

OBTENCIÓN DE ACEITE A PARTIR DE LOS RESIDUOS DEL CHONTADURO

MARIA CATALINA CHAPARRO VEGA



**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
SANTIAGO DE CALI
2011**

OBTENCIÓN DE ACEITE A PARTIR DE LOS RESIDUOS DEL CHONTADURO

MARIA CATALINA CHAPARRO VEGA

**Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Químico**

Director

Jaime Restrepo Osorio

Químico Ph.D.

Codirectores

Ana Julia Colmenares

Química Ph.D.

Carlos H. Gomez

Ingeniero Químico

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

SANTIAGO DE CALI

2011

*A Dios por bendecirme en tantas y tan bonitas formas,
A mi madre que es el motor de mi vida, por su amor y apoyo incondicional ...
Por ser mi mejor amiga y creer en mí siempre!
A Diego por ser mi más bonita compañía, por su ánimo y comprensión.
¡A los dos por ser mi faro y motivación para alcanzar mis sueños!*

Catalina Chaparro Vega

AGRADECIMIENTOS

Al Doctor Jaime Restrepo, a la Doctora Ana Julia Colmenares y al Ingeniero Carlos Gómez por su orientación y apoyo durante el desarrollo de esta investigación.

Al Grupo de Investigación en productos Naturales y de Alimentos (GIPNA), a Gloria Lasso y compañeros del laboratorio de investigaciones de la Escuela de Ingeniería Química, por su valiosa ayuda y colaboración.

A la Escuela de Ingeniería Química y profesores de la Universidad del Valle por la formación académica y personal que me brindaron.

A mis compañeros y demás personas que de alguna manera se vieron involucrados en el desarrollo de este documento.

Muchas Gracias

CONTENIDO

pág.

RESUMEN.....	01
INTRODUCCIÓN.....	03
1. MARCO TEÓRICO.....	05
1.1 ANTECEDENTES.....	05
1.1.1 Descripción de la palma.....	05
1.1.2 Información nutricional.....	07
1.1.3 Productos del fruto del chontaduro.....	10
1.2 MARCO CONCEPTUAL.....	12
1.2.1 Papel de las grasas y aceites en la dieta humana.....	12
1.2.2 Lípidos.....	13
1.2.3 Obtención del aceite.....	14
1.2.3.1 Pretratamiento del fruto.....	14
1.2.3.2 Extracción del aceite.....	15
1.2.4 Refinación del aceite.....	16
1.2.4.1 Desgomado.....	16
1.2.4.2 Neutralización.....	17
1.2.4.3 Blanqueo.....	17
1.2.4.4 Desodorización.....	17
1.2.5 Análisis de muestras.....	18
2. MERCADO.....	20
2.1 MERCADO INTERNACIONAL.....	20
2.2 MERCADO NACIONAL.....	20
2.2.1 El nuevo productor.....	23
2.2.2 Empresas en las principales ciudades del país.....	24
2.3 MERCADO DEL TAMBO.....	24
3. METODOLOGÍA.....	27

3.1 DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	27
3.1.1 Materiales y equipos.....	27
3.1.2 Procedimiento experimental.....	28
3.1.3 Caracterización de aceite y harina residual.....	34
3.2 PLANTEAMIENTO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL.....	35
3.2.1 Determinación de variables.....	35
3.2.2 Determinación del diseño experimental.....	37
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	38
4.1 CONDICIONES ÓPTIMAS DE OPERACIÓN.....	38
4.1.1 Análisis del rendimiento de extracción del aceite.....	39
4.1.2 Análisis de la calidad del aceite.....	44
4.1.3 Condiciones óptimas de operación.....	49
4.2 CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE.....	51
4.2.1 Análisis de Infrarrojo	51
4.2.2 Análisis de RMN H ¹	55
4.2.3 Otros análisis.....	60
4.2.4 Análisis proximal de harinas.....	62
4.3 CONSIDERACIONES FINALES.....	64
CONCLUSIONES.....	66
RECOMENDACIONES.....	69
APÉNDICE A. Datos experimentales.....	70
APÉNDICE B. RMN H ¹ para el aceite de chontaduro, variedad Tambo.....	71
RMN H ¹ para el aceite de chontaduro, variedad Sabaletas.....	72
APÉNDICE C. Análisis proximal harina Tambo.....	73
Análisis proximal harina Sabaletas.....	74
ANEXOS.....	75
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Usos de la palma de chontaduro.....	07
Tabla 2. Composición de ácidos grasos en el aceite extraído del mesocarpio del chontaduro.....	08
Tabla 3. Porcentaje de aceite contenido en la semilla del chontaduro.....	09
Tabla 4. Aminoácidos presentes en el fruto del chontaduro.....	09
Tabla 5. Información nutricional por porción de 100 g de fruto fresco.....	11
Tabla 6. Siembras de frutales en el Valle. Hectáreas en el año 2011.....	22
Tabla 7. Clasificación de actividades agrícolas según distintos criterios de importancia.....	26
Tabla 8. Producción agropecuaria en 1997.....	26
Tabla 9. Condiciones de operación.....	37
Tabla 10. Normalización variables controlables (Factores).....	39
Tabla 11. ANOVA para % rendimiento de extracción de aceite.....	39
Tabla 12. Niveles que mejoraron el % rendimiento de extracción.....	41
Tabla 13. ANOVA para el índice de yodo.....	44
Tabla 14. Niveles que favorecieron el aumento del índice de yodo.....	46
Tabla 15. Niveles escogidos para el proceso de extracción.....	49
Tabla 16. Datos de la curva de extracción a condiciones óptimas.....	50
Tabla 17. Comparación de las bandas de absorción teóricas con las del aceite del fruto <i>Bactris gasipaes</i> para las variedades Tambo y Sabaletas.....	52
Tabla 18. Asignación de las señales del espectro RMN H^1 para aceites.....	56
Tabla 19. Ácidos grasos e índices de yodo mediante RMN H^1 para aceite de chontaduro.....	58
Tabla 20. Ácidos grasos e índices de yodo mediante RMN H^1 para varios aceites.....	59

Tabla 21. Otros análisis realizados a las muestras de aceite de chontaduro.....	61
Tabla 22. Análisis proximal harinas de chontaduro y otras muestras.....	63
Tabla 23. Constitución del fruto de la palma <i>Bactris gasipaes</i>	64
Tabla 24. Caracterización del aceite del fruto de la palma <i>Bactris gasipaes</i>	65
Tabla 25. Caracterización harina residual del aceite del chontaduro.....	65

LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. <i>Bactris gasipaes</i> H.B.K.....	06
Figura 2. Palma y fruto.....	06
Figura 3. A). ácido graso saturado. B). ácido graso insaturado.....	14
Figura 4. Área cosechada y rendimientos en la producción de chontaduro en Colombia 1999-2000.....	21
Figura 5. Evaluación de costos de producción por hectárea, del primer año del cultivo de chontaduro en el Valle del Cauca para el año 2009.....	23
Figura 6. Diagrama de bloques para la extracción de aceite del fruto <i>Bactris gasipaes</i>	28
Figura 7. Acondicionamiento del fruto de <i>Bactris gasipaes</i>	30
Figura 8. Extracción soxhlet del aceite del fruto de <i>Bactris gasipaes</i>	31
Figura 9. Rotaevaporación del aceite crudo.....	33
Figura 10. a) Aceite sin refinar, b) Aceite neutralizado del fruto.....	34
Figura 11. Diagrama de Pareto estandarizado para el rendimiento de extracción.....	40
Figura 12. Diagrama de efectos principales para el rendimiento de extracción.....	41
Figura 13. Gráficas de superficie de respuesta para %rendimiento de extracción.....	42
Figura 14. Gráficas de superficie de respuesta para %rendimiento de extracción.....	43
Figura 15. Diagrama de Pareto estandarizado para el índice de yodo.....	45
Figura 16. Diagrama de efectos principales para el índice de yodo.....	46
Figura 17. Gráficas de superficie de respuesta para índice de yodo.....	47

Figura 18. Gráficas de superficie de respuesta para índice de yodo.....	48
Figura 19. Gráficas de superficie de respuesta para índice de yodo.....	49
Figura 20. Curva de extracción bajo condiciones óptimas.....	50
Figura 21. Espectro IR del aceite de chontaduro, variedad Tambo.....	52
Figura 22. Espectro IR del aceite de chontaduro, variedad Sabaletas.....	53
Figura 23. IR Trilinoleína.....	54
Figura 24. IR Trioleína.....	54
Figura 25. RMN H^1 para el aceite del fruto <i>Bactris gasipaes</i> variedad Tambo.....	57
Figura 26. RMN H^1 para el aceite del fruto <i>Bactris gasipaes</i> variedad Sabaletas.....	57
Figura 27. Ácidos grasos e índice de yodo para aceites de la Tabla 20.....	59
Figura 28. HPLC aceite del fruto <i>Bactris gasipaes</i>	62

RESUMEN

El fruto del chontaduro (*Bactris gasipaes*), es una fuente rica en nutrientes que se comercializa con mínima transformación (sólo cocción) y, hasta el momento no hay investigaciones relacionadas con la obtención de productos de valor agregado a partir de éste, tales como aceites, harinas y lecitinas, que impulsen la industrialización del chontaduro en el país.

El interés del proyecto fue proponer la extracción de aceite de pulpa y cáscara a partir del fruto de la palma *Bactris gasipaes*, caracterizándolo para evaluar su potencial de aplicación en la industria de alimentos, para ello se planteó un diseño factorial 2^4 en el que los factores a evaluar fueron: Variedad según origen (Tambo o Sabaletas), Tipo de solvente (Hexano o Éter de petróleo), Tratamiento térmico (muestra cruda o cocida) y Composición de muestra (Pulpa o Pulpa con cáscara). Teniendo como variables de respuesta el porcentaje de rendimiento de extracción y la calidad del aceite (índice de yodo).

Se observó que la variedad del fruto de chontaduro que ofreció mejores resultados en porcentaje de extracción y calidad del aceite fue la procedente del Tambo (Cauca), realizando la extracción del aceite mediante soxhlet con éter de petróleo ($P_b = 40$ a 60°C) como solvente, sobre pulpa y cáscara previamente cocidas, bajo estas condiciones los valores máximos alcanzados fueron de 14.38 para el porcentaje de rendimiento de extracción y 99.05 para el índice de yodo (Método de Wijs).

Otra característica importante de este trabajo fue la aplicación de la técnica de Resonancia Magnética Nuclear protónica (RMN ^1H), que permitió determinar índice de yodo, % de ácidos grasos saturados, ácido linolénico, linoleico y oleico, habiéndose obtenido valores promedio de 84.26, 20.37, 5.67, 11.08 y 62.89 respectivamente, cifras que demuestran que tecnificando este proceso se puede obtener un aceite de cualidades comparables al aceite de oliva y al de oleína de palma, ambos de amplia aplicación en la industria alimenticia.

Se analizó también la harina residual mediante análisis proximal encontrando en promedio valores en base seca de 4.55% de fibra cruda, 7.02% de proteína y 86.24% de carbohidratos, que hacen de este un producto competitivo con harinas comerciales tales como la harina de trigo y maíz para uso en concentrados.

INTRODUCCIÓN

Colombia, dispone de tal cantidad y variedad de recursos naturales que en ocasiones no son aprovechados de manera eficiente, éste es el caso del chontaduro (*Bactris gasipaes H.B.K*), que actualmente no es suficientemente valorado, reconocido y documentado. Este proyecto propone la extracción de aceite de chontaduro como producto de valor agregado a partir del fruto, ofreciendo una alternativa para utilizar al máximo las diferentes cosechas, aprovechar su contenido nutricional y evitar la pérdida de grandes volúmenes de éste como sucede en la actualidad, debido a la sobreproducción del fruto en las diferentes regiones del país (GODOY, 2007).

Estudios previos reportan para el chontaduro la presencia de minerales, aminoácidos, vitaminas y ácidos grasos poliinsaturados como el ácido linolénico, linoleico, entre otros. Estos ácidos grasos son los componentes de la dieta humana de menor consumo debido a su baja disponibilidad en los alimentos afectando principalmente a las poblaciones más pobres del mundo, donde existen graves problemas de nutrición y en donde el fruto del chontaduro como fuente importantes de éstos subsanaría en pequeña parte este problema (ESTUPIÑAN, 1999).

Las grasas y aceites son de vital importancia para el organismo: además de mejorar el sabor de los alimentos preparados, éstas sirven de medio transportador de las vitaminas liposolubles, aumentan la densidad calórica en la dieta lo cual nos proporciona la energía necesaria para realizar las funciones básicas del cuerpo y son fuente de ácidos grasos esenciales (como el ácido linoleico y linolénico) que son los responsables del mantenimiento de una serie de funciones vitales como ser parte constitutiva de la membrana de diferentes tejidos celulares, son precursores del ácido araquidónico necesario para darle rigidez a la mitocondria y son empleados en la síntesis de las hormonas prostaglandinas; contribuyen al mantenimiento de la piel, del pelo y del sistema reproductivo, así como en la regulación del metabolismo del colesterol, ayudan a la

absorción de nutrimentos, a la regulación de la contracción muscular y de la presión arterial y fortalece el crecimiento de las células sanas (BADUI, 2006).

Con el fin de extraer la mayor cantidad de aceite del fruto del chontaduro, se tomaron las cáscaras obtenidas del proceso de descascarado y aquellos frutos que no eran aptos para ser consumidos porque excedieron su maduración o presentaron defectos en su cáscara (fruto de segunda calidad), como materia prima para extraer aceite, destinarlo al consumo humano y de este modo explorar la posibilidad de competencia de dicho aceite en cuestión de calidad con los aceites de comercialización en Colombia.

El proceso de extracción de aceite se hizo a escala de laboratorio, usando el método soxhlet, debido a que en pruebas preliminares resultó ser el más efectivo y económico para extraer aceites. Además debido a la presencia de sustancias indeseables en el aceite crudo como son los fosfolípidos y ácidos grasos libres, el aceite obtenido se refinó con los procesos convencionales (BAILEY, 1979), para así obtener el aceite que mediante análisis de índice de yodo, RMN H¹, IR, HPLC, se evaluó y comparó su potencial nutricional con los aceites del mercado, a fin de explorar cuáles son las ventajas y beneficios en la utilización del chontaduro y sus residuos.

A continuación se muestra en detalle el desarrollo del proyecto, para lo cual se inicia con el *marco teórico* que contiene los antecedentes, conceptos y estado actual del tema tratado, necesarios para interpretar los resultados obtenidos; la *metodología* utilizada, la cual es fácilmente reproducible; siguiendo con *los resultados* y su respectivo *análisis*, soporte de las *conclusiones* y *recomendaciones* del tema investigado.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1 Descripción de la palma. El chontaduro (*Bactris gasipaes* H.B.K), o cachipay en Colombia y Ecuador, es nativo de las regiones tropicales y subtropicales de América. Se distribuye desde Nicaragua hasta Brasil y Bolivia en zonas húmedas no inundables, a menos de 1.300 m.s.n.m y es frecuente encontrarlo en la Amazonia.

Esta palma, en su madurez alcanza de 12 a 25 m de alto. Su tronco alcanza diámetros desde 10 a 25 metros y está armado desde el suelo de espinas negras y duras de más de 5 cm de largo las cuales están dispuestas en zonas circulares. Los frutos, varían entre amarillo claro a rojo, son un conjunto de drupas pulposas de forma cónica, que pueden medir hasta 6 cm de diámetro. Contienen una semilla, la cual es dura y oscura, con una almendra blanca que es similar en color y textura al coco verde. La flor es de color amarillo o crema y crece en racimos protegidos por una cubierta espinosa en la que puede haber de 11 a 53 espigas (ESCOBAR, 1998).

Las palmas pueden producir en promedio 7 racimos por planta para la cosecha principal y tres para la cosecha secundaria. Cada racimo presenta en promedio 75 frutos cuyo peso puede oscilar entre 20 y 60 g, lo que equivale a un promedio de 1500 a 4500 g de fruto/racimo. Para una densidad de 278 palmas por ha, correspondería a una producción de 4170kg a 12510kg de fruto/ha-año (CORPOICA, 1996).

La palma, comienza a producir frutos hasta su quinto año de maduración y requiere varios años más, antes de alcanzar su producción óptima (TRACY, 1995).

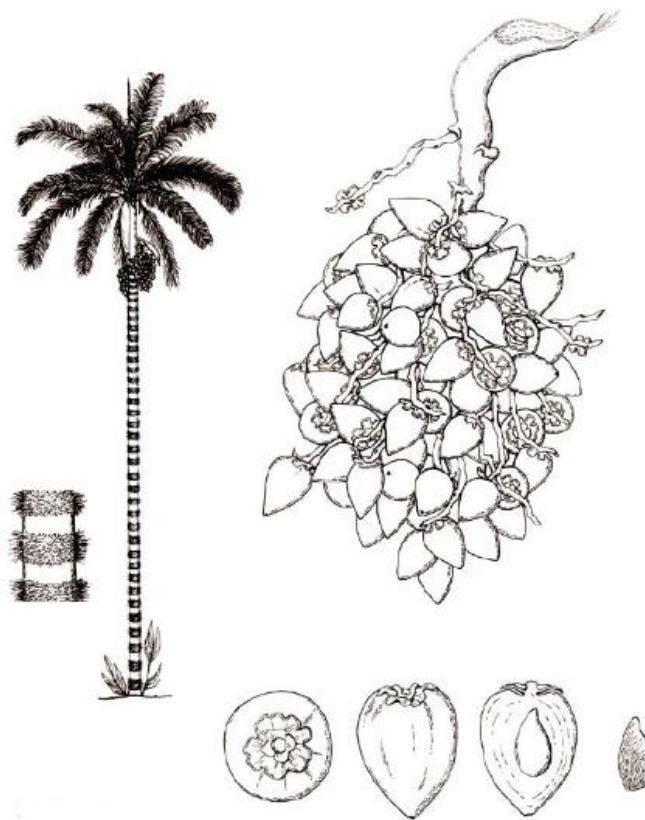


Figura 1: *Bactris gasipaes* H.B.K. (FAO, 2010)

El Tambo, municipio del departamento del Cauca es el mayor productor de chontaduro en el país, las palmas, son vigorosas, sus cosechas abundantes y sus frutos grandes. En general en el país, el tiempo de producción de la fruta es determinado por los ciclos lluviosos y secos. Por tal razón las fechas de cosecha varían grandemente de año en año aún en la misma localidad. En años normales, la estación de cosecha principal es entre Mayo y Junio.



Figura 2. Palma y fruto (CORRALES, 2010).

Tabla 1. Usos de la palma de chontaduro

(VILLACHICA, 1996).

PRODUCCIÓN DE FRUTA	Consumo Humano	Pulpa	Cocido con sal, en conservas, en puré para salsas y sopas, en bebidas y helados.
		Harina	Panadería, pastelería, fabricación de fideos y jaleas.
		Aceite	Fritura de alimentos, uso cosmético.
	Consumo Animal	Concentrado y Ensilaje	El fruto de segunda calidad es usado como alimento de engorde para Ganado vacuno, porcino, aves y peces
PRODUCCIÓN VEGETATIVA	Consumo Humano	Tallo	Es usado por muchas etnias indígenas en la preparación de chicha.
		Flor	Hervida tiene la misma característica deseable de una hortaliza.
		Palmito	Es el cilindro formado en el ápice del tronco por las hojas jóvenes sin abrir de diferentes especies de palmeras. Destinado en gran parte para exportación.
	Construcción	Madera	En zonas rurales la madera del tallo es usada para la construcción de viviendas.
		Hojas	Follaje es usado para cubrir los techos y resguardarse del calor.
	Otros Usos	Tallo	Fabricación de utensilios ornamentales, varas de pesca y en agroforestería. La celulosa del tallo se usa para papel celofán y rayón.
		Hojas	El colorante verdoso de sus hojas se usa para teñir canastos y otros artículos.

1.1.2 Información nutricional. Aunque la información nutricional puede variar considerablemente entre diferentes variedades de esta palma y, a pesar de que hay diferencias incluso en la información nutricional de la misma variedad, debido a que la palma de chontaduro expone una gran variabilidad genética lo cual dificulta su agrupamiento, basándose la clasificación únicamente en la distribución geográfica y el color del fruto (CORPOICA, 1996).

Según lo dicho por la academia nacional de ciencias de Estados Unidos de América en 1975 “el chontaduro es probablemente el más balanceado de todos los alimentos tropicales, conteniendo carbohidratos, proteínas, aceites, minerales y vitaminas” (RESTREPO, 2007).

Contiene 7 de los 8 aminoácidos esenciales para el ser humano, es extremadamente rico en vitamina A, (mucho más que el trigo y el maíz) entre muchas otras vitaminas y contiene gran cantidad de ácidos grasos poliinsaturados (TRACY, 1995), también es rico en minerales esenciales para la dieta como calcio, potasio, magnesio, manganeso, selenio, cromo, hierro y zinc aportando entre el 8 y el 10% de los requerimientos necesarios según la RDA (ingesta diaria recomendada) para personas entre 25 y 50 años (YUYAMA, 2003).

La naturaleza de la composición química del chontaduro se puede apreciar en las siguientes Tablas en donde también se puede observar que los ácidos grasos de la pulpa y de la semilla son muy diferentes al igual que lo encontrado generalmente en las palmeras (HAMMOND Y PAN, 1982).

Tabla 2. Composición de ácidos grasos en el aceite extraído del mesocarpio del chontaduro, a partir de muestras de frutos tomadas de tres poblaciones que crecen en la Amazonia Central en Brasil. El porcentaje de aceite fue comparado con datos de literatura (YUYAMA, 2003).

<i>Ácidos Grasos</i>	<i>Muestra 1</i>	<i>Muestra 2</i>	<i>Muestra 3</i>	<i>Prom</i>
Ácido palmítico (C16:0)	24.1 ± 0.2	42.3 ± 0.3	24.1 ± 0.2	38.2
Ácido palmitoleico (C16:1)	7.4 ± 0.5	3.9 ± 0.2	5.2 ± 0.2	7.4
Ácido esteárico (C18:0)	0.8 ± 0.2	3.5 ± 0.2	1.63 ± 0.07	1.0
Ácido oleico (C18:1)	60.8 ± 0.8	42.8 ± 0.9	51.7 ± 0.9	46.3
Ácido linoleico (C18:2)	5.4 ± 0.4	2.5 ± 0.3	4.9 ± 0.2	6.2
Ácido linolénico (C18:3)	1.4 ± 0.1	0.0	1.2 ± 0.06	1.4
Ácidos grasos saturados	24.9 ± 0.5	46.0 ± 1.0	36.8 ± 0.4	39.2
Ácidos grasos monoinsaturados	68.2 ± 1.0	46.7 ± 1.0	56.9 ± 1.0	53.7
Ácidos grasos poliinsaturados	6.8 ± 0.5	2.5 ± 0.3	6.1 ± 0.3	6.9
Ácidos grasos poliinsaturados/saturados	0.27	0.05	0.17	0.18

Tabla 3. Porcentaje de aceite contenido en la semilla del chontaduro.

(HAMMOND Y PAN, 1982)

Ácidos grasos	Endospermo de la semilla
% Sólidos	76.4±3.7
% grasa (dry wt.)	25.2±2.1
Caprílico	0.5±0.3
Caprico	0.6±0.3
Láurico	33.3±1.5
Mirístico	28.4±1.3
Palmítico	10.4±1.8
Palmitoleico	-
Esteárico	3.1±1.3
Oleico	18.2±2.1
Linoleico	5.2±1.4
Linolénico	-

Tabla4. Aminoácidos presentes en el fruto del chontaduro (con un patrón de puntuación para los más importantes (RESTREPO, 2007)

Aminoácidos		%por g. de N ^[14]	Patrón de puntuación de aminoácidos ^[15] (g /16g de N)
Esenciales	Leucina	2,60	7,0
	Fenilalanina	1,30	6,0
	Lisina	4,60	5,5
	Valina	2,70	5,0
	Isoleucina	1,70	4,0
	Treonina	2,50	4,0
	Metionina	1,30	3,5
	Triptófano	-	1,0
No esenciales	Prolina	2,90	
	A. Aspártico	4,60	
	Serina	3,60	
	A. Glutámico	6,30	
	Glicina	4,50	
	Alanina	3,60	
	Tirosina	1,40	
	Histidina	2,00	
	Arginina	9,20	

1.1.3 Productos del fruto del chontaduro.

Aceite. El consumo de los subproductos es muy reducido, ya que la producción de éstos ha quedado en manos de industrias artesanales, para ser comercializados únicamente a través de tiendas naturistas. Es el caso del aceite obtenido a partir de la pulpa de éste fruto el cual es de muy buena calidad como se observa en la Tabla 2, comparable a los aceites de uso común en la industria de alimentos por tal motivo se propone su uso como aceite gourmet debido a su calidad y sabor.

Harina. Una vez extraído el aceite, de la pulpa de chontaduro, la harina resultante, bien se puede usar para dos fines: Para consumo animal, ya que pocas veces Colombia produce suficiente maíz para abastecer la demanda de éste en concentrado para animales, y la importación de este alimento representa un costo para la economía del país. Un método alternativo para satisfacer esta demanda de maíz, es precisamente procesar el fruto de chontaduro para estos fines, ya que la harina aún habiéndosele extraído el aceite posee vitaminas y aminoácidos esenciales que ni el maíz ni el trigo poseen y aunque la cantidad de proteínas de estos dos alimentos es superior, la calidad de sus aminoácidos no lo es.

De igual manera para consumo humano es posible elaborar un pan con alto valor nutritivo sustituyendo la harina de trigo por harina de chontaduro hasta niveles máximos del 16% sin que las características organolépticas del pan varíen. En la preparación de coladas, la mezcla óptima es de 50% harina de maíz y 50% de harina de chontaduro (PATIÑO, 1991).

Tabla 5. Información nutricional por porción de 100 g de fruto fresco. Promedios de varios análisis de diferentes fuentes de harinas de consumo cotidiano comparadas con la harina del chontaduro con contenido de aceite (RESTREPO, 2007).

	Humedad (%)	Proteína cruda (g)	Grasas (g)	Carbohidratos (g)	Fibra (g)	Ceniza (g)	Valor energético (cal)
Maíz amarillo	10,6	9,4	4,3	74,4	1,8	1,3	361,0
Base seca	-	10,5	4,8	83,2	2,0	1,4	403,6
Harina de Trigo duro (Aprox. 72% extraído)	12,0	11,8	1,2	74,5	0,4	0,5	365,0
Base seca	-	13,4	1,4	84,6	0,5	0,6	414,6
Chontaduro	50,5	2,6	4,4	41,7	1,2	0,8	196,0
Base seca	-	5,3	8,9	64,2	2,0	1,6	395,9

	Ca (mg)	P (mg)	Fe (mg)	Vitamina A (µg)	Tiamina (Vit. B ₁) (mg)	Riboflavina (Vit. B ₂) (mg)	Niacina (mg)	Ácido ascórbico (Vit. C) (mg)
Maíz amarillo	9,0	290,0	2,5	70,0	0,43	0,10	1,9	Traza
Base seca	10,1	324,2	2,8	78,3	0,48	0,11	2,1	Traza
Harina de Trigo	20,0	97,0	1,4	0,0	0,12	0,07	1,4	0,0
Base seca	22,7	110,2	1,6	0,0	0,14	0,08	1,6	0,0
Chontaduro	14,0	46,0	1,0	670,0	0,05	0,16	1,4	35,0
Base seca	28,3	92,9	2,1	1353,4	0,1	0,32	2,8	70,7

Lecitina. Una vez extraído el aceite del fruto, éste debe ser sometido a un proceso de refinación, en el que es necesario retirar ciertas sustancias gomosas o mucilaginosas, que son solubles en el aceite sólo en su forma anhidra, y se pueden eliminar por precipitación con una simple hidratación. Estas sustancias llamadas barros o gomas, que en el aceite son tan indeseables, pueden venderse después de un tratamiento sencillo y económico como lecitina comercial.

Lecitina es el nombre común para un determinado tipo de fosfolípidos, aunque técnicamente se denomina fosfatidilcolina. Ésta puede prevenir la destrucción de neuronas que tiene lugar en el proceso del envejecimiento, por lo que mejora la memoria y la capacidad cognitiva. Es una rica fuente de vitamina B. Actúa como agente emulgente, haciendo posible que las grasas, como el colesterol y otros lípidos, puedan disolverse en el agua y ser eliminados del organismo; adicional a esto mejora el rendimiento atlético.

1.2 MARCO CONCEPTUAL

1.2.1 Papel de las grasas y aceites en la dieta humana. Las grasas y aceites son las principales fuentes de energía en la dieta. Algunos ácidos grasos no saturados son necesarios para la formación de muchos tipos de células y como éstos ácidos no pueden ser sintetizados por el organismo, deben ser ingeridos como tales en los alimentos para que el cuerpo produzca muchas sustancias que impulsan la vida y mantienen una buena salud, incluidas las células cerebrales. Los grupos de vitaminas A, D, E y K que son más solubles en las grasas que en el agua, necesitan de éstas para ser absorbidas (VEGA, 2004).

Una ingesta alta de ácidos grasos saturados, principalmente láurico, mirístico y palmítico, produce un aumento del colesterol sanguíneo mediante la síntesis de lipoproteínas de baja densidad, LDL, el llamado colesterol “malo”. Por el contrario, los ácidos grasos insaturados (los ω , como oleico, linoleico, linolénico, etc.) promueven la formación de lipoproteínas de alta densidad o colesterol HDL, el llamado colesterol “bueno” (BADUI, 2006).

Las grasas tienen también algunas funciones no nutritivas que derivan de las propiedades físicas de éstas. En pastelería ayuda a establecer la textura de los productos horneados, su dispersión a través de toda la masa evita el aglutinamiento de la harina, además retiene el aire, el cual ayuda a la acción de la levadura. Las grasas se utilizan como medio para la transferencia de calor al freír los alimentos (DURAN, 2006).

1.2.2 Lípidos. Son moléculas orgánicas presentes en el tejido de los animales y las plantas, las cuales pueden ser separadas o aisladas con solventes de baja polaridad como el éter etílico. El análisis a estas fracciones ha demostrado que en el extracto obtenido se encuentran diferentes tipos de compuestos orgánicos como son: ácidos de alto peso molecular (*ácidos grasos*), ceras, *triglicéridos*, fosfolípidos, glucolípidos, terpenos, terpenoides, esteroides y esteroides (BADUI, 2006).

Si los lípidos aportan ácidos grasos que no son sintetizados por los organismos animales, reciben el nombre de *esenciales* (ácidos grasos poliinsaturados con dobles enlaces en posición *cis*; en el ser humano es esencial ingerir dos series de estos ácidos, la serie del ácido linoleico serie ω -6 y la del ácido linolénico serie ω -3). Los no esenciales, son producidos por el metabolismo animal por tanto no necesitan ser ingeridos (BADUI, 2006).

Un glicérido es un *éster* formado por la combinación de alcoholes trihidroxilados como el propanotriol o la glicerina y ácidos grasos de alto peso molecular. Cuando los glicéridos presentan cadenas carbonadas *saturadas* reciben la denominación de *grasas*, mientras que los aceites presentan *insaturaciones* o sea, dobles enlaces en las cadenas de los ácidos grasos que forman la estructura del glicérido. Debido a estas insaturaciones tienen gran reactividad química, son propensos a la saturación y a transformaciones oxidativas y de isomerización. Su temperatura de fusión disminuye con el aumento de las dobles ligaduras y siempre es menor que la de las saturadas para una misma longitud de cadena (BADUI, 2006).

Los *ácidos grasos saturados* presentan un empaquetamiento específico en las moléculas del triglicérido, lo que explica que las grasas sean sólidas mientras que la estereoquímica particular de los ácidos grasos que constituyen los aceites (ácidos grasos no saturados) con isomería geométrica, siendo más abundante el isómero *cis*, proporciona un ordenamiento espacial diferente, lo que se observa en la Figura 3.

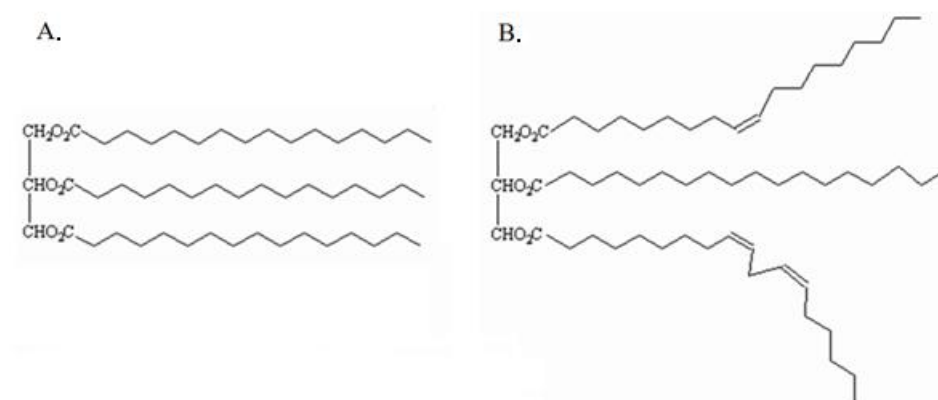


Figura 3. A) ácido graso saturado. Puede encontrarse en un estado sólido. B) ácido graso insaturado. No puede encontrarse en forma sólida. (DURAN, 2006)

1.2.3 Obtención del aceite.

1.2.3.1 Pretratamiento del fruto. Con el fin de optimizar el proceso, los frutos se deben lavar con abundante agua para retirar cualquier impureza que pueda influir en la calidad final del aceite, posteriormente el fruto se debe cocer.

Los cambios producidos por la cocción sobre el fruto son de naturaleza tanto física como fisicoquímica: uno de los efectos de la cocción es, favorecer la reunión de las gotas de aceite distribuidas por la semilla en otras mayores que puedan fluir más fácilmente coagulando las proteínas del fruto por acción del calor lo que facilita la coalescencia de las gotas de aceite disperso y hace los sólidos del fruto permeables al flujo de aceite. También, ablandar los tejidos del mesocarpio para lograr un fácil rompimiento de las células que contienen el aceite, todo esto en el caso de que se realice un proceso de prensado (TENORIO Y ACOSTA, 1978), disminuir la afinidad del aceite en las superficies de los sólidos, para conseguir el máximo rendimiento en la extracción, y descomponer el material mucilaginoso (gomas) para evitar soluciones coloidales en el aceite crudo, dificultando luego el proceso de clarificación (CALA y BERNAL, 2008).

Una vez se tiene la pulpa cocida se pica en trozos pequeños y se introduce en el horno para retirar el exceso de humedad. Tanto el método químico de extracción de aceite como el de prensa sólo operan satisfactoriamente con productos de bajo contenido de humedad, entre un 2 y un 7%. Este proceso además de ser vital para la extracción de aceite, sirve para que la muestra no sea fácilmente invadida por hongos (BAILEY, 1979).

Cuando la muestra está seca, su transformación en partículas pequeñas facilita la extracción del aceite, ya sea por prensado mecánico, o por la acción de disolventes. Esto es necesario ya que, aunque muchas de las células oleaginosas no se rompen en este proceso, las paredes de las células si reaccionan más rápidamente a altas presiones y se facilita la extracción con disolvente tanto por el efecto de rompimiento ejercido por la trituración como por la disminución de las distancias que deben recorrer el aceite y el disolvente dentro y fuera de la semilla. Se ha demostrado que el factor que regula la velocidad de la extracción debe ser indirectamente proporcional al cuadrado del tamaño de las partículas (BAILEY, 1979).

1.2.3.2 Extracción del aceite. Una vez hecho el tratamiento previo a la muestra se realiza el proceso de extracción el cual puede ser de dos formas, mecánica y/o química, los cuales, pueden combinarse y adaptarse de distintas maneras. Estos procedimientos tienen los mismos fines: obtener el aceite sin alteraciones y desprovisto de impurezas, máximo rendimiento, de acuerdo con la economía del proceso y conseguir un residuo o torta de buena calidad (MARTÍNEZ, 2003).

La extracción mecánica tiene que ver con el prensado del chontaduro para exprimir el aceite. El prensado mecánico conserva inalterados los nutrientes del aceite, aunque esto implica que se preserven también sustancias tóxicas por lo cual se debe refinar.

La muestra una vez reducida a partículas finas (40 *mesh* aprox.), es sometida a tratamiento térmico a fin de hacer las paredes de las células oleaginosas permeables al aceite y obtener éste en libertad mediante la aplicación de elevadas presiones. El rendimiento de la obtención del aceite depende de una serie de factores relacionados con la afinidad del aceite

por los sólidos de la muestra. Entre estos factores se encuentra el grado de humedad, el método de cocción, y la composición química de la muestra (BAILEY, 1979).

La extracción química se realiza aprovechando la solubilidad del aceite en cierto solvente (los solventes más empleados son las fracciones ligeras parafínicas del petróleo obtenidas del gas natural). Es el método más eficaz de obtención de aceite y el que presenta mayores ventajas en la manipulación de materiales con bajo contenido en aceite pero recibe ayuda del prensado o molienda previa para que haya mayor área en contacto entre el solvente y la muestra.

Para realizar la extracción química se tratan las muestras ya molidas con sucesivas porciones de solvente, que circulan a través del material que se extrae, hasta que las miscelas libres sean tan ricas en aceite como las absorbidas dentro de las partículas sólidas. Cuando se alcanza esta condición, se drenan las miscelas libres, se introduce una nueva carga de disolvente fresco al sistema y se repite la operación. La extracción se continúa de esta manera en ciclos sucesivos de recirculación y drenado, hasta que el contenido del producto en aceite se reduzca al valor deseado. El solvente debe ser separado luego del aceite; el cual se debe refinar por varios procesos (BAILEY, 1979).

1.2.4 Refinación del aceite.

1.2.4.1 Desgomado. Busca separar la constituyente mucilaginoso del aceite, conformada en su mayoría por fosfolípidos y otros lípidos polares hidratables. Si este proceso no se realiza el aceite puede empastarse impidiendo su aprovechamiento (MARTINEZ, 2003).

El desgomado puede realizarse mediante la adición de un ácido, en un porcentaje en peso respecto al aceite entre el 0.5 y 4% pero este procedimiento puede comenzar a deteriorar sus componentes, o mediante calor el cual presenta inconvenientes para filtrar y atrapa más el aceite que otros procesos, por esta razón se debe usar en conjunto con otros tratamientos.

También se puede realizar el desgomado por hidratación que es el método más popular (BADUI, 2006).

1.2.4.2 Neutralización. Los aceites obtenidos por prensado o extracción por disolventes contienen cantidades variables de impurezas no glicéricas, principalmente ácidos grasos libres, y otras impurezas como pueden ser rafinosas, pentosas, resinas, proteosas, fosfolípidos, fitosteroles, fitosterolinas, clorofilas, restos de sustancias mucilaginosas; aunque no todas las impurezas de los aceites son indeseables: los tocoferoles realizan la función de proteger el aceite contra la oxidación; por esta razón se pueden considerar como los oligocomponentes más importantes de los aceites (BAILEY, 1979).

La neutralización es una saponificación con NaOH, en donde se eliminan los ácidos grasos libres produciéndose una pasta jabonosa que se separa por centrifugación y se emplea en la fabricación de jabones. Los aceites bien neutralizados contienen menos del 0.1% de ácidos grasos libres, como índice de acidez en términos del oleico (BADUI, 2006).

1.2.4.3 Blanqueo. Se utiliza si el aceite no decoloró suficiente al neutralizarlo. El método ordinario de decoloración es la adsorción con tierra de diatomeas, arcillas neutras derivadas de la bentonita, arcillas acidas activadas o carbón activado (BADUI, 2006).

1.2.4.4 Desodorización. Si la desodorización se lleva a cabo adecuadamente se eliminan totalmente los componentes odoríficos del aceite, de esta forma aceites de clases diferentes no se distinguen en estado fresco ni por su olor ni por su sabor. La desodorización destruye también los peróxidos y elimina los aldehídos y otros productos volátiles que se hayan podido formar por oxidación atmosférica (BADUI, 2006).

1.2.5 Análisis de muestras.

Color Lovibond. Medición del color mediante una serie de vidrios rojos y amarillos de referencia. El resultado son valores de rojo y amarillo que corresponden a los vidrios que igualan el color de la muestra (BADUI, 2006).

Índice de Peróxidos. Es el número de miliequivalentes (mEq) de yodo que se liberan del yoduro de potasio por kilogramo de grasa oxidada. En las primeras etapas de la rancidez oxidativa se producen diversos peróxidos que modifican las propiedades sensoriales de la grasa, por lo que la prueba del índice de peróxido sólo es representativa en las primeras etapas de la oxidación de grasas (BADUI, 2006).

Índice de yodo. Se define como la cantidad de yodo absorbida por gramo de aceite. Constituye una medida del grado de insaturación, es un valor constante para un aceite en particular pero depende de la técnica utilizada. No ofrece información acerca de la distribución y localización de los dobles enlaces (BADUI, 2006).

Resonancia magnética nuclear. Se basa en el hecho de que debido a que ciertos núcleos de las moléculas orgánicas están cargados se comportan como si estuvieran girando, dichos núcleos actúan como si fueran imanes, cuando estos núcleos se colocan entre los polos de un imán, alinean sus campos magnéticos en contra de dicho imán los que tienen mayor energía o a favor de él, los del estado de espín de menor energía. Al aplicar energía en el intervalo de la radiofrecuencia, es posible excitar los núcleos cambiando su orientación.

La espectroscopia RMN ^1H ofrece información acerca del acomodo de los hidrógenos en una molécula. Cada señal del espectro es causada por diferentes tipos de hidrogeno en las moléculas del compuesto que se estudia. Para realizar la medición de un espectro RMN ^1H se prepara una solución con el compuesto que se estudia en un solvente inerte que no contenga núcleos de H^1 comúnmente cloroformo deuterado y se agrega también un compuesto de referencia, tetrametilsilano (TMS), el cual se selecciona porque sus 12

protones son equivalentes así que muestra una sola señal de H^1 , la cual se presenta en un campo más alto que la mayoría de los compuestos orgánicos lo que hace más sencilla su identificación, y es inerte por lo que puede ser removida de la muestra al final del experimento.

La solución preparada se coloca en el centro de una bobina de radiofrecuencia (RF), entre los polos de un imán, en donde los núcleos se alinean a favor o en contra del campo; por medio de la bobina se aplica una fuerza constante y se varía ligeramente la fuerza del campo magnético aplicado, para medir la que corresponda a la frecuencia aplicada, en el momento en que ésta resulte ser la diferencia entre los estados de espín de más alta y de más baja energía y los núcleos la absorban. El espectro de RMN consta de una gráfica de la energía absorbida por la muestra contra la fuerza de campo magnético aplicado a una RF constante. La posición de las señales se mide en unidades δ a partir de la señal de referencia (TMS) la cual presenta su señal a δ_0 (BADUI, 2006).

$$\delta = \frac{\text{distancia de señal a partir del TMS (Hz) ppm}}{\text{frecuencia del espectro (Hz)}} \quad [Ec. 01]$$

Espectroscopia infrarroja (Espectroscopia IR). Es la rama de la espectroscopia que trata con la parte infrarroja del espectro electromagnético. Ésta cubre un conjunto de técnicas, siendo la más común una forma de espectroscopia de absorción. Así como otras técnicas espectroscópicas, puede usarse para identificar un compuesto e investigar la composición de una muestra. Se puede dividir según el tipo de la radiación que se analiza, en: espectroscopia del infrarrojo cercano, infrarrojo medio e infrarrojo lejano (BADUI, 2006).

HPLC. La cromatografía líquida es una técnica de separación en la que los componentes se reparten en dos fases, una fase estacionaria que tiene una gran área de superficie y una fase líquida móvil que fluye sobre la fase estacionaria. Resulta valiosa en la determinación de vitaminas y permite realizar estudios de caracterización sin necesidad de hacer un exhaustivo pretratamiento a las muestras (SAYAGO *et. al.*, 2007).

2. MERCADO

2.1 MERCADO INTERNACIONAL

La comercialización del fruto de chontaduro puede ser ampliamente explotable en el mercado internacional ya que además de sus propiedades nutritivas (le llaman el huevo vegetal) tiene un gran atractivo debido a su carácter exótico, y la amplia variedad de productos que se podrían derivar de éste, tales como harinas para concentrados, aceite para la industria alimenticia entre otros.

Sin embargo, debido a que la explotación de palmito es la única forma de producción de la palma *Bactris gasipaes* que se realiza de manera comercial; no se hayan referencias de explotación de mercado de los últimos 15 años para el fruto del chontaduro, de lo cual podemos concluir que el mercado del chontaduro en este momento es incipiente; no se ha hecho un estudio de mercado serio de cuál sería la demanda del fruto como tal y de sus manufacturaciones, que en realidad son muy apetecidas para la cocina internacional gourmet.

Pese a esto, de un tiempo para acá se ha manifestado un interés en el tema de la biodiversidad y biotecnología del chontaduro para impulsar su comercialización y aportar a disminuir la brecha tecnológica con un sensible progreso en la manufactura de productos derivados de la transformación del fruto del chontaduro, que sean competitivos, innovadores y diferenciadores con el fin de promover la venta y consumo del chontaduro a nivel nacional y proyectado a la exportación (HURTADO y MARTINEZ, 2007).

2.2 MERCADO NACIONAL

En Colombia según fuentes del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, el chontaduro es el sexto producto frutícola con mayor tasa de crecimiento en el área cosechada en el

periodo 1992-2000; en el año 2000 ésta representó un 2% del total nacional del sector. Éste mismo año, el chontaduro estuvo entre los 10 cultivos frutales más importantes en términos de su participación en el área cosechada ocupando el 8º lugar con un 1,4% en una escala en el que el plátano tiene el primer lugar con un 66%, y el banano de exportación ocupa un 2º lugar con un 8,2% (MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, 2000).

En cuanto a la producción del fruto del chontaduro, esta representó en el año 2000 un 1% del total frutícola, su tasa de crecimiento de 20% fue relativamente alta, aunque no estuvo entre los productos de mayor dinamismo. El rendimiento promedio de la producción de chontaduro fue de 6,3 ton/ha. Esta variable se ha mantenido entre las 5 y 7 ton/ha desde 1997, cuando creció en un 50%. Sin embargo, lo que realmente crece como producto a escala comercial no es el fruto de chontaduro sino el palmito de chontaduro (MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, 2000).

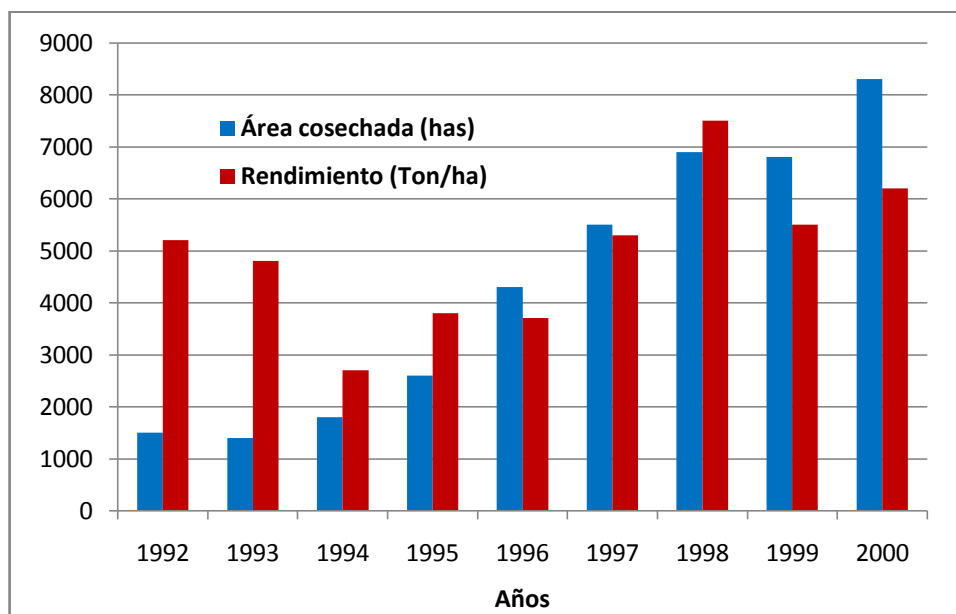


Figura 4. Área cosechada y rendimientos en la producción de chontaduro en Colombia 1999-2000
(MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, 2000)

La producción de chontaduro se concentra en tres departamentos: Cauca, que cuenta con el 35% de la producción; Putumayo con el 25% y Valle del Cauca con el 22% (MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, 2000).

El chontaduro es parte fundamental de la dieta básica de una gran población de la costa pacífica de Colombia, (en donde se encuentra Sabaletas en el Valle del Cauca a 30 min de Buenaventura). De los productos promisorios de la Región Pacífica que son más comerciales, el chontaduro representó la mayor cantidad durante el 2008, con 76.805 toneladas y un rendimiento de 8,08 kg/ha, seguido por el borojó, con una producción de 17.172 toneladas y un rendimiento de 5,34 kg/ha (UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, 2011).

Estudios del CIAT-Centro Internacional de Agricultura Tropical- muestran al comercio de chontaduro en la capital del departamento del Valle, como la principal fuente de ingresos para más de 3000 cabezas de hogar (GIRALDO, 2009). Una investigación para el INCIVA, en 1991 mostró a Cali como el mercado más importante para el chontaduro desde 1985 lo cual ha sido una realidad hasta nuestra época (CUADROS, 1991).

Tabla 6. Siembras de frutales en el Valle. Hectáreas en el año 2011(EL PAIS, 2011).

Siembra de frutales en el Valle (hectáreas en el año 2010)					
Banano	6.750	Guayaba	1.365	Bananito	460
Cítricos	6.106	Maracuyá	1.145	Melón Tipo B	389
Chontaduro	3.513	Lulo	1.088	Coco	325
Uva	2.331	Borojó	813	Tomate de árbol	266
Piña	1.752	Mora	799	Granadilla	186
Papaya	1.451	Guanábana	632	Mango	155
Aguacate	1.434	Melón Tipo A	541	Pitaya	144

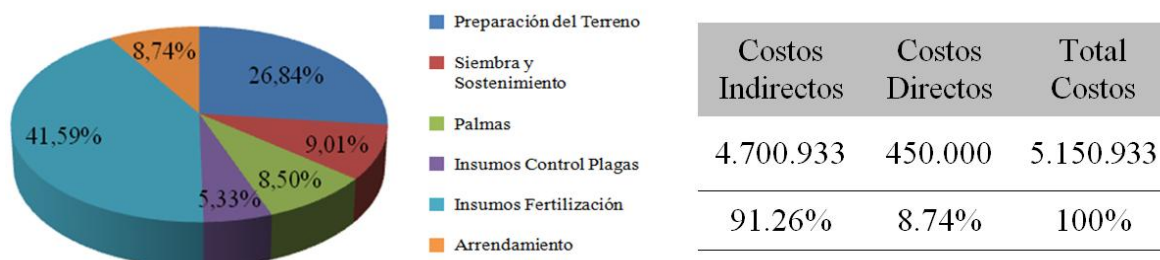


Figura 5. Evaluación de costos de producción por hectárea, del primer año del cultivo de chontaduro en el Valle del Cauca para el año 2009
(GOBERNACION DEL VALLE DEL CAUCA, 2009).

La mayor cantidad de empresas dedicadas a la comercialización del chontaduro en Colombia se encuentra ubicada en la región de la Amazonia. Por ser una palma nativa del Amazonas, casi todas las cooperativas y pequeñas empresas de los departamentos de Caquetá, Putumayo, Guaviare y Amazonas, que realizan actividades de producción y transformación de frutas propias de esta región para fines alimenticios, farmacéuticos o cosméticos, comercian con este fruto (UNIVERSIDAD JORGE TADEO LOZANO, 2008).

2.2.1 El nuevo productor. Los Llanos Orientales y especialmente el Piedemonte Llanero de Arauca, Casanare y Meta, poseen condiciones de clima, suelo, infraestructura vial y disponibilidad de talento humano que le permiten buscar un espacio importante en el mercado de frutas tropicales no tradicionales en la región, como el chontaduro como alternativa que contribuya al desarrollo agrícola.

Por este motivo ya algunos productores de la región han comenzado a cultivar este tipo de frutas de forma comercial o semicomercial bajo la inducción de CORPOICA, teniendo una gran aceptación en calidad y precio. El 73% de los agricultores encuestados en esta región consideran que estos frutales tropicales presentan una buena demanda siendo del 100% para el chontaduro (ORDUZ y RANGEL, 2003).

2.2.2 Empresas en las principales ciudades del país. En Bogotá, LABORATORIOS PHITOTHER un importante laboratorio de productos naturales, que cuentan con el certificado de calidad ISO9001, el cual se especializan en el aprovisionamiento de materias primas a otras fábricas que utilicen este tipo de productos (UNIVERSIDAD JORGE TADEO LOZANO, 2008), (PHITOTHER LABORATORIOS, 2010).

En Cali, CI COLFOOD SA. Exporta chontaduro en cajas sin ningún tipo de transformación, y en conserva. Además de otros productos étnicos colombianos a colonias latinas en Estados Unidos, Sus mercados alternos son Japón y España, desde el año 2000. Ganó el premio del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo: jóvenes emprendedores que creen en Colombia, categoría: exportaciones (UNIVERSIDAD JORGE TADEO LOZANO, 2008).

En Manizales, desde finales del año 2009 la empresa FRUTA DORADA, que elabora y comercializa productos de alto valor nutricional a base de chontaduro. Se encuentran productos como mermelada, salsas, trocitos de chontaduro en miel y limón, chontaduro en salmuera o almíbar. Todos estos, usando como ingrediente principal, el chontaduro (FRUTA DORADA, 2009).

2.3 MERCADO DEL TAMBO

El Tambo Colombia en el Departamento del Cauca es un municipio eminentemente agrícola que soporta su economía por la producción cafetera, intercalada con plátano y en orden de importancia: caña panelera, maíz, frijol, chontaduro, yuca y fique.

Este municipio es el mayor productor de chontaduro en el país, es por esta razón que el cultivo de chontaduro se constituye en una importante fuente de empleo para toda el área. A pesar de esto, aún cuando los suelos aptos para su siembra son extensos, el área destinada para su producción no es significativa, menos de 40 ha, en comparación a las 7.770 ha

destinadas al cultivo de café el cual ocupa el 2.4% del área total del municipio (OFICINA DE PLANEACION MUNICIPAL DEL TAMBO, 1999).

Las siguientes Tablas describen la productividad de las principales actividades agrícolas en el municipio, mostrando que el chontaduro, pese a que es un cultivo que se desarrolla con deficientes tecnologías y prácticas de manejo que inciden en la baja producción por hectárea, tiene la mayor rentabilidad, basada en indicadores de relación beneficio costo (RBC= 10.33) (OFICINA DE PLANEACION MUNICIPAL DEL TAMBO, 1999).

Estos indicadores de rentabilidad confirman la tendencia de algunas regiones del Tambo, como Cuatro Esquinas hacia la especialización del monocultivo del Chontaduro, a pesar de las consecuentes dificultades que en materia de precios de venta y costos de producción se generan si no existe un control en los canales de comercialización que garantice un amplio margen de ganancias para el productor (OFICINA DE PLANEACION MUNICIPAL DEL TAMBO, 1999).

Tabla 7. Clasificación de actividades agrícolas según distintos criterios de importancia
(OFICINA DE PLANEACIÓN MUNICIPAL DEL TAMBO, 1999)

Producción Agrícola	PUNTAJE SEGÚN LOS CRITERIOS								Puntaje Promedio	Orden
	No. Productor	Área Explotado	Vr. de la Produc.	Rentabil	Importancia del Mercado	Contribución a la Canasta Familiar	Contribución a la Generación de Empleo	Contribución al Comercio Internacional		
Café y Plátano	71,4	59,2	55,0	45,0	52,0	40,0	96,0	100,0	64,8	1
Caña Panelera	19,7	21,0	30,0	18,0	52,0	100,0	100,0	80,0	52,6	2
Chontaduro	1,0	0,3	3,1	100,0	53,0	10,0	80,0	50,0	37,2	6
Yuca	7,8	6,0	3,8	16,0	24,0	100,0	90,0	10,0	32,2	7
Maíz	2,6	3,0	0,5	20,0	60,0	100,0	90,0	40,0	39,5	3
Frijol	1,1	1,0	0,9	52,0	60,0	90,0	55,0	40,0	37,5	5
Fique	4,4	8,0	0,8	12,0	20,0		100,0	10,0	19,8	8
Lulo	0,7	0,8	1,6	75,0	68,0	30,0	80,0	50,0	38,2	4

Tabla 8. Producción Agropecuaria 1997
(OFICINA DE PLANEACIÓN MUNICIPAL DEL TAMBO, 1999)

Tipo de Cultivo	A Área en Producción (ha)	B Produce (kg/ha)	C Precio al Productor (\$/t)	D = ABC		E Costo de Producción (\$/ha)	F = AE		G = DF	H = G/A		D/F Relación Benef/ Costo
				Ingreso Total			Costo Total	Unidad Generada		Utilidad Prom/ha		
Café Tecnificado	3.319,40	1.600,0	2.400.000,0	12.746.496.000,0		776.000,0	2.575.854.400,0	10.170.641.600,0		3.064.000,0		4,95
Café Tradicional	3.810,0	375,0	2.400.000,0	3.429.000.000,0		776.000,0	2.966.560.000,0	1.170.641.600,0		124.000,0		1,16
Lulo	73,0	6.000,0	200.000,0	87.600.000,0		1.293.000,0	45.114.000,0	472.440.000,0		582.000,0		1,94
Caña Panelera	1.820,0	5.000,0	300.000,0	2.730.000.000,0		618.000,0	2.353.260.000,0	42.486.000,0		207.000,0		1,16
Yuca	430,0	6.700,0	70.000,0	201.670.000,0		1.293.000,0	231.340.000,0	3.767.740.000,0		69.000,0		0,87
Chontaduro	75,0	12.000,0	700.000,0	630.000.000,0		538.000,0	60.960.000,0	-29.670.000,0		7.578.200,0		10,33
Frijol	30,0	600,0	1.840.000,0	33.120.000,0		812.000,0	10.185.000,0	569.040.000,0		764.500,0		3,25
Maíz	80,0	2.500,0	250.000,0	50.000.000,0		1.159.000,0	22.400.000,0	-25.757.000,0		345.000,0		2,23
Fique	1.307,0	1.200,0	480.000,0	752.832.000,0		280.000,0	563.300.830,0	27.600.000,0		152.740,0		1,36
Plátano	400,0	1.500,0				423.260,0		199.631.180,0				

3. METODOLOGÍA

3.1 DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1.1 Materiales y equipos. Se utilizaron frutos de *Bactris gasipaes* cosechados en dos regiones del país que fueron: Tambo (Región Andina) y Sabaletas (Región Pacífica) debido a que estas dos zonas son las que surten a Cali de este fruto, casi más del 55% del chontaduro que llega a la ciudad procede del Tambo (Cauca) y aproximadamente el 35% procede de Sabaletas (Valle del Cauca). Se utilizaron racimos de la variedad roja: Sabaletas (rojo costeño) y el Tambo (rojo cauca), debido a que la literatura muestra que esta variedad es la que contiene más aceite (ESTUPIÑAN, 1999), el costo por racimo (contiene aprox. 80 frutos de chontaduro de 50g c/u) osciló entre \$15000 y \$20000 a la fecha, es decir, entre \$3800 y \$5000 por Kg de fruto.

Los solventes usados fueron Hexano grado analítico (Marca Merck, $T_b = 67$ a 69°C , \$56000/L) y Éter de petróleo grado comercial (Marca Merck, $T_b = 40$ a 60°C , \$8300/L), reactivos de uso común en extracción por solventes en la industria de alimentos (NTC 3343, 2006) y de disponibilidad en el laboratorio de ejecución de esta investigación (Laboratorio de Investigaciones en Alimentos del Qco. Jaime Restrepo Ph.D., Dpto. de Química, Universidad del Valle).

Los equipos y materiales que se describen a continuación, se requirieron para el montaje a escala de laboratorio de la extracción de aceite del fruto de chontaduro:

- Reactivos principales: Hexano, Éter de petróleo.
- Materia prima: Chontaduro variedades Tambo y Sabaletas.
- Plancha de calentamiento.
- Horno por convección natural.
- Instrumentos de medición (balanza analítica, termómetro)

- Material de vidrio: Montaje *soxhlet* 24/40 con matraz redondo de 500 mL, montaje *Rotaevaporador*.
- Molino de cuchillas, marca *Willey Mill*.
- Otros: papel filtro *whatman* 1, recipientes metálicos para cocción capacidad de 10L, tubos *eppendorf* de 1,5 mL para coleccionar muestras.
- Otros reactivos: hipoclorito de sodio al 4%, NaOH al 10%

3.1.2 Procedimiento experimental. La Figura 6 presenta el diagrama de bloques para la extracción por solventes de aceite del fruto de *Bactris gasipaes*:

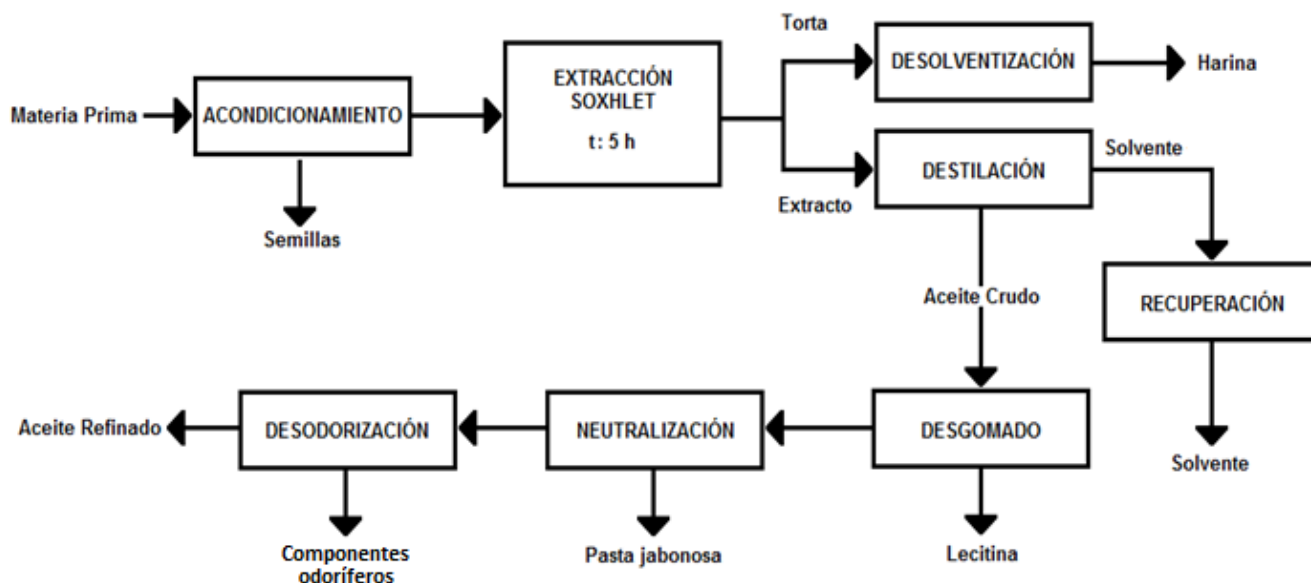


Figura 6. Diagrama de bloques para la extracción de aceite del fruto de *Bactris gasipaes*.

- *Acondicionamiento de materia prima:* Se retiraron los frutos del racimo de cada variedad. Cada variedad fue dividida por volumen en ocho muestras, cada una de estas muestras fueron desinfectadas por espacio de 20 min, con una solución de hipoclorito de sodio al 5.25% en una relación de 5 mL en un litro de agua, esto con el fin de eliminar hongos y bacterias que pudieran estar en la superficie del fruto, luego de esto se retiró el exceso de cloro lavando con agua (JIMENEZ, 2010).

Tras la desinfección y de acuerdo al diseño experimental que en el ítem 3.2.2 se detallará, unas muestras fueron evaluadas crudas y otras fueron sometidas a proceso de cocción, es recomendable el tratamiento térmico previo a la extracción debido a que elimina la posible presencia de peroxidasa, factor inhibidor de enzimas proteolíticas presentes en la harina cruda del chontaduro (CHAPARRO *et al.*, 1999), y para ablandar los tejidos del chontaduro para que éste ceda su aceite más fácilmente (BAILEY, 1979).

Para el proceso de cocción, se tomaron los frutos enteros del chontaduro y fueron vertidos en un recipiente metálico de capacidad de 16L, en el cual se agregó agua en relación de 2.0L/Kg de fruto de chontaduro. La cocción se desarrolló por 1.25 h, este tiempo fue el óptimo encontrado en las pruebas de familiarización y corresponde al tiempo que tardan en desprenderse los tallos de los frutos, terminada la cocción se retiraron los frutos del recipiente y fueron llevados a un proceso de molienda.

El proceso de molienda se desarrolló troceando las muestras (habiendo extraído previamente la semilla) crudas, cocinadas con o sin cáscara de acuerdo al diseño experimental, luego se usó un rodillo de panadería para disminuir más su tamaño por compresión, a continuación las harinas húmedas fueron sometidas a un proceso de secado a razón de 5 h/kg, a 45°C debido a que a dicha temperatura no se desnaturalizan componentes activos de las harinas evaluadas.

Finalmente las muestras fueron ingresadas al molino de cuchillas (marca Willey Mill model NO2) en el cual se realizó la molienda hasta que el tamaño de partícula fuera tal que el 98% o más de la harina pudo pasar a través de un tamiz 70 *mesh* (NTC 267, 2007), esto con el fin de aumentar el área de contacto del solvente en la extracción y facilitar el proceso de recuperación del mismo y secado de la torta en etapas posteriores. La humedad de la harina fue inferior al 14.5% (NTC 267, 2007) para evitar la probabilidad de contaminación por microorganismos durante el almacenaje previo a la etapa de extracción del aceite, esta condición de humedad se mantuvo para la harina obtenida de la torta residual de la extracción.

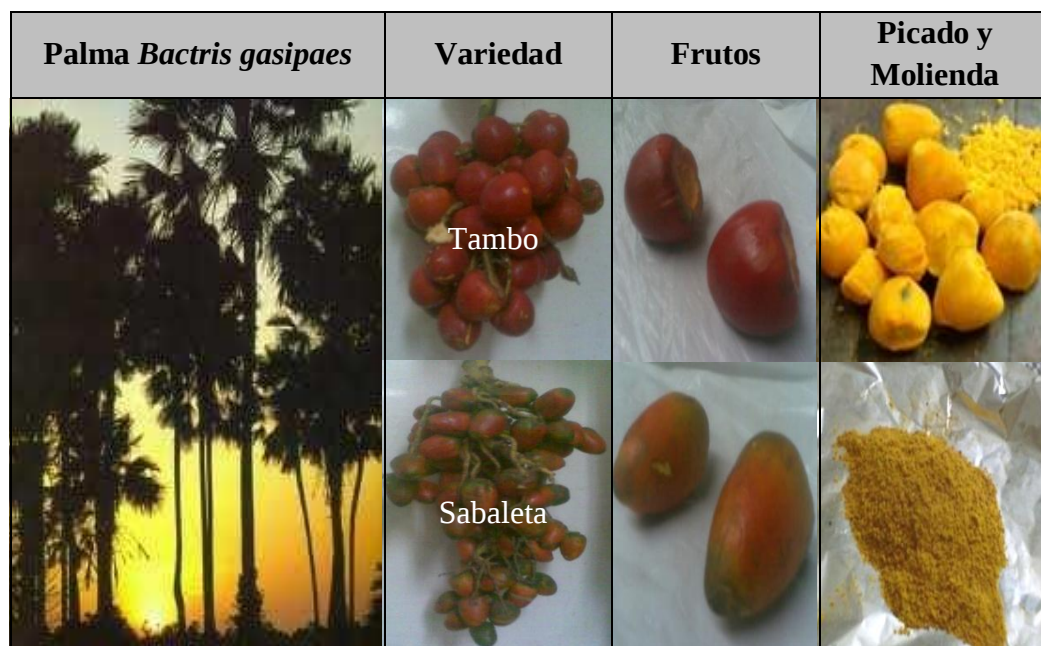


Figura 7. Acondicionamiento del fruto de *Bactris gasipaes*.

- *Extracción soxhlet del aceite:* Se utilizó el método soxhlet ya que en pruebas de familiarización se encontró que era el método más adecuado para extraer aceite a este fruto, debido a que el método de prensado y la simple extracción con agua arrojaron rendimientos menores al 3%, inferiores a los obtenidos con soxhlet que fueron mayores al 7%, lo que es válido de acuerdo a la literatura: ...“*cuando se parte de semillas o frutos que contienen grandes cantidades de aceite y pequeñas de sólidos, el aceite que queda sin extraer por presión en el residuo, es sólo una mínima fracción del total, sin embargo, cuando se trata de semillas como la soya cuyo contenido en aceite es bajo, tanto que el que queda en el residuo puede llegar a ser del 20 al 25% del total*” y en pruebas preliminares se encontró que el porcentaje de aceite en el chontaduro (aceite en fruto: 13% aprox.) es menor que en la soya (aceite en semilla: 18.6%) por tanto la extracción por presión no es viable en este proceso, por ello la misma literatura aclara que ...“*en estos casos conviene extraer con disolvente este aceite retenido, consiguiéndose por este método disminuir el porcentaje a menos del 1%*”... (BAILEY, 1979).

La cantidad de aceite extraído por corrida estuvo limitada por la cantidad de muestra máxima que se podía introducir en el equipo de soxhlet que fue de 5g, los cuales fueron contenidos en filtros *whatman1* para la extracción.

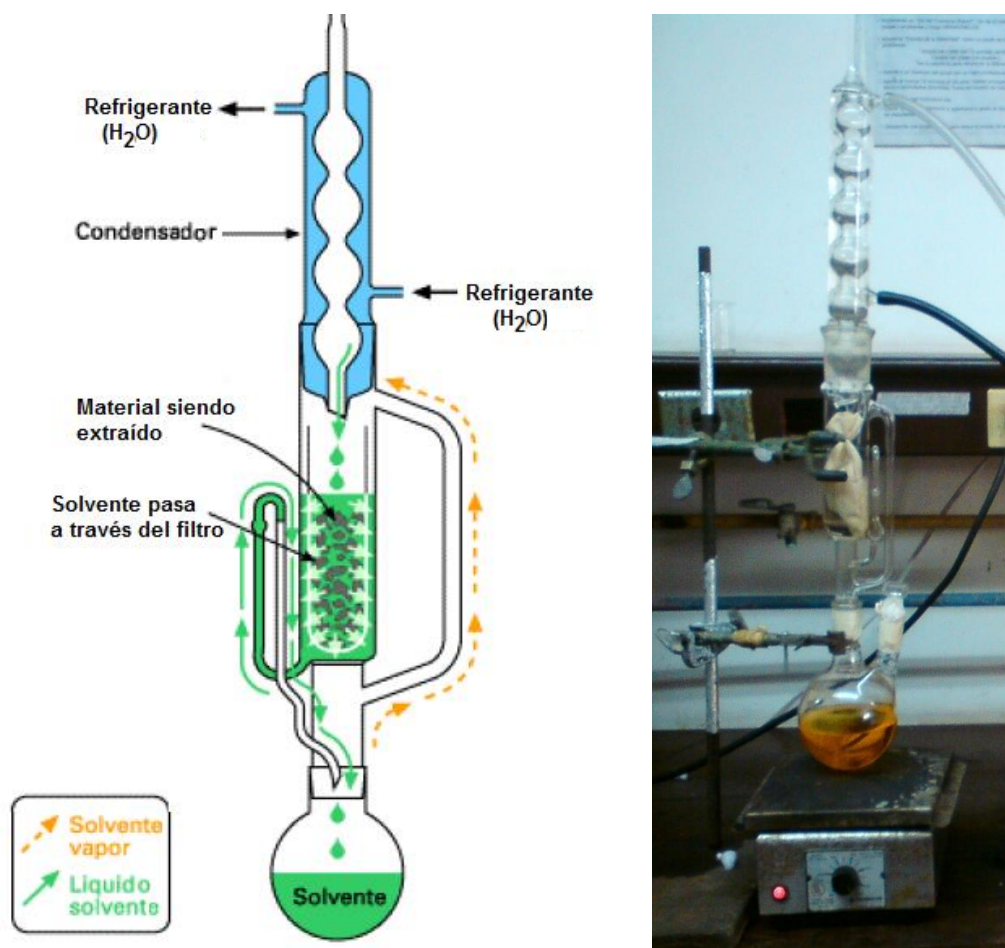


Figura 8. Extracción soxhlet del aceite del fruto de *Bactris gasipaes*.

La extracción del aceite se llevó a cabo en 2 etapas: una primera etapa correspondió en determinar a un mismo tiempo de extracción, el tipo de solvente (dentro de los evaluados), tipo de muestra (pulpa con o sin cáscara, cruda o cocinada) y lugar de origen del fruto que ofrecieran mejores resultados de rendimiento de extracción de aceite y calidad del mismo. Los solventes utilizados fueron hexano ($T_b = 67$ a 69°C) y éter de petróleo ($T_b = 40$ a 60°C), la cantidad requerida para la extracción fue de 375 mL.

En la segunda etapa se repitió la extracción con la muestra y solvente de la primera etapa que proporcionó mayor cantidad y mejor calidad de aceite, esto con el fin de realizar una curva de extracción con los datos de peso de aceite extraído cada 20 minutos y validar que el tiempo de extracción usado en la primera etapa era el necesario que permitía retirar la mayor cantidad de aceite.

Se tomaron las tortas de harina resultantes de la extracción de aceite de las muestras que por lugar de origen (Tambo, Sabaletas) obtuvieron los mejores resultados en cuanto a rendimiento de extracción y calidad de aceite, se llevaron a un proceso de eliminación del solvente o *desolventización* por evaporación en horno a 45°C para obtener harinas, y finalmente se analizaron mediante análisis proximal.

- *Destilación del extracto:* De la extracción por soxhlet del aceite de las muestras del fruto del chontaduro, se obtiene un extracto y una torta, el extracto contenía: el solvente usado en la extracción y el aceite que se logró extraer de la muestra evaluada; la torta contenía: una fracción del solvente y la harina residual del proceso “desengrasada”. En esta etapa el extracto fue destilado al vacío en un rotaevaporador, por espacio de 1 h, tiempo tras el cual se alcanzó una concentración de aceite >95%. Para concentrar más el aceite, se dejó al ambiente durante 24 h en la campana de extracción, almacenado en un envase color ámbar, para evitar descomposición de los pigmentos que le dan coloración rojiza al aceite obtenido. Luego, la muestra fue evaluada en una balanza de humedad, la cual mostró que no había variación de peso en el tiempo.

De este modo se recuperó el aceite crudo y en el producto del destilado del proceso de rotaevaporar se obtuvo el solvente, el cual pasó a una etapa de *recuperación* para ser usado en extracciones posteriores.



Figura 9. Rotaevaporación del extracto.

- *Desgomado del aceite crudo:* Se hizo por hidratación ya que éste es el método más usado en estos casos por efectividad y economía; se mezcló el aceite crudo con 3% de agua, se calentó a 50°C por 30 min y se separaron las gomas hidratadas del aceite por medio de una centrífuga a 60 rpm, los fosfátidos se hidrataron y precipitaron. Posteriormente estos se pueden deshidratar y a este producto resultante purificado se le llama lecitina.
- *Neutralización del aceite desgomado:* Se realizó con soda caustica al 10% en una concentración que se determinó previamente para que reaccionen únicamente los ácidos grasos libres y no se alcancen a saponificar los triglicéridos. La mezcla aceite/soda se calentó a 60°C para acelerar la reacción y se produjo una pasta jabonosa que se separó por una primera centrifugación. Los jabones que quedaron en el aceite se eliminaron con un lavado subsiguiente y se sometieron a una segunda centrifugación. El aceite obtenido es más claro, de un atractivo color gourmet y un olor característico propio del *Bactris gasipaes*, por lo que se consideró que no era necesario realizar blanqueo ni *desodorización* al aceite neutralizado.

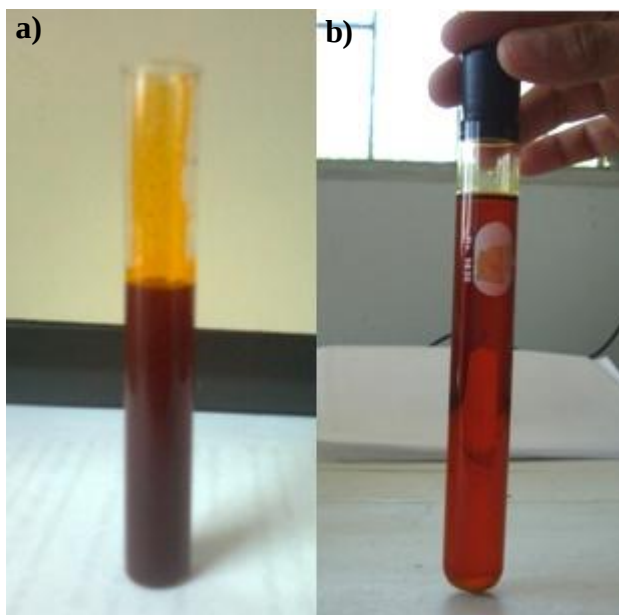


Figura 10 a) Aceite del fruto de *Bactris gasipaes* crudo, b) Aceite del fruto de *Bactris gasipaes* neutralizado.

3.1.3 Caracterización del aceite y harina residual. La calidad del aceite se evaluó para todos los extractos obtenidos mediante *Índice de yodo*, análisis facilitado por el laboratorio de calidad de Industrias del Maíz S.A. Los aceites de las muestras con mejores resultados de rendimiento y calidad por cada variedad (Tambo, Sabaletas) se analizaron mediante RMN ^1H , IR, HPLC, Color *Lovibond*, Índice de Peróxidos para evaluar la calidad de este aceite frente a otros de uso cotidiano en la industria de alimentos, estos análisis se realizaron en los laboratorios del Departamento de Química de la Universidad del Valle y en los laboratorios de calidad de Industrias del Maíz S.A.

Para los análisis antes mencionados los aceites de cada muestra se filtraron para retirar impurezas y luego se llevaron a la balanza de humedad para reducir el contenido de agua que pueda interferir con la correcta lectura de los equipos de análisis, se almacenaron en un lugar fresco, protegido de la luz y el aire (HOYOS, 2001).

Las tortas de extracción de las muestras que por variedad mostraron el mejor comportamiento en cuanto a rendimiento de extracción y calidad del aceite, se evaluaron

por análisis proximal, que consiste en determinar humedad, ceniza, extracto etéreo, proteína y fibra bruta, esto con el fin de considerar la opción de usarla como harina para reemplazar al maíz o al trigo en consumo humano (RESTREPO, 2007) o como alimento para animales, se sabe que para engorde de pollos las cáscaras y la pulpa de chontaduro reemplazan muy bien al maíz (CHAPARRO,1999).

3.2 PLANTEAMIENTO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

3.2.1 Determinación de variables. Mediante pruebas de familiarización y la literatura disponible para extracción de aceites en general y específicamente del fruto de *Bactris gasipaes*, se establecieron las siguientes variables de operación:

- *Variedad según origen:* Se determinaron de acuerdo a las variedades de mayor oferta en la ciudad de Cali, y de mayor contenido de aceite según estudios previos (ESTUPIÑAN, 1999), en este caso la variedad de chontaduro procedente de Sabaletas (Valle del Cauca) y Tambo (Dpto. del Cauca).
- *Tipo de solvente:* Los solventes usados en la extracción se determinaron de acuerdo a lo que la NTC 3343 recomienda y la disponibilidad de los mismos en el laboratorio facilitado para esta investigación, especialmente los volúmenes requeridos para realizar la extracción a las muestras. Los solventes que cumplían estas características fueron el hexano y el éter de petróleo.
- *Tratamiento térmico:* Se evaluó la influencia de esta variable en el rendimiento y calidad del aceite obtenido mediante extracción aplicada a muestras previamente cocidas comparadas con las muestras crudas. Debido a que la literatura recomienda cocinar las muestras de chontaduro para evitar la acción de peroxidasas que disminuyen las cualidades de la harina residual del proceso de extracción.
- *Composición de la muestra:* El efecto de extraer aceite de muestras conformadas por la pulpa o la pulpa y cáscara del fruto del chontaduro fue evaluado también,

dando cumplimiento al objetivo general de obtener aceite de la pulpa y residuos del fruto del chontaduro.

- *Variables fijas:* El tiempo de cocción de las muestras a las que se les aplicó el tratamiento térmico se fijó en 1.25 h de acuerdo al conocimiento empírico de las personas que venden el fruto cocido para su consumo inmediato, experiencia que se repitió y validó en el laboratorio. El tiempo de extracción se dejó en 5 h, este tiempo fue justificado en pruebas previas y con la curva de extracción de la muestra que mejores resultados de rendimiento de extracción y calidad de aceite arrojó. El tamaño de partícula se fijó en 212 micras o tamiz No. 70, correspondiente al tamaño de partícula requerido a harinas provenientes de maíz por la NTC 267. El peso de la muestra para todos los ensayos fue de 5g, que es la cantidad que el soxhlet permitía manejar para la extracción así como 375 mL del solvente en el balón del montaje.

Las variables de respuesta que se evaluaron en esta investigación fueron:

- *Porcentaje de Rendimiento de extracción:* La muestra obtenida tras la etapa de destilación del extracto fue la usada para determinar el peso de aceite obtenido, el cual corresponde a la diferencia entre el peso del balón del rotaevaporador con el aceite concentrado y el peso de éste vacío. Este resultado fue dividido entre el peso inicial de la muestra, que fueron los 5g de harina que se ingresaron al soxhlet de extracción y de esta manera se obtiene el porcentaje de rendimiento de la extracción.

La ecuación que representa este procedimiento se muestra a continuación:

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{(X_i - X)}{Y} * 100 \quad [\text{Ec. 02}]$$

En donde:

- X = Peso balón vacío rotaevaporador.
- Xi = Peso balón rotaevaporador con muestra de aceite.
- Y = Peso muestra de harina ingresada al soxhlet.

- *Índice de Yodo*: Análisis hecho en Industrias de Maíz por el método de Wijs según metodología de la AOCS (American Oil Chemist Society) permite observar el grado de insaturación del aceite, entre mayor sea éste índice, mayores serán las insaturaciones y en consecuencia mejor será la calidad del aceite.

3.2.2 Determinación del diseño experimental. Las condiciones de operación evaluadas para la extracción de aceite del fruto del *Bactris gasipaes*, se muestran en la Tabla 9:

Tabla 9. Condiciones de operación

Condición (niveles) Variable (factores)	1	2
Variedad según origen	Tambo	Sabaleta
Tipo de solvente	Hexano	Éter de petróleo
Tratamiento térmico	Crudo	Cocido
Composición muestra	Pulpa	Pulpa y cáscara

El diseño experimental que se planteó fue un factorial 2^4 , en donde los factores fueron variedad según origen, tipo de solvente, tratamiento térmico y composición de la muestra, cada uno con dos niveles como se muestra en la Tabla 9, con lo cual se generaron dieciséis combinaciones que correspondieron a los ensayos realizados. Cada ensayo se realizó por duplicado para evaluar la repetibilidad.

El análisis estadístico se realizó usando el programa Statgraphics Centurion XV, el cual proporciona mediante diagramas de Pareto y superficies de respuesta, la influencia de las variables controlables del proceso sobre las variables de respuesta (rendimiento de extracción y calidad del aceite extraído). Con las condiciones óptimas dentro del rango evaluado se compararon las características del aceite obtenido del fruto del chontaduro con las características de otros aceites de uso común en la industria de alimentos, esto se repitió para la harina obtenida, con el fin de explorar el potencial de aplicación de los productos de valor agregado que se pueden lograr a partir de esta materia prima en exceso desperdiciada.

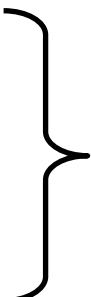
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 CONDICIONES ÓPTIMAS DE OPERACIÓN

Se realizaron dos repeticiones a las condiciones dadas en la Tabla 9 del capítulo de Metodología, dando como resultado 32 muestras de aceite, a las cuales se les determinó el porcentaje de rendimiento y el índice de yodo, los resultados obtenidos se muestran en el Apéndice A.

A continuación se presentan los resultados del análisis estadístico obtenidos con Statgraphics para cada ensayo, se procesaron las dos repeticiones, y se determinaron mediante gráficos de Pareto y superficies de respuesta, las condiciones dentro de las evaluadas que permitieron obtener los mejores resultados en las variables de respuesta.

La nomenclatura usada en los diagramas de Pareto es:

- A: Variedad según origen,
 - B: Tipo de solvente,
 - C: Tratamiento térmico,
 - D: Composición muestra,
 - AB: 
 - AC:
 - AD:
 - BC:
 - BD:
 - CD:
- Efecto de interacción
de las variables

El rango de operación de los factores evaluados fue normalizado con el fin de representarlo gráficamente tal como se muestra en la siguiente Tabla:

Tabla 10. Normalización variables controlables (Factores)

<i>Factor</i>	<i>Nivel</i>	
	-1.0	1.0
A: Variedad según origen	(Sabaleta)	(Tambo)
B: Tipo de solvente	(Hexano)	(Éter de petróleo)
C: Tratamiento térmico	(Crudo)	(Cocinado)
D: Composición muestra	(Mesocarpio con cáscara)	(Mesocarpio sin cáscara)

Las características del diseño base que fueron procesadas por el programa Statgraphics se describen a continuación:

- Nombre del diseño: Factorial 2⁴
- Número de corridas: 16
- Número de factores experimentales: 4
- Número de repeticiones: 2
- Número de niveles por cada factor: 2
- Nivel de confianza: 95%
- Número de respuestas: 2

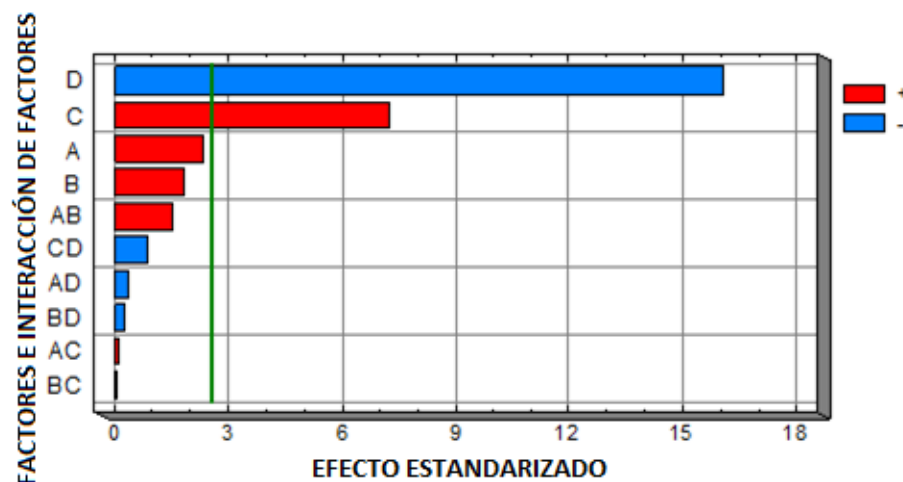
4.1.1 Análisis del rendimiento de extracción del aceite. Se evaluó el efecto de las variables controlables en el porcentaje de extracción del aceite a partir del fruto de la palma *Bactris gasipaes* mediante análisis de varianza –ANOVA- (ver Tabla 11) y el diagrama de Pareto de la Figura 11.

Tabla 11. ANOVA para %rendimiento de extracción de aceite.

<i>Factores</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: Variedad según origen	1,42802	1	1,42802	5,51	0,0658
B: Tipo de solvente	0,9025	1	0,9025	3,48	0,1211
C: Tratamiento térmico	13,653	1	13,653	52,64	0,0008
D: Composición muestra	67,158	1	67,158	258,95	0,0000
AB	0,616225	1	0,616225	2,38	0,1838
AC	0,0049	1	0,0049	0,02	0,8960
AD	0,0324	1	0,0324	0,12	0,7382
BC	0,000225	1	0,000225	0,00	0,9776
BD	0,021025	1	0,021025	0,08	0,7873
CD	0,1936	1	0,1936	0,75	0,4271
Error total	1,29675	5	0,25935		
Total (corr.)	85,3067	15			

R²= 98,4799%

R²(ajustada por G.L.) = 95,4397%



A: Variedad según origen B: Tipo de solvente C: Tratamiento térmico D: Composición muestra
 Sabaleta/Tambo Hexano/Éter de petróleo Crudo/Cocinado Pulpa con/sin cáscara

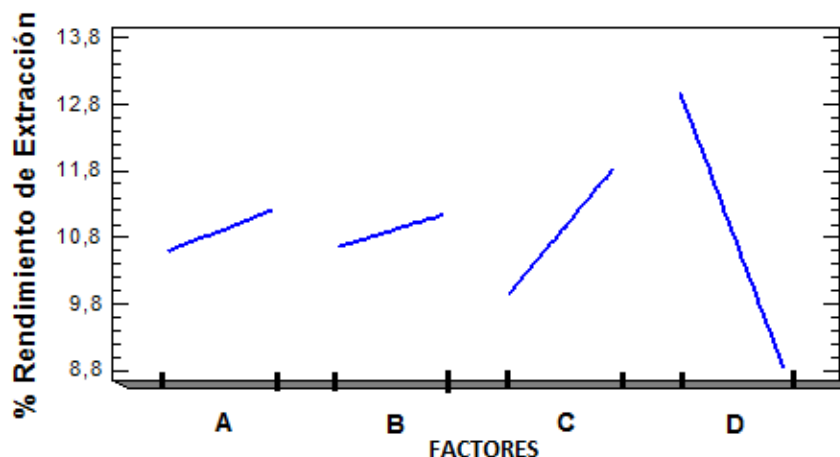
Figura 11. Diagrama de Pareto estandarizado para el rendimiento de extracción del aceite del fruto de *Bactris gasipaes*.

Los factores con influencia significativa sobre esta variable de respuesta con un nivel de confianza del 95% de acuerdo a la ANOVA (ver Tabla 11) y el diagrama de Pareto (ver Figura 11), fueron:

- C: Tratamiento térmico (crudo o cocido)
- D: Composición muestra (mesocarpio con o sin cáscara)

El factor C ejerció una influencia de magnitud positiva, lo cual indicó de acuerdo a la Tabla 10 que el aplicar el tratamiento térmico: cocido (designado con valor positivo: +1) propició el aumento de la cantidad de aceite extraído, esto se debió al ablandamiento de los tejidos del mesocarpio para lograr el rompimiento de las celdas que contienen el aceite y de este modo facilitar la acción del solvente sobre las mismas (CALA y BERNAL, 2008); el factor D ejerció una influencia negativa, es decir, el realizar la extracción sobre el mesocarpio y la cáscara (designado con valor negativo: -1) permitió alcanzar mayores % de rendimiento de extracción, debido a que la cáscara albergó más moléculas de aceite que aumentaron la proporción de éste por peso de muestra.

Se realizó una gráfica de efectos principales (ver Figura12) para evaluar qué nivel por factor permitió obtener mejores resultados en el rendimiento de extracción. La pendiente de las rectas indicó el nivel de dicho factor, sabiendo que una pendiente que tiende a 0 u horizontal, significa que los niveles evaluados ejercen la misma influencia sobre la variable de respuesta, en tanto que una pendiente alejada de 0, indica una fuerte diferencia entre un nivel y otro.



A: Variedad según origen B: Tipo de solvente C: Tratamiento térmico D: Composición muestra
Sabaleta/Tambo Hexano/Éter de petróleo Crudo/Cocinado Pulpa con/sin cáscara

Figura12. Diagrama de efectos principales para el rendimiento de extracción del aceite del fruto de *Bactris gasipaes*.

Los niveles principales para cada factor de acuerdo a la gráfica de Pareto y el diagrama de efectos principales que mejoraron el % de rendimiento de la extracción fueron:

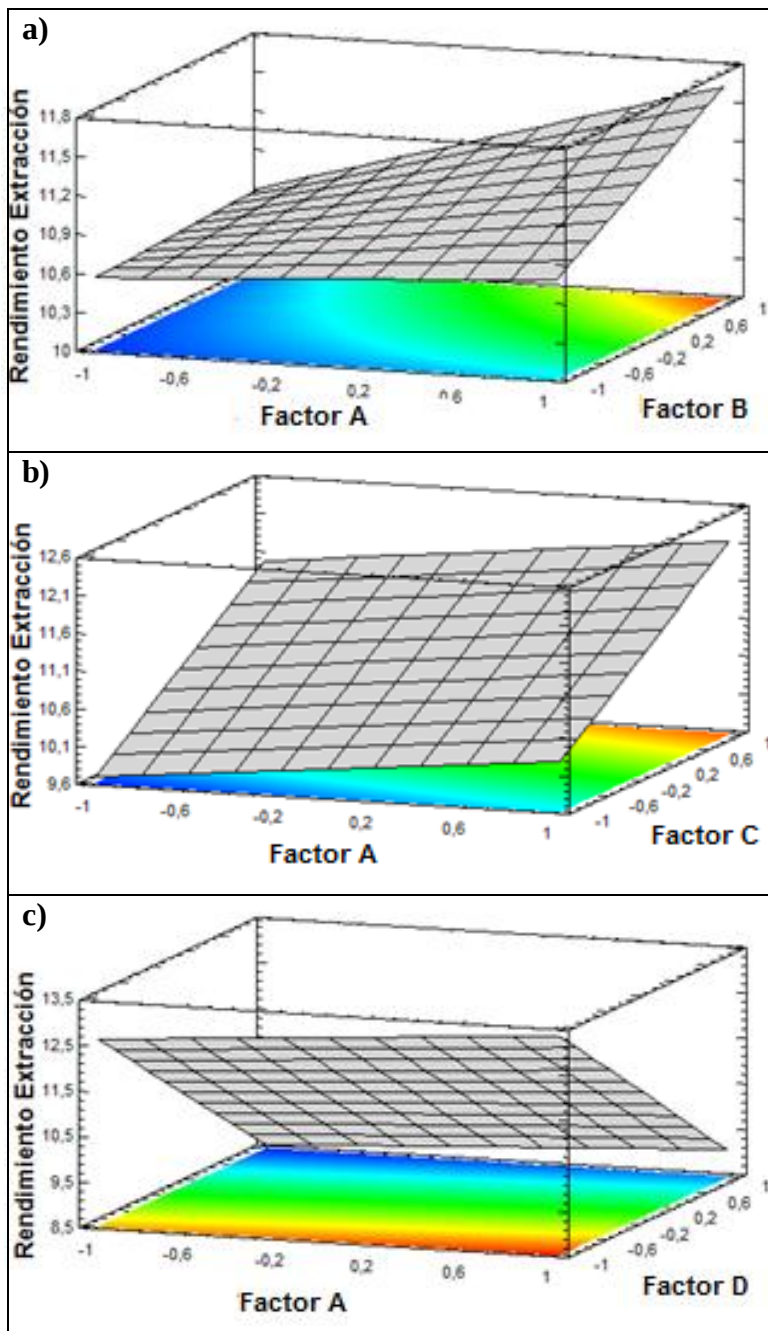
Tabla 12. Niveles que mejoraron el % de rendimiento en la extracción del aceite.

Factor	Nivel		Nivel Óptimo	% incremento*
	-1.0	1.0		
A: Variedad según origen	(Sabaleta)	(Tambo)	1,0	5,66
B: Tipo de solvente	(Hexano)	(Éter)	1,0	4,23
C: Tratamiento térmico	(Crudo)	(Cocinado)	1,0	19,1
D: Composición muestra	(Mesocarpio con cáscara)	(Mesocarpio sin cáscara)	-1,0	46,89

*Porcentaje de incremento al aplicar el nivel óptimo.

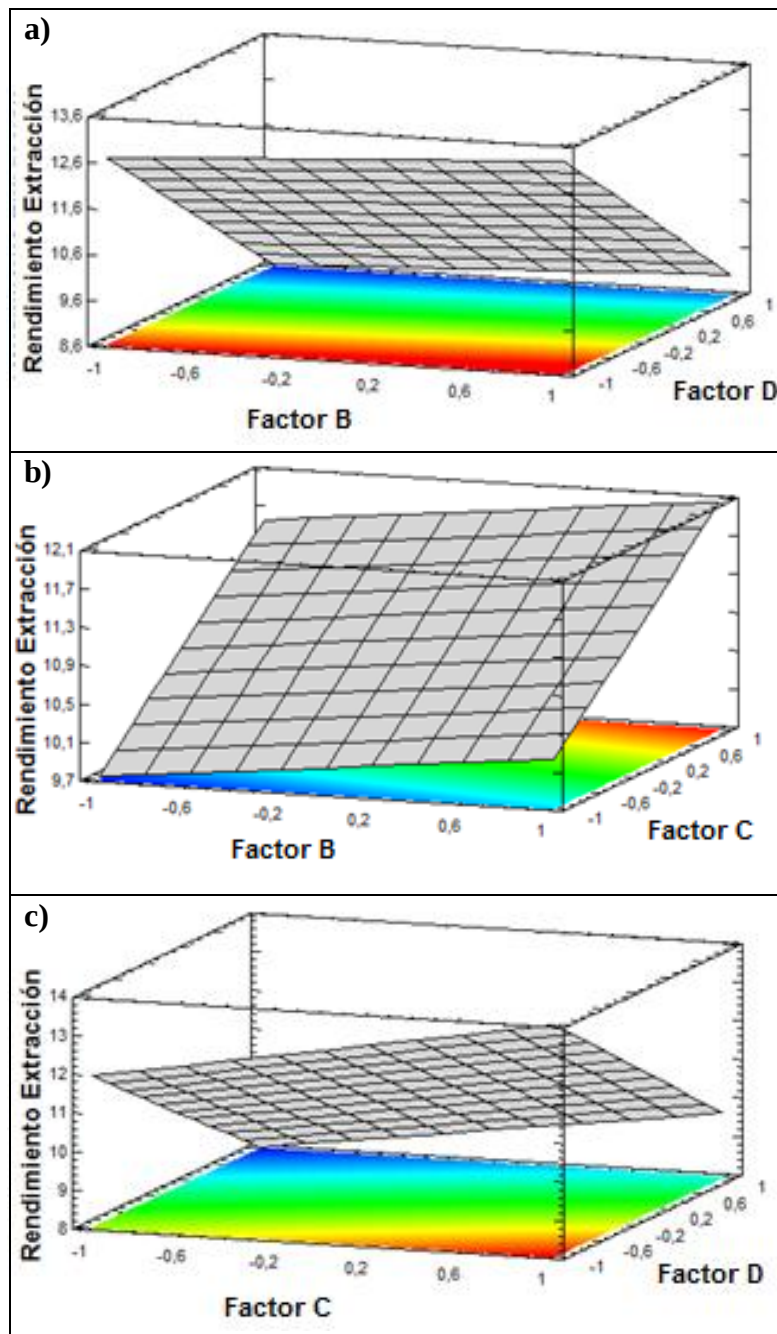
El efecto de la interacción entre variables controlables se analizó mediante graficas de superficie, dichas gráficas mostraron la estimación del % de rendimiento de extracción en función de las variables controlables: variedad según origen, tipo de solvente, tratamiento

térmico y composición de la muestra, evaluadas por parejas. La altura de la superficie representó los valores del % de rendimiento de extracción y en la parte inferior se ubicó una rampa de colores que va de rojo a azul, en donde el rojo es el valor máximo.



A: Variedad según origen B: Tipo de solvente C: Tratamiento térmico D: Composición muestra
Sabaleta/Tambo Hexano/Éter de petróleo Crudo/Cocinado Pulpa con/sin cáscara

Figura13. Gráficas de superficie de respuesta para %rendimiento de extracción



A: Variedad según origen B: Tipo de solvente C: Tratamiento térmico D: Composición muestra
Sabaleta/Tambo Hexano/Éter de petróleo Crudo/Cocinado Pulpa con/sin cáscara

**Figura14. Gráficas de superficie de respuesta para
 %rendimiento extracción**

Las Figuras 13c), 14a) y 14c) permitieron observar que la interacción del factor D: Composición fruto (mesocarpio con o sin cáscara) con cualquiera de los otros tres factores o variables controlables, es el factor que logró mayores % de rendimiento de extracción del aceite del fruto *Bactris gasipaes*, siendo la 14c) la de mayor valor en la variable de respuesta y ésta correspondió a la interacción de las variables controlables C: Tratamiento térmico y D: Composición muestra, especialmente los niveles cocinado y mesocarpio con cáscara respectivamente, ya que de la interacción de ambas se logró un % de rendimiento de extracción de aceite de aproximadamente 14%.

La superficie de respuesta de la Figura 13a), es la gráfica que mostró el menor % de rendimiento de los máximos alcanzados, esto se debió a que esta gráfica muestra la interacción de las variables controlables que independiente del nivel escogido para el tipo de solvente no generaron gran efecto sobre la variable de respuesta.

4.1.2 Análisis de la calidad del aceite. Se evaluó el efecto de las variables controlables en el índice de yodo determinado por el método de Wijs, del aceite extraído a partir del fruto de la palma *Bactris gasipaes* mediante análisis de varianza, el cual se muestra en la Tabla siguiente:

Tabla 13. ANOVA para el índice de yodo del aceite extraído.

<i>Factores</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A: Variedad según origen	385,337	1	385,337	42,48	0,0013
B: Tipo de solvente	14,025	1	14,025	1,55	0,2688
C: Tratamiento térmico	131,79	1	131,79	14,53	0,0125
D: Composición muestra	1377,89	1	1377,89	151,90	0,0001
AB	0,6084	1	0,6084	0,07	0,8060
AC	1,38062	1	1,38062	0,15	0,7125
AD	58,9056	1	58,9056	6,49	0,0514
BC	2,6244	1	2,6244	0,29	0,6137
BD	15,2881	1	15,2881	1,69	0,2509
CD	98,7042	1	98,7042	10,88	0,0215
Error total	45,3559	5	9,07118		
Total (corr.)	2131,91	15			

$R^2 = 97,8725 \%$

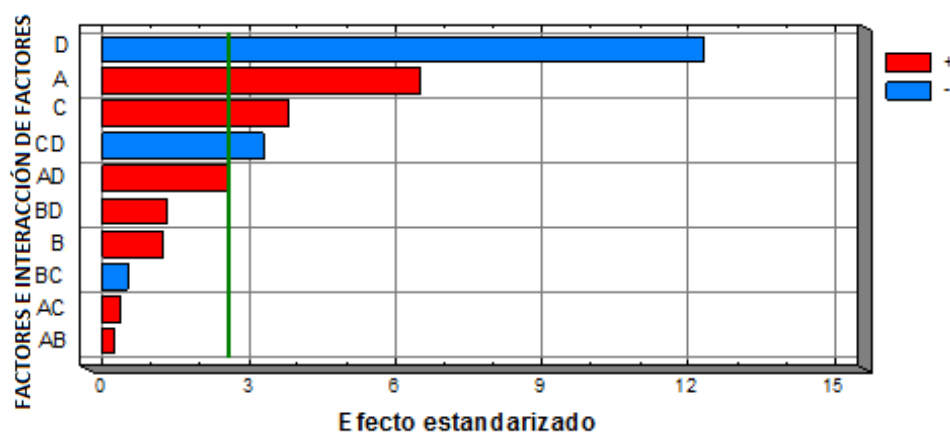
$R^2(\text{ajustada por G.L.}) = 93,6176\%$

La Tabla de ANOVA y el diagrama de Pareto (ver Figura 15) para esta variable de respuesta mostró que factores tuvieron influencia significativa sobre esta variable de respuesta a un nivel de confianza del 95%, a saber:

- A: Variedad según origen (Sabaletas o Tambo),
- C: Tratamiento térmico (crudo o cocido),
- D: Composición muestra (mesocarpio con o sin cáscara) y
- CD: Interacción entre el tratamiento térmico y la composición de la muestra.

El factor D tuvo una influencia significativa de valor negativo y de acuerdo a la Tabla 10 correspondió al nivel mesocarpio con cáscara (designado con valor negativo: -1), el factor A tuvo una influencia positiva refiriéndose a la variedad procedente del municipio del Tambo (designado con valor positivo: +1), el efecto C ejerció una influencia de magnitud positiva, lo cual indicó que el aplicar el tratamiento térmico: cocido (designado con valor positivo : +1) propició el aumento de la variable de respuesta índice de yodo.

La consecuencia de la interacción entre los factores que se observa en el diagrama de Pareto no tiene un significado físico. Para analizar el efecto de la interacción entre parejas de variables, se manejan las graficas de superficie que se muestran adelante.

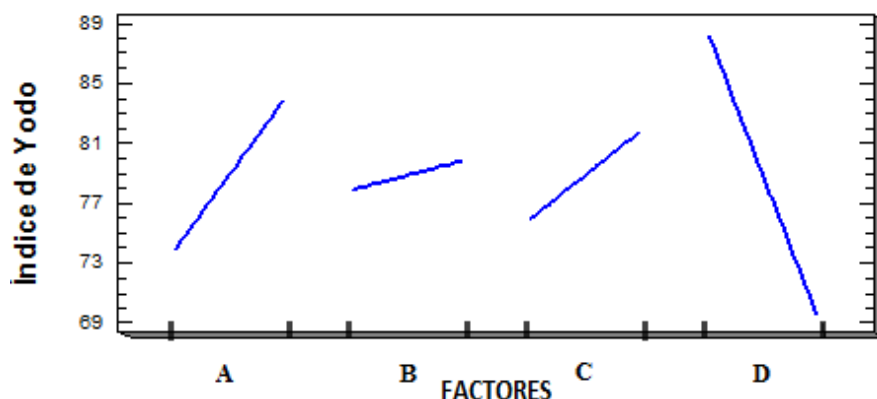


A: Variedad según origen B: Tipo de solvente C: Tratamiento térmico D: Composición muestra
Sabaleta/Tambo Hexano/Éter de petróleo Crudo/Cocinado Pulpa con/sin cáscara

Figura 15. Diagrama de Pareto estandarizado para el índice de yodo del aceite del fruto de *Bactris gasipaes*.

Los niveles que por factores permitieron obtener mejores resultados en la variable de respuesta índice de yodo, se determinaron mediante análisis de la gráfica de efectos principales (ver Figura16), esta gráfica mostró el índice de yodo como función de cada factor experimental y la pendiente de estas líneas indica cual nivel tiene o no efecto.

Los niveles de la variable controlable B que correspondía a Tipo de solvente, fue la de menor pendiente, es decir, que independientemente del solvente usado (Hexano o éter de petróleo) para la extracción, arrojaron valores similares de índice de yodo, mientras que para los efectos A, C y D, se observó que existe una fuerte diferencia entre la escogencia de un nivel y otro, pues la pendiente de estas curvas fue mayor a cero.



A: Variedad según origen B: Tipo de solvente C: Tratamiento térmico D: Composición muestra
 Sabaleta/Tambo Hexano/Éter de petróleo Crudo/Cocinado Pulpa con/sin cáscara

Figura 16. Diagrama de efectos principales para el Índice de Yodo del aceite del fruto de *Bactris gasipaes*.

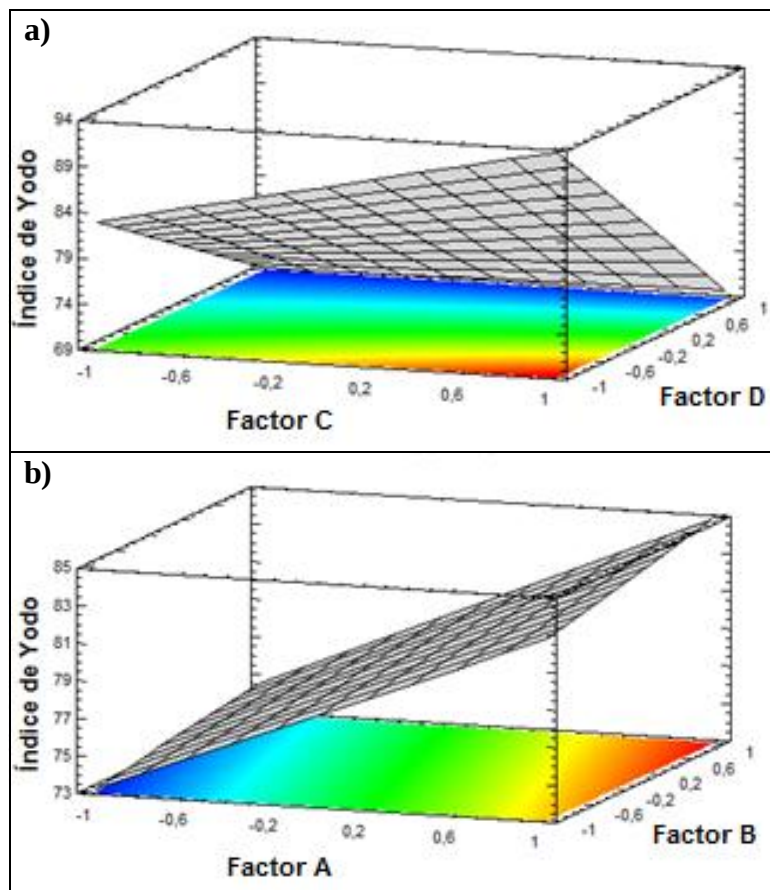
Los niveles principales para cada factor de acuerdo a la gráfica de Pareto y el gráfico de efectos principales que favorecieron los valores del índice de yodo del aceite extraído fueron:

Tabla 14. Niveles que favorecieron el aumento del índice de yodo del aceite extraído.

Factor	Nivel		Nivel Óptimo	% incremento*
	-1.0	1.0		
A: Variedad según origen	(Sabaleta)	(Tambo)	1,0	13,98
B: Tipo de solvente	(Hexano)	(Éter)	-1,0	3,09
C: Tratamiento térmico	(Crudo)	(Cocinado)	1,0	8,5
D: Composición muestra	(Mesocarpio con cáscara)	(Mesocarpio sin cáscara)	-1,0	27,19

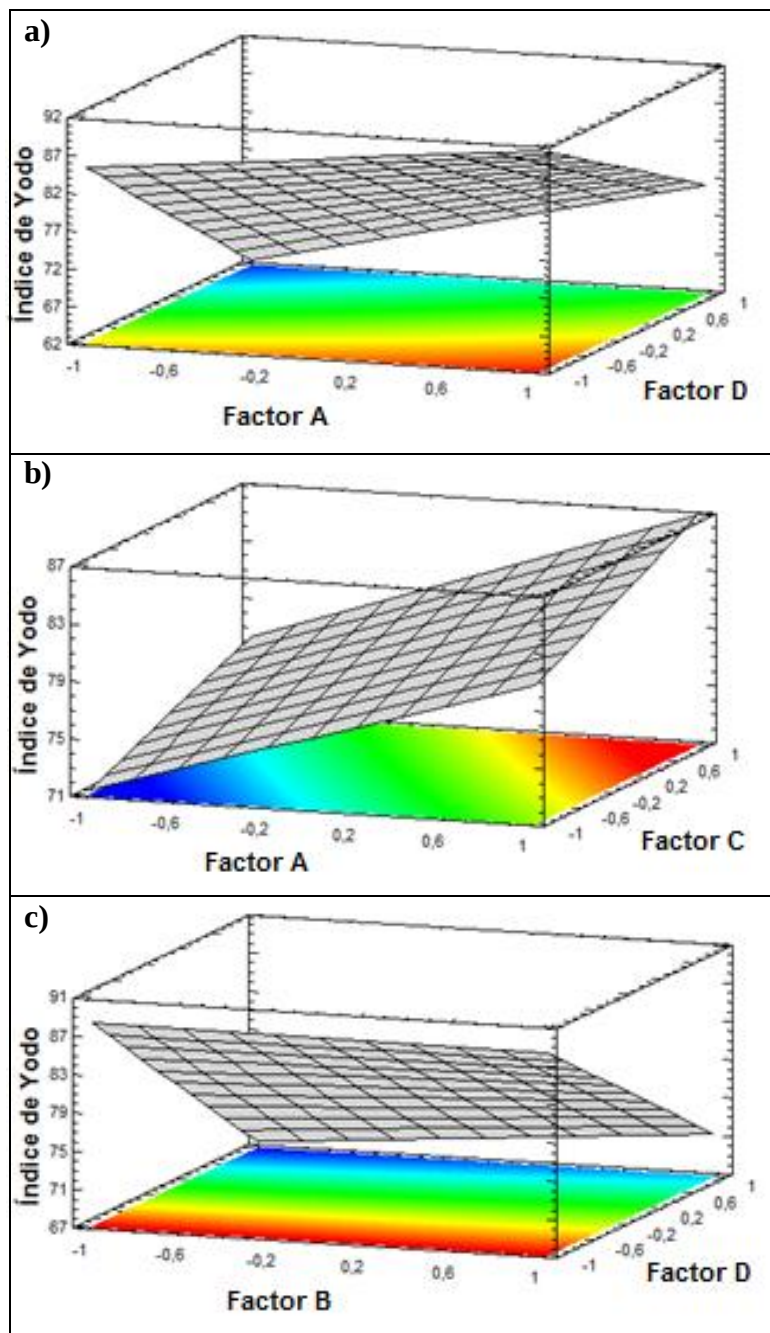
*Porcentaje de incremento al aplicar el nivel óptimo.

Mediante gráficas de superficie se mostró el índice de yodo del aceite extraído en función de parejas de variables controlables. Las Figuras 17a), 18a) y 18c) permitieron observar que la interacción del factor D con cualquiera de los otros tres factores o variables controlables, alcanzó altos valores del índice de yodo del aceite del fruto *Bactris gasipaes*, siendo la 17a) la que mayor valor en la variable de respuesta logró, y ésta correspondió a la interacción de las variables controlables C y D, especialmente las condiciones: cocinado para el factor C y mesocarpio con cáscara para el factor D, ya que de la interacción de ambas el valor para el índice de yodo logrado fue de 94 aproximadamente.



A: Variedad según origen **B:** Tipo de solvente **C:** Tratamiento térmico **D:** Composición muestra
Sabaleta/Tambo Hexano/Éter de petróleo Crudo/Cocinado Pulpa con/sin cáscara

Figura17. Gráficas de superficie de respuesta para índice de yodo.

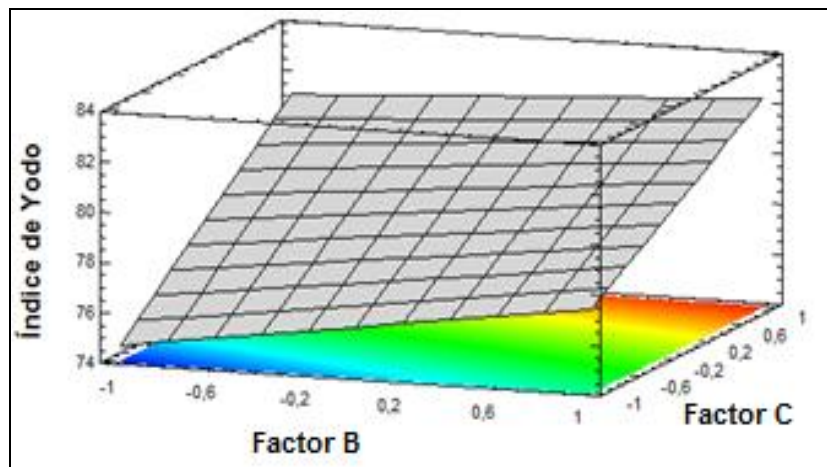


A: Variedad según origen B: Tipo de solvente C: Tratamiento térmico D: Composición muestra
Sabaleta/Tambo Hexano/Éter de petróleo Crudo/Cocinado Pulpa con/sin cáscara

Figura 18. Gráficas de superficie de respuesta para índice de yodo.

La superficie de respuesta de la Figura 19, es la gráfica con el menor índice de yodo, de los máximos alcanzados, de 82 aproximadamente, esto se debió a que esta gráfica muestra la

interacción de las variables controlables B: Tipo de solvente y C: Tratamiento térmico que no muestran una fuerte influencia en comparación a otras interacciones.



A: Variedad según origen B: Tipo de solvente C: Tratamiento térmico D: Composición muestra
Sabaleta/Tambo Hexano/Éter de petróleo Crudo/Cocinado Pulpa con/sin cáscara

Figura 19. Gráfica de superficie de respuesta para índice de yodo.

4.1.3 Condiciones óptimas de operación. Del análisis realizado en los dos ítems anteriores se observó que la única condición de las óptimas determinadas por el programa Statgraphics que varía de una variable de respuesta a otra, es el tipo de solvente a usar, Hexano o Éter de petróleo, por razones de costo (Hexano \$56000/L y Éter de petróleo \$8300/L), se recomienda usar el éter de petróleo (más económico). Bajo las condiciones evaluadas en esta investigación, los niveles dentro de los factores estudiados que proporcionan los mejores resultados en las variables de respuesta fueron:

Tabla 15. Niveles escogidos para el proceso de extracción de aceite de chontaduro.

Factor	Nivel óptimo		
	% Rendimiento de extracción	Índice de Yodo	Proceso
A: Variedad según origen	1,0 (Tambo)	1,0 (Tambo)	1,0 (Tambo)
B: Tipo de solvente	1,0 (Éter de petróleo)	-1,0 (Hexano)	1,0 (Éter de petróleo)
C: Tratamiento térmico	1,0 (Cocinado)	1,0 (Cocinado)	1,0 (Cocinado)
D: Composición muestra	-1,0 (Mesocarpio con cáscara)	-1,0 (Mesocarpio con cáscara)	-1,0 (Mesocarpio con cáscara)

Bajo las condiciones de la cuarta columna se hizo una curva de extracción para determinar y validar que tras 5 h de extracción se obtendría la mayor cantidad de aceite posible de las muestras evaluadas. Los datos obtenidos se muestran en la Tabla 16 y Figura 20.

Tabla16. Datos de la curva de extracción a condiciones óptimas.

t(min)	%Rendimiento de extracción
20	4,34
40	5,82
60	7,16
80	8,30
100	9,27
128	10,41
147	11,04
187	12,11
230	12,94
300	13,81
340	13,96
390	14,06

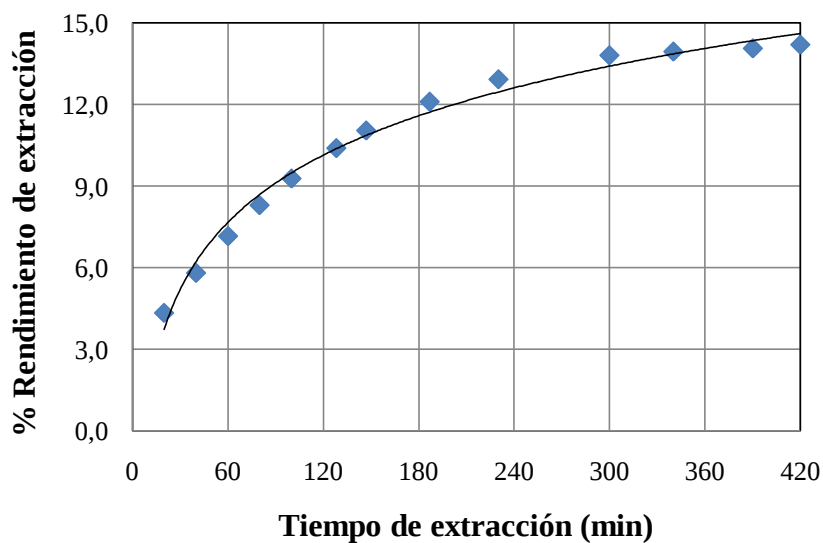


Figura20. Curva de extracción bajo condiciones óptimas.

La ecuación que relacionó el tiempo de extracción con el rendimiento de extracción fue:

$$\%rendimiento = 3.8969 \cdot \ln(t) - 8.2966 \quad [\text{Ec. 03}]$$

$$R^2 = 0,9818$$

El porcentaje de rendimiento obtenido al final de la extracción para esta muestra fue de aproximadamente el 14%, lo que es consistente con los rendimientos obtenidos para aquellas muestras del ensayo experimental cuyas condiciones eran las mismas que las óptimas. De la ecuación que relacionó los datos experimentales se validó que a 5 h de extracción, se obtienen altos valores para el rendimiento de extracción, y a tiempos de extracción mayores, la recuperación del aceite se hace menor, es decir, la velocidad de extracción tiende a disminuir.

$$velocidad\ de\ extracción = \frac{\partial(\%rendimiento)}{\partial t} = 3.8969 \frac{1}{t} \quad [\text{Ec. 04}]$$

4.2 CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE

Los resultados obtenidos mediante índice de yodo indicaron que las muestras tienen un alto contenido de ácidos grasos insaturados, la literatura recomienda realizar análisis de Infrarrojo para determinar grupos funcionales confirmando así la presencia de triglicéridos; y cromatografía de gases o RMN ^1H para identificar todo el esqueleto hidrocarbonado de la molécula del triglicérido en donde se espera establecer su grado de insaturación y sus ácidos grasos constituyentes. Se escogió RMN ^1H por ser una técnica que ofrece resultados más confiables y requiere menos cantidad de muestra.

4.2.1 Análisis de Infrarrojo. Los espectros fueron tomados en el equipo TERMO Scientific, modelo Nicolet 6700 FT-IR, usando como técnica pastillas de KBr. El IR fue realizado en el laboratorio de Análisis Industrial de la Facultad de Ciencias de la Universidad del Valle.

El espectro de absorción en el infrarrojo permitió observar los grupos funcionales característicos de triglicéridos de origen vegetal, especialmente bandas propias de los

ésteres y dobles enlaces. Los espectros de los aceites de mejor calidad y porcentaje de extracción de las variedades Tambo y Sabaletas y la interpretación de las señales se muestran en las Figuras 21, 22 y Tabla 17.

Tabla 17. Comparación de las bandas de absorción teóricas con las del aceite del fruto *Bactris gasipaes* para las variedades Tambo y Sabaletas.

#	Posición teórica (cm ⁻¹)	Origen de la banda	Banda (cm ⁻¹) por variedad	
			Tambo	Sabaletas
1	2926 y 2853	Vibración de tensión asimétrica y simétrica C-H	2924,78 2853,64	2923,75 2853,07
2	1735-1745	Vibración de tensión C=O tipo éster	1746,65 1712,19	1744,96 1710,52
3	1600-1450	Vibración de tensión C=C	1466,04	1464,36
4	1230-1100	Vibración de tensión C-O-C	1164,66	1165,09
5	980-790	Deformación C-O	963,94	939,49
6	720	Vibración de deformación balanceo C-H del (CH ₂) _n si n>5, 726>v	722,14	720,51

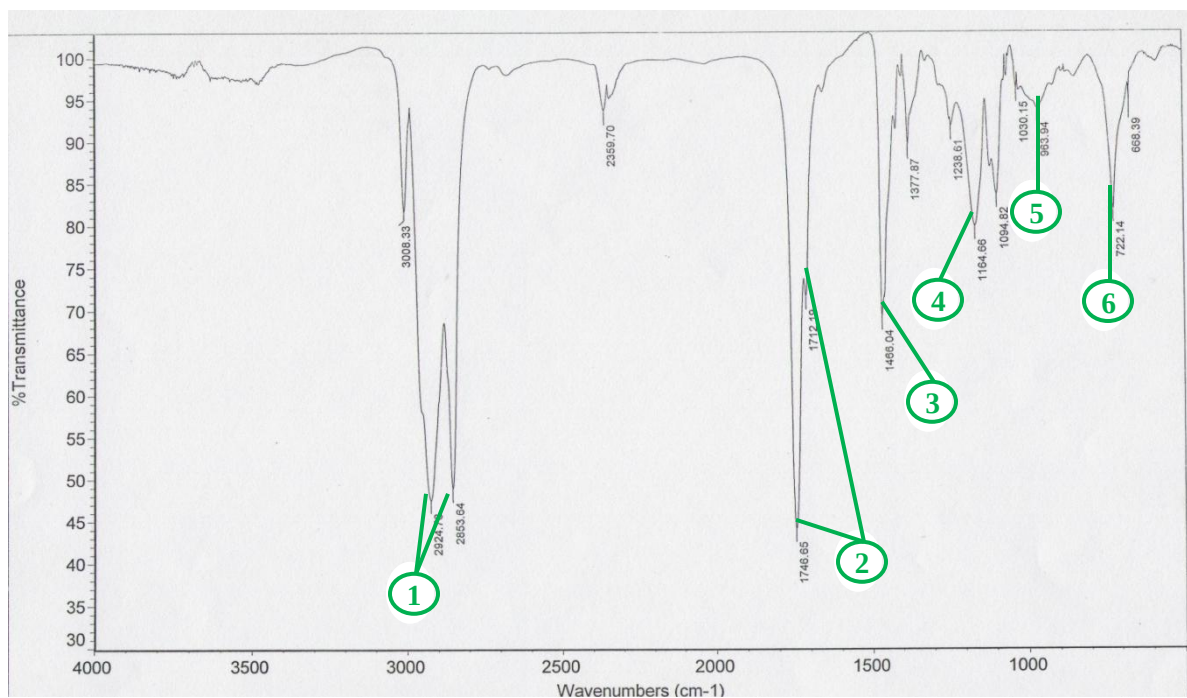


Figura 21. Espectro IR del aceite de chontaduro, variedad Tambo.

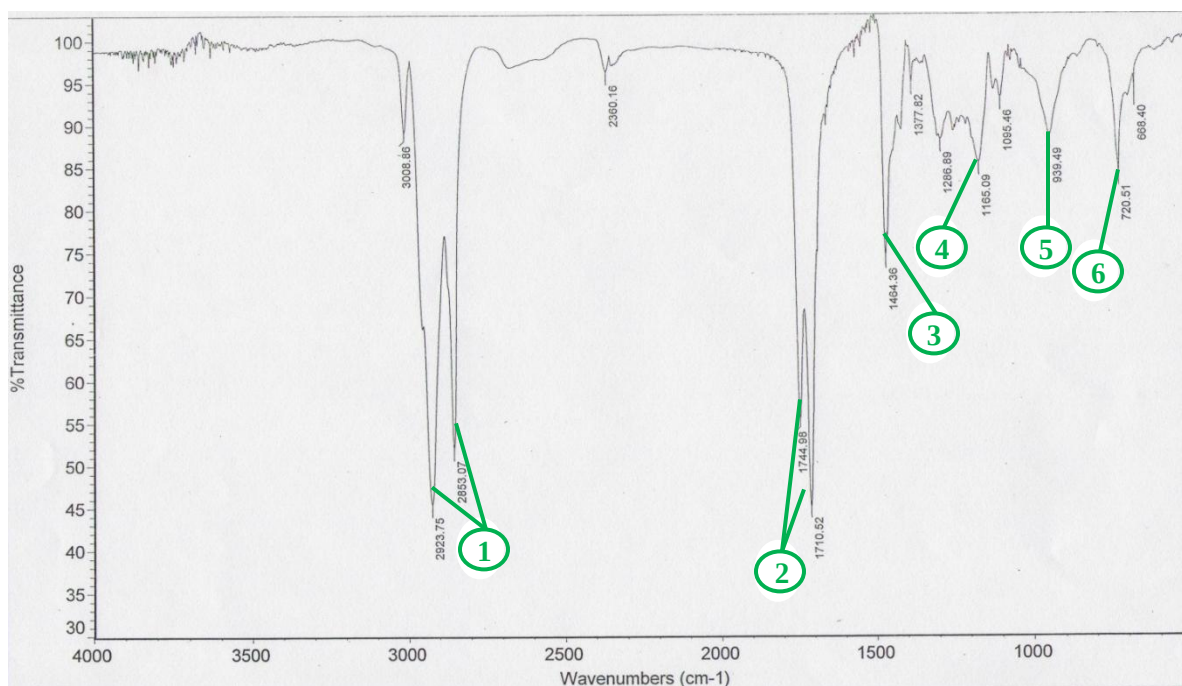


Figura22. Espectro IR del aceite de chontaduro, variedad Sabaletas.

Las bandas de absorción mostradas en la Tabla 17 y observadas en las Figuras 21 y 22 para cada uno de los aceites obtenidos con las diferentes variedades, coinciden con las reportadas en la literatura para los aceites de origen vegetal, especialmente las señales **2** y **4** generadas por el grupo éster, la señal **3** característica de dobles enlaces, y el resto de señales correspondientes a grupos funcionales y enlaces característicos de ácidos grasos tales como oleico, linoleico y linolénico, lo cual confirma la identidad de la muestra obtenida (INSUASTY, 2000).

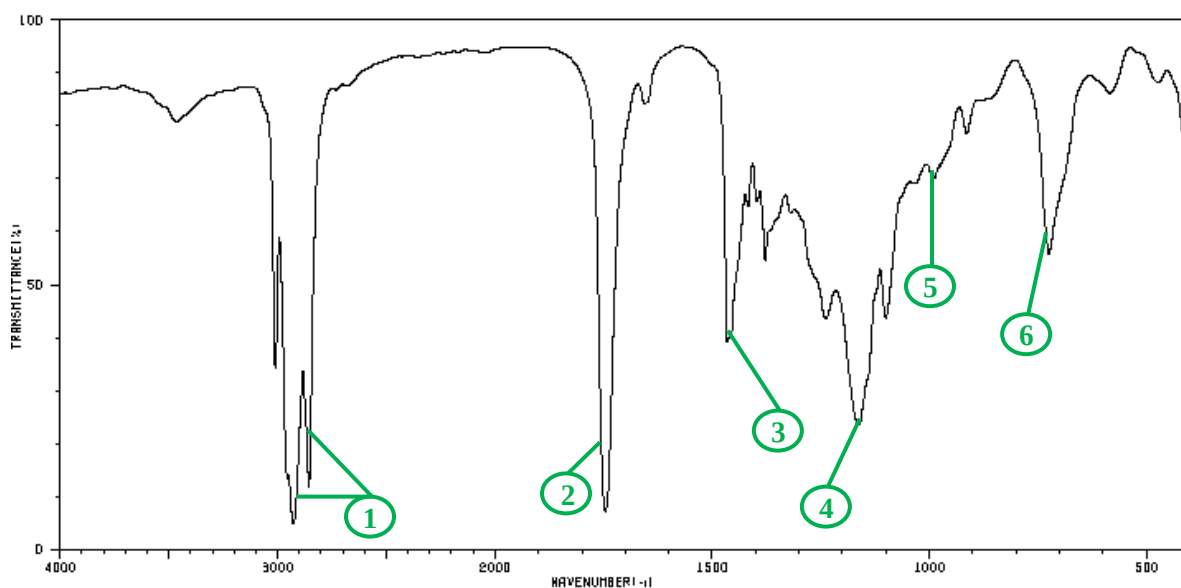


Figura 23. IR Trilinoleína

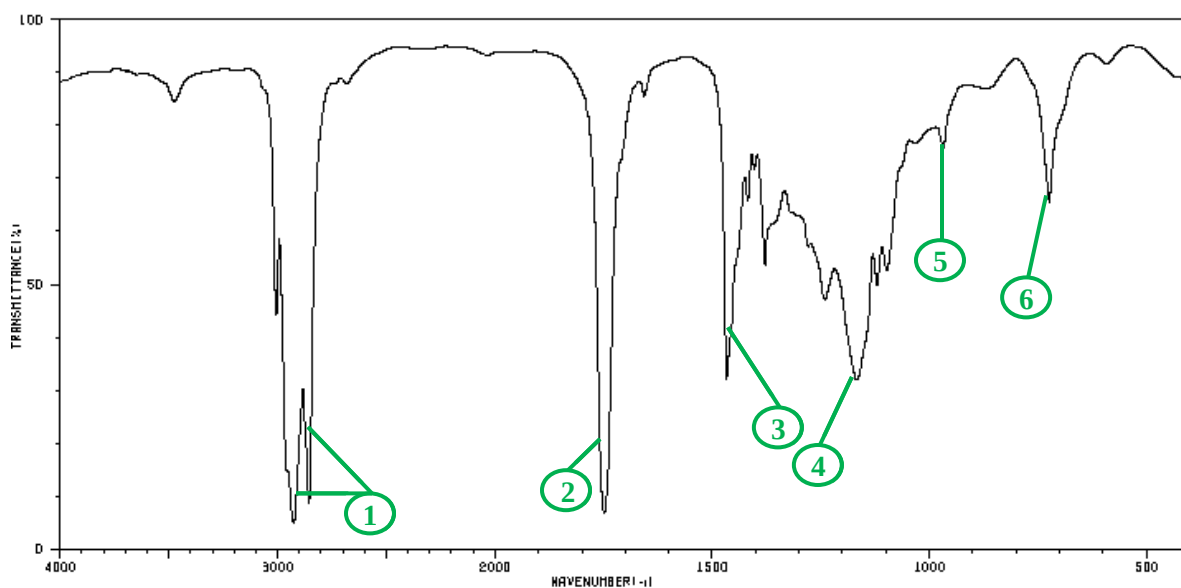


Figura 24. IR Trioleína

Las Figuras 23 y 24, son espectros de infrarrojo de la Trilinoleína y Trioleína, se observan los grupos funcionales que se muestran en los IR del aceite obtenido de las variedades Tambo y Sabaletas evaluadas en esta investigación.

4.2.2 Análisis de RMN ^1H . Los espectros de RMN ^1H fueron registrados en un espectrofotómetro Brucker 400 UltraShield avance II del laboratorio de Análisis Industrial de la Facultad de Ciencias de la Universidad del Valle, usando como disolvente cloroformo deuterado y compuesto de referencia tetrametilsilano (TMS).

Se determinó mediante análisis de RMN ^1H la presencia de insaturaciones y composición de grupos acilo del aceite extraído de cada variedad, a condiciones que permitieron obtener mejores resultados en las variables de respuesta evaluadas, en este caso corresponde a las muestras cocidas, compuestas de pulpa y cáscara, cuya extracción de aceite se realizó mediante soxhlet usando éter de petróleo para las variedades según origen: Sabaleta y Tambo.

Aplicando la metodología descrita por GUILLÉN y RUIZ, 2003(Ver Anexo 1), y de acuerdo a las señales mostradas en la Tabla 18 se determinó las proporciones de oleico (**O**), linoleico (**L**), linolénico (**Ln**) y grupos acilo saturados (**S**), usando las siguientes ecuaciones:

$$\text{Ln} (\%) = 100 [\text{B} / (\text{A} + \text{B})] \quad [\text{Ec. 05}]$$

$$\text{L} (\%) = 100 \{(\text{E}/\text{D}) - 2[\text{B}/(\text{A} + \text{B})]\} \quad [\text{Ec. 06}]$$

$$\text{O} (\%) = 100 \{(\text{C}/2\text{D}) - (\text{E}/\text{D}) + [\text{B}/(\text{A} + \text{B})]\} \quad [\text{Ec. 07}]$$

$$\text{S} (\%) = 100 [1 - (\text{C}/2\text{D})] \quad [\text{Ec. 08}]$$

Donde **A** es el área de la señal **1**, correspondiente a los protones metílicos de los grupos acilo saturados (en cadenas acilo con doble enlace en posición 6 o después) como el oleico y el linoleico; **B** es el área de la señal **2**, correspondiente a los protones metílicos de los grupos acilo ω -3 como el linolénico; **C** es el área de la señal **5**, correspondiente a los átomos de H metilénicos en posición α con relación a un doble enlace (denominados

también protones alílicos), **D** es el área de la señal **6** correspondientes a los átomos de H metilénicos en posición α , en relación al grupo carbonilo, y **E** es el área de la señal **7**, correspondiente a los átomos de H metilénicos en posición α correspondiente a dos dobles enlaces, denominados también protones bis-alílicos. La señal **10** designada con la letra **F** representa protones oleofinicos de diferentes grupos acilos.

Tabla 18. Asignación de las señales del espectro RMN ^1H para aceites.

<i>Señal</i>	<i>Asignación</i>	<i>Desplazamiento químico (ppm)</i>	<i>Grupo funcional</i>
1	A	0.83 a 0.93	-CH ₃ (, grupos acilo saturados como oleico, y linoleico,)
2	B	0.93 a 1.03	-CH ₃ (cadenas acilo, linolénico)
3		1.22 a 1.42	Metileno -CH ₂ -(cadenas acilo)
4		1.52 a 1.70	-OCO-CH ₂ -CH ₂ -(cadenas acilo)
5	C	1.94 a 2.14	-CH ₂ -CH=CH= (cadenas acilo)
6	D	2.23 a 2.36	-OCO-CH ₂ -(cadenas acilo)
7	E	2.70 a 2.84	=HC-CH ₂ -CH= (cadenas acilo)
8		4.10 a 4.32	-CH ₂ -OCOR (grupo gliceril)
9		5.20 a 5.26	-CH-O-COR(grupo gliceril)
10	F	5.26 a 5.40	-CH=CH- (cadenas acilo)

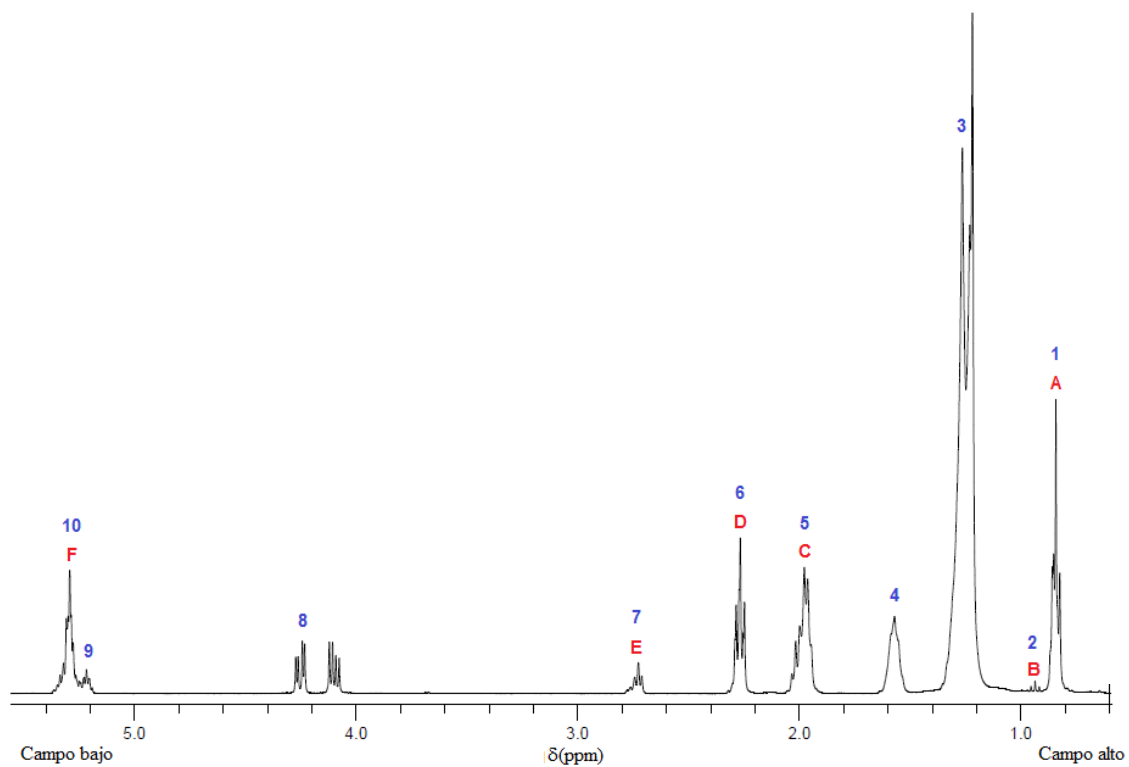


Figura25. RMN H^1 para el aceite del fruto del *Bactris gasipaes* procedente del Tambo

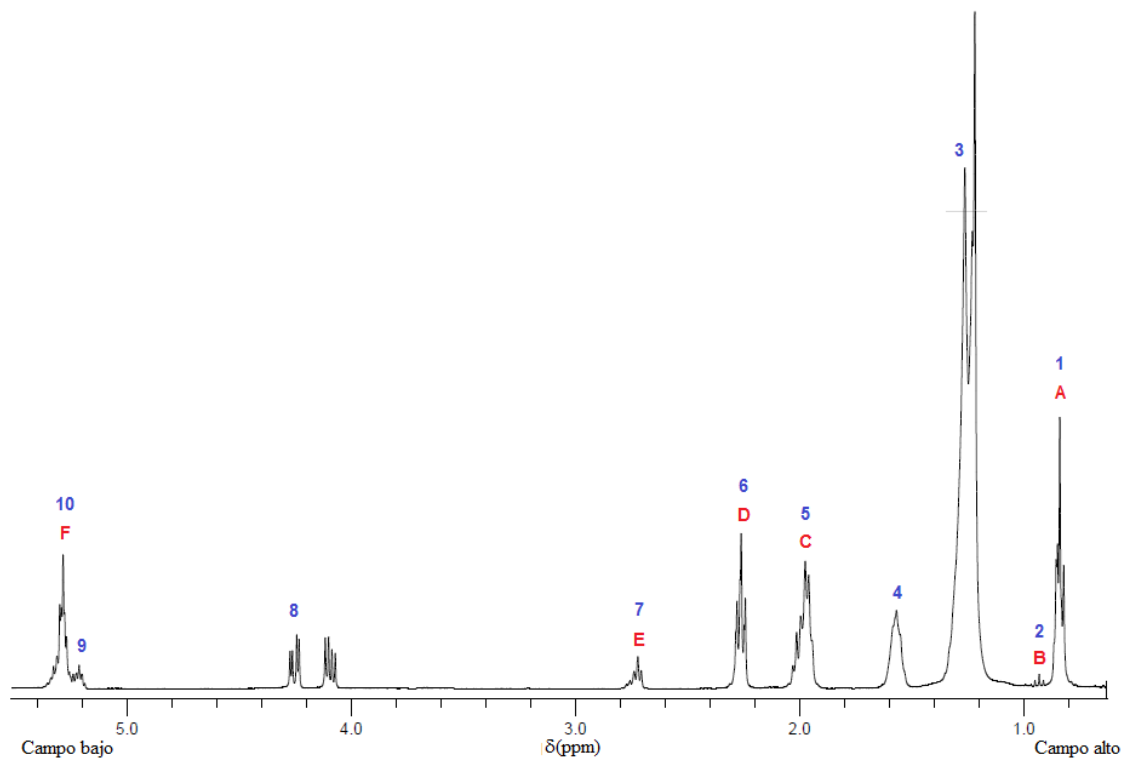


Figura26. RMN H^1 para el aceite del fruto del *Bactris gasipaes* procedente de Sabaletas

En la Figura 25 y 26 se muestran las señales que se mencionan en la Tabla 18, señales características de aceites vegetales y su respectiva área se puede observar en el apéndice B, estos valores se usaron para determinar el porcentaje de los ácidos insaturados y saturados así como el índice de yodo mediante la ecuación:

$$\text{Índice de Yodo (IY)} = 12691 \text{ F} / (120.0 + 7.013 \text{ T} + 6.006 \text{ F}) \quad [\text{Ec. 09}]$$

Ecuación que requiere el área de la señal de los olefinicos (Señal **F** en los RMN H^1) y el total **T** de las áreas del RMN H^1 (ver Apéndice B).

Los valores obtenidos para los porcentajes de ácidos insaturado, saturados e índice de yodo se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19. Ácidos grasos saturados, insaturados e índice de yodo por el método de RMN H^1 del aceite de chontaduro

<i>Muestra</i>	<i>%S</i>	<i>%Ln</i>	<i>%L</i>	<i>%O</i>	<i>Índice de Yodo</i>
Tambo	20.23	6.78	9.13	63.86	86.80
Sabaletas	20.50	4.55	13.03	61.92	81.72
<i>Promedio</i>	20.37	5.67	11.08	62.89	84.26

El índice de yodo determinado mediante esta técnica mostró resultados comparables a los obtenidos mediante el método volumétrico tradicional de Wijs (ver Apéndice B), el cual presenta desventajas respecto al análisis por RMN H^1 ya que para determinar el índice de yodo por este método, se requiere que los reactivos sean preparados el mismo día, los resultados son muy subjetivos ya que dependen de la apreciación del analista, además este método no permite recuperar la muestra después de ser analizada y tarda aproximadamente 5 h de trabajo entre preparar los reactivos y titular, mientras que el RMN H^1 es un método no destructivo, exacto, reproducible, sensitivo, sin reacciones colaterales que dañen o contaminen la muestra, este método además es rápido ya que una vez implementado tarda

0.25h, las ecuaciones que se referencian para determinar el porcentaje de ácidos insaturados y saturados son confiables ya que provienen del procesamiento de un gran número de muestras y que ya se han ensayado en otro tipo de aceites con resultados exitosos.

Tabla 20. Ácidos grasos saturados, insaturados e índice de yodo por el método de RMN H^1 para varias muestras de aceites. (GUILLÉN y RUIZ, 2003)

<i>Aceites vegetales</i>		%S	%Ln	%L	%O	Índice de Yodo
Oliva		14,0	0,6	7,6	77,9	82,7
Maíz		16,1	0,3	55,6	28	122,1
Girasol		13,0	0,0	61,6	25,4	127,1
Soya		16,8	6,7	52,1	24,4	129,9
Oleína comestible de palma ¹		40	0,6	13,4	46,0	61
Chontaduro Literatura ²		38,03	1,46	8,63	51,88	-o-
Variedad chontaduro ³	Tambo	20,23	6,78	9,13	63,86	86,80
	Sabaletas	20,50	4,55	13,03	61,92	81,72

1. Datos de los requisitos para la oleína comestible de palma de acuerdo a la NTC 3748, 2001

2. Perfil ácidos grasos para el aceite de chontaduro determinado mediante CG. (ESTUPIÑAN, 1999)

3. Muestras experimentales obtenidas en esta investigación.

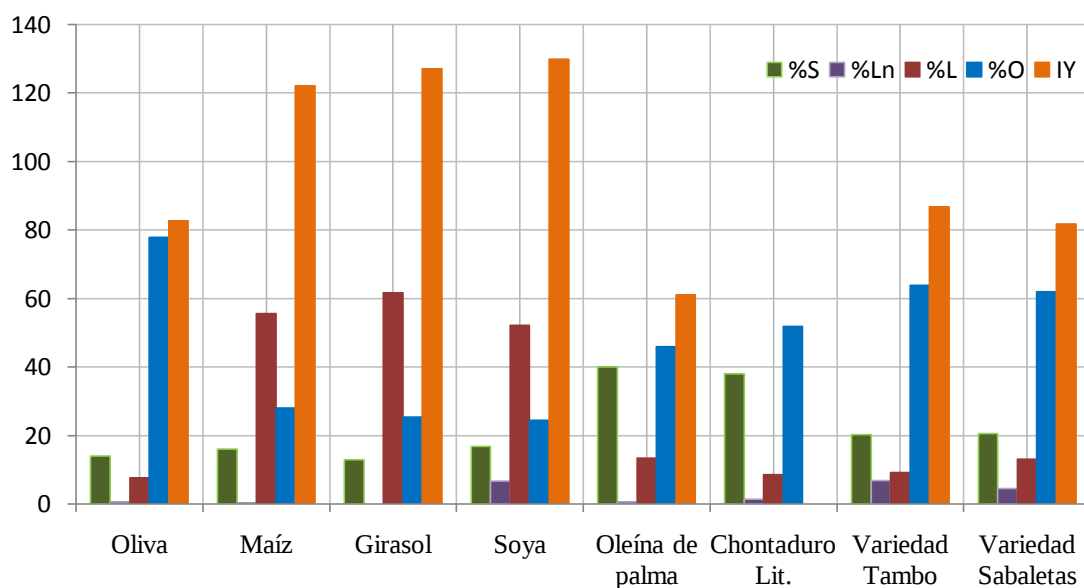


Figura 27. Ácidos grasos saturados, insaturados e índice de yodo por el método de RMN H^1 para muestras de la Tabla 20. (GUILLÉN y RUIZ, 2003)

De la Tabla 20 y la Figura 27 se pudo observar que el perfil graso obtenido del aceite reportado en la literatura (análisis mediante GC) y los obtenidos por variedades de

chontaduro (análisis mediante RMN H^1) muestran igual tendencia en cuanto al comportamiento de ácidos mono y poliinsaturados, mientras para los ácidos saturados, se observa una marcada diferencia, la cual puede ser debido al origen de la muestra y el método empleado de extracción.

El aceite de chontaduro obtenido de las variedades Tambo y Sabaletas presentó 20.37% de saturados en comparación al 40% de saturados del aceite de oleína de palma, que es un aceite de alta aplicación industrial y culinaria. Con respecto al ácido oleico el aceite de chontaduro presentó valores mayores que el aceite de oleína de palma y tan altos como los que contienen el aceite de oliva, tendencia que se conserva para el índice de yodo, lo que nos revela que el aceite del fruto del *Bactris gasipaes*, posee propiedades de los aceites monoinsaturados, es decir, es un aceite de muy buena calidad, y debido a que no fue necesario ningún proceso de hidrogenación ya que es un aceite bastante estable a la oxidación (por tanto se espera encontrar tocoferoles) y a que el metabolismo de los vegetales no genera ácidos grasos *trans*, se puede afirmar que el consumo de este aceite favorece el aumento del colesterol “bueno” (HDL: high density lipoprotein) y baja el colesterol “malo” (LDL: low density lipoprotein), efectos que se consideran benéficos para el sistema cardiovascular a largo plazo.

De la Figura 27 además se observa que los aceites de Maíz, Girasol y Soya son ricos en ácidos grasos poliinsaturados debido a su alto porcentaje en ácido linoleico(omega 6), que favorece la fácil adsorción por el organismo de los alimentos en los que se adicione, ya que estimula la bilis y la digestión. Su consumo es recomendado en ensaladas o como aliño sin ser sometido a fuentes de calor, para evitar su fácil degradación. El aceite del fruto del chontaduro también posee este ácido aunque en menor proporción.

4.2.3 Otros análisis. Se determinaron además características fisicoquímicas tales como el Color *Lovibond* (per ISO Standard) - AOCS Method Cc 13e -92 (09) (NTC 564, 1999), Índice de peróxido en mEq de O_2 /kg de aceite usando Isooctano - AOCS Method Cd 8b -

90 (09) (NTC 236, 1998) y % de Acidez Palmítico, todos análisis realizados en el Laboratorio de Calidad de Industrias del Maíz.

Tabla 21. Otros análisis realizados a las muestras de aceite de chontaduro.

Muestra	%Acidez Palmítico	Color <i>Lovibond</i> celda 1"	Valor peróxido, mEqO₂/Kg
Tambo	7,44	20R X 50Y	5,1
Sabaletas	7,45	20R X 50Y	5

El valor mostrado en la Tabla 21 correspondiente al de peróxidos está en el rango que de acuerdo a la NTC 3748 (NTC 3748, 2001) es permitido para aceites destinados para consumo humano. La característica de color evaluada mediante la técnica de Color *Lovibond* permitió catalogar este aceite como un aceite rojo, de buen aspecto y grado tipo gourmet.

Determinación de vitamina E mediante análisis por HPLC: Se tomó la muestra de aceite obtenida del fruto de chontaduro de la variedad Tambo y se realizó un análisis preliminar mediante cromatografía líquida, bajo la técnica montada el laboratorio del Grupo de Investigación de Productos Naturales y de Alimentos –GIPNA- por el investigador Juan Fernando Murcillo; para determinación de vitamina E. El equipo de HPLC usado fue el System Shimadzu LC20 prominence, usando una columna de fase normal technokroma tracer extrasil ODS2, 15 cm de largo y 4.6 mm de diámetro, tamaño de partícula de 5 μ , detector de arreglo de diodos (DAD), con flujo 0.5 ml/min y fase móvil con gradiente. El gradiente trabajado fue de 100% hexano durante los primeros 2 min, luego se aumentó constantemente isopropanol al 10% hasta el minuto 12, por último se mantuvo constante éste porcentaje durante 2 min. El análisis se realizó con el fin de determinar la presencia de α -tocoferoles (vitamina E).

En la Figura 28, se muestra el cromatograma de HPLC para la muestra de aceite de la variedad Tambo, en la cual se puede observar un pico en el tiempo de retención de 2.967min a una longitud de onda de 295nm, que de acuerdo a la técnica montada para

vitamina E en el GIPNA, podría corresponder a α -tocoferol, isómero de la vitamina E y de gran poder antioxidante (SAYAGO *et. al.*, 2007), también se observó la presencia de otros isómeros de vitamina E así como un pico que posiblemente corresponde a carotenoides (tiempo de retención 3.538), de allí su coloración rojiza evaluada anteriormente mediante la técnica de Color *Lovibond* (ver Tabla 21), esta apreciación se queda en el plano de la especulación, puesto que éste análisis no se había proyectado realizar como parte de la investigación, y tiene un grado de complejidad que amerita un estudio enfocado exclusivamente a esta temática.

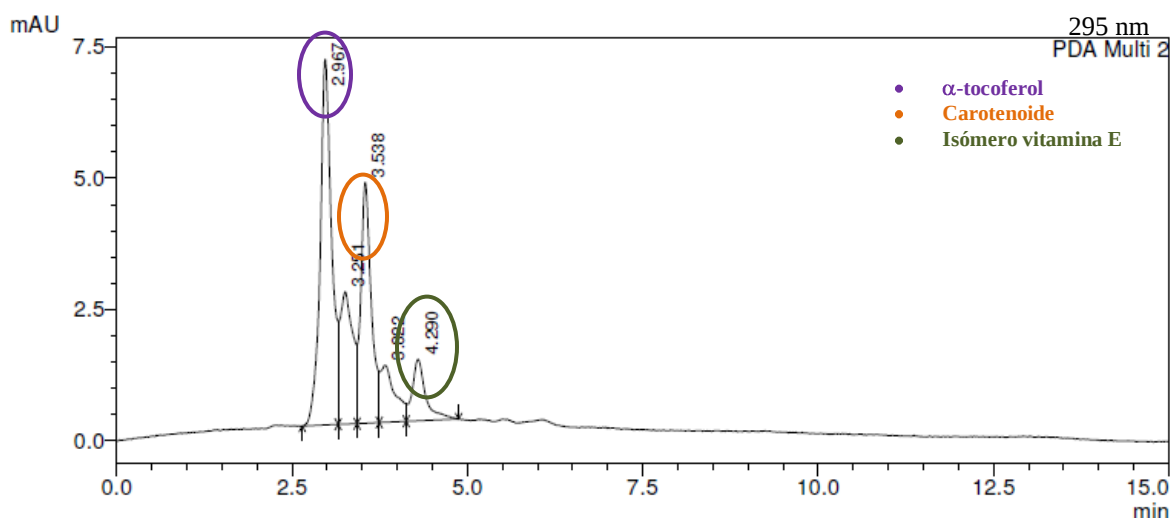


Figura 28. HPLC aceite del fruto *Bactris gasipaes* (GIPNA, 2011).

El observar la presencia de carotenoides y vitamina E cualitativamente, sumado a la característica de color rojo de acuerdo al análisis de Color *Lovibond*, hacen de éste un aceite gourmet, por ser fuente rica en carotenos (precursores de vitamina A) y compuestos que constituyen la vitamina E, tocoferoles y tocotrienoles, antioxidantes naturales que destruyen los radicales libres y desarrollan un papel protector en contra del envejecimiento celular.

4.2.4 Análisis proximal de harinas. De las muestras seleccionadas para el análisis de RMN ^1H , se tomaron las harinas residuales del proceso de extracción (en promedio se recupera entre el 80 y 85% en peso de la harina inicial de extracción como harina residual)

y se analizaron mediante análisis proximal, es decir, muestras de las variedades Tambo y Sabaletas tratadas con éter de petróleo, cocinadas previamente y constituida por pulpa y cáscara, estas muestras fueron analizadas mediante análisis proximal (ver Apéndice C) para determinar su composición y compararla con harinas de consumo habitual como se muestra en la Tabla 22.

Tabla 22. Análisis proximal harinas de chontaduro y otras muestras. (Restrepo, 2007)

Caracterización %(m/m)	Variedad*				Maíz amarillo**	Harina de trigo**
	Tambo (Rojo Cauca)		Sabaletas (Rojo Costeño)			
	BS	BH	BS	BH		
Cenizas	1,37	1,26	1,44	1,32	1,40	0,60
Extracto Etéreo	0,66	0,60	0,62	0,57	2,90	0,90
Fibra cruda	4,60	4,22	4,49	4,12	2,00	0,50
Proteína	7,56	6,93	6,48	5,95	10,50	13,40
Carbohidratos	85,81	78,67	86,97	79,80	83,20	84,60

*Análisis proximal de las harinas residuales de la extracción de aceite de chontaduro evaluadas en esta investigación.

BS = base seca, BH = base húmeda

**Datos en base seca.

De la Tabla 22 se pudo observar que los resultados en base seca obtenidos para las muestras Tambo y Sabaletas evaluadas, son comparables en contenido de proteína en un 67% a la harina de maíz, aunque como lo muestra la literatura (RESTREPO, 2007), los aminoácidos de la harina de chontaduro son de mejor calidad. También se observó que en el contenido de fibra y carbohidratos de la harina de chontaduro es superior a la de maíz y de trigo, productos de uso común en la industria de alimentos.

Observando los resultados obtenidos, se llegó a la conclusión que es necesario cocinar el chontaduro antes de iniciar el proceso de extracción del aceite, para la utilización de la harina residual (desengrasada) como subproducto, ya que este proceso inactiva el factor antifisiológico (inhibidores de tripsina) del chontaduro, que disminuye la digestibilidad y el aprovechamiento de los nutrientes de la harina.

Además en la obtención del aceite, la cocción previa a la extracción de éste inactiva la enzima lipasa que causa la hidrólisis previa de los triglicéridos del aceite, en consecuencia el incremento de los ácidos grasos libres y la subsecuente pérdida en la calidad del aceite. También, se descompone parte del material mucilaginoso (gomas) que provocan soluciones coloidales en el aceite crudo, dificultando el proceso de clarificación. Asimismo con las pruebas realizadas en este trabajo se observó que el porcentaje y calidad del aceite extraído es mejor cuando la harina está cocida, siendo más rica en proteínas, carbohidratos y fibra si la extracción se realiza sobre pulpa y cáscara.

4.3 CONSIDERACIONES FINALES

El fruto de la palma *Bactris gasipaes* está constituido de acuerdo a la experiencia de este trabajo como se muestra en la Tabla 23.

Tabla 23. Constitución del fruto de la palma *Bactris gasipaes*.

Constituyente Fruto	Composición en base húmeda % (m/m)
Semilla	6,26
Pulpa	81,44
Cáscara	12,30

De la pulpa y cáscara se obtiene una harina que contiene en promedio 14.38% en peso de aceite con $\rho=0.9111$ kg/L, este porcentaje de extracción se logra al aplicar las condiciones óptimas determinadas en esta investigación. El perfil de ácidos grasos, índice de yodo, %acidez palmítico, color *Lovibond*, índice de peróxido promedio de dicho aceite se muestra en la Tabla 24, análisis realizados de acuerdo a los estándares internacionales y normatividad vigente (NTC 236, 1998; NTC 564, 1999; NTC 3343, 2006).

Tabla 24. Caracterización del aceite del fruto de la palma *Bactris gasipaes*.

Caracterización aceite	Valor
% ácidos grasos saturados	20.40
% ácido linolénico	5.70
% ácido linoleico	11.10
% ácido oleico	62.90
Índice de yodo (Técnica RMN ¹ H)	84.93
Índice de yodo (Técnica Wijs)	99.05
% acidez palmítico	7.44
Color <i>Lovibond</i>	20R x 50Y
Índice de peróxido mEqO ₂ /Kg	5

*Valores promedios de las muestras analizadas.

Para producir 1L de aceite del fruto de la palma *Bactris gasipaes* a nivel de laboratorio se requiere 6.34 kg de harina de chontaduro constituida por pulpa y cáscara, cocinada previo al proceso de extracción, la cual se recomienda realizar con éter de petróleo por economía. De la harina para extracción se recupera 5.4kg como harina residual, la caracterización se muestran en la Tabla 25.

Tabla 25. Caracterización harina residual del aceite de chontaduro.

Componente	Composición %(m/m) base seca
Cenizas	1,41
Extracto Etéreo	0,64
Fibra cruda	4,55
Proteína	7,02
Carbohidratos	86,39

*Valores promedios de las muestras analizadas.

El fruto del chontaduro *Bactris gasipaes* posee un alto potencial en productos de valor agregado tales como el aceite para la industria alimenticia y harinas para concentrados, pues la caracterización de estos productos obtenidos a escala de laboratorio son acordes a lo dispuesto por la normatividad (NTC 3748, 2001; NTC 3343, 2006 y NTC 267,2007).

CONCLUSIONES

El objetivo principal del proyecto llegó a buen término en el sentido de que mostró un sensible aumento en la utilización del chontaduro en periodo de cosecha donde grandes volúmenes de éste se desperdician.

Los frutos de chontaduro originarios del Tambo-Cauca, proporcionaron aceite de mejor calidad (con base en el índice de yodo) en comparación con los originarios de Sabaletas-Valle del Cauca (incremento del 10.85%), los porcentajes de rendimientos de extracción, también fueron mayores para los frutos procedentes del Tambo (incremento del 6.64%).

El aceite obtenido a partir del fruto *Bactris gasipaes*, se benefició por la adición de la cáscara al proceso de extracción de aceite de la pulpa, mejorando el porcentaje de rendimiento (incremento del 47.02%) y la calidad del mismo (incremento del 26.04%).

La cocción del fruto del chontaduro simplificó la reducción de tamaño y ablandó los tejidos; favoreciendo en un 16.82% la extracción del aceite y la calidad del mismo en un 11.06%.

La extracción de aceite de chontaduro con éter de petróleo alcanzó rendimientos de extracción mayores que usando hexano como solvente (incremento del 4.28%), situación que se invierte al evaluar la calidad del aceite mediante índice de yodo (incremento del 3.53%). Sin embargo la diferencia en los valores no es significativa, razón por la cual se tomó la economía del proceso como parámetro para escoger al éter de petróleo como solvente para la extracción de aceite de chontaduro (Hexano grado analítico \$56000/L y Éter de petróleo grado comercial \$8300/L).

Los valores del índice de peróxidos, índice de yodo, color *Lovibond*, y densidad del aceite de chontaduro fueron 5, 99.05, 20R x 50Y y 0.911kg/L respectivamente, mostrando que

cumple con la NTC 3343 de 2006, referida a las condiciones que deben cumplir aceites y grasas destinadas para consumo humano.

La variedad del fruto de chontaduro que ofreció mejores resultados con respecto a la extracción y calidad del aceite fue la procedente del Tambo (Cauca), realizando la extracción del aceite mediante soxhlet con éter de petróleo ($P_b = 40$ a 60°C) como solvente, sobre pulpa y cáscara previamente cocidas, bajo estas condiciones los valores máximos alcanzados fueron de 14.38 para el porcentaje de rendimiento de extracción y 99.05 para el índice de yodo (Método de Wijs).

Bajo las condiciones que favorecen la extracción, se necesitaría aproximadamente 6.34kg de harina de chontaduro compuesta de cáscara y pulpa para obtener 1L de aceite y 5.4kg de harina residual, productos de uso industrial y que favorecen el uso de un residuo sin aprovechamiento alguno, por tanto la propuesta de obtener productos de valor agregado es viable preliminarmente.

La espectroscopia de infrarrojo permitió identificar los grupos funcionales propios de los triglicéridos en el aceite de chontaduro, mientras que la técnica RMN ^1H , permitió identificar y cuantificar los ácidos grasos presentes en el aceite además de su índice de yodo. Los valores promedio encontrados con esta técnica para el aceite de chontaduro fueron 20.37% para ácidos grasos saturados, 5.67% para ácido linolénico, 11.08% para ácido linoleico, 62.89% para ácido oleico y 84.26 para el índice de yodo.

El Perfil de ácidos grasos e índice de yodo hacen del aceite de chontaduro un aceite comparable a los aceites de uso convencional, inclusive su % de ácidos grasos saturados e índice de yodo se asemejan a los del aceite de oliva (conocido por sus beneficios en la salud).

La harina residual evaluada mediante análisis proximal arrojó valores promedio (base seca) de 4.44% de fibra cruda, 6.9% de proteína y 83.82% de carbohidratos, porcentajes cercanos

a los de harinas comerciales tales como la harina de trigo y maíz, que hacen competitivo este producto para el consumo animal e incluso humano (en combinación con otras harinas).

RECOMENDACIONES

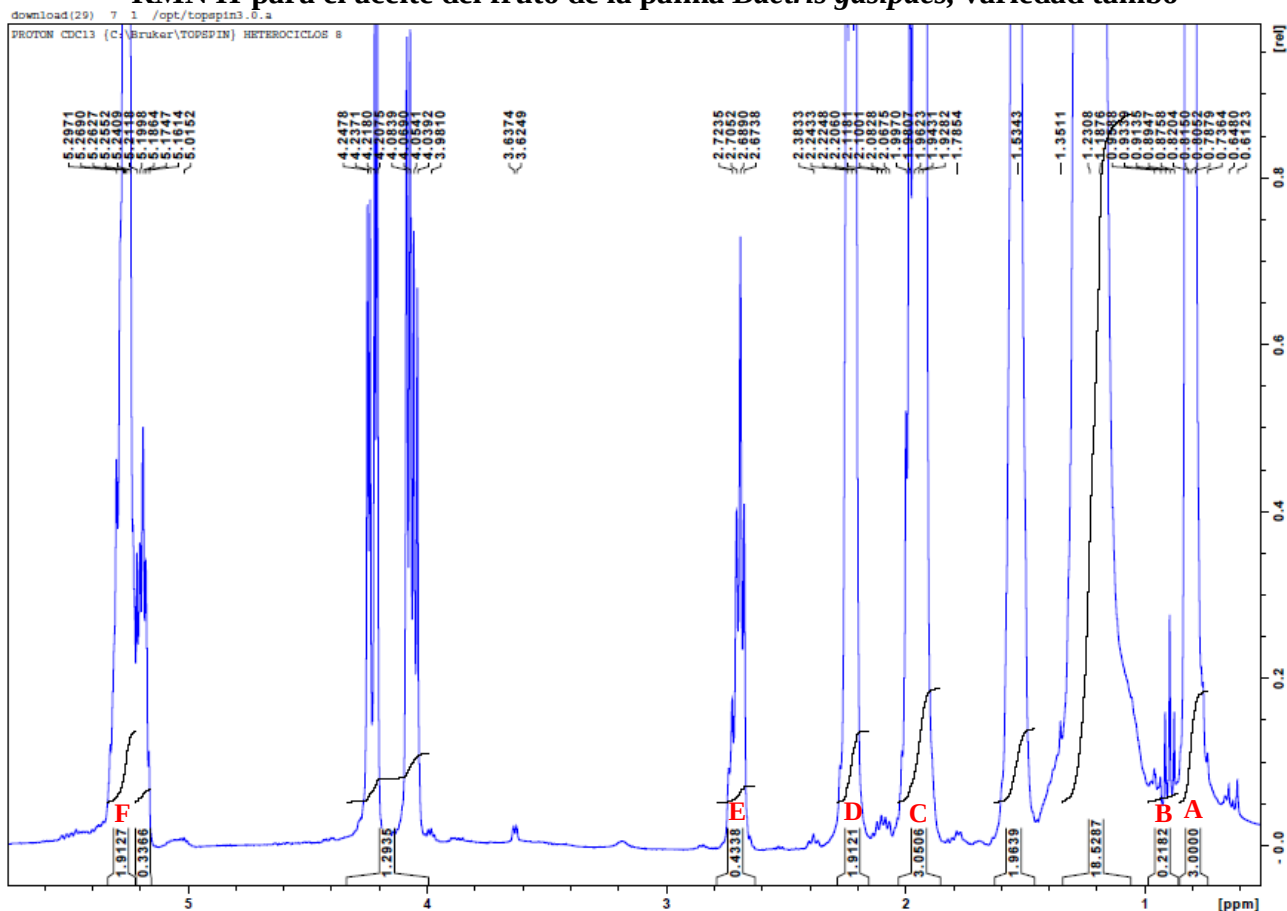
- Realizar análisis mediante HPLC para determinar cuantitativamente la presencia de β -carotenos y vitamina E.
- Diseño del proceso de obtención a escala piloto del aceite del fruto de chontaduro para compararlo con la producción de aceites de amplia aplicación en la industria de alimentos.
- Determinar la estabilidad térmica del aceite de chontaduro, en cuanto al perfil de ácidos grasos mediante exposición a temperaturas superiores a 180°C.
- Estudiar el efecto del tamaño de partícula en la extracción del aceite.

APÉNDICE A
Datos experimentales

CONDICIÓN					REPETICIONES %Rendimiento		REPETICIONES Índice de Yodo	
					R1	R2	R1	R2
VARIEDAD	Sabaleta	Hexano	Crudo	Con Cáscara	11,29	11,33	80,10	80,12
				Sin Cáscara	7,97	7,95	59,04	61,18
			Cocinado	Con Cáscara	13,81	13,79	93,35	90,38
				Sin Cáscara	9,16	8,72	60,34	71,08
		Éter	Crudo	Con Cáscara	11,53	11,47	80,91	80,21
				Sin Cáscara	7,98	8,01	65,44	62,14
			Cocinado	Con Cáscara	13,78	13,55	86,23	88,02
				Sin Cáscara	9,27	9,37	66,18	75,97
	Tambo	Hexano	Crudo	Con Cáscara	11,64	12,34	83,93	81,48
				Sin Cáscara	8,06	8,09	75,51	63,37
			Cocinado	Con Cáscara	13,95	14,22	95,33	95,77
				Sin Cáscara	9,40	9,39	75,76	76,08
		Éter	Crudo	Con Cáscara	13,19	12,98	86,19	83,97
				Sin Cáscara	8,13	9,13	76,77	74,47
			Cocinado	Con Cáscara	14,38	14,37	99,05	98,03
				Sin Cáscara	10,82	9,96	77,57	78,39

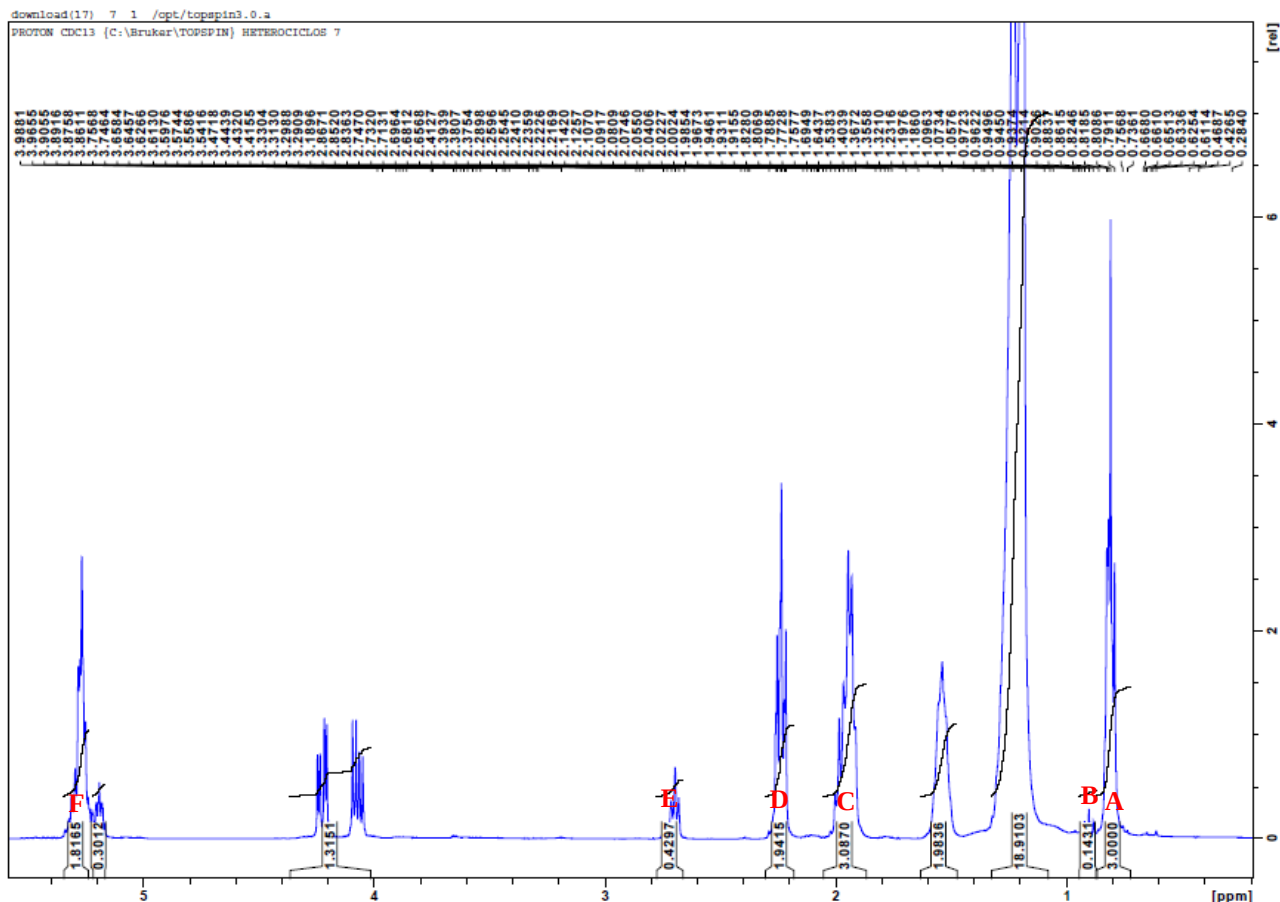
APÉNDICE B

RMN H^1 para el aceite del fruto de la palma *Bactris gasipaes*, variedad tambo



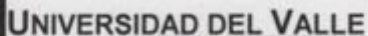
$Ln(\%) = 100 [B / (A+B)]$ [Ec. 05] $Ln(\%) = 100 [0,2182 / (3,0000+0,2182)]$ $Ln(\%) = 6,78\%$
$L(\%) = 100 [(E/D)-2B/(A+B)]$ [Ec. 06] $L(\%) = 100 [(0,4338/1,9121)-2*0,2182/(3,0000+0,2182)]$ $L(\%) = 9,13\%$
$O(\%) = 100 [(C/D)-(E/D)+B/(A+B)]$ [Ec. 07] $O(\%) = 100 [(3,0506/1,9121)-(0,4338/1,9121)+0,2182/(3,0000+0,2182)]$ $O(\%) = 63,86\%$
$S(\%) = 100 [1-(C/20)]$ [Ec. 08] $S(\%) = 100 [1-(3,0506/20)]$ $S(\%) = 20,23\%$
$\text{Índice de Yodo (IY)} = 12691 F / (120.0 + 7.013 T + 6.006 F)$ [Ec. 09] $\text{Índice de Yodo (IY)} = 12691 * 1,9127 / (120.0 + 7.013 * 32,6501 + 6.006 * 1,9127)$ $\text{Índice de Yodo (IY)} = 86,80$

RMN H¹ para el fruto de la palma *Bactris gasipaes* variedad sabaletas



$Ln(\%) = 100 [B / (A+B)]$ $Ln(\%) = 100 [0,1431 / (3,0000+0,1431)]$ $Ln(\%) = 4,55\%$	[Ec. 05]
$L(\%) = 100 [(E/D)-2B/(A+B)]$ $L(\%) = 100 [(0,4297/1,9415)-2*0,1431/(3,0000+0,1431)]$ $L(\%) = 13,03\%$	[Ec. 06]
$O(\%) = 100 [(C/D)-(E/D)+B/(A+B)]$ $O(\%) = 100 [(3,0870/1,9415)-(0,4297/1,9415)+0,1431/(3,0000+0,1431)]$ $O(\%) = 61,92\%$	[Ec. 07]
$S(\%) = 100 [1-(C/20)]$ $S(\%) = 100 [1-(3,0870/20)]$ $S(\%) = 20,50\%$	[Ec. 08]
$\text{Índice de Yodo (IY)} = 12691 F / (120,0 + 7,013 T + 6,006 F)$ $\text{Índice de Yodo (IY)} = 12691 * 1,8165 / (120,0 + 7,013 * 32,9280 + 6,006 * 1,8165)$ $\text{Índice de Yodo (IY)} = 81,94$	[Ec. 09]

Análisis proximal harinas Tambo



Departamento de Química
Laboratorio de Análisis Industriales

CERTIFICADO DE ANALISIS DE LABORATORIO

Número de registro: 22111-A	Fecha de emisión: 01 de julio de 2011	
Empresa: PARTICULAR	Solicitado por: Dr. Jaime Restrepo Profesor Departamento de Química	
Dirección: Ciudad Universitaria Meléndez	Teléfono: 321 2180	Fax:
Nombre de la muestra: Torta de Extracción de Aceite de Chontaduro Tambo		

[illegible]

NOTA: NTC Significa Norma Técnica Colombiana del ICONTEC

Los anteriores resultados están reportados en base húmeda (base real)

(CV, en %) = Coeficiente de Variación n = número de datos

Los anteriores análisis fueron elaborados por la Tecnóloga Química Jenny Patricia Angel C. Para cualquier información adicional sírvase citar el No 22111-A correspondiente a su muestra.

Resultados válidos únicamente para la(s) muestra(s) analizada(s) y no para otro(s) material(es) de la misma procedencia. La(s) muestra(s) analizada(s) se guardará(n) por el tiempo de dos meses a partir de la emisión de este informe, transcurrido este tiempo se desechará(n) o se devolverá(n) al cliente si éste lo solicita.

El presente documento no posee validez alguna sin el sello del laboratorio y las firmas respectivas. Se prohíbe su reproducción total o parcial, excepto con aprobación de la Universidad del Valle.

R. K. R. R.

RUBEN A. SANCHEZ ANDICA., PQ-1350
Jefe
Laboratorio de Análisis Industriales

Jerry P. Ryan

JENNY PATRICIA ÁNGEL C.
Tecnóloga Química

Análisis proximal harina Sabaletas



UNIVERSIDAD DEL VALLE

Departamento de Química

Laboratorio de Análisis Industriales

CERTIFICADO DE ANALISIS DE LABORATORIO

Número de registro: 22111-B

Fecha de emisión: 01 de julio de 2011

Empresa: PARTICULAR

Solicitado por: Dr. Jaime Restrepo
Profesor Departamento de Química

Dirección: Ciudad Universitaria Meléndez

Teléfono: 321 2180

Fax:

Nombre de la muestra: Torta de Extracción de Aceite de Chontaduro Zabaleta

DETERMINACION	RESULTADO	MÉTODO
Cenizas, en % (m/m)	1,32 CV = 1,58 n = 2	NTC 282
Humedad, en % (m/m)	7,32 CV = 0,30 n = 2	NTC 282
Extracto Etéreo, en % (m/m)	0,57 CV = 1,03 n = 2	NTC 668
Fibra Cruda, en % (m/m)	4,12 CV = 1,12 n = 2	NTC 668
Proteína (N x 6,25), en % (m/m)	5,95 CV = 1,03 n = 2	NTC 282
Carbohidratos, en % (m/m)	79,80 n = 2	Cálculo

NOTA: NTC Significa Norma Técnica Colombiana del ICONTEC

Los anteriores resultados están reportados en base húmeda (base real)

(CV, en %) = Coeficiente de Variación n = número de datos

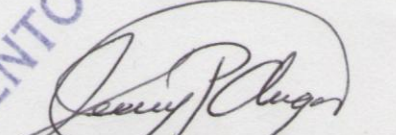
Los anteriores análisis fueron elaborados por la Tecnóloga Química Jenny Patricia Angel C. Para cualquier información adicional sírvase citar el No 22111-B correspondiente a su muestra.

Resultados válidos únicamente para la(s) muestra(s) analizada(s) y no para otro(s) material(es) de la misma procedencia. La(s) muestra(s) analizada(s) se guardará(n) por el tiempo de dos meses a partir de la emisión de este informe, transcurrido este tiempo se desechará(n) o se devolverá(n) al cliente si éste lo solicita.

El presente documento no posee validez alguna sin el sello del laboratorio y las firmas respectivas. Se prohíbe su reproducción total o parcial, excepto con aprobación de la Universidad del Valle.


RUBEN A. SANCHEZ ANDICA., PQ-1350
Jefe

Laboratorio de Análisis Industriales


JENNY PATRICIA ANGEL C.
Tecnóloga Química

Digitó: Ruby X. Rivas

María D. Gullén,
Ainhoa Ruiz

Tecnología de Alimentos,
Facultad de Farmacia,
Universidad del País Vasco,
Vitoria, Spain

Rapid simultaneous determination by proton NMR of unsaturation and composition of acyl groups in vegetable oils

¹H NMR spectra of 66 samples of edible oils from 14 different botanical origins were acquired. Assignment of signal spectra to the different types of hydrogen atoms was made and the areas of the signals determined. Considering that the area of the signals of the spectra is proportional to the number of hydrogen atoms of each type in the sample, it is possible to calculate not only the iodine value, but also the proportion of different acyl groups from the data. Determination of both parameters requires only a few minutes and one spectroscopic run. Classical methodology however, requires two separate wet methods for determining the unsaturation degree (iodine value) and the proportions of different acyl groups; both of them involve chemical transformations of the sample and considerable time and cost. Determination of acyl group proportions in samples by ¹H NMR, which was validated with mixtures of standard triglycerides, provides accurate results and is able to detect small differences between samples of very similar composition.

Keywords: Vegetable oils, unsaturation degree, proportions of the acyl groups, ¹H NMR spectroscopy.

1 Introduction

The importance of oils and fats in the processing and shelf-life of many foods, as well as in human nutrition, is an established fact. They are constituents of many foods and play a very important organoleptic and nutritional role. Oxidative stability or resistance to rancidity depends on the composition of the oils and fats. A balanced proportion of acyl groups in the diet is of primary importance for human health, since prejudicial and beneficial properties have been attributed to certain acyl groups depending on their unsaturation level. For these reasons, characterization of edible vegetable oils is essential for evaluating their suitability for different uses in diet and in the food industry.

Iodine value parameter has classically been used for the measurement of oil and fat unsaturation degrees. This is a chemical parameter, the determination of which is based on the reactivity of triglyceride double bonds. It is obtained by quantification of the iodine monohalide incorporated into samples; this method involves several steps and is time consuming.

Similarly, determination of the proportions of different acyl groups in vegetable oils is usually carried out by a chem-

ical method involving hydrolysis of triglycerides followed by esterification of the liberated acyl groups with methanol. Ultimately the methyl esters produced are separated, identified and quantified by gas chromatography; in some cases transesterification is carried out instead of hydrolysis followed by esterification [1–3]. There are many variants of this traditional method, which has been described as cumbersome, time consuming and expensive. Furthermore, there are several problems related to sample oxidation, artifact formation during transesterification, or with subsequent separation and identification of methyl esters in the chromatographic run [4, 5].

In previous papers the usefulness of spectroscopic techniques, such as Fourier transform infrared spectroscopy, in characterization of edible oils and fats have been demonstrated [6–12]. ¹H nuclear magnetic resonance (¹H NMR) in the study of oils and fats has already been reviewed [13] and the usefulness of the shape and chemical shifts of the ¹H NMR spectra signals in discriminating between oils of different compositions has been demonstrated [14]. Recently, using standard mixtures of tristearin, triolein, trilinolein, and trilinolenin, the capacity of the latter technique in determining proportions of different acyl groups in samples was shown, and some equations proposed for this purpose [15].

In the present study, the unsaturation degree of a large group of vegetable oils is determined using ¹H NMR spectroscopy and the results are compared with those ob-

Correspondence: María D. Gullén, Tecnología de Alimentos, Facultad de Farmacia, UPV. Paseo de la Universidad Nº 7, 01006 Vitoria, Spain. Phone: +34-945-013081, Fax: +34-945-013014; e-mail: knpgulod@vf.ehu.es

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BADUI, Salvador. Química de los Alimentos. Cap. 4. México D.F: Pearson Education, 2006. P245-295.

BAILEY, A. Aceites y Grasas Industriales. Buenos Aires: Reverté, 1979, p. 475.

CALA, G. y BERNAL, G. Procesos Modernos de Extracción de Aceite de Palma. Santa Fe de Bogotá. Fedepalma, 2008. 155P.

CHAPARRO, Olga Lucia; CORREDOR, Guillermo y ARGUELLO Heliodoro. Uso del Chontaduro en la Elaboración de Raciones para la Alimentación Animal. Santa fe de Bogotá: Contextos gráficos, 1999. 24pp.

CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA. Memorias del Curso Cultivo e Investigación del Chontaduro (*Bactris gasipaes* H.B.K.) para Fruto y Palmito. Tumaco: CORPOICA, 1996. 83p.

CORRALES, Dayana. Chontaduro Porteño. [Online]. Colombia: 2010 [Consultado: Julio 16 2011]. Disponible en: <http://chontaduroporteno.blogspot.com/>

CUADROS, Hermes. Identificación y Delimitación de las Áreas Geográficas de Colombia Aptas Para el Cultivo Económico del Chontaduro. CESPEDESIA Boletín Científico del Departamento del Valle. Instituto Vallecaucano de Investigación Científica INCIVA. Vol. 18, No. 60 (1991); p 17.

DURAN, Felipe. Manual del Ingeniero de Alimentos. Bogotá: Grupo Latino Ltda., 2006. p 353-376.

EL PAÍS. El Valle del Cauca Continúa Soñando con el Plan Frutícola. [Online]. Colombia: 2011 [Consultado: Agosto 16 2011]. Disponible en: <http://www.elpais.com.co/elpais/economia/valle-del-cauca-continua-sonando-con-plan-fruticola>

ESCOBAR, Carlos et al. El Cultivo de Chontaduro (*Bactris gasipaes* H.B.K) para Fruto y Palmito. 2ed. Santa fe de Bogotá: Produmedios, 1998. 20p.

ESTUPIÑAN, Jaime. Evaluación Físico Química del *Bactris gasipaes* (Chontaduro) Proveniente del Pacífico Colombiano. Santiago de Cali. 1999. 140: il Tesis (Químico). Universidad Del Valle, Facultad De Ciencias, Departamento de Química.

FAO. Corporate Document Repository [Online]. Colombia. [Consultado: marzo 31 de 2010]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/t0646e/T0646E01.htm>

FRUTA DORADA. [Online]. Colombia: 2009 [Consultado: Junio10 2011]. Disponible en: http://www.frutadorada.com.co/index.php?option=com_content&view=frontpage&Itemid=3

GIPNA – Grupo de Investigaciones en Productos Naturales y de Alimentos, Universidad del Valle. Investigador: MURCILLO, Juan Manuel. Santiago de Cali, 2011.

GIRALDO A., DUFOUR D., RIVERA A., SANCHEZ T., SCHELDEMAN X., GONZALEZ A. Diversidad del chontaduro (*Bactris gasipaes*) consumido en Colombia. En: Revista de la asociación colombiana de ciencia y tecnología de alimentos. *Evento: CIBIA VII*, Integrando la ingeniería de alimentos con el bienestar. 2009.

GOBERNACION DEL VALLE DEL CAUCA. Secretaría de Agricultura y Pesca. [Online]. Colombia: 2009 [Consultado: febrero 5 2010]. Disponible en: <http://www.valledelcauca.gov.co/agricultura/publicaciones.php?id=966>

GODOY S., PENCUE L., RUIZ A., MONTILLA D. Clasificación Automática del Chontaduro (*Bactris gasipaes*) para su Aplicación en Conserva, mermelada y harinas. En Facultad de Ciencias Agropecuarias. Vol. 5.No. 2 (2007); p 138-146.

GUILLÉN, M and RUIZ, A. Rapid Simultaneous Determination by Proton NMR of Unsaturation and Composition of Acyl Groups in Vegetable oils. En European Journal of Lipid Science Technology. 105 (2003) p. 688-696.

HAMMOND, E. and PAN, W. Fatty Acid Composition and Glyceride Structure of the Mesocarp and Kernel Oils of the Pejibaye Palm (*Bactris gasipaes* H.B.K).En *Biol T.* Vol. 30 No. 1 (1982); p. 91-93.

HOYOS, Olga. Análisis de Alimentos: Manual de Prácticas de Laboratorio. Popayán: Universidad del Cauca. 2001. 81p.

HURTADO, Juliana y MARTINEZ, Sharon. Implementación del Diseño Industrial para Promover la Venta y Consumo del Chontaduro como Fruta Exótica a Nivel Nacional y Contribuir en el Desarrollo Económico del País. Cali, 2007. 58 p:il. Monografía (Diseñador industrial). Universidad ICESI, Facultad de Diseño, Escuela de Diseño industrial.

INDUSTRIA DEL MAÍZ S.A. Laboratorio de calidad de Desarrollo de Ingredientes basados en aceites. RUIZ, Nilson y GIRÓN, Jhon Jairo. Santiago de Cali, 2011.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Bogotá: ICONTEC.NTC 236, 1998; NTC 564, 1999; NTC 3748, 2001; NTC 3343,2006; NTC 267, 2007.

INSUASTY, Braulio. Análisis orgánico clásico y espectral. Santiago de Cali: Universidad del Valle, 2000. 179 p.

JIMENEZ, Luisa. Extracción de Aceite Rojo de Chontaduro (*Bactris gasipaes* H.B.K). [Online]. Colombia: [Consultado: Enero 18 2010]. Disponible en:http://www.Utadeo.edu.co/dependencias/publicaciones/alimentica1/extracción_aceite_rojo.pdf.

MARTINEZ, José. Proceso de Refinación del Aceite de la Semilla de Guanábana para Sugerir Su Utilidad Comercial. Santiago de Cali. 2003.142: il. Tesis (Químico). Universidad Del Valle, Facultad De Ciencias, Departamento de Química.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Manual del Exportador de Frutas Hortalizas y Tubérculos en Colombia. Desempeño Sectorial Productivo 1992-2000. [Online]. Colombia: 2000 [Consultado: marzo 30 de 2010]. Disponible en: http://interletras.com/manualCCI/Desempeno_prod/desempeno03.htm

OFICINA DE PLANEACION MUNICIPAL DEL TAMBO. Fase de Diagnóstico del Ordenamiento Territorial de Acuerdo a la Constitución Política de 1991. [online]. Colombia: 1999 [Consultado: marzo 31 de 2010]. Disponible en: <http://www.crc.gov.co/files/ConocimientoAmbiental/POT/tambo/T%cdTULO%20%20%20El%20Diagn%fc3stico.pdf>

ORDUZ, Javier y RANGEL, Jorge. Frutales Tropicales Potenciales para el Piedemonte Llanero. Manual de Asistencia Técnica No. 8. Villavicencio: produmedios, 2003. 133 p.

PATÍÑO, Víctor. Utilización de la Harina de Chontaduro en la Elaboración de Productos para Consumo Humano. CESPEDSIA Boletín Científico del Departamento del Valle. Instituto Vallecaucano de Investigación Científica INCIVA. Vol. 18, No. 60 (1991); p 17.

PHITOTHER LABORATORIOS. [Online]. Colombia: 2010 [Consultado: Enero 5 2011]. Disponible en: <http://www.phitother.com/>

RESTREPO, Jaime. Potencial del chontaduro (*Bactris gasipaes* H.B.K) como fuente alimenticia de alto valor nutricional en países tropicales. Revista de ciencias. Departamento de Química, Universidad del Valle. 2007.

SAYAGO, A. *et al.* Vitamina E y aceites vegetales. En Grasas y aceites. Vol. 58 (1). Enero-Marzo (2007). p. 74-86.

TENORIO, Edgar y ACOSTA, Marleny. Extracción y Caracterización de Aceites de Frutos Oleaginosos Colombianos. Santiago de Cali. 1978. 76: il Tesis (Ingeniero químico). Universidad Del Valle, Facultad De Ingenierías, Escuela de Ingeniería Química.

TRACY, Mitchell. The Pejibaye Fruit: Problems and Prospects for its Development in Costa Rica. Estados Unidos, 1995. 108p.

UNIVERSIDAD JORGE TADEO LOZANO, Grupo consultor. La cadena de valor de los ingredientes naturales del biocomercio para las industrias farmacéutica, alimentaria y cosmética-FAC: ANEXOS. Santa fe de Bogotá, octubre de 2008. 95p.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA: UNPERIODICO. Frutales del Pacifico un Sector Promisorio. [Online]. Colombia: 2011 [Consultado: Febrero 13 2011]. Disponible en:<http://www.unperiodico.unal.edu.co/dper/article/frutales-del-pacifico-un-sector-promisorio.html>

VEGA, Alberto. Guía para la Elaboración de Aceites Comestibles, Caracterización y procesamiento de nueces. Bogotá, D.C: Convenio Andrés Bello. 2004. 86 p.

VILLACHICA, Hugo. Cultivo del pijuayo (*Bactris gasipaes*) para Palmito en la amazonia. Lima: Tratado de cooperación amazónica, 1996. 118p.

YUYAMA, L. Chemical Composition of the Fruit Mesocarp of three Peach Palm (*Bactris Gasipaes*) Populations Grown in Central Amazonia, Brazil. En *Int. J. Food Sci. Nutr.* Vol. 54, (2003); 49-56.