea favorecida; es decir, el mecanismo para la sustracción del aceite presente en la matriz celular de la semilla es la difusión molecular. Esta difusión permite el transporte de aceite de un lugar de mayor concentración (la semilla) a uno de menor concentración (la mezcla de aceite-hexano). Por tanto, la cantidad de aceite que contienen las semillas al inicio del proceso de extracción posee el gradiente de concentración más elevado, que va disminuyendo a medida que transcurre el proceso de



extracción, haciendo que se vaya enriqueciendo la mezcla hexano en aceite y disminuya la cantidad de aceite presente en la matriz celular de las semillas (Báez H. y Pérez C., 2000).

FIGURA N° 8  
**COMPORTAMIENTO DEL PROCESO  
DE EXTRACCIÓN PARA LA SEMILLA DE AJONJOLÍ**

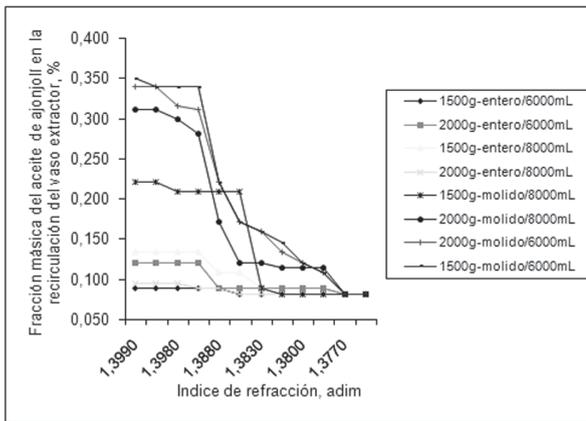


FIGURA N° 9  
**COMPORTAMIENTO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN  
PARA LA SEMILLA DE MANÍ**

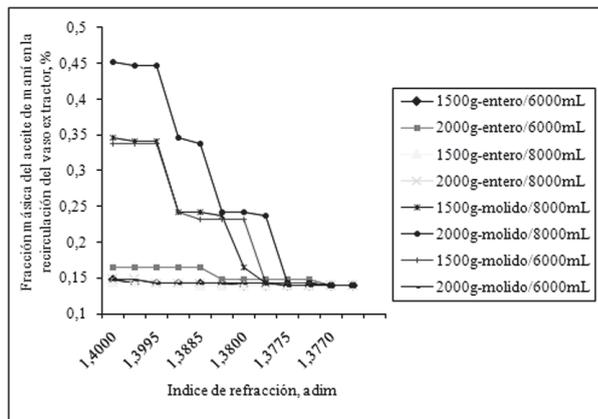
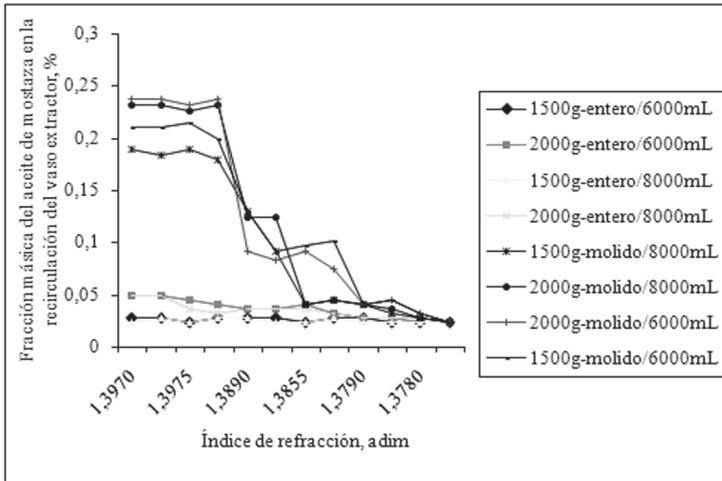


FIGURA N° 10  
COMPORTAMIENTO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN  
PARA LA SEMILLA DE MOSTAZA



La Tabla N° 4 presenta información sobre el porcentaje de rendimiento del aceite obtenido para cada variedad de semilla estudiada, al aplicar cada uno de los tratamientos. Se observan porcentajes de rendimiento de 48,15%, 38,73% y 32,38% para las semillas de ajonjolí, maní y mostaza respectivamente al utilizar 1500g de semilla con un tamaño de partícula de 50mesh y 8000mL. Este comportamiento se debe a la presencia de mayor cantidad de solvente en el vaso extractor, que trae como consecuencia un aumento en la difusión del aceite que se encuentra en las semillas hacia el solvente puro. También el tamaño de las partículas en 50mesh incide sobre los resultados, debido a la mayor área interfacial de semilla que estará en contacto directamente con el solvente, permitiendo así una mayor difusión del aceite hacia el solvente puro.

Al observar los resultados obtenidos para la semilla de ajonjolí en la Tabla N° 5, se obtiene que la probabilidad de que el factor Fischer teórico sea mayor que los correspondientes valores experimentales de Fischer obtenidos para cada una de las variables estudiadas, a saber: masa, tamaño



TABLA N° 4  
**PORCENTAJES DE RENDIMIENTO OBTENIDOS  
 PARA CADA VARIEDAD DE SEMILLA EN ESTUDIO**

TRATAMIENTO	VARIEDAD DE SEMILLA		
	PORCENTAJE DE RENDIMIENTO		
	AJONJOLÍ	MANÍ	MOSTAZA
1500 g/50 mesh con 8000 mL de hexano	48,15	38,73	32,38
1500 g/ 50 mesh con 6000 mL de hexano	42,38	30,17	30,09
1500 g entero con 8000 mL de hexano	21,23	12,25	7,01
1500 g entero con 6000 mL de hexano	17,39	12,17	5,00
2000 g/ 50 mesh con 8000 mL de hexano	41,42	32,11	19,91
2000 g/ 50 mesh con 6000 mL de hexano	37,55	26,84	18,32
2000 g entero con 6000 mL de hexano	12,53	6,19	2,30
2000 g entero con 8000 mL de hexano	14,22	8,51	2,31

de partícula de semilla y volumen de solvente es menor a 0,000, con un nivel de confianza igual a 0,05. Por tanto, se comprueba que dichos factores influyen en la variable respuesta seleccionada (porcentaje de rendimiento). Los valores de Fischer experimentales para cada factor están en el orden de 128,40; 47,90 y 1957,78 respectivamente, los cuales al compararlos con el valor teórico de 5,32 proveniente de un nivel de confianza de 0,05 y los grados de libertad iguales a 1, se comprueba que dichos factores individualmente tienen incidencia en el proceso de extracción de aceites de semillas oleaginosas (Millar y Freund, 1992).

Dentro de las interacciones estudiadas, las que resultan de mayor importancia son las existentes entre las variables volumen-tamaño de partícula de semilla, ya que se puede observar una probabilidad por el orden de 0,006 para un nivel de confianza de 0,05, comprobándose su incidencia en el porcentaje de rendimiento. Al comparar el valor de Fischer experimental de 14,10 con el teórico de 5,32, se evidencia que la interacción



TABLA N° 5

**RESULTADOS PROBABILÍSTICOS ARROJADOS POR EL SOFTWARE ESTADÍSTICO  
MINITAB 13,2 PARA WINDOWS EN EL ANÁLISIS DEL PORCENTAJE DE RENDIMIENTO  
EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE AJONJOLÍ**

FUENTE DE VARIACIÓN (GL)	GRADOS DE LIBERTAD (SS)	SUMA DE CUADRADOS AJUSTADA	SUMA DE CUADRADOS CUADRADOS	MEDIA DE LA SUMA DE LOS FISCHER AJUSTADA (MS)	FACTOR DE (F)	P-VALOR
A: Masa	1	175,76	175,76	175,76	128,40	0,000
B: Volumen	1	65,57	65,57	65,57	47,90	0,000
C: Tamaño de partícula de semilla	1	2679,87	2679,87	2679,87	1957,78	0,000
A*B	1	6,57	6,57	6,57	4,80	0,060
A*C	1	0,88	0,88	0,88	0,64	0,446
B*C	1	19,29	19,29	19,29	14,10	0,006
A*B*C	1	6,83	6,83	6,83	4,99	0,056
Error	8	10,95	10,95	1,37	—	—
<b>Total</b>	<b>15</b>	<b>2965,72</b>	—	—	—	—

existe y tiene incidencia en el porcentaje de rendimiento del proceso de extracción de aceite de la semilla de ajonjolí.

Para la semilla de maní (ver Tabla N° 6), se obtiene que la probabilidad de que el factor Fischer teórico sea mayor a los correspondientes valores experimentales de Fischer obtenidos para cada una de las variables estudiadas a saber: masa, tamaño de partícula de semilla y volumen de solvente, es menor a 0,000, con un nivel de confianza igual a 0,05. Por tanto, se comprueba que dichos factores influyen sobre el porcentaje de rendimiento para esta semilla. Por otro lado, los valores de Fischer experimentales para cada factor se ubican en 223,24; 60,46; y 4477,61 respectivamente, los cuales al compararlos con el valor teórico de 5,32 proveniente de un nivel de confianza de 0,05 y los grados de libertad iguales a 1, se comprueba que dichos factores individualmente tienen incidencia en el



rendimiento del aceite obtenido a partir de esta semilla mediante el proceso de extracción (Millar y Freund, 1992). Dentro de todas las interacciones estudiadas, las que resultan de mayor importancia son las existentes entre las variables volumen-tamaño de partícula de semilla; así como la que existe entre las tres variables: masa-tamaño de partícula de semilla-volumen, ya que se puede observar una probabilidad por el orden de 0,000 y 0,027 respectivamente para un nivel de confianza de 0,05, comprobándose su incidencia en el porcentaje de rendimiento.

TABLA N° 6

**RESULTADOS PROBABILÍSTICOS ARROJADOS POR EL SOFTWARE ESTADÍSTICO  
MINITAB 13,2 PARA WINDOWS EN EL ANÁLISIS DEL PORCENTAJE DE  
RENDIMIENTO EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE MANÍ**

FUENTE DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD (GL)	SUMA DE CUADRADOS (SS)	SUMA DE CUADRADOS AJUSTADA	MEDIA DE LA SUMA DE LOS CUADRADOS AJUSTADA (MS)	FACTOR DE FISCHER (F)	P-VALOR
A: Masa	1	97,42	97,42	97,42	233,24	0,000
B: Volumen	1	25,25	25,25	25,25	60,46	0,000
C: Tamaño de partícula de semilla	1	1870,13	1870,13	1870,13	4477,61	0,000
A*B	1	1,27	1,27	1,27	3,03	0,120
A*C	1	1,48	1,48	1,48	3,53	0,097
B*C	1	38,81	38,81	38,81	92,93	0,000
A*B*C	1	3,06	3,06	3,06	7,33	0,027
Error	8	3,34	3,34	0,42	—	—
<b>Total</b>	<b>15</b>	<b>2040,76</b>	—	—	—	—

Al comparar los valores de Fischer experimentales de 92,93 y 7,33 para las interacciones señaladas anteriormente, con el valor de Fischer teórico de 5,32, se evidencia que la interacción existe; aunque en mayor



grado para las variables volumen-tamaño de partícula de semilla, y tiene incidencia en el proceso de extracción de aceite de la semilla de maní.

En la Tabla N° 7 se presentan los resultados para la semilla de mostaza. Se observa que la probabilidad de que el factor Fischer teórico sea mayor que los correspondientes valores experimentales de Fischer obtenidos para las variables: masa y tamaño de partícula de semilla es menor a 0,000, con un nivel de confianza igual a 0.05, no así para el volumen. Por tanto, se comprueba que tanto la masa y el tamaño de partícula de semilla influyen sobre el porcentaje de rendimiento. Por otro lado, los valores de Fischer experimentales para cada factor influyente se ubican en 333,98 y 2039,57 respectivamente, los cuales al compararlos con el valor teórico de 5,32 proveniente de un nivel de confianza del 0,05 y los grados de libertad iguales a 1, se comprueba que dichos factores individualmente tienen incidencia

TABLA N° 7

**RESULTADOS PROBABILÍSTICOS ARROJADOS POR EL SOFTWARE ESTADÍSTICO  
MINITAB 13,2 PARA WINDOWS EN EL ANÁLISIS DEL PORCENTAJE  
DE RENDIMIENTO EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE MOSTAZA**

FUENTE DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD (GL)	SUMA DE CUADRADOS AJUSTADA (SS)	SUMA DE CUADRADOS AJUSTADA	MEDIA DE LA SUMA DE LOS CUADRADOS (MS)	FACTOR DE FISCHER (F)	P-VALOR
A: Masa	1	279,73	279,73	279,73	338,98	0,000
B: Volumen	1	1,61	1,61	1,61	1,95	0,200
C: Tamaño de partícula de semilla	1	1683,05	1683,05	1683,05	2039,57	0,000
A*B	1	0,32	0,32	0,32	0,39	0,548
A*C	1	76,48	76,48	76,48	92,67	0,000
B*C	1	1,25	1,25	1,25	1,52	0,253
A*B*C	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,957
Error	8	6,60	3,34	0,83	—	—
<b>Total</b>	<b>15</b>	<b>2049,05</b>	—	—	—	—



en el rendimiento del aceite obtenido a partir de la semilla de mostaza mediante el proceso de extracción (Millar y Freund, 1992).

**Con respecto a las interacciones, se evidencia** que la de mayor importancia es la correspondiente a masa-tamaño de partícula de semilla por presentar una probabilidad por el orden de 0,000 para un nivel de confianza de 0,05, comprobándose su incidencia en el porcentaje de rendimiento. Si se observa el valor de Fischer experimental para la interacción masa-tamaño de partícula de semilla, el cual es de 92,67 y se compara con el valor de Fischer teórico de 5,32, se evidencia que la interacción existe y tiene incidencia en el proceso de extracción de aceite de la semilla de mostaza.

A continuación se presenta una tabla resumen que muestra las interacciones que inciden en el proceso de extracción de aceite para cada semilla oleaginosa estudiada.

TABLA N° 8  
RESUMEN DE LAS INTERACCIONES EXISTENTES ENTRE LAS SEMILLAS

ACEITE	INTERACCIONES EXISTENTES INCIDENTES EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN			
	A*B	A*C	B*C	A*B*C
Ajonjolí	No	No	Sí	No
Maní	No	No	Sí	Sí
Mostaza	No	Sí	No	No

#### 4. Conclusiones

1. Las semillas oleaginosas seleccionadas para la investigación son: ajonjolí, maní y mostaza, por poseer mayor porcentaje teórico de rendimiento en aceite extraído; además por poseer un mayor número de aplicaciones en la actualidad.



2. Las variables que inciden en porcentaje de rendimiento en el proceso de extracción son: tamaño de partícula de la semilla, cantidad semilla y volumen de solvente alimentados al sistema de extracción.
3. Para todas las extracciones realizadas, a mayor cantidad de solvente y menor tamaño de partícula de semilla el proceso de extracción se realiza con mayor rapidez, independientemente de la cantidad de semilla utilizada dentro del rango en estudio analizado.
4. Para la semilla de ajonjolí se tiene:
  - a. Las variables masa, tamaño de partícula de semilla y volumen de solvente influyen en el porcentaje de rendimiento por poseer valores probabilísticos menores a 0,000, con un nivel de confianza igual a 0,05.
  - b. Las interacciones que resultan de mayor incidencia en el porcentaje de rendimiento son las existentes entre las variables volumen-tamaño de partícula de semilla; por presentar una probabilidad por el orden de 0,006, para un nivel de confianza de 0,05.
5. Para la semilla de maní se tiene:
  - a. Las variables masa, tamaño de partícula de semilla y volumen de solvente influyen en el porcentaje de rendimiento por poseer valores probabilísticos menores a 0,000, con un nivel de confianza igual a 0,05.
  - b. Las interacciones que resultan de mayor incidencia en el porcentaje de rendimiento son las existentes entre las variables volumen-tamaño de partícula de semilla y masa-tamaño de partícula de semilla-volumen por presentar una probabilidad por el orden de 0,000 y 0,027 para un nivel de confianza de 0,05.
6. Para la semilla de mostaza se tiene:



- a. Las variables masa y tamaño de partícula influyen en el porcentaje de rendimiento por poseer valores probabilísticos menores a 0,000, con un nivel de confianza igual a 0,05.
  - b. Las interacciones que resultan de mayor incidencia en el porcentaje de rendimiento son las existentes entre las variables masa-tamaño de partícula de semilla por presentar una probabilidad por el orden de 0,000, para un nivel de confianza de 0,05.
7. En cuanto al rendimiento, se tiene que:
- a. El mayor rendimiento se obtuvo con un volumen de 8.000mL, una masa de 1.500g y un tamaño de partícula de semilla de 50mesh, para las tres variedades de semillas estudiadas.
  - b. El mejor rendimiento obtenido para las semillas de ajonjolí, maní y mostaza es de 48,15%, 38,73% y 32,38% respectivamente.



## Referencias

- BADUI, S. (1997). *Química de los alimentos*. México: Longman de México editores, S.A de C.V.
- BÁEZ, H. y PÉREZ, C. (2000). *Implementación de un diseño experimental en el sistema de extracción sólido-líquido del Laboratorio de Ingeniería Química de la Universidad de Carabobo*. Trabajo especial de grado no publicado. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Venezuela.
- GALLEGOS, M. y ROMERO, L. (1982). *Implementación de un sistema de extracción sólido-líquido para el Laboratorio de Ingeniería Química de la Universidad de Carabobo*. Trabajo especial de grado no publicado. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Venezuela.
- KOLARIK, W. (1996). *Creating Quality. Concepts, Systems, Strategies and Tools*. México: McGraw-Hill. Series in Industrial Engineering and Management Science.
- MAZZANI, B. (1963). *Plantas oleaginosas*. España: Salvat Editores S.A., Barcelona.
- MONTGOMERY, Douglas (1991). *Probabilidad y estadística aplicada a la Ingeniería*. México: McGraw-Hill Interamericana editores SADECV. México.
- MEHLENBACHER, V. (1977). *Enciclopedia de la química industrial: análisis de grasas y aceites*. España: Ediciones Urmo.
- MILLAR, I. y FREUND, J. (1992). *Probabilidades y estadística para ingenieros*. 4ª edición. Prentice Hall.
- TAGUCHI, G. (1990). *Sistem of Experimental Desing*. Tokio: Urder Litle of Jikken Keicacho.