

Evaluation of pilot scale cashew (*Anacardium occidentale* L.) oil extraction process in Laboratorio de Ingeniería Química, Universidad de Carabobo

Marjury Delgado R.¹, María F. Modroño-Alonso², Viky C. Mujica F.²,
Mariam Ramírez S.¹, María del Carmen Rodríguez², Evelyn Yamal T.²,
Ingrid Velásquez N.³

¹Escuela de Química. ²Departamento de Ingeniería Química. ³Departamento de Física.
Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela. Telf: 04168407683.
vc mujica@gmail.com

Abstract

This research focuses on pilot scale extraction, characterization and purification of cashew oil by using a Soxhlet equipment. An experiment design is used in extraction in order to set better operative conditions. Variables interaction and its influence on the process are analyzed. From oil proximal analysis following results are obtained: moisture 6.744%, ash 2.842%, calcium 0.0267%, fiber 1.768%, protein 19.2996%, free fat 43.5335%; this results are attached to expected. 28% yield was obtained by using 1 kg of seeds and 6.0 L of solvent (n-hexane). Seed batch and solvent volume are important variables in extraction process, being no interaction between them. From oil characterization next properties were defined: saponification index 181.8 mg KOH/g, iodine 71.4 cg I/g, acidity 1.23 mg NaOH/g, peroxide 1.8 meq O₂/g, refraction index 1.4721, pH 5.5, relative density 0.89844, dynamic viscosity 71.6 cP, color 2.5 red/25 yellow. Fatty acid profile lets define this oil as linoleic.

Key words: Extraction, cashew oil, characterization, proximal analysis.

Evaluación del proceso de extracción de aceite de la semilla de Merrey (*Anacardium occidentale* L.) a escala piloto en el Laboratorio de Ingeniería Química de la Universidad de Carabobo

Resumen

La investigación se enfoca en la extracción, purificación y caracterización del aceite de la semilla de merrey a escala piloto en un equipo Soxhlet. En la extracción se aplica un diseño de experimento factorial, para establecer las mejores condiciones de operación, la interacción entre las variables y su incidencia en el proceso. Del análisis proximal de la semilla se obtiene: humedad 6,744%; cenizas 2,842%; calcio 0,0267%; fibra cruda 1,768%; proteínas 19,2996% y grasa libre 43,5335%, ajustado a lo esperado. El rendimiento es 28% para 1kg de semillas y 6,0L de solvente (n-hexano). La cantidad de semilla y el volumen de solvente influyen en el proceso de extracción, no así la interacción entre ellas. De la caracterización del aceite se tienen: índice de saponificación 181,8 mg KOH/g aceite, yodo 71,4 cg I/g aceite, acidez 1,23 mg NaOH/g aceite, peróxido 1,8 meq O₂/g aceite, índice de refracción 1,4721 adim, pH 5,5, densidad relativa 0,89844, viscosidad dinámica 71,6 cP y color 2,5 rojo/ 25 amarillo. El perfil de ácidos grasos obtenido permite nombrarlo como aceite linoleico.

Palabras clave: Extracción, aceite de merrey, caracterización, análisis proximal.

Introducción

El merey (*Anacardium Occidentale* L), conocido también como anacardo, marañón, cauñil o pauñil en Puerto Rico, Costa Rica, Cuba, México, Perú, Colombia, Panamá y El Salvador; acayouba en Argentina y caju en Brasil, es un cultivo constituido por árboles y arbustos tropicales y subtropicales, pertenecientes a la familia *Anacardeaceae* [1]. En Venezuela, se cuenta con 16 mil hectáreas del cultivo; los mereyales de mayor importancia se encuentran al norte del Estado Bolívar y al sur de los Estados Anzoátegui y Monagas. Principalmente se utiliza el pedúnculo del merey en la preparación de dulces, y la almendra se consume tostada y en la preparación del turrón o mazapán. Siendo Venezuela un productor potencial de merey, no ha sido debidamente explotado para su industrialización. El aporte científico-tecnológico radica en la determinación del perfil de ácidos grasos del aceite de la semilla, donde se encontró un alto contenido de ácido linoleico (52,8%) y oleico (42,6%), que participan activamente en la capa superior de la epidermis evitando el envejecimiento de la piel. Este hallazgo promueve el desarrollo de otras investigaciones, como la formulación de un producto cosmético utilizando como principio activo el aceite extraído. Adicionalmente, se determinaron las mejores condiciones de operación para obtener el mayor rendimiento a escala piloto en un equipo de extracción tipo Soxhlet. En el área farmacéutica puede utilizarse como afrodisíaco, estimulante del intelecto y cicatrizante.

Metodología

Caracterización de la semilla de merey (*Anacardium occidentale* L.)

En el Laboratorio de Alimentos de la Escuela de Ingeniería Química se realiza la caracterización de la composición nutricional de la semilla, basándose en la normativa venezolana COVE-

NIN, los nutrientes considerados son: porcentaje de cenizas [2], porcentaje de humedad [3], porcentaje de calcio [4], fibra cruda [5], proteínas [6] y grasa libre [7], comparando estos resultados con valores teóricos. Para la toma de estas muestras, se utiliza la norma COVENIN 635:1997 [8], que establece el método general de muestreo aplicable a materias primas de origen animal, vegetal y mineral. Adicionalmente, para cada caracterización se determinó la incertidumbre a fin de establecer que tan alejado está el valor experimental del valor real. Con respecto a la trazabilidad de las mediciones, el laboratorio antes citado opera bajo los requisitos y términos establecidos en la norma ISO/IEC 17025:1999.

Diseño experimental

En la planificación del experimento se recopila información de trabajos anteriores del proceso de extracción de aceites de semillas oleaginosas y la caracterización de las mismas. Entre ellos se encuentran las investigaciones realizadas por Colón y González [9]; Blanco [10]; y Bravo y Pérez [11], donde se concluye que las variables más incidentes y que influyen en el proceso de extracción son: cantidad de semilla, volumen de solvente, tamaño de partícula de semilla. Estas investigaciones han demostrado que el rendimiento del proceso se ve afectado por la cantidad de semilla a emplear y el volumen del solvente. Para la investigación sobre la extracción del aceite de semilla de merey la variable tamaño de partícula no es considerada por los altos costos de adquisición de la semilla. Además, presenta un alto contenido graso, que incide durante la molienda formando aglomerados que dificultan el paso del merey molido por tamices. Estas investigaciones permiten seleccionar las variables independientes a analizar y los niveles de dichas variables (Tabla 1).

El equipo que se utiliza para la extracción con solvente es el Soxhlet, ubicado en el Laboratorio de Ingeniería Química de la Universidad de

Tabla 1
Niveles de las variables consideradas en el proceso de extracción

Variable	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Cantidad de semilla, Kg.	0,5	1	1,5
Volumen de solvente, L	4	6	8

Carabobo. Una vez que se establecen las variables independientes y sus niveles en el proceso de extracción, se analizan mediante un diseño de experimento factorial, que permite conocer la influencia de cada variable sobre el proceso de extracción. El modelo del diseño es del tipo N^V , donde N representa los niveles a analizar y V el número de variables independientes. Finalmente resulta 3^2 , obteniéndose así un total de 9 experimentos para los cuales se realizan una réplica, teniendo como resultado 18 experimentos [12]. Para llevar a cabo las corridas experimentales en el equipo de extracción sólido-líquido (Sohxlet), es necesario: la preparación de la semilla, las extracción, purificación del aceite obtenido y caracterización del mismo.

Preparación de la semilla

Las semillas en estudio están rodeadas por un duro pericarpio, para removerlo se dejan secar al sol por tres días y con el uso de un martillo se somete el pericarpio a golpes fuertes hasta su apertura, y de allí se extrae la semilla. Luego se seca la semilla en una estufa, durante un tiempo determinado por los resultados de la prueba de humedad. Seguidamente, se somete la semilla a un proceso de molienda en un molino mecánico para aumentar la superficie de contacto entre el sólido y el solvente.

Proceso de extracción

Materiales y equipos

En relación al equipo de extracción es del tipo SOXHLET (Figura 1) a escala piloto con una capacidad de 18L de solvente en el calderín y 4L en el vaso extractor, consta básicamente de 4 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. También se utiliza un refractómetro Tipo Abbe modelo 320 para la medición del índice de refracción y un molino mecánico para la molienda de las semillas.

La variable que permitirá llevar a cabo el control del proceso de extracción es el índice de refracción de la mezcla aceite-hexano que va desde el vaso extractor al calderín, para ello es neces-

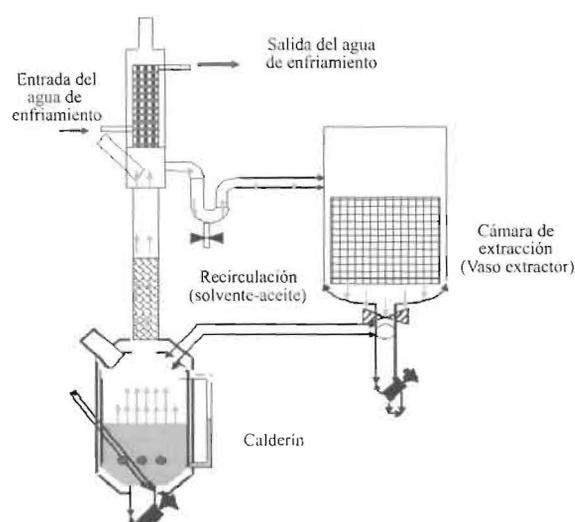


Figura 1. Equipo de extracción Soxhlet del Laboratorio de Ingeniería Química.

sario la construcción de la curva de calibración del refractómetro, con ella 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 a diferentes concentraciones conocidas, midiéndoles a cada una el índice de refracción asociado. La preparación de las soluciones se lleva a cabo midiendo volúmenes conocidos de aceite y de hexano; una vez obtenidos varios puntos a diferentes concentraciones, se grafica la composición másica de la mezcla aceite-hexano en función su índice de refracción.

Procedimiento experimental del proceso de extracción

Con la semilla previamente acondicionada se realiza la carga de la semilla y solvente establecida en el diseño de experimento en la cámara de extracción (vaso extractor) y se completa la carga de solvente en el calderín. Seguidamente se alimenta el agua de enfriamiento proveniente de una torre de enfriamiento, luego se inicia el calentamiento del solvente en el calderín hasta alcanzar su temperatura de ebullición (69°C), cuando esto ocurre los vapores de hexano suben a través del condensador vertical y se condensan para pasar luego a la cámara de extracción donde se inicia realmente el proceso de extracción del aceite, mediante un lavado sucesivo de la mezcla

sólida (semilla de merey) con el solvente (n-hexano), que va lavando o extrayendo de la mezcla, los componentes mas solubles en éste. El seguimiento del proceso se lleva a cabo tomando una muestra de la mezcla contenida en la recirculación de la cámara de extracción para medir su índice de refracción. Con ayuda de la curva de calibración del refractómetro, se determina la fracción de aceite en la muestra para así determinar la composición másica de aceite presente; cuando ésta se hace cero, se detiene el proceso debido a que sólo hay n-hexano en el vaso extractor. Finalmente, se descarga el aceite acumulado en el fondo del calderín y se procede a iniciar la recuperación del solvente que consiste en hacer re-circular el n-hexano remanente en el calderín destilarlo y recolectarlo. Una vez realizados todos los experimentos, se determina el rendimiento de cada extracción, que consiste en la aplicación de un modelo matemático que relaciona la cantidad de aceite obtenido y la cantidad de semilla alimentada [13]:

$$\mathfrak{R} = \frac{m \text{ Aceite}}{m \text{ Semilla}} \times 100 \quad (1)$$

donde: \mathfrak{R} : rendimiento, %; $m \text{ Aceite}$: cantidad de aceite obtenido, g; y $m \text{ Semilla}$: cantidad semilla alimentada, g.

Análisis estadístico

En el análisis estadístico se realizó mediante el estudio de las interacciones entre variables, siendo el indicador para cada interacción la prueba F, que reporta el nivel de significancia. La extracción se llevó a cabo bajo las condiciones determinadas por los resultados obtenidos del software; el cual proporciona el mejor arreglo de las variables independientes en función de una superficie respuesta, con esta información se realiza la extracción del aceite en estudio bajo el mismo esquema citado en la sección anterior.

Caracterización del aceite extraído

Para la caracterización del aceite es necesario purificarlo mediante una filtración al vacío utilizando un filtro Büchner que elimina residuos sólidos. Luego se somete a un calentamiento no mayor a 70°C, con agitación constante por 10 minutos para así remover las trazas de hexano existentes. Después de purificar el aceite se realizan los siguientes análisis: índice de saponificación

[14], índice de yodo [15], índice de acidez [16], índice de peróxidos [17], índice de refracción [18], densidad relativa [19], viscosidad [20], color (Lovibond) y, finalmente, el perfil de ácidos grasos, basándose en la norma COVENIN 2281:2002 [21]; utilizando previamente el método trifluoruro de Boro (BF₃) para la preparación de la muestra en ésteres metílicos mediante una esterificación. Adicionalmente, se realizan las estimaciones de la incertidumbre para cada característica de calidad en estudio. También se realiza el perfil de ácidos grasos en un cromatógrafo a gas HP-5890 serie II constituido por una columna DB-23 (Tabla 2), acoplado a un integrador HP-3396 serie II, ubicado en el Departamento de Farmacología de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad de Carabobo.

A partir de los resultados cromatográficos se calculan los porcentajes másicos de los ácidos presentes utilizando la siguiente ecuación [10].

$$\%AG_i = \left(\frac{A_{AG_i}}{A_T} \right) \times 100 \quad (2)$$

donde: $\%AG_i$: ácido graso presente en la muestra, %; A_{AG_i} : área del pico del ácido graso, mm²; A_T : área total de los picos de los ácidos grasos que componen la muestra, mm².

Resultados y Discusión

Caracterización de la semilla de merey (*Anacardium occidentale* L.)

Los resultados obtenidos de composición nutricional de la semilla de merey se muestran en la Tabla 3. El contenido de humedad obtenido es de 6,744g/100 g de semilla observándose una diferencia con respecto al valor teórico de 1,144 g/100 g de semilla; esto se debe al carácter higroscópico de las semillas oleaginosas. De los análisis de cenizas y calcio se obtienen valores de 2,842 g/100 g de semilla y 0,0267 g/100 g de semilla, respectivamente, evidenciándose desviaciones con respecto al valor teórico 0,242 g/100 g de semilla, 0,0113 g/100 g de semilla respectivamente, las mismas ocurren debido a la calidad del suelo y los nutrientes aplicados donde se cosecha el árbol que define su riqueza nutricional. La fibra cruda consiste en el contenido de celulosa además de la lignina y hemicelulosas conteni-

Tabla 2
Características de la columna DB-23 del cromatógrafo a gas

Características de la columna	Parámetro
Gas de arrastre	Hidrógeno
Velocidad del gas de arrastre	0,99 mL/min
Rango de temperatura	(150-180)°C
Fase	(50% cianopropil) metilpolisiloxano
Diámetro interno	0,32 µm
Espesor de la película	0,25 µm

Tabla 3
Composición nutricional obtenida de la semilla de merey

Nutriente	Valor nutritivo obtenido (g/100 g de semilla)	Valor nutritivo teórico (g/100 g de semilla)	Desviación (g/100 g de semilla)	Incertidumbre (adim)
Humedad	(6,744 ± 0,006)	5,6	1,144	1,1
Cenizas	(2,842 ± 0,007)	2,6	0,242	0,02
Calcio	(0,0267 ± 0,0003)	0,038	0,0113	0,002
Fibra cruda	(1,768 ± 0,004)	2,9	1,132	0,05
Proteína	(19,2996 ± 0,0006)	19,4	0,1004	0,5
Grasa libre	(43,535 ± 0,005)	42,2	1,335	0,3

das en la semilla. El resultado de este análisis es 1,768g/100 g de semilla, encontrándose un valor bibliográfico de 2,9 g/100 g de semilla, lo cual indica que las semillas ensayadas tienen un contenido de fibra cruda menor al reportado en la bibliografía. Una característica fundamental de los frutos secos como la semilla de merey es su alto contenido en proteínas. El contenido proteico de la semilla estudiada es 19,2996 g/100 g de semilla, no presentándose una desviación significativa con respecto al valor teórico de 19,4 g/100 g de semilla. El contenido de grasa indica la cantidad de ácidos grasos que se encuentran en la semilla, para la semilla de merey este valor oscila entre 40-60 g/100 g de semilla. En el análisis realizado se tiene un contenido de grasa libre de 43,535 g/100 g de semilla, valor que encuentra dentro del rango citado anteriormente. Asimismo la Tabla 3 muestra la incertidumbre para cada nutriente analizado, en ella se puede observar la dispersión de los valores que pueden ser razonablemente atribuidos al mesurando. Por tanto, los valores obtenidos de la incertidumbre son bajos

lo que indica que los valores calculados para cada nutriente son cercanos a los reales.

Análisis estadístico sobre las mejores condiciones de operación

A partir de los rendimientos obtenidos experimentales y al aplicar las herramientas estadísticas correspondientes se comprueba los supuestos de normalidad con un valor de Shapiro-Wilk de 0,973 y P-value de 0,8524 respectivamente. En la Tabla 4 se puede observar el análisis el ANOVA aplicado a los tratamientos, de acuerdo a la prueba F existe efecto de los tratamientos sobre el rendimiento de la semilla de merey. En ella se evidencian los factores influyentes en función del valor del nivel de significancia; si este valor es menor al 5%, existe la posibilidad de que los factores sean significativos sobre el proceso [22].

En la Tabla 5 se presentan los resultados obtenidos de la regresión por mínimos cuadrados para el rendimiento, obteniéndose un R^2 por el orden de 0,9755 que indica que el modelo de se-

Tabla 4
Análisis de los efectos de los tratamientos aplicados

Items	Grados de libertad	Suma de los cuadrados	Cuadrado medio	Prueba F	p-value
Tratamientos	8	548,290	68,5362	106	0,0000
Error	9	5,818	0,6465		
Total	17	544,108			

Tabla 5
Análisis de regresión para la determinación del modelo matemático de la superficie a estudiar

Items	Coefficiente	Error estándar	t-student	P-value
Constante	30,7356	0,47055	65,32	0,0000
Masa semilla: X1	1,94333	0,25773	7,54	0,0000
Volumen de solvente: X2	6,23333	0,25773	24,19	0,0000
X1X1	-0,12333	0,44641	-0,28	0,7870
X1X2	-1,96750	0,31566	-6,23	0,0000
X2X2	0,69667	0,44641	1,56	0,1446

Resumen de la regresión					
	Grados de libertad	Suma de los cuadrados	Cuadrado medio	F	P-value
Regresión	5	544,543	108,909	136,63	0,000
Residual	12	9,595	0,797		
Total	17	554,108			

gundo orden sugerido se ajusta adecuadamente al comportamiento de la característica de calidad estudiada. Por otra parte, de acuerdo a la prueba F existe un efecto significativo en la regresión, siendo la variable regresora influyente en el modelo la masa de semilla y el volumen del solvente.

Con respecto al análisis conjunto para el modelo polinomial de segundo orden, el valor de F para la falta de ajuste indica que el modelo sugerido es el adecuado (Tabla 6), ya que no existe la posibilidad de que el polinomio sea de un orden superior, por lo que el modelo matemático obtenido es el siguiente. $Y = 30,7356 + 1,9433 X_1 + 6,2333 X_2 - 0,1233 X_1^2 + 0,6967 X_2^2 - 1,9675 X_1 X_2$. En la Figura 2, se muestra la superficie respuesta para la característica de calidad analizada.

Finalmente, las condiciones más apropiadas para llevar a cabo el proceso de extracción en estudio son 1,00 kg de semilla y 6,0 L de n-hexano, ya que proporcionan el mayor rendimiento en el equipo. El resultado del rendimiento obtenido experimentalmente correspondiente a las corridas confirmatorias de las mejores condiciones es de 28.88 %.

Caracterización del aceite extraído

Una vez obtenido el aceite de la semilla de merey bajo las mejores condiciones de operación, se procedió a caracterizarlo para determinar las propiedades físico-químicas que se reportan en la Tabla 7. En el aceite analizado, el índice de saponificación es de 181,8 mg KOH/g aceite, el cual se encuentra dentro del rango 180-210 mg

KOH/g establecido por la norma COVENIN 30:1997 [20]. Por otra parte, el índice de yodo resultó de 71,4 Cg I/g aceite, encontrándose dentro de los parámetros 56-145 Cg I/g aceite exigidos por la norma antes mencionada. El índice de acidez del aceite de la semilla de mersey fue de 1,23 mg NaOH/g aceite, el mismo se encuentra por debajo del valor máximo 2 mg NaOH/g establecido por la norma COVENIN 30:1997 [20]. Adicionalmente, el índice de peróxido obtenido es de 1,8 meq O₂/g aceite, comparándolo con el valor máximo permitido por la norma de 2,0 meq O₂/g aceite, se evidencia que esta propiedad fisicoquímica se encuentra bajo los parámetros exigidos. Por otra parte, el índice de refracción de los aceites vegetales oscila entre 1,463 y 1,476 a temperatura ambiente [20], el índice de refracción del aceite obtenido es de 1,4721 adim, lo cual se encuentra dentro del rango establecido. Normalmente el pH de los aceites vegetales es ácido, el

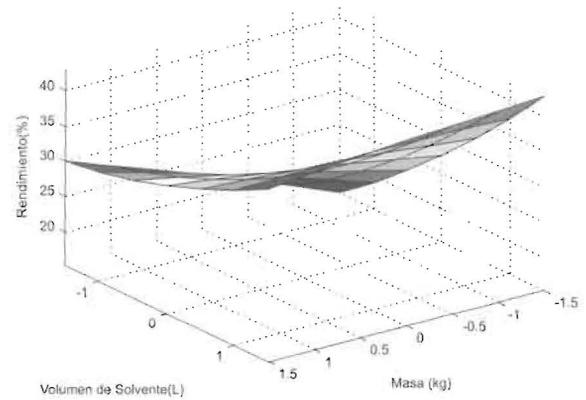


Figura 2. Superficie respuesta obtenida para el rendimiento.

pH del aceite de la semilla en estudio resultó 5,50, siendo éste ligeramente ácido. Para el aceite de la semilla de mersey la densidad relativa obtenida es de 0,89844 adim, lo cual se encuentra

Tabla 6
Análisis para determinar la falta de ajuste del modelo establecido

Fuentes de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Prueba F	F tabulado
TRAT	548.290	8	68.5362	106.01	3.50
Regresión	544.543	5	108.909	168.48	3.26
Falta de Ajuste	3.747	3	1.249	1.93	4.46
Error Experimental	5.818	9	0.6464		
Total	554.108	17			

Tabla 7
Propiedades fisicoquímicas del aceite de la semilla de mersey

Propiedad del aceite	Valor de la propiedad	Incertidumbre (adim)
Índice de saponificación ($I_s \pm 0,9$) mg KOH/g aceite	181,8	2,006
Índice de iodo ($I_I \pm 0,6$) Cg I/g aceite	71,4	2,6
Índice de acidez ($I_A \pm 0,03$) mg NaOH/g aceite	1,23	0,01
Índice de peróxidos ($I_p \pm 0,2$) meq O ₂ /g aceite	1,8	0,8
Índice de refracción ($\eta \pm 0,0003$) adim	1,4721	-
pH ($pH_a \pm 0,01$) adim	5,50	-
Densidad relativa ($\rho_r \pm 0,00002$) adim	0,89844	1,2
Viscosidad dinámica* ($\mu_a \pm 0,1$) Cp	71,6	-
Color Lovibond (rojo / amarillo)	2,5/25	-

* Propiedad medida en un viscosímetro de Brookfield con un spin N° 2 a 26°C y 100 rpm.

dentro de 0,8969-0,9260 adim [20]. La viscosidad dinámica para el aceite de la semilla de merey es de 71,6 cP; al revisar los requisitos de calidad reportados en la norma, se evidencia que no existe un rango para esta característica. Por último, en la determinación del color del aceite que se realiza por el método Lovibond se obtuvo para el aceite de la semilla de merey un valor de 2,5 rojo y 25 amarillo, resultando dentro del rango exigidos por dicha norma. También la Tabla 7 muestra la incertidumbre obtenida para cada propiedad de aceite analizada, en ella se puede observar la dispersión de los valores que pueden ser razonablemente atribuidos al mesurando. Por tanto, los valores obtenidos de la incertidumbre son bajos lo que indica que los valores calculados para característica de calidad son cercanos a los reales.

En cuanto al perfil de ácidos grasos, los porcentajes de ácidos grasos tanto insaturados como saturados presentes en el aceite de la semilla de merey reportados en la bibliografía son: Oleico 57,1%, linoleico 22,5%, palmítico 9%, esteárico 9%, linolénico 2%, no identificados 0,4% [23]. En el aceite obtenido, los ácidos grasos con mayor proporción son el linoleico con un 52,82% y el oleico con un 42,64% pero en diferentes proporciones. La cantidad de ácidos grasos presente en un aceite depende directamente de las condiciones en que se cultiva la semilla, es decir tipo de suelo, clima, nutrientes. Los aceites generalmente son nombrados de acuerdo al ácido graso que se encuentra en mayor proporción, en el caso del aceite de la semilla de merey extraído, el ácido graso con mayor proporción es el linoleico, por tanto el aceite de la semilla de merey analizada se nombra como aceite linoleico.

Conclusiones

De la caracterización de la semilla de merey, se establece que los parámetros nutricionales evaluados se ajustan a lo reportado en la bibliografía. Las mejores condiciones de extracción son de 1 kg y 6L de n-hexano, dentro de las condiciones estudiadas, siendo el rendimiento alrededor del 29%. Las variables cantidad de semilla y volumen de solvente son influyentes en el proceso de extracción; mientras que la interacción cantidad de semilla-volumen de solvente no es influyente en el proceso. Se determina una superficie respuesta de segundo orden que es capaz

de predecir el comportamiento del rendimiento en el equipo de extracción Soxhlet del laboratorio de Ingeniería Química, con un valor de R^2 0,9755. De la caracterización del aceite extraído, se tiene: El índice de saponificación es de 181,8 mg KOH/g aceite, índice de yodo es 71,4 cg I/g aceite; índice de acidez 1,23 mg NaOH/g aceite; índice de peróxido 1,8 meq O_2 /g aceite; índice de refracción 1,4721 adim; pH 5,50; densidad relativa a temperatura ambiente 0,89844 adim; viscosidad dinámica a temperatura ambiente y 100 rpm es de 71,6 cP y color 2,5 rojo/25 amarillo. En el aceite extraído el ácido graso en mayor proporción es el ácido linoleico, por lo cual el aceite se denomina aceite linoleico.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a: la Lic. María Esther del Departamento de Farmacología de la Universidad de Carabobo, Lic. Yulay Chacin, Jefe de Control de Calidad de Aceites Diana. Profesor Daniel Arias del Laboratorio de Instrumentación de la Facultad de Ciencias y Tecnología (FACYT), al personal del Laboratorio de Ingeniería Química por toda su colaboración y por permitirnos realizar la investigación en sus instalaciones. Al Prof. Alberto Pitre, Jefe del Laboratorio de Alimentos de la Facultad de Ingeniería. A la Prof. Vanessa Altomare, Jefe del Laboratorio de Química Orgánica, y a su personal técnico, en especial al Sr. Mario Rossi.

Referencias Bibliográficas

1. Fruits from America. [Página Web en línea]. Disponible en: <http://www.ciat.cgiar.org> [Consulta: 2006, Agosto 12].
2. COVENIN. Aceites y grasas vegetales. Determinación de cenizas. 3^{ra} revisión. FONDONORMA 328-2001. (2001), 1-2.
3. COVENIN. Alimentos para animales. Determinación de humedad. FONDONORMA 1156-79. (1979), 1-2.
4. COVENIN. Alimentos. Determinación de calcio. Método de referencia. 1^{ra} revisión. FONDONORMA 1158-82. (1982), 1-3.
5. COVENIN. Alimentos para animales. Determinación de fibra cruda. FONDONORMA 1194-79. (1979), 1-3.

6. COVENIN. Alimentos. Determinación de nitrógeno. Método de Kjeldahl FONDONORMA 1195-80. (1980), 1-4.
7. COVENIN. Alimentos. Determinación de la grasa libre. FONDONORMA 3218-1996. (1996), 1-2.
8. COVENIN. Método general de muestreo aplicable a materias primas de origen animal, vegetal y mineral. FONDONORMA 635-1997. (1997), 1-2.
9. Colón, A. y González, L. "Evaluación comparativa del proceso de extracción de aceites vegetales a partir de semillas oleaginosas". Trabajo Especial de Grado no publicado. Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería. Universidad de Carabobo. (2004), 30-79.
10. Blanco, L. "Análisis comparativo del método de extracción del aceite en diferentes variedades de semillas de tártago (*Ricinus communis*) en Venezuela". Trabajo Especial de Grado no publicado. Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería. Universidad de Carabobo. (2004), 25-50.
11. Bravo, R. y Pérez S. "Factibilidad de desarrollar un producto cosmético empleando como principio activo el aceite extraído de una semilla vegetal". Trabajo Especial de Grado no publicado. Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería. Universidad de Carabobo. (2005), 45-91.
12. Kuehl, R. "Diseño de experimentos". Editorial Thomson. México, 2001, 85-103.
13. Badui, S. "Química de los alimentos". Longman de México Editores, s.a de c.v. (1997), 236-239, 247.
14. COVENIN. Aceites y grasas vegetales. Determinación del índice de saponificación. FONDONORMA 323-1998. (1998), 1-2.
15. COVENIN. Aceites y grasas vegetales. Determinación del índice de yodo por el método Wijs. 4^{ta} revisión. FONDONORMA 324-2001. (2001), 1-2.
16. COVENIN. Aceites y grasas vegetales. Determinación de la acidez. 3^{ra} revisión. FONDONORMA 325-2001. (2001), 1-2.
17. COVENIN. Aceite y grasa vegetal. Determinación del índice de peróxido. 2^{da} revisión. FONDONORMA 508-2001. (2001), 1-2.
18. COVENIN. Aceites y grasas vegetales. Determinación del índice de refracción. 2^{da} revisión. FONDONORMA 702-2001. (2001), 1-2.
19. COVENIN. Aceite y grasas vegetales. Determinación de la densidad relativa a t/20°C. 3^{ra} revisión. FONDONORMA 703-2001. (2001). 1-2.
20. COVENIN. Aceites vegetales comestibles. Norma general. 3^{ra} revisión. FONDONORMA 30-1997. (1997), 1-2.
21. COVENIN. Aceites y grasas vegetales. Determinación del perfil de ácidos grasos e índice de yodo por cromatografía de gases. 2^{da} revisión. FONDONORMA 2281-2002. (2002), 1-2.
22. Walpole, R., Myers, R. y Myers, S. "Probabilidad y estadística para ingenieros". Editorial Pearson Educación. México, 1.999, 23-85.
23. Teco Finance Export. [Página Web en línea]. Disponible en: <http://www.sheabutter.com/SpainCashew/DonneesMSDS.htm> [Consulta: 2006, Octubre 12].

Recibido el 26 de Enero de 2009

En forma revisada el 28 de Enero de 2010